

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Механико-технологический факультет



Сборник научных работ
XXII Республиканской студенческой
научно-технической конференции

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ



21 –22 апреля 2021 года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ
XXII Республиканской студенческой научно-технической конференции

21–22 апреля 2021 года

Минск
БНТУ
2022

ОРГКОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Иванов И.А., декан механико-технологического факультета, д-р техн.наук, профессор.

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Пантелеенко Ф.И., член-корр. НАНБ, Заслуженный деятель науки РБ,
д.т.н., профессор;

Константинов В.М., д.т.н., профессор;

Лазаренков А.М., д.т.н., профессор;

Немененок Б.М., д.т.н., профессор;

Ровин С.Л., д.т.н., доцент;

Томило В.А., д.т.н., профессор;

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

РАБОЧАЯ ГРУППА:

Гольцова М.В., д.т.н., доцент;

Одиночко В.Ф., к.т.н., доцент;

Слуцкий А.Г., к.т.н., доцент.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Касперович Илья Александрович

СЕКРЕТАРЬ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ

Хорольский Павел Дмитриевич

СОСТАВИТЕЛИ

Бежок Александр Павлович

Иванов Игорь Аркадьевич

В настоящий сборник включены материалы докладов XXII Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки», участники которой выступали последующим направлениям: «Металлургия чёрных и цветных сплавов», «Материаловедение в машиностроении», «Машины и технология литейного производства», «Машины и технология обработки металлов давлением», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», Охрана труда и промышленная безопасность.

© Белорусский национальный
технический университет, 2022

Металлургия чёрных и цветных сплавов

Разрушение футеровки печей для плавки алюминиевых сплавов и повышение сроков ее работы

Студенты: гр. 10405117 Можейко Д.П., гр. 10405316 Болотова П.А.
Научные руководители – Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В процессе эксплуатации печей для плавки алюминиевых сплавов их футеровка подвергается воздействию нескольких разрушающих факторов:

– химическому воздействию компонентов алюминиевого расплава с оксидами, входящими в состав огнеупоров. В первую очередь это относится к шамотным огнеупорам, которые из-за сравнительно невысокой стоимости продолжают использоваться для футеровки плавильных печей. Это обусловлено большим сродством алюминия и магния к кислороду и возможностью восстановления ими кремния, титана и железа из составляющих огнеупорной футеровки [1]. При этом имеет место увеличение в 1,3 раза объема продуктов реакции по сравнению с объемом исходных веществ, что приводит к возникновению напряжений в месте контакта с расплавом и образованию трещин в футеровке [1];

– физического взаимодействия, связанного с пропитыванием футеровки расплавом по порам, трещинам и швам, с последующим разрушением из-за разницы в коэффициентах линейного расширения металла и огнеупора при колебаниях температуры. Процесс проникновения расплава в футеровку усиливается с ростом ее пористости, с увеличением жидкотекучести расплава из-за обогащения его восстановленным кремнием из футеровки, и локального повышения температуры в зоне экзотермической реакции восстановления кремния [2];

– ошлакования футеровки в пламенных печах за счет образования шлаковых наростов и настывлей, связанных с химическим взаимодействием металла с огнеупорами и смачивания их расплавом. Образование настывлей корунда особенно заметно в зоне соприкосновения зеркала расплава с футеровкой, где отмечается значительный перегрев поверхностного слоя металла относительно остальной массы расплава [2];

– механического воздействия на футеровку при завалке чушки и кусковых отходов, а также при чистке стен и пода печи от шлаковых наростов и настывлей. Негативное влияние на стойкость футеровки оказывает также циркуляция расплава, вызываемая различными перемешивающими устройствами.

Учитывая, что различные зоны плавильной печи подвергаются разному разрушающему действию, это необходимо учитывать при выборе огнеупорных материалов и футеровки плавильных печей. Наибольшему ударному воздействию подвергается подина печи и ее откосы во время загрузки шихты. Поэтому эти части футеровки необходимо выполнять из высокопрочного несмачиваемого низкоцементного бетона типа АЛИТ-72АР. Стены выше уровня расплава, нагреваемые продуктами сгорания топлива, должны обладать достаточной огнеупорностью и устойчивостью к воздействию агрессивных газов. Стены печи, контактирующие с расплавом, необходимо выполнять из бетона с пониженной долей цемента АЛИТ-72АРС-Ал, не содержащего SiO_2 в связующей матрице и имеющего в своем составе антисмачивающие добавки. К таким добавкам относятся BaO , BaSO_4 , CaF_2 , AlF_3 и др. Они тормозят протекание химических реакций на границе футеровка-расплав, уменьшают смачиваемость футеровки расплавом и его инфильтрацию в огнеупор.

В последнее десятилетие все более широкое применение для футеровки алюминиевых печей находят огнеупорные бетоны и новые методы их укладки, постепенно вытесняющие кирпичные конструкции. Это позволяет исключить многочисленные швы и опасность инфильтрации жидкого металла в футеровку, получать плотную структуру с низкой смачиваемостью расплавом монолитной футеровки, заметно снизить адгезию металла и склонность к образованию корунда, сократить сроки и трудоемкость проведения футеровочных работ. При

этом для работы в среде алюминиевого расплава содержание оксидов, способных восстанавливаться алюминием, должно быть минимальным. Характеристики некоторых огнеупорных бетонов приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Огнеупорные бетоны компании «Алитер-Акон»

| Марка | Химический состав, % | | | | Плотность после обжига при 800 °С, г/см ³ | Прочность при сжатии после обжига при 800 °С, МПа | Максимальная температура применения, °С |
|----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|--|---|---|
| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CaO | | | |
| Алит-72АРС-Ал | 82 | 3 | 0,9 | 3,8 | 2,9 | 100 | 1450 |
| Алит-72АР | 85 | 9 | 1,0 | 2,9 | 2,8 | 150 | 1500 |
| Алкорит-85/1,5 | 86 | 8 | 1,1 | 1,5 | 2,9 | 130 | 1550 |
| Алкор-76А | 86 | 4 | 1,2 | 6,0 | 2,5 | 70 | 1500 |
| Алкор-37-25 | 40 | 43 | 4,0 | 11,0 | 2,0 | 15 | 1300 |
| Алак-1,4-1350 | 43 | 40 | 3,0 | 12,0 | 1,4 | 7 | 1350 |
| Алак-0,0-1000 | 32 | 28 | 12,0 | 17,0 | 0,9 | 2 | 1000 |

Список использованных источников

1. Юрков, А.Л. Взаимодействие алюминия и сплавов на его основе с огнеупорными материалами / А.Л. Юрков // Цветные металлы. - 2010. - № 10. - С. 47-52.
2. Макаров, Г.С. Слитки из алюминиевых сплавов с магнием и кремнием для прессования. Основы производства / Г.С. Макаров // - М.: Интермет Инжиниринг, 2011. - 528 с.

Повышение экологической безопасности процесса разжижения рафинировочного шлака

Студенты: гр. 10405418 Щербаков Д.Е., гр. 10405119 Хорольский П.Д.,
гр. 10405119 Раков И.Г.

Научные руководители – Неменёнок Б.М., Трибушевский Л.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для высокой десульфурисуемой способности рафинировочных шлаков шлаковая составляющая содержит от 50 до 70 % CaO, 20-35 % Al₂O₃ и 10 % SiO₂. Для обеспечения высокой скорости наведения шлака, снижения его вязкости и температуры плавления, флюс состоит из флюорита CaF₂, а для обеспечения высокой раскисляющей способности в состав флюса вводят «сечку» из алюминиевой проволоки. Недостатком подобных шлакообразующих составов является высокая токсичность летучих соединений фтора, низкая стойкость футеровки из-за разъедания ее фтором, высокая стоимость плавикового шпата (источника флюорита) и алюминиевой проволоки для раскисления, а также саморассыпание шлака после его охлаждения.

При повышении экологичности шлака и снижении его агрессивности в отношении футеровки установки внепечной обработки не стоит забывать и об основных требованиях к рафинирующим шлакам: шлак должен обеспечить рафинирование, раскисление, очистку от неметаллических включений, обеспечение заданного химического состава готовой стали, защиту от воздействия атмосферы и низкую газопроницаемость, тепловую изоляцию, высокую скорость наведения, низкую температуру плавления. Также известна проблема рассыпания охлажденного шлака.

Разжижать шлак понижением его основности нецелесообразно, так как при этом повысится агрессивность к основной футеровке. Известен опыт использования глинозёмистых шлакообразующих, но зачастую при их применении не всегда удаётся избежать использования плавикового шпата. Показано, что при повышении содержания Al₂O₃ в шлаках свыше 18 % достигается их химическая стабилизация. Определено рациональное содержание Al₂O₃ в ковшовых шлаках. Выявлено, что при содержании Al₂O₃ менее 30 % рафинирующие способности шлака не ухудшаются. При содержании Al₂O₃ более 30 % глинозем ведет себя аналогично SiO₂, т.е. снижает десульфурисуемую способность шлака и повышает его агрессивность к футеровке. Наиболее благоприятно его содержание в шлаке от 12 до 25 %, когда свойства шлака изменяются от основных к кислотным. При повышении содержания Al₂O₃ в шлаке более 14 % увеличивается вероятность образования тугоплавкой шпинели MgO · Al₂O₃ на поверхности огнеупорных изделий сталеразливочных ковшей и вакуум-камер, что способствует повышению стойкости металлургических агрегатов. Также чрезмерные объёмы оксидов алюминия в шлакообразующих смесях могут привести к превышению содержания алюминия в готовой стали.

Добавлением оксидов магния можно добиться образования защитного гарнисажа на стенках магнетитовой футеровки и тем самым повысить стойкость. Рассыпанию шлака при его охлаждении могут препятствовать соединения Na и K в виде оксидов и солей, а стабилизации шлака способствуют добавки двууглекислого натрия.

В патенте РФ № 2322512 предлагается следующий состав твердой шлакообразующей смеси для внепечной обработки: известь 77-89 %, 11-23 % алюмоконцентрата АВК-50Ф. Использование этой смеси позволяет снизить себестоимость выплавляемой стали, уменьшить вредные выбросы в атмосферу, снизить загрязненность стали неметаллическими включениями и повысить уровень физико-механических свойств стали. Содержащаяся в составе шлакообразующей смеси шлаковая составляющая – известь обеспечивает высокую степень десульфурации стали, а флюс – металлический алюминий обеспечивает высокую степень раскисления металла и шлака. Недостатком этой шлакообразующей смеси является отсутствие в

составе стабилизаторов шлака, препятствующих его рассыпанию при охлаждении. Кроме того, АВК-50Ф, фактически, является вторичным фракционированным алюминием с высоким содержанием металлического алюминия крупностью 5-50 мм. Ввод такого материала в ковш приводит к повышению содержания алюминия в стали, поэтому он непригоден для обработки ряда марок стали, в которых есть ограничение по содержанию алюминия. Например, для сталей, разливаемых на блюмовых МНЛЗ открытой струей, рельсовых, колесных марок, стали для изделий энергетического машиностроения. В данных сталях не допускается превышение содержания алюминия выше 0,004-0,005 %, а ввод дробленого алюминия в ковш с целью раскисления стали приведет к превышению содержания алюминия в стали над допустимым уровнем 0,004-0,005 %. Также минимальная температура плавления данной смеси составляет 1390 °С, в то время как в тройной системе CaO-Al₂O₃-SiO₂ температура плавления может составлять 1190 °С. Повышение температуры плавления обеспечивает более высокую вязкость и пониженную рафинирующую способность шлака. То есть шлаковая составляющая смеси должна содержать в составе оксид кремния SiO₂.

Существует вариант шлакообразующей смеси, состоящей из 20-50 % шлака производства силикокальция (46-50 % CaO, 15-20 % SiO₂, 0,2-0,5 % MgO, 0,3-0,7 % Al₂O₃, 0,02-0,03 % P, 10,4-10,7 % SiC, 20-25 % CaC₂), 10-30 % отходы производства вторичного алюминия (55-70 % Al₂O₃, 5-10 % SiO₂, 2,3-2,5 % CaO, 2-9 % MgO, 12-14,2 Al_{мет}, 4,2-5,7 % Fe_{общ}, 0,6-0,9 % Na₂O+K₂O, S ≤ 0,053 %, P₂O₅ ≤ 0,01 %) и извести. Данный вариант подробно изложен в авторском свидетельстве № 1089146. За счет того, что шлак производства силикокальция имеет в своём составе карбиды кальция и кремния, уменьшается угар раскислителей, а образующаяся при взаимодействии карбидов с кислородом двуокись углерода перемешивает металл со шлаком, способствуя очищению от неметаллических включений. Недостатком этой шлакообразующей смеси является наличие в составе смеси двух гигроскопичных составляющих - извести и шлака производства силикокальция, что может привести к попаданию водорода в металл, и отсутствие в составе смеси компонентов, обеспечивающих стабилизацию шлака после охлаждения. По этим причинам использование данной смеси в современных агрегатах внепечной обработки стали будет не технологично и не позволит решить задачи, стоящие перед внепечной обработкой стали.

Шлакообразующая смесь для рафинирования стали, содержащая в качестве флюса отходы производства вторичного алюминия и шлаковую составляющую дополнительно содержит двууглекислый натрий при следующем соотношении компонентов, мас. %: двууглекислый натрий 1-2 %, отходы производства вторичного алюминия 10-30 %, остальное – шлаковая составляющая. Отходы производства вторичного алюминия в данном случае состоят из 50-75 % Al₂O₃, 5-12 % MgO, 1-10 % SiO₂, 5-20 % смесь NaCl+KCl+NaF+KF+Na₂O+K₂O. Данная смесь оказывает комплексное воздействие на шлак, повышая его технологические свойства и стабилизируя после охлаждения. Повышенное содержание глинозема в отходах производства вторичного алюминия в количестве 50-75 % разжижает шлак, увеличивает поверхностное натяжение на границе «металл-шлак». В результате в расплаве стали меньше запутывается шлаковых включений, а в шлаке - корольков металла. Содержащийся в составе отходов производства вторичного алюминия металлический алюминий (5-20 %) в виде мелкодисперсного порошка повышает степень раскисления шлака и соответственно не усваивается металлом. При этом содержание алюминия в получаемой стали не превышает опасного уровня 0,004-0,005 % (ограничение по условиям разлива на блюмовой МНЛЗ). Необходимости использования плавикового шпата не возникло. Сталь успешно разливалась на блюмовой МНЛЗ открытой струей. Наличие в составе флюса оксида магния в количестве 5-12 % повышает концентрацию периклаза в шлаке и способствует его кристаллизации на стенках ковша, образуя защитный гарнисаж, снижая агрессивное воздействие на магниальную футеровку ковша. Соединения щелочных металлов К и Na в виде оксидов и солей в количестве 5-20 % (суммарно), содержащиеся в отходах производства вторичного алюминия, оказывают стабилизирующее действие на шлак, препятствуя его рассыпанию при охлаждении. Однако без введения

в состав шлакообразующей смеси двууглекислого натрия, шлак после охлаждения стабилизируется не полностью, белит представлен в виде смеси стабильной высокотемпературной модификации ларнита - β - C_2S и нестабильной - шеннонита - γ - C_2S . В интервале флюс в виде ОПВА не оказывает продолжительного стабилизирующего действия на затвердевший шлак. Длительность стабильного существования кусков охлажденного шлака не превышает нескольких часов. Этого, чаще всего, достаточно для снижения негативного влияния шлака на огнеупоры, но недостаточно для использования затвердевшего шлака в качестве сырья при производстве щебня. Для усиления стабилизирующего действия в состав шлакообразующей смеси дополнительно вводили натрий двууглекислый. Введение двууглекислого натрия менее 1 % не имеет желаемого эффекта, а введение более 2 % – нецелесообразно из-за высокой стоимости.

Способы повышения стойкости футеровки сталеразливочного ковша

Студент гр. 10405418 Синицкий Д.С., гр. 10405116 Квятковский А.В.

Научный руководитель – Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время доля затрат на огнеупоры для агрегатов ковшовой обработки стали может достигать до 1,5 % себестоимости металла даже без учета затрат на ремонты и потери при простоях выведенных на ремонт агрегатов. Поэтому повышение стойкости футеровки, определяющей межремонтный ресурс агрегатов, является актуальной научно-технической задачей [1].

Условия эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей определяются технологией производства стали, сортаментом выплавляемого металла и коэффициентом использования основного металлургического оборудования. Перенос операций раскисления, десульфации, легирования и модифицирования неметаллических включений из сталеплавильного агрегата в сталеразливочный ковш усложняет условия эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей и выдвигает дополнительные требования к материалу футеровки в плане отсутствия взаимодействия с вводимыми в расплавленный металл реагентами [2].

Интенсивность воздействия всех разрушающих факторов и, прежде всего, химического взаимодействия, определяется температурой металла, сливаемого в сталеразливочный ковш. В зависимости от технологических факторов, температура сливаемого в сталеразливочный ковш металла может составлять 1530-1700 °С, а в некоторых случаях и выше. Время воздействия рассматриваемых выше факторов определяется, в основном, продолжительностью пребывания металла в ковше, которое составляет 150-300 мин. [3, 4].

В процессе эксплуатации футеровка ковша испытывает резкий нагрев и охлаждение. Разница температур наливаемого металла и подогретой до 800 °С футеровки может составлять 700-900 °С [2].

Исходя из условий эксплуатации ковшей, вытекает комплекс требований к свойствам футеровки, включающих хорошую устойчивость против размывания падающей струей стали, коррозионного и эрозионного разрушения расплавленным металлом и шлаком, достаточную термостойкость, отсутствие химического взаимодействия с реагентами, присаживаемыми в металл в процессе ковшовой обработки, отсутствие значительной усадки при различных температурах эксплуатации.

Износ огнеупорных изделий в сталеразливочном ковше неравномерный. Наибольший износ отмечается в стеновых изделиях над продувочными пробками, в шлаковом поясе и в зоне ударного воздействия струи металла при его сливе из плавильного агрегата. Износ стеновых огнеупорных изделий, находящихся в зоне металла и на периферийных участках днищ, незначителен. Исходя из опыта эксплуатации ковшей, на большинстве металлургических предприятий Российской Федерации и зарубежья с целью повышения срока службы сталеразливочных ковшей используются следующие рекомендации [2-6]:

1. Шлаковый пояс выполняют высотой 1,0-1,5 м из огнеупорных периклазоуглеродистых изделий с добавками графита высокой чистоты, что обеспечивает их повышенное сопротивление к коррозионному износу и плохую смачиваемость расплавом шлака.

2. В зоне контакта футеровки со шлаковым поясом используют различные типы конундовых бетонов, позволяющих довести стойкость футеровки до 1500 плавов при серийной стойкости 400 плавов. Повышение стойкости футеровки связывают с наличием в составе бетона шпинели $MgO \cdot Al_2O_3$. При контакте зерна шпинели с расплавленным шлаком, содержащим ионы Mg^{2+} или Fe^{3+} , происходит внедрение этих ионов в кристаллическую решетку шпинели. В результате вязкость шлака вокруг зерна шпинели повышается и проникновение шлака в футеровку замедляется.

3. Футеровку днища ковша выполняют из неформованных огнеупоров на основе корундовых бетонов или совмещают применение формованных алюмопериклазоуглеродистых изделий и наливных масс. Использование наливных футеровок из высокоглиноземистых масс получило широкое распространение в Западной Европе и Японии. По разным источникам стойкость монолитной футеровки составляет 550-760 плавов.

4. Используют утолщение футеровки по высоте шлакового пояса, поскольку основной износ огнеупорных изделий (около 2/3) происходит за счет химического взаимодействия огнеупоров со шлаками.

5. Для уменьшения химического взаимодействия шлака с футеровкой желательнее применять магнезиальные шлаки, содержащие в своем составе 8-10 % MgO.

Целенаправленная работа предприятий по повышению стойкости футеровки сталеразливочных ковшей позволила увеличить их ресурс работы в несколько раз. Так, при вводе в эксплуатацию электросталеплавильного цеха на Молдавском металлургическом заводе в 1985 году средняя стойкость сталеразливочных ковшей составляла 6,2 плавки. В 2010 году данный показатель достиг 86 плавов при максимальной стойкости ковшей – 95 плавов [7].

Список использованных источников

1. Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали / А.А. Метелкин [и др.]. - Нижний Тагил: НТИ УрФУ, 2015. - 144 с.
2. Футеровка сталеразливочных ковшей / Б.А. Великин. - М.: Металлургия, 1990. - 248 с.
3. Берг, Х. Влияние внепечной обработки на износ футеровки сталеразливочных ковшей / Х. Берг // Черные металлы. - 2005. - № 6. - С. 27-32.
4. Очагова, И.Г. Совершенствование футеровки ковшей для разливки и внепечной обработки стали за рубежом / И.Г. Очагова // Бюл. «Черная металлургия». - 2008. - № 2. - С. 89-93.
5. Просвилов, С.Н. Совершенствование футеровки сталеразливочных ковшей / С.Н. Просвилов, Д.А. Калинин, М.Е. Савкин // Новые огнеупоры. - 2007. - № 3. - С. 68-69.
6. Применение монолитной футеровки в шлаковом поясе сталеразливочного ковша емкостью 220 т / У. Грете [и др.] // Черные металлы. - 2003. - № 6. - С. 34-39.
7. Совершенствование футеровки агрегатов электросталеплавильного цеха / А.В. Кузнецов [и др.] // Сталь. - 2010. - № 1. - С. 47-52.

**Перспективы использования вакуумно-индукционной плавки при
получении сплавов медицинского назначения**

Студенты гр. 10405117 Касперович И.А., Малышко Е.А.,
гр.10405119 Хорольский П.Д.
Научные руководители – Долгий Л.П., Слуцкий А.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Специальная электрометаллургия широко применяется при изготовлении чистых металлов и сплавов. При этом, наряду с различными плавильными агрегатами используется вакуумные индукционные печи, позволяющие получать отливки из стали и сплавов весьма ответственного назначения, обладающих высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Известно, что при плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, а именно: интенсивно выделяются газы из металла, заметно испаряются как основные компоненты сплава, так и их примеси с высокой упругостью пара. При этом становится возможным глубокое раскисление металла углеродом, восстанавливаются и удаляются неметаллические включения (НВ), идут активные процессы между металлом и футеровкой [1].

Такие преимущества делают вакуумно-индукционную плавку (ВИП) перспективной при изготовлении литых изделий в том числе медицинского назначения. Актуальность применения ВИП возрастает, принимая во внимание высокую стоимость сплавов и повышенные требования к функциональным свойствам изделий из них. Например, стоимость сплавов на основе кобальта, при изготовлении деталей медицинских имплантатов, составляет около 200 €. При горячей штамповке и механической обработке деталей имплантатов отходы в виде облоя и стружки составляют от 10 до 30 %. Кроме того, поскольку сплав Co-Cr-Mo относится к труднодеформируемым, велика вероятность получения брака во время штамповки. В связи с этим, возможность вторичного использования отходов Co-Cr-Mo путем переплава и последующей деформации приобретает значительную экономическую эффективность.

В случае изготовления мерных литых заготовок оптимальным вариантом для получения отливок является применение специальных керамических форм либо кокиля. Схема лабораторной ВИП для получения отливок показана на рисунке 1.

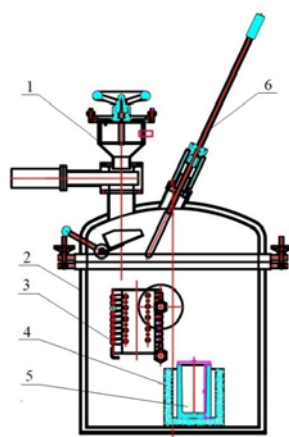
Их выполняют с одной вакуумной камерой, в которой после откачки воздуха проводят плавку и разливку металла в изложницы или форму (5). После этого печь разгерметизируют с целью удаления изложницы со слитком, ревизии и ремонта тигля, загрузки очередной порции шихты, для чего снимают или отводят в сторону крышку или корпус [1].

Полный цикл плавки в ВИП включает следующие этапы:

1. Загрузка шихты в печь (3) через шлюз (1);
2. Откачка из печи воздуха до рабочего давления;
3. Расплавление шихты;
4. Выдержка (рафинирование, раскисление, легирование);
5. Выпуск и разливка металла в подогреваемую форму (5);
6. Очистка внутренней поверхности футеровки и подготовка печи к следующей плавке.

В шихте обычно используют мягкое железо, металлический Cr, электролитический Ni, Co, а также FeMo, FeW и др. После расплавления эти материалы не создают шлак. Обычно во время расплавления шихты давление в печи составляет 10^{-1} - 10^{-2} мм.рт.ст.

Помимо шихтовых материалов, перечисленных выше, по ходу плавки в случае необходимости вводят в конце плавления FeNb, углерод (для раскисления), в начале выдержки FeV, Al (для легирования). FeTi, FeZ₂ – в конце выдержки добавляют FeMn, FeSi, FeB; перед выпуском – SiCa, Al (для раскисления) и в виде лигатур и сплавов Mg, Ba, Ce.



1 – загрузочная камера (шлюз); 2 – корпус печи; 3 – индуктор; 4 – муфельная печь для подогрева литейной формы; 5 – литейная форма; 6 – термопара
Рисунок 1 – Схема лабораторной индукционной вакуумной печи

При загрузке легкоиспаряющихся материалов в печь вводят аргон при давлении 40-100 мм.рт.ст [2].

Дегазация металла при достаточной выдержке и надлежащем вакууме протекает весьма успешно. Водород $[H]_{Fe}$ удаляется почти полностью, а азот $[N]_{Fe}$ в конце плавки может иметь концентрацию 0,003-0,006%. Однако, при наличии нитридообразующих элементов удаление азота связано со значительными трудностями.

В процессе плавки испаряются примеси цветных металлов, имеющих высокую упругость пара в вакууме и нерастворяющиеся в жидком металле. Это прежде всего Zn, Pb, Bi. Удаляются также Cu, Sb и в меньшей степени Sn и As (мышьяк) [3].

При плавке значительно снижается содержание неметаллических включений (НМВ) всех типов, особенно при продувке жидкого сплава аргоном. Установлено, что при выплавке легированных сталей и сплавов сера в вакууме не испаряется.

Применение основных шлаков для удаления серы и НМВ дает положительный результат, однако при работе со шлаком возникает ряд затруднений.

Таким образом преимуществом плавки в индукционных вакуумных печах является глубокая дегазация металла, успешное удаление примесей ряда цветных металлов и возможность выплавки сталей и сплавов практически любого состава. Наиболее существенный недостаток данных печей – это взаимодействие металла с футеровкой печи, большие размеры и высокая стоимость установки, худшие ТЭП по сравнению с обычными индукционными печами.

Недостатком является также низкая стойкость футеровки, обычно составляющая несколько десятков плавков. Несмотря на то, что она выполняется из чистых электроплавильных огнеупорных материалов (MgO , Al_2O_3 , Z_2O_2) или их смеси.

Список использованных источников

1. Качанов, Д.В. методы спецметаллургии – основа производства высококачественных сталей и сплавов / Е.Б. Качанов // Сталь. – 2008. - № 12. – с. 81-83.
2. Швед, Ф.И. технологические аспекты вакуумного дугового переплава стали и ферросплавов / Ф.И. Швед // Сталь. – 2008. - № 12. – с. 75-80.
3. Гуляев, А.П. Чистая сталь / А.П. Гуляев. – Москва: «Металлургия», 1975. – 136-143 с.

Анализ основных факторов, определяющих свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Студенты гр.10405117 Касперович И.А., Малышко Е.А.
Научные руководители – Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время в Республике Беларусь объемы производства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом расширяются. При этом производятся отливки из невысоких марок ВЧ45-ВЧ50. Актуальным является внедрение технологии получения более высоких марок ЧШГ для отливок ответственного назначения. Выполнен анализ факторов, определяющих свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Химический состав, включая углеродный эквивалент, концентрации вредных примесей и демодификаторов в исходной шихте и полученной отливке, наличие и концентрации легирующих элементов, остаточные концентрации модифицирующих элементов. Для минимизации случайных и постоянных факторов влияния химического состава исходного чугуна на результат сфероидизирующего и графитизирующего модифицирования применяют постоянный контроль состава шихтовых материалов и расплава чугуна по ходу плавки. При получении высоких марок ЧШГ в шихтовых материалах необходимо использовать синтетические чугуны, плавку которых осуществляют на чистых стальных ломах, металлических отходах и карбюризаторах.

Наследственность предыдущего состояния, включая морфологию шихтовых материалов: свежих чугунов, стального и чугунного лома, возврата собственного производства. Этот фактор во многом определяет характер микроструктуры получаемых отливок и устойчивость технологии получения литья из ЧШГ. Для снижения воздействия наследственности в качестве шихты применяют рафинированные чугуны и синтез-плавку исходного высокоуглеродистого сплава.

Модификаторы, как основной фактор, определяющий результаты обработки на шаровидный графит и в большей степени структуру технологического процесса литья. Тип, вид, геометрические параметры, химический состав модифицирующих материалов определяют исходные параметры расплава чугуна, способ ввода их в обрабатываемый расплав, удельный расход, живучесть эффекта модифицирования, определяющего логику литейного цеха и в целом экономику производства ЧШГ. В свою очередь производственная программа и структура литейного цеха определяет необходимость выбора наиболее эффективного модификатора применительно к имеющимся условиям. Во вновь строящиеся литейные цеха или реконструируемые закладываются специализированные сквозные технологии, использующие эффективные серийные модификаторы.

Действующие литейные цеха малых и средних предприятий, осваивающие литьё из высокопрочного чугуна, ориентируются на адаптивные модифицирующие материалы, встраиваемые в действующее производство и требующие изготовления по спецзаказу. В целом для нужд литейного производства разработаны сотни модификаторов чугуна, удовлетворяющих разнообразным условиям производства, однако работы в этом направлении не прекращаются, и сосредоточены на разработках адаптивных материалов, имеющих большую эффективность по результату и экономичность по затратам.

По типу модификаторы для производства ЧШГ делятся на сфероидизирующие и графитизирующие, применение которых неразрывно связано в одном технологическом процессе. В настоящее время функции тех и других частично перекрываются, взаимно компенсируя или дополняя действия друг друга. По виду модификаторы могут быть смесевыми, литыми или композиционными, что определяется способами их изготовления. Наиболее дешёвыми являются смесевые составы, представляющие из себя смеси фракционированных компонентов,

компактированные грануляцией и брикетированием с применением или без связующего. Эффективность их часто недостаточная, расходы повышенные, дымовыделение значительное, однако они позволяют совместить в своём составе вещества несовместимые способом сплавления, например, графит и металлы в больших концентрациях. Наиболее широко представлены литые модификаторы, которые изготавливаются на основе кремния или металлов из ряда Ni, Cu, Al, Fe, Mn. Эти модифицирующие сплавы производятся крупнотоннажными металлургическими технологиями, эффективны, расходы умеренные, особенно при внутриформенном модифицировании, дымовыделение умеренное вплоть до отсутствия, благодаря своим характеристикам они используются в большинстве литейных цехов. Композиционные модификаторы, характерным представителем которых является кокс, пропитанный расплавом магния (процесс модифицирования «МАГ-КОК») имеют малое распространение вследствие сложности и затратности производства, препятствующим массовому выпуску, однако резерв возможностей, открывающийся при использовании подобных модификаторов далеко не исчерпан и может позволить получить высокий результат, недостижимый для традиционных технологий. Ярким примером реализации такого подхода является технология ковшевого модифицирования высокопрочного чугуна порошковой проволокой в промежуточных и разливочных ковшах большой ёмкости, вплоть до 10 тонн. Техпроцесс полностью автоматизирован, усвоение магния высокое, удельный расход проволоки очень мал за счёт наполнителя в виде магнезиевого порошка и стружки, пироэффект незначителен. Геометрические формы приведенных модификаторов могут быть представлены частицами различной формы от округлой при грануляции расплава до осколочной при дроблении слитка, различных фракций от 0,5 мм при графитизации на струю, 1-5 мм при внутриформенном модифицировании до 5-20 мм при модифицировании в крупных ковшах. Разнообразие форм может быть представлено литыми, спеченными и прессованными вставками в реакционные камеры ковшей, надставок и литейных форм. Особую группу по геометрическим параметрам представляют пластинчатые «Чипс»-модификаторы изготовленные способом намораживания на кристаллизатор и модифицирующие порошковые проволоки в металлической оболочке. Такие геометрические формы могут иметь как сфероидизирующие так графитизирующие модифицирующие материалы. Химический состав модифицирующих композиций достаточно широк и определяется целым рядом параметров, таких как маркой и типом ЧШГ химсоставом и температурой исходного расплава, способом модифицирования, принятым на производстве, способом изготовления модификатора, термобработкой отливок, экономическими требованиями и многими другими. Основными группами компонентов являются активные элементы, такие как щелочноземельные и редкоземельные металлы: магний, кальций, стронций, барий, церий, лантан, иттрий и т.д.; легирующие элементы: никель, медь, марганец; носители – элементы, составляющие основу сплава и снижающие интенсивность кипения активных элементов: алюминий и кремний; разбавляющие и утяжеляющие элементы, как правило железо. Целый ряд химических элементов, составляющих модификаторы совмещают функции, например, медь – утяжелитель и легирующее; никель – носитель, утяжелитель и легирующее; кремний – носитель и легирующее. К тому же необходимо учитывать, что многие элементы совмещают функции сфероидизации и графитизации, например, магнезиевые модификаторы на основе никеля и меди работают на структуру жёстко (перлитная матрица, точечный графит, структурно свободный цементит и т.д.), а композиции на основе кремния работают мягко (феррит, высокое удлинение, большая площадь шлифа, занимаемая графитом и т.д.).

Важным фактором является способ модифицирования исходного чугуна, который определяет не только физические свойства и марку получаемого чугуна, но и является ядром всего производства ЧШГ. Из основных способов сфероидизирующей обработки чугуна можно выделить два основных: ковшевое и внутриформенное модифицирование. В группе ковшевых технологий можно выделить автоклавные процессы обработки расплава чистым магнием под внешним избыточным газовым давлением и вариант представленный конвертором Фишера, в

котором реакция идёт под избыточным давлением паров магния. Не смотря на высокую эффективность обработки (высокие марки, дешевизна модификатора, малый расход) такие способы в настоящее время не применяются из-за аппаратурной сложности, длительности, плохой технологической гибкости и непроизводительности.

Самыми распространёнными способами ковшевого модифицирования ВЧ являются варианты «Сэндвич – процесса», когда порция модификатора закладывается в ковш перед заливкой. Группа этих технологий использует закрытые и открытые ковши специальной конструкции или обычные разливочные ёмкостью до нескольких тонн, чаще не более 1 тонны. Закрытые ковши могут иметь герметизируемую и негерметизируемую крышку для сокращения угара магния и устранения пироэффекта, однако требуют выполнения в специальной конструкции, сложны в транспортной логистике и обслуживании, создают технологические задержки, увеличивают потери тепла расплава. Открытые ковши просты в технологическом использовании, обеспечивают лёгкое согласование темпов работы оборудования, простую логистику, универсальны в случае использования в цехе нескольких сплавов (серые, легированные и высокопрочные чугуны), однако дают значительный пироэффект и недостаточно стабильный результат обработки. Тем не менее, простота применения, универсальность и малая затратность обеспечили «Сэндвич – процессу» широкое распространение. Отдельно необходимо отметить вышеупомянутые способы ковшевого модифицирования чугуна проволочными модификаторами, осуществляемые на специальных автоматизированных закрытых стендах, позволяющих рассчитывать параметры и контролировать процесс по ходу реакции (вес исходного расплава, скорость подачи, количество подачи, температура, время и т.д.). Дымовыделение в атмосферу цеха в этом случае полностью исключается, повторяемость отличная, экономика хорошая, однако такую технологию эффективно можно использовать в мощных цехах с массовым конвейерным производством и объёмом разового выпуска расплава не менее 5-6 тонн. Капитальные затраты при реализации процесса высоки.

Группа технологий внутриформенного модифицирования представлена в основном способом обработки в выносной реакционной камере с последующей заливкой в литейную форму для изготовления крупных отливок весом до нескольких тонн и классическим «Инмолд – процессом», в котором сфероидизирующая обработка расплава происходит в реакционной камере литейной формы и совмещена с процессом заполнения её полости. Такие технологические процессы абсолютно бездымны и могут быть полностью автоматизированы, дают высокую повторяемость и стабильность результатов, применимы как в массовом, конвейерном производстве, так и в мелкосерийном, однако требуют высокого качества модификаторов и сложных расчётов в технологии формы, необходимых в отдельности для индивидуальной отливки. К тому же сниженный «выход годного» часто оправдывается только на больших производственных сериях.

Режим кристаллизации залитого в форму модифицированного расплава оказывает на структуру и свойства ЧШГ особенно сильное влияние, вследствие некоторых особенностей таких чугунов, в частности, повышенной объёмной и линейной усадкой, чувствительностью свойств к объёму занимаемому графитной фазой, высокой склонностью к переохлаждению и соответственно к отбелу. Вследствие этого направление и скорость кристаллизации являются определяющими для литой макро и микроструктуры отливок, режимов термообработки литья и целого ряда служебных свойств деталей из высокопрочного чугуна. В целом можно отметить, что подавляющее большинство отливок из ЧШГ изготавливаются литём в песчаные и керамические формы с умеренным темпом охлаждения отливки, которые позволяют получить феррито-перлитную основу в структуре. Однако есть случаи, когда отливки необходимо получать отбелёнными, для получения специальной структуры в процессе отжига, в этом случае заливка производится в металлические формы с различной толщиной теплоизоляционного слоя и с высоким темпом охлаждения. Как правило в кокиль отливают литёе мелкого и среднего развеса не требующего организации сложной литниково-питающей системы и из безуса-

дочных высококремнистых марок. Для получения в литье специальных структур высокопрочного чугуна, таких как аустенитная, мартенситная, бейнитная необходима организация сложного теплового режима формы, повышенный теплоотвод и теплоизоляцию в различные периоды охлаждения. В целом, кристаллизация отливок из ЧШГ должна быть направленной для устранения усадочных дефектов и с умеренным темпом, позволяющим достаточно полно пройти процесс графитизации, но с другой стороны достаточным для получения однородной структуры по толщине стенки отливки, которую в случае высокопрочного чугуна стараются уменьшить до предела, вследствие высокой прочности материала и склонности к неоднородности формы и распределения графита по сечению отливки. Маневрирование, за счёт темпа кристаллизации, соотношением этих встречных факторов в разных частях отливки позволяет получить требуемые свойства для различных элементов будущей детали.

Термообработка отливок из ЧШГ наряду с вышеперечисленными, является действенным фактором влияния на микроструктуру литого чугуна с целью получения заданных характеристик готовых изделий. Практически весь объём литья из высокопрочного чугуна проходит цикл термической обработки, что связано с особенностями кристаллизации чугуна, модифицированного на шаровидный графит. В литом состоянии высокопрочного чугуна затруднительно обеспечить получение требуемой микроструктуры, механических свойств и размерной стабильности отливок. Для литья из ЧШГ применяют следующие виды термической обработки: низкотемпературный отжиг, высокотемпературный отжиг, нормализация, объёмная закалка, изотермическая закалка, поверхностная закалка, термоциклическая и термомеханическая обработка, химико-термическая обработка. Подавляющее количество отливок проходят низкотемпературный отжиг (до 650 °С) для снятия термических напряжений, ферритизации матрицы и дополнительной графитизации. Эта термическая операция является конечной стадией в цепи других высокотемпературных обработок. Для низких марок ВЧ часто достаточно одного низкотемпературного отжига. Высокотемпературный отжиг проводят для разложения структурно-свободных карбидов, которые резко снижают механические свойства и обрабатываемость отливок, такая обработка проводится для белых высокопрочных чугунов с целью графитизации. Нормализация с различным темпом охлаждения (спокойный воздух, обдув, аэрозоли и т.д.) проводится для получения перлитной структуры основы чугунов и обязательная операция для ответственных, нагруженных деталей, например, коленчатые валы двигателей, компрессоров. Объёмная закалка отливок из ЧШГ позволяет получать матрицу чугуна, состоящую из продуктов мартенситного превращения: мартесита, бейнита, остаточного аустенита и их смесей. Выбором химического состава и скорости охлаждения при закалке можно получать требуемые структуры закалки в широком диапазоне соотношения составляющих. Отдельным вариантом объёмной закалки является изотермическая закалка отливок в высокотемпературных средах (250-500 °С), как правило соляных или свинцовых ваннах. Процедура применяется для чугунов высоких марок ВЧ70-ВЧ100, легированных элементами, тормозящими перлитное превращение, обычно сочетанием никеля, меди, молибдена, марганца, для получения бейнитной структуры обеспечивающей наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств в готовых деталях. Характерными примерами таких деталей являются шестерни передач и коленчатые валы форсированных двигателей внутреннего сгорания. Поверхностная закалка со скоростным нагревом пламенем или токами высокой частоты применяется как финишная термообработка деталей ВЧ подвергающихся износу в парах трения или абразивному износу в процессе эксплуатации и производится, но готовых деталях, обработанных под финишные операции. Поверхностной закалке на глубину 1-5 мм подвергаются шейки и цапфы валов, поверхности подшипников, ползунов, подпятников, детали ходовой части и орудия машин. Поскольку аустенизация при скоростном нагреве должна завершиться за очень короткое время, скоростной закалке подвергаются чугуны исключительно с перлитной структурой, получаемой предварительной термообработкой для перлитизации матрицы или легированные чугуны имеющие перлитную основу в литом состоянии. Термоциклическая и термомеханическая обработка применяется в редких случаях вследствие сложности и высокой

стоимости для отливок особого назначения для обеспечения особенно высоких показателей механической прочности и жесткости. Термоциклическая обработка включает многократный нагрев и охлаждение в определённом температурном интервале приводящим к термическому наклёпу структуры и увеличению прочности и твёрдости материала отливки, таким приёмом возможно добиться разрывной прочности вплоть до 1200 МПа и сокращения разбега между временным сопротивлением на разрыв и пределом текучести. Химико-термическая обработка, носящая характер поверхностного воздействия, применяется к отливкам из ВЧШГ в редких случаях для придания поверхности деталей особых свойств, таких как износостойкость, коррозионная устойчивость и окалиностойкость при повышенных температурах. Обычно применяют процессы алитирования, хромирования, борирования, азотирования, хромирования, силицирования и сульфидирования придающие поверхностным слоям деталей особые служебные свойства при сохранении структуры сердцевины изделий аналогичной необработанному чугуна.

Компьютерное моделирование процесса кристаллизации кокильной отливки из алюминиевого сплава

Студенты гр. 10405117 Касперович И.А., Малышко Е.А.
Научный руководители – Бежок А.П., Михальцов А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литье в металлические формы (кокили) широко применяется в настоящее время для получения отливок из цветных металлов на алюминиевой, магниевой и медной основах, из чугуна и в несколько меньшей степени из стали. Способ литья в металлические формы по сравнению с литьем в песчаные формы имеет ряд преимуществ, в связи с чем он получил распространение во всех отраслях промышленности.

Повышенная скорость кристаллизации и благоприятные условия для ее направленности, создаваемые металлическими формами, позволяют уменьшить размеры и массу прибылей, а также уменьшить припуски на механическую обработку отливок.

Данный способ литья избавляет от целого ряда дефектов в виде засоров, намывов, ужимин, пригара и других, характерных для отливок, получаемых при литье в песчаные формы. Литые заготовки имеют высокую плотность по всему сечению, что обеспечивает повышение на 10-15 % механических свойств. И особенно относительное удлинение (в 1,5-2 раза) [1].

Проведен анализ качества отливок «Втулка», изготавливаемых литьем в постоянные формы, результаты которых представлены на рисунке 1. Установлено, что основным видом брака является газовая пористость экзогенного характера (до 7%).

Это потребовало совершенствовать технологию кокильного литья.



1 – общий; 2 – усадка; 3 – трещины; 4 – недолив; 5 – газовая пористость

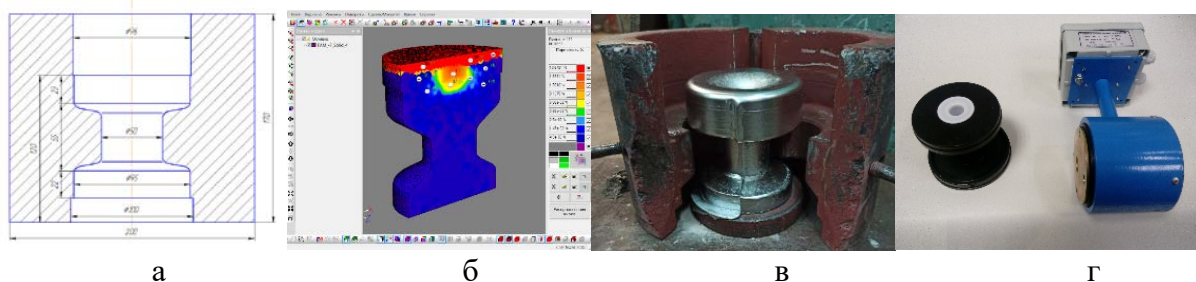
Рисунок 1 – Виды брака двухместной кокильной отливки «Втулка»

Ниже представлены результаты компьютерного моделирования процесса кристаллизации алюминиевого сплава АК5М2 в одноместном кокиле с открытой прибылью с использованием программы «SALOME». Отливка, показанная на рисунке 2 а, характеризуется переменным сечением, что задает определенный подход к разработке технологии литейной формы. В качестве материала кокиля был выбран серый чугун марки СЧ20, как наиболее дешевый и технологичный. Прибыльная часть высотой 10 мм характеризуется минимальным расходом металла, но моделирование показало вероятность образования усадочной раковины с перехо-

дом в тело отливки. Данный дефект показан на рисунке 2 б. Для минимизации усадочных дефектов были проанализированы другие варианты высоты прибыльной части (20,30 и 40 мм).

Анализ показал, что оптимальная высота прибыли составляет 20 мм, что обеспечивает формирование плотной отливки, при этом обеспечивается максимальный выход годного литья.

С учетом полученных данных проведена корректировка кокильной оснастки и в лабораторных условиях проведены испытания технологии получения отливки «Втулка» (рисунок 2 в), изготовлена опытная партия и проведены исследования качественных характеристик.



а – Чертеж открытого одностенного кокиля; б – результаты моделирования процесса кристаллизации алюминиевого сплава; в – опытная отливка по разработанной технологии; г – готовая деталь для прибора учета тепла

Рисунок 2 – Технология получения и применения кокильной отливки «Втулка» из алюминиевого сплава

Установлено, что технология позволяет существенно снизить брак литья, особенно по усадочным явлениям, наличие открытой прибыли в одностенном кокиле практически исключило брак по газовым экзо-включениям.

Опытная партия отливок прошла полный цикл механической обработки и использована при комплектации приборов учета тепла (рисунок 2 г).

Таким образом, компьютерное моделирование процессов кристаллизации позволяет совершенствовать технологии получения отливок различными методами.

Список литературы

1. Специальные способы литья / В.А. Ефимов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1991. – 74-75 с.

Способы получения износостойких порошковых материалов для защитных покрытий с использованием плазмы и лазера

Студенты гр.10405119 Хорольский П.Д., Раков И.Г.
Научный руководитель – Шейнерт В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для нанесения защитных покрытий многофункционального назначения с использованием высокоэнергетических тепловых потоков (плазма, лазер) используются различные составы сложных интерметаллических износостойких материалов, содержащих в том числе тугоплавкие металлы.

Например, силициды тугоплавких и переходных металлов, сплавы с высоким содержанием свободных карбидов, интерметаллические соединения с особыми свойствами и другими металлами обладают высокой температурой плавления, твердостью, жаропрочностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Для получения покрытий на основе таких соединений используют многокомпонентные порошковые смеси, поставляемые по импорту. При этом качество получаемых покрытий определяется степенью химической чистоты используемых материалов.

В настоящее время к числу наиболее активно развивающихся направлений в области защитных покрытий относятся методы газотермического напыления и вакуумного нанесения. К группе промышленно развитых методов газотермического напыления относят электродуговое, газопламенное, плазменное и детонационное напыление. Все они объединены единым принципом формирования покрытия из отдельных частиц, нагретых и ускоренных с помощью высокотемпературной газовой струи. Структура покрытий, полученных этими методами, слоистая, образована дискретными частицами с более или менее ярко выраженными границами раздела.

Главным критерием применимости материала в качестве покрытия является возможность перевода его частиц в расплавленное или высокопластичное состояние и последующая деформация их при встрече с подложкой. Высокие температуры в сочетании с возможностью широкого регулирования состава струи (инертная, восстановительная, окислительная) и скорости ее истечения обеспечивают большое разнообразие материалов, напыляемых газотермическими методами, - от самых тугоплавких металлов, оксидов, карбидов и т.п. до пластмасс.

Практический опыт применения газотермических покрытий, накопленный за последние 20-30 лет в различных отраслях промышленности показывает, что таким путем можно, как правило, в 2-5 раз уменьшить износ деталей машин, эксплуатируемых в самых разных условиях, а также эффективно восстанавливать изношенные детали.

Для получения покрытий методами газотермического напыления в настоящее время используют в основном порошок, проволоку, стержень, гибкий шнур.

Все большее распространение в последнее время получают композиционные порошки. По типу строения части различают плакированные и конгломератные частицы. Плакированные частицы представляет собой исходную частицу (ядро) одного из материалов, на поверхности которой расположены один или несколько слоев других материалов. Частица композиционного порошка конгломератного типа сформирована из множества исходных частиц нескольких материалов.

Примеры композиционных порошков с различным типом поведения при напылении представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Классификация композиционных порошков по характеру поведения при газотермическом напылении

| Тип состава | Порошок |
|---------------------------------|--|
| Термореагирующие композиции | |
| Интерметаллические | (Ni)-(Al); (Ni)-(Ti); (Co)-(Al); (NiP)-(Al); (NiCr)-(Al)-(Al) и др. |
| Металл – тугоплавкое соединение | (Ti)-Si ₃ N ₄); (Ti)-(SiC); (Ti)-(B ₄ C); (Zr)-(Si ₃ N ₄); (Cr) – (SiC) и др. |
| Термонейтральные композиции | |
| Металл – тугоплавкое соединение | (Co)-(WC); (Ni)-(WC); (Ni)-(Cr ₃ C ₂); (Ni)-(TiB ₂); (Cu)-(SiC); (Ni)-(TiC) и др. |

Важной суммирующей характеристикой порошков на стадии их подачи к газовой горелке или плазматрону является их текучесть. Они обуславливают стабильность подачи материалов, возможность точной регулировки расхода. Для обеспечения равномерной подачи порошка желательно использовать частицы сферической (или сфероидизированной) формы с незначительной пористостью и размером не менее 10 мкм.

Таблица 2 – Свойства порошков для газотермического напыления (по данным фирм «Глидден Металз» и «Сильвания» (Нидерланды))

| Состав | Морфология порошка | Размер частиц, мкм | Текучесть, с |
|----------------------|----------------------------|--------------------|--------------|
| NiBSi | Сферические частицы | -105 | 16 |
| NiCrBSi | «-« | -105 | 18 |
| W | Сферические частицы | 44-74 | 8 |
| WC-12 Co (дробленый) | Частицы неправильной формы | 5-20 | Не течет |
| WC-12 Co (литой) | Сферические частицы | 44-74 | 8-12 |

Средний размер частиц порошков для газотермического напыления и широта диапазона используемой фракции являются одной из важнейших характеристик материал. Эти показатели зависят от состава напыляемого материала, используемого типа оборудования и заданных свойств покрытия.

Известные в настоящее время способы получения порошков для газотермического получения покрытий делятся на две группы: первичные (формирование исходно частицы порошка) и вторичные (модифицирование полученного исходного порошка в тех случаях, когда использование его позволяет получить покрытие с заданным комплексом свойств).

К первой группе способов относятся следующие: распыление расплава; распыление проволоки плазменной струей; механическое измельчение слитка; интеркристаллитная коррозия слитка; твердофазное восстановление оксидов газообразным или твердым восстановителем; металлокерамическое восстановление оксидов; синтез из элементов; самораспространяющийся высокотемпературный синтез (метод СВС); гальваническое и газофазное осаждение с последующим измельчением осадка; гранулирование исходных порошков, в том числе с последующим спеканием или оплавлением гранул (для порошков оксидов может быть совмещено с процессом восстановления и спекания); спекание прессовки или уплотнение без подогрева с последующим измельчением заготовки.

Ко второй группе относятся такие способы: термическое оксидирование, плакирование

(осаждение оболочки химическим, гальваническим, парофазным и другими методами); диффузионное насыщение порошка, нанесение микропорошков с использованием связующего и т.п. Могут применяться сочетания нескольких способов.

Поскольку металлические порошки, предназначенные для газотермического напыления, в основном являются высоколегированными материалами, для которых очень важно обеспечение однородности частиц по составу, для их изготовления наиболее удобен метод распыления – диспергирование струи расплавленного металла или сплава. Распыление может осуществляться струей жидкости (например, водой под большим напором), газа (нейтрального газа высокого давления или сжатого воздуха), а также механическими средствами (центробежное, ультразвуковое распыление и др.).

Частицы распыленных порошков чаще имеют сферическую форму, но могут приобретать в результате коагуляции и неправильную. В общем случае форма частиц распыленных порошков зависит от поверхностного натяжения расплава, его вязкости, содержания примесей и режима расплавления.

Методами распыления можно получать порошки практически всех металлов и сплавов различной дисперсности и состава. Для распыления тугоплавких металлов (ниобия, молибдена, вольфрама) используют дуговые плазмотроны. Распыление осуществляют в воду или в защитную среду (в последнем случае частицы порошка не окисляются). Распыленные металлы подвергают сушке, рассеву и выделению нужной фракции.

Другим распространенным способом получения порошков для напыления является механическое измельчение (дробление) компактных материалов. Этот способ применяют для хрупких металлов и сплавов, природных минералов, отходов металлургической и металлообрабатывающей промышленности, а также губчатых металлов, полученных электролизом или восстановленными газами, поскольку такая губка легко разрушается.

Механическое измельчение осуществляют в барабанах, молотковых, вибрационных и других мельницах. При этом получают так называемые осколочные порошки с частицами неправильной угловатой формы.

Рассмотренный способ имеет ряд недостатков: механическое измельчение твердых или очень мягких металлов сложно или неэкономично; кроме того, порошки могут не соответствовать техническим условиям вследствие неблагоприятной формы, наклепа частицы или загрязнения продукта материалами футеровки мельницы или мелющих тел.

Карбонильный метод получения металлических порошков основан на пиролизе (термической диссоциации) карбонильных соединений металлов. Пиролиз карбониллов проводят при температуре 250-400 °С в специальных реакторах, в которые помещают затравки. Исходным сырьем для получения карбонильных порошков служат отходы металлургического производства, металлический лом, рудные концентраты, прокатная окалина.

При определенных условиях пиролиза частицы карбонильных порошков могут иметь сферическую форму, карбонильным методом получают порошки вольфрама, железа, кобальта, молибдена, никеля, хрома и других металлов, а при разложении смеси карбониллов – порошки сплавов. Присущие карбонильным порошкам примеси кислорода и углерода легко удаляются в среде водорода при температуре 400-600 °С. В целом карбонильные порошки отличаются высокими химической активностью и чистотой.

Исходя из вышеприведенного анализа в сфере производства порошков для напыления, наиболее приемлемым способом их изготовления из интерметаллических соединений титана с точки зрения технологической простоты и минимизации затрат является прямая плавка (металлургический синтез) исходных материалов с получением компактного слитка с последующим измельчением его до необходимых фракций. Получение порошков из таких сплавов методами распыления затруднительно по ряду причин: необходимость работы в защитных атмосферах, очень высокие температуры расплава, неудовлетворительные параметры вязкости и жидкотекучести, узкий интервал кристаллизации в областях гомогенности интерметаллидов

или наоборот, очень длинный интервал в областях твердых растворов и т.д. Задачей эффективности методики получения порошков из интерметаллических соединений титана и переходных и тугоплавких металлов является получение однородного слитка с высокими термическими напряжениями, облегчающими последующее дробление. Эту задачу можно решить методами скоростного охлаждения на металлических кристаллизаторах и в жидких охлаждающих средах.

Как показали результаты предыдущих исследований, получение слитка из высших силицидов даже в графитовый кокиль не обеспечивает однородности состава по сечению. Для обеспечения структурной и химической однородности литого материала необходимо исходный расплав дробить на мелкие агрегаты и закристаллизовывать их по отдельности в охлаждающей жидкости или на металлических поверхностях. В качестве таких методов выбран способ механического дробления струи с закалкой капель в бассейне и кристаллизация между двух медных валков.

Получение порошков с высоким содержанием карбидов для нанесения износостойких покрытий тоже имеет свои особенности. Способы изготовления порошков и сплавов, содержащих углерод и карбидообразующие элементы включающие операции распыления перегретого расплава, полученного методами переплава или синтеза обеспечивают получение порошка с подавленной карбидизацией. Для получения высокой износостойкости такие детали необходимо термообрабатывать вместе с нанесенными покрытиями, что затруднительно или невозможно, или предварительно термообрабатывать порошки с целью выделения карбидов, что технологически сложно.

Для устранения указанных технологических трудностей разработана методика получения порошков и покрытий с упрочненной матрицей (аустенит и мартенсит) и высоким содержанием карбидов, включающая специальную плавку исходной заготовки, специальный режим кристаллизации и охлаждения, модифицирование расплава, совмещенный с термообработкой для максимального выделения карбидов необходимой формы, размеров и распределения, скоростного расплавления этой заготовки с минимальными перегревами над ликвидусом, распыление с получением порошка с наследственной структурой предыдущего твердого состояния.

Для достижения такого результата разрабатываются методики электродугового распыления трубной лентой заготовки и скоростная плавка в твердо-жидком состоянии, позволяющая сохранить наследственную структуру. В дальнейшем планируется апробирование и других способов скоростного термического воздействия на материал, минимизирующие процессы распада карбидной фазы.

Обработка расплава чугуна модификатором, содержащим ультрадисперсные частицы

Студенты: гр. 10405117 Далецкий А.Р., гр. 10405119 Федорович Д.С.
гр. 10403119 Сташкевич В.Г., гр. 10403119 Бокша И.С.
Научные руководители – Барановский К.Э., Урбанович Н.И.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Под термином «модифицирование» (от лат. *modificat* – видоизменять путём деления на части) нужно понимать термодинамически нестабильные химические, а также энергетические воздействия, эффект от которых во времени после их реализации носит экстремальный характер. К данному виду методов управления литой структурой относится графитизирующее модифицирование чугунов индукторами. Графитизирующие модификаторы стимулируют процесс графитизации при эвтектическом превращении посредством образования дополнительных центров кристаллизации графита. С увеличением их числа снижается переохлаждение расплава перед затвердеванием эвтектики, что способствует предотвращению отбела поверхностного слоя отливок и структуры переохлажденной графитной эвтектики.

В качестве графитизирующих модификаторов применяют ферросилиций марки ФС75, силикокальций и графит, а также различными модификаторы на базе кремния (SB-5, «SIBAR», «INOC SIL» «Si-extra» и др.)

Для обработки расплавов чугунов в настоящее время нашли применение смесевые многокомпонентные модификаторы. Такие модификаторы содержат несколько компонентов, которые усиливают действия друг друга [1]. В смесевых модификаторах используется: кремний содержащие компоненты (ферросилиций, силикокальций, силикобарий, карбид кремния), вещества, оказывающие сильное модифицирующее воздействия на расплав (содержащие кальций, барий, стронций в виде соединений), графитосодержащие материалы, рафинирующие добавки (ферросиликомагний, РЗМ, карбонаты).

В последнее время ряд авторов [2, 3] указывают, что, если в таких модификаторах содержатся ультрадисперсные вещества, это сильно увеличивает графитизирующее воздействие модификатора и уменьшает его расход. В основном это наноструктурированный графит и кремнийсодержащие соединения. Такие вещества образуются после высокотемпературной обработки графита при 500-1500 °С в восстановительной среде, при этом получают частицы с наноструктурой ≈ 100 нм. Частицы наноструктурированного графита находятся в углеродном макроносителе, который обеспечивает ввод модификатора в расплав.

Механизм влияния ультрадисперсных частиц на зарождение графита широко обсуждается в технической литературе. В настоящее время установлено, что структурным элементом, определяющим процесс выделения графита, является частица размером 2-10 нм, имеющая поверхность раздела. В общем случае введение в состав модификаторов ультрадисперсных частиц положительно влияет на процесс модифицирования [3].

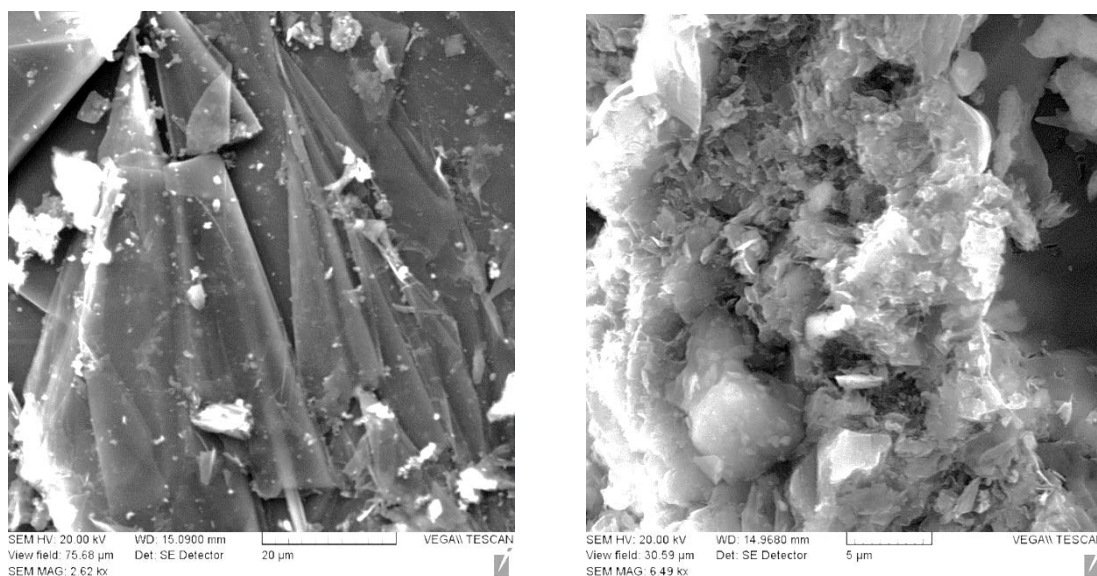
Основная проблема веществ, содержащих ультра и нанодисперсные компоненты – это ввод их в расплав из-за их малой плотности и большого объёма. В чистом виде нано и ультрадисперсные частицы всплывают, коагулируют и плохо замешиваются в расплав поэтому их ввод не дает эффекта. Проблема ввода решается использованием наноструктурированных материалов, в которых ультрадисперсные частицы находятся в виде конгломератов. Это обычно компактные материалы, структура которых состоит из отдельных блоков нано и ультрадисперсного размера [2, 3]. Наноструктурированные вещества относительно просто замешиваются в расплаве и имеют не высокую цену.

Следует отметить, что получение ультра и нанодисперсных частиц требует применения специальных методов и дорогостоящего оборудования, что существенно повышает их стоимость и сдерживает широкое применение для модифицирования. Решением этой проблемы является использование отходов производства содержащих эти частицы [3]. В таблице 1 показан химический состав отхода производства графита.

Таблица 1 - Результаты анализа химического состава образца отхода производства, %

| C | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Fe |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 61,95 | 23,64 | 0,49 | 0,53 | 0,99 | 8,57 | 0,67 | 0,90 | 0,81 | 1,45 |

Из таблицы 1 видно, что отход в основном состоит из углерода, кремния и сторонних примесей. На рисунке 1 показана структура разных видов графита.



а

б

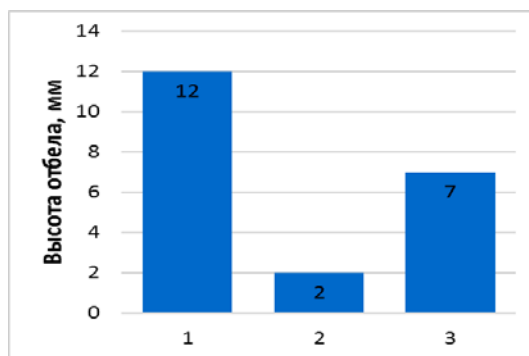
а) – молотый графит; б) – графит, содержащий ультрадисперсные частицы.

Рисунок 1 – Различные виды графита

Как видно из рисунка графит, содержащийся в отходах производства, представляет собой наноструктурированный материал, состоящий из отдельных ультра и нанодисперсных частиц.

В лабораторных условиях и на ОАО «Могилевлифтмаш» была проведена серия опытов по исследованию влияния добавок ультрадисперсных частиц, в качестве которых выступали отходы производства графита, на свойства графитизирующих модификаторов для чугуна. Модифицированный чугун заливали в стержневую форму, установленную на металлическую плиту с целью получения клиновидной пробы на отбел. После охлаждения образцы разламывали и по излому замеряли высоту зоны полного отбела.

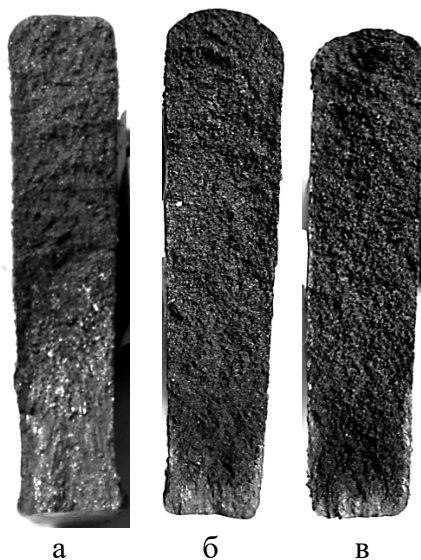
Введение в состав смесового модификатора отходов производства (30%), содержащих ультрадисперсные частицы графита резко увеличило модифицирующий эффект (рисунок 2).



1 – без модифицирования; 2 – отход производства, содержащий ультрадисперсные частицы графита; 3 – обычный молотый графит.

Рисунок 2 – Влияние различных видов графитов (30%) на отбел

В заводских условиях сравнивали смесевой модификатор (ферросилиций, силикобарий, графитосодержащие материалы, карбонаты) на основе отхода производства с ультрадисперсными частицами графита, с наиболее часто применяемым модификатором для серого чугуна «SIBAR» производства РФ. Результаты испытаний представлены на рисунке 3.



а – без модифицирования; б – модифицирование «SIBAR»; в – смесевой модификатор на основе отхода производства

Рисунок 3 – Клиновидные пробы

Показано, что модификатор разработанный на основе отхода производства, содержащих ультрадисперсные частицы графита более эффективен в устранении зоны со структурно свободным цементитом (отбел) в сером чугуне чем модификатор «SIBAR» производства РФ.

Список использованных источников

1. Давыдов С.В. Тенденции развития модификаторов для чугуна и стали / С.В. Давыдов, А.Г. Панов // Заготовительное производство в машиностроении. – 2007. - №1. – с.3 - 11.
2. Патент РФ №2373290. Модифицирующая смесь / Чайкин А.В.
3. Патент РФ № 2533521. Способ производства наноструктурированного науглероживателя для науглероживания железоуглеродистых сплавов/ Панфилов Н.В., Королев С.П.

Термический анализ как метод контроля качества сплавов

Студенты: гр. 10405116 Вдовин И.М., гр. 10405118 Кулаковская Я.С.

Научный руководитель – Арабей А.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Термический анализ – одна из отраслей физико-химического анализа. Термический – значит связанный с тепловой энергией. В свою очередь тепловая энергия вещества – кинетическая энергия теплового движения. Закономерности тепловой энергии изучает термодинамика.

Суть термического анализ заключается в определении температур начала превращений на основании наблюдений за изменением температуры в процессе нагрева или охлаждения чистого металла или его сплавов. Непосредственные требования практической металлургии являлись причиной возникновения термического метода исследования металлов.

Метод кривых нагрева и охлаждения заключается в том, что образец исследуемого материала помещается в печь, которая постепенно нагревается и обеспечивает постоянный подвод тепла к образцу, при этом ведется запись графика зависимости температуры образца от времени (термограммы) [1]. Если в веществе не происходят структурные или фазовые превращения, то получается монотонная кривая (кривая 1 на рисунке 1).

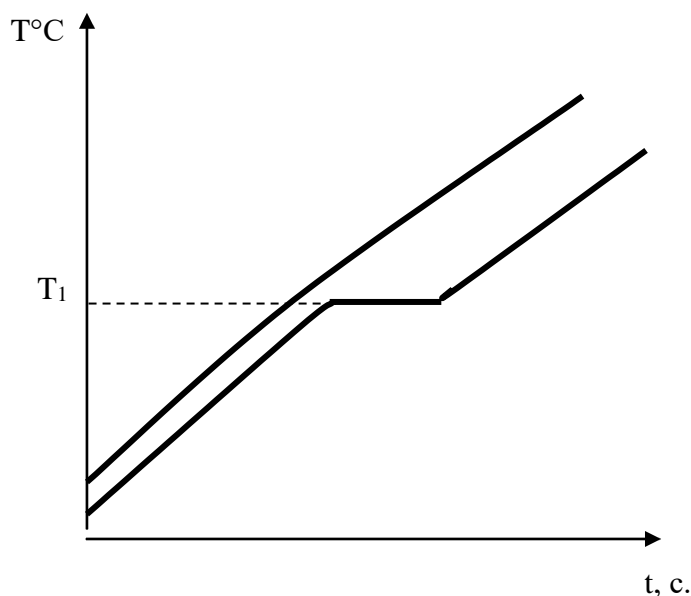
1 – нет превращений; 2 – превращение первого рода при температуре T_1

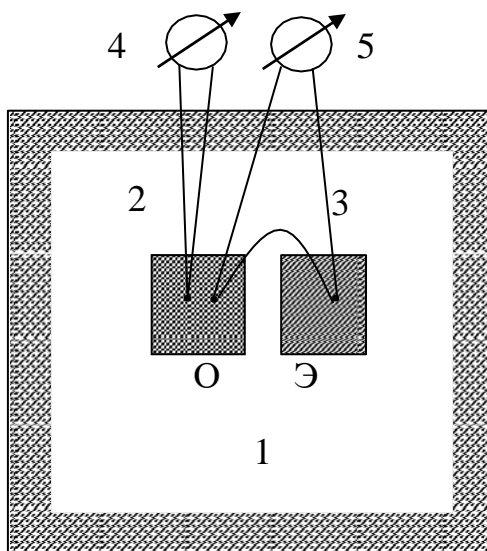
Рисунок 1 – Термограммы нагрева

Если же в образце при некоторой температуре T_1 происходит какое-либо превращение с выделением или поглощением тепла, монотонность кривой нагрева нарушится, на ней появятся особые точки. Например, процесс плавления однокомпонентного вещества сопровождается образованием на кривой нагрева горизонтального участка (кривая 2 на рисунке 1), так как плавление происходит при постоянной температуре.

Метод кривых охлаждения и нагрева является простым методом термического анализа и имеет невысокую чувствительность. При малом удельном тепловом эффекте на единицу массы или при небольшом количестве превращающейся фазы перегибы на термических кри-

вых, соответствующих превращению, становятся едва заметными, в следствии чего такие превращения могут быть и не обнаружены. Гораздо большей чувствительностью обладает дифференциальный термический анализ (далее – ДТА) [2, 3].

Согласно ДТА нагревание (охлаждение) исследуемого объекта ведут вместе и в одних и тех же условиях с веществом – эталоном, которое в условиях опыта не имеет превращений (рисунок 2). Регистрация температуры в этом методе осуществляется при помощи трех термопар: одна из них измеряет температуру образца (или печи), две другие включены по так называемой «дифференциальной схеме» навстречу друг. Они погружаются в сосуды с веществом-эталонном и исследуемым веществом и одновременно помещаются в отверстие блокадержателя пробы. По возможности соблюдается идентичность размеров, формы и массы эталона и образца, плотность их упаковки, положение спаев термопар в эталоне и образце [2, 3].

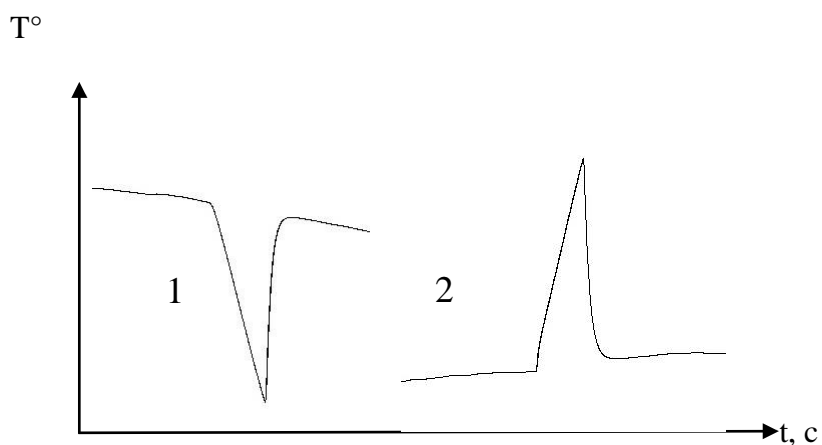


1 – печь; 2 – обычная термопара,
3 – дифференциальная термопара; 4 и 5 – измерительные приборы;
О – исследуемый образец; Э – эталон
Рисунок 2 – схема ДТА

Если температуру печи равномерно увеличивать, то по такому же режиму будет повышаться температура пробы и инертного вещества, при этом токи двух термопар будут компенсировать друг друга, пока в испытуемом образце не начнется реакция. С этого момента прекращается равномерное повышение температуры испытуемого образца. Разность потенциалов между полюсами первой термопары (термопары с образцом) остается неизменной или же начнет повышаться более быстрыми темпами. Так как эта разность уже не может компенсироваться равномерно увеличивающимся напряжением второй пары, измерительный прибор дает показания, соответствующие величине разности температур. В результате на кривой ДТА появляется пик, направление которого указывает, является ли реакция эндотермической (вниз – кривая 1 на рисунке 3) или экзотермической (вверх – кривая 2 на рисунке 3).

Метод ДТА позволяет получить кроме температур превращений и другие количественные характеристики этих превращений (фазового состава, теплоты реакций и т.п.). Термический анализ широко применяется при изучении сплавов. ДТА применяют для построения фазовых диаграмм состояния многокомпонентных систем, для качественной оценки образцов, например, при сравнении разных партий сырья [1-3].

Достоинствами метода ДТА являются достаточно низкие материальные затраты на оборудование, отсутствие жестких требований на подготовку исследуемого сплава к анализу.



1 – Эндотермический переход; 2 – Экзотермический переход
 Рисунок 3 – Дифференциальная термограмма при наличии фазового перехода

Список использованных источников

1. Термический анализ. Ч. 1: Методы термического анализа В. И. Ивлева, Н. Е. Фомин, В.А. Юдин [и др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. – 44 с.
2. Альмяшев В. И., Гусаров В. В. Термические методы анализа: Учеб. пособие/ А 57 СПбГЭТУ (ЛЭТИ). – СПб., 1999. – 40 с.
3. Журавлёв Л.Г., Филатов В.И. Физические методы исследования металлов и сплавов: Учебное пособие для студентов металлургических специальностей. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 157 с.

Опыт получения композиционного материала на основе алюминия, армированного углеродными нанотрубками

Магистрант Миронович А.Ю.
Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В докладе представлен анализ метода получения композитного материала из алюминиевого сплава, армированного углеродными нанотрубками по данным работы [1]. Наряду с быстрым развитием высокотехнологичных секторов промышленности, таких как аэрокосмическая, оборонная и военная отрасли, спрос на высокопрочный легкий материал постоянно растет. В настоящее время при разработке высокопрочных алюминиевых сплавов большое внимание исследователей привлекают композиционные составы на основе алюминия, армированные ультрадисперсными наполнителями. Перспективным материалом является композиционный сплав на основе алюминия, упрочненный углеродными нанотрубками (УН).

Плотность УН очень низкая, однако они обладают высокими механическими и физическими свойствами, и по мере развития промышленных способов получения композиционных материалов, композиты, наполненные УН, постепенно становятся центром исследований и разработок. Сложной проблемой при получении таких материалов является задача равномерного распределения УН в алюминиевой матрице. В последние годы указанная проблема, наряду с постоянным углублением исследований и развитием технологий порошковой металлургии, основанных на применении высокоэнергетических шаровых мельниц, постепенно решается. Однако в высокопрочных сплавах с высоким содержанием легирующих элементов, таких как медь, магний и цинк, наблюдается активное взаимодействие и деструкция УН. С другой стороны, высокая интенсивность совместного помола порошковых материалов приводит к разрушению исходной структуры УН, что снижает эффект упрочнения сплава. Так, известны методы получения алюмоматричных композитов, которые предусматривают измельчение в высокоэнергетической шаровой мельнице порошковых материалов вместе с УН, с последующим спеканием полученного порошка, горячей экструзии спеченной заготовки, с последующей ее термообработкой. Недостатками указанных методов является то, что при механическом легировании требуется длительное время измельчения материалов в высокоэнергетической шаровой мельнице, что вызывает значительные повреждения структуры УН, при этом частицы алюминия вступают с УН в химическую реакцию с образованием карбидов алюминия Al_4C_3 , которые снижают упрочняющий эффект от использования УН. Таким образом, актуальным является разработка технологического маршрута получения композиционного материала, обеспечивающего равномерное распределение УН в алюминиевом порошке, без нарушения их исходной структуры. Решение указанной проблемы открывает перспективы получения высокопрочных алюминиевых сплавов для широкого применения в таких областях, как аэрокосмическая, приборостроительная и оборонная промышленность.

Для реализации поставленной цели в работе [1] представлен метод, который обеспечивает возможность получения композитного материала на основе алюминиевого сплава, армированного УН. В представленном методе предварительно получают нано-структурированный материал из предварительно подготовленных легирующих компонентов, выполняется измельчение в шаровой мельнице УН и сферического чистого алюминиевого порошка для получения композитного материала, далее осуществляют уплотнение, спекание, деформационную и термическую обработку полученного материала. Поскольку алюминиевый порошок обладает сильной деформируемостью, требуется его минимальное измельчение, чтобы реализовать соединение с УН и легирующими компонентами, избегая интенсивного разрушения структуры УН.

Основные этапы данного метода:

(1) в сферической порошковой мельнице из легирующих компонентов (технически чистых металлов или лигатур) формируют нано-структурированный материал;

(2) полученный нано-структурированный материал смешивают со мелкодисперсным алюминиевым порошком и УН, проводят измельчение в шаровой мельнице, получают композитный порошок;

(3) проводят уплотнение и спекание полученного на предыдущем этапе композитного порошка, которые обеспечивают взаимную диффузию фаз между легирующими компонентами и частицами алюминия;

(4) проводят механическую (давлением) и термическую обработку полученной на предыдущем этапе заготовки композитного материала из алюминиевого сплава, армированного УН.

Авторы работы [1] отмечают, что данный метод обеспечивает эффективное использование УН для упрочнения алюминиевого сплава, существенную экономию энергии и времени, характеризуется простотой, безопасностью и возможностью применения в массовом производстве.

Список использованных источников

A kind of method for preparing powder metallurgy of carbon nano tube reinforced aluminum alloy composite material [Electronic resource] : Pat. CN201410032834.0A. Li Zhiqiang, Qin Zhen, Fan Genlian, Tan Zhanqiu, Zhang Di. – Publ. date 14.10.2015. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/CN103789564B/en?q=aluminium+pouder+&language=ENGLISH>

**Металлургическая обработка алюмоматричных композиций
для получения порошковых материалов с высоким
содержанием алюмооксидных фаз**

Студент гр. 10405319 Руленков А.Д.
Научный руководитель – Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Порошковые материалы широко применяются для получения многофункциональных (термобарьерных, защитных) покрытий методами газотермического напыления, обеспечивающих повышенную износостойкость, термостойкость, коррозионную стойкость, электро- и теплоизоляцию, восстановление поверхности изношенных деталей. Как правило, используются керамические порошковые материалы, преимущественно, на основе оксидов алюминия (Al_2O_3), циркония (ZrO_2), иттрия (Y_2O_3), магния (MgO), кальция (CaO) и др. Непрерывное развитие способов получения покрытий и разработка новых материалов и оборудования для их распыления привели к широкому использованию газотермических технологий во многих, в том числе, стратегически важных отраслях: автомобилестроение, авиастроение, энергетика, транспортное машиностроение, нефтегазовая промышленность, биомедицина, электроника, строительство и др.

Структура и свойства защитных покрытий определяются, прежде всего, параметрами технологического процесса, применяемого технического оборудования, составом и свойствами исходных материалов для напыления. В качестве исходного сырья для формирования керамических покрытий наиболее предпочтительными являются порошковые материалы, поскольку изготовление стержневых и проволочных керамических материалов сопряжено с технологическими сложностями и требует дополнительных затрат. Оптимальным является использование порошковых материалов микрометрового размера в диапазоне от 30 до 90 мкм.

Нанесение керамических порошковых покрытий преимущественно осуществляют методами газоплазменного напыления (APS-процесс), но также может использоваться технология высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF-процесс).

Актуальной проблемой является применение наноразмерных и субмикронных порошковых материалов газотермического напыления при получении наноструктурированных покрытий, поскольку частицы с нано- и субмикронными размерами в исходном состоянии не могут непосредственно переноситься от устройства подачи порошка к распылительному соплу. Получение наноструктурированных керамических покрытий на основе оксида алюминия может быть реализовано при использовании в качестве исходных компонентов порошков микрометрового размера, состоящих из агломерированных наноразмерных частиц (до 100 нм), либо жидких суспензий с частицами субмикрометрового или нанометрового размера (стабильный золь с наноразмерными частицами).

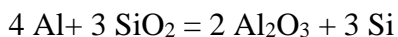
Типичными представителями керамических газотермических покрытий являются покрытия на основе Al_2O_3 . Независимо от исходного состояния порошка оксида алюминия, эти покрытия могут включать не только термодинамически стабильную фазу $\alpha-Al_2O_3$, но и различные переходные модификации Al_2O_3 , включая фазу $\gamma-Al_2O_3$, что приводит к снижению механических и эксплуатационных свойств покрытия по сравнению со свойствами спеченного корунда ($\alpha-Al_2O_3$).

Высокотемпературная термическая обработка (ВТО) керамического покрытия на основе оксида алюминия, полученного методами газотермического напыления, при температуре свыше $1200^\circ C$ обеспечивает возможность структурно-фазового превращения переходных мо-

дификаций Al_2O_3 в стабильную $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазу. Использование модифицирующих добавок (молибдена, бора) интенсифицирует этот процесс. Однако применение ВТО не может быть реализовано для большинства изделий из металлов и сплавов.

Фазовый переход $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ может быть предотвращен при использовании модифицирующих добавок (в том числе оксида хрома Cr_2O_3) непосредственно в процессе распыления. Однако примесные добавки оксидов приводят к снижению свойств покрытий по сравнению со спеченным корундом, при этом процесс стабилизации $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ обеспечивается только при использовании плазмы, стабилизированной водой (WSP-процесс). В связи с этим лазерная обработка поверхности керамического газотермического покрытия представляется эффективным способом повышения его свойств.

Перспективными исходными компонентами для получения порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз являются продукты реакции кварцевых порошковых материалов (кремнезема) с алюминием. Технологические схемы реализации процесса синтеза кварцевых порошков с алюминием реализованы в металлургическом цикле температурно-временной обработки алюмоматричных кварцсодержащих композиций в жидко-твердофазном и жидком состояниях металлической основы на основе химической реакции взаимодействия алюминия с оксидом кремния:



В качестве сырья для получения порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз в металлургическом цикле ТВО алюмоматричных кварцсодержащих композиций могут использоваться такие кварцсодержащие материалы, как формовочные пески (ГОСТ 2138-91). Указанные пески являются доступным и недорогим материалом, широко применяемым в литейном производстве.

Использование вторичных материальных ресурсов в металлургии и машиностроении

Студенты гр.10405317 Герасикова А.А, Микишко Е.В.
Научный руководитель – Трусова И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Использование вторичных материальных и энергетических ресурсов является актуальной задачей как для условий мировой металлургической и машиностроительной промышленности, так и для Республики Беларусь вследствие отсутствия собственных ресурсов.

По мнению автора работы [1] использование отходов в качестве вторичных ресурсов составляет в среднем около одной трети от общего их объема, так как в хозяйственный оборот вовлекаются только высоколиквидные и рентабельные отходы. Основными факторами такого низкого уровня использования отходов в качестве вторичных материальных ресурсов являются: несовершенство нормативной правовой базы в сфере обращения с отходами; отсутствие экономических стимулов для сбора и переработки значительной массы отходов; недостатки сформировавшейся практики сбора и переработки твердых бытовых отходов, которая не предусматривает селективный сбор содержащихся в них полезных компонентов, пригодных для повторного использования; недостаточное участие малого и среднего бизнеса в сфере деятельности по сбору и переработке вторичных ресурсов и др. Например, в Европе уже сегодня используются 50-70 % отходов, а в перспективе планируется полное прекращение их полигонного захоронения.

Ежегодный объем образующихся отходов в Беларуси составляет около 3,0 млн. т, причем этот объем ежегодно увеличивается практически на 20%.

Среди отходов для последующей переработки можно выделить следующие основные категории:

- окалина, которая является продуктом высокотемпературного окисления металла и представляет собой чешуйчатые частицы различной толщины и размера, состоящие из оксидов железа;

- стружка черных металлов (стальная и чугунная), образующаяся на машиностроительных предприятиях;

- лом черных металлов.

В работе рассмотрены основные направления использования железоуглеродистых отходов на примере использования стружки. Показано, что рециклинг дисперсных металлоотходов без предварительного брикетирования или окускования представляется более простым с технологической точки зрения и не требует значительных капиталовложений. В частности, исследования в этом направлении привели к созданию альтернативных технологий, таких как Redsmelt, Hismelt, Ромелт и других. Следует отметить, что указанные технологии в настоящее время находятся в стадии промышленного освоения и дальнейшего совершенствования процессов.

Для условий металлургических и машиностроительных предприятий Беларуси использование вторичных материальных ресурсов требует предварительной подготовки. Например, в дуговых сталеплавильных печах и вагранках использование стружки (в том числе пакетированной) приводит к достаточно большому угару. В этом случае необходимо использование холодного или горячего брикетирования. Вместе с тем, применение стружки черных металлов россыпью, а также в виде брикетов возможно в индукционных печах, что является наиболее перспективным направлением [2]. Это обусловлено также тем, что ряд машиностроительных предприятий уже имеют индукционные печи для выплавки чугуна и стали, другие предприятия предусматривают закупку и установку таких печей. Исследования переплава отходов в

виде чугунной стружки [2] показали, что эффективность переплава стружки в виде холодно-прессованных брикетов ниже, чем при переплаве стружки в насыпном виде (по энергозатратам, угару шихты и времени плавки). Необходимо отметить, что переплав стружки эффективен в индукционных печах промышленной частоты, так как в этом случае возникают гидродинамические потоки, дающие возможность вовлекать в расплав легковесную шихту в виде стружки.

Рассмотрены также пути использования стружки черных металлов в ротационных наклоняющихся печах. При этом, как указано в работе [3], такие печи имеют высокую эффективность и позволяют осуществлять нагрев стружки без потерь на угар до температур 800-850 °С и перейти к одностадийному прессованию при брикетировании. В этом случае весь процесс сводится к сбору, при необходимости – дроблению, высокотемпературному нагреву в РНП и прессованию горячей стружки. Преимущества РНП по утверждению авторов работы [3] состоят в том, что они дают возможность быстро и качественно нагревать любую неподготовленную (за исключением витой стружки), загрязненную, замасленную (без ограничений) стружку при минимальных затратах топлива до максимальных температур. перерабатывать в печи различную по составу стружку, например, стальную, чугунную, легированную и т. п.

Список использованных источников

1. Пути повышения эффективности использования вторичных ресурсов в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа core.ac.uk > download > pdf. – Дата доступа – 03.05.2021.
2. Волков, А.Д. Исследование и оптимизация технологии переплава чугунной стружки в индукционных печах / А.Д. Волков [и др.] // Литье и металлургия. – 2007. - №2. – С.124-128.
3. Ровин, С.Л. Переработка стружки черных металлов / С.Л. Ровин [и др.] // Литье и металлургия. – 2017. – №2. – С.94-101.

Студенты гр.10405418 Бичун Е.С., Данилова А.И.
Научный руководитель – Трусова И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время вопросы энергосбережения в металлургическом и литейном производстве являются главными для обеспечения высокой эффективности тепловой работы агрегатов при производстве черных сплавов. Одним из основных и распространенных агрегатов для получения черных сплавов является дуговая электропечь или дуговая сталеплавильная печь (ДСП).

Для снижения энергопотребления в ДСП (как металлургического, так и литейного класса) предусматривают использование альтернативных источников энергии. При этом в зависимости от емкости и производительности печи, технологии производства на конкретных предприятиях используют различные методы интенсификации процесса выплавки.

Для высокомошных печей, функционирующих на предприятиях с полным металлургическим циклом и на металлургических мини-предприятиях, мероприятия включают:

- использование жидкого чугуна в завалке ДСП. Это позволяет снизить удельный расход электроэнергии в зависимости от доли жидкого чугуна. Например, применение жидкого чугуна позволяет сократить расход электроэнергии примерно на 5 кВт·ч/т при добавлении 1 % жидкого чугуна к шихте [1]. Следует отметить, что этот способ используется на предприятиях с полным металлургическим циклом;

- применение донного (экреного) выпуска стали. Донный выпуск помимо отсечки шлака обеспечивает сокращение длительности плавки на 4-5 мин, наличие в печи части жидкого металла и шлака от предыдущей плавки, уменьшение нагрева металла на 25-30 °С, снижение расхода электродов на 6 % и электроэнергии на 20-30 кВт·ч/т, повышение качества стали, упрощение конструкции печи, повышение безопасности и удобства обслуживания выпускного отверстия;

- использование «жидкого старта». Этот прием позволяет в течение 1-2 мин выйти на предельную мощность печи; оставшийся шлак способствует ускорению наведения шлака последующей плавки и устойчивому горению дуг, обеспечивает возможность интенсивного вдувания кислорода с самого начала плавки;

- использование водоохлаждаемых элементов печи. С одной стороны, это приводит к увеличению расхода электроэнергии (на 10-20 кВт·ч/т), но при этом снижается расход огнеупоров (в 10-15 раз), на 10-15 % уменьшается расход электродов, повышается ремонтоспособность печей и в результате увеличивается их производительность;

- вспенивание шлака. Например, если дуга наполовину своей длины или полностью погружена в шлак, то степень передачи ее энергии ванне увеличивается и составляет от 50 до 100 %. Кроме того, когда дуги погружены в шлак, значительно уменьшаются колебания силы тока и напряжения, что позволяет уменьшить подводимую мощность и длину дуг;

- использование топливно-кислородных горелок. Это позволяет экономить электроэнергию и увеличить производительность печи. Топливом для горелок служат природный газ, реже используется угольный порошок. Горелки устанавливаются в стенах, своде, в заслонках рабочего окна, на манипуляторе, в нижней части шахтных дуговых печей. Их число может достигать 9. дополнительная энергия от топливно-кислородных горелок составляет 30-50 кВт·ч/т в крупных печах и 90-120 кВт·ч/т в малых дуговых печах;

- дожигание технологических газов. Для дожигания технологических газов требуется дополнительный расход кислорода в количестве 10-15 м³/т при соответствующем увеличении расхода углеродосодержащего порошка.

Для печей литейного класса следует выделить такое направление, как предварительный подогрев лома. При этом используют загрузочные бадьи, которые могут быть стандартными (температура нагрева лома до 400°С) и специальными (при температуре нагрева выше 400°С, но не выше 700-800°С, так как в противном случае увеличивается окисление металла) Основное преимущество подогрева лома – снижение расхода электроэнергии при выплавке одной тонны стали. Это направление, по мнению авторов [2,3] является малозатратным и универсальным, не требующим изменений в технологии и организации производства. Например, удельный расход электроэнергии при плавке в ДСП-6 на подогретой шихте составил 650-670 кВт·ч/т в зависимости от ее состава. При работе на холодной шихте среднестатистический расход составляет 730-740 кВт·ч/т.

Список использованных источников

1. Белковский, А.Г. Современное состояние и тенденции развития технологии производства стали в ДСП и их конструкций / А.Г. Белковский, Я.Л. Кац, М.В. Краснянский // Бюл.: Черная металлургия. – 2013. – №3. – С.72-88.
2. Ровин, С.Л. Установки подогрева шихты для электроплавки / С.Л.Ровин, Л.Е. Ровин // Литье и металлургия. – 2006. – №2. – С.171-172.
3. Ровин, С.Л. Высокотемпературный подогрев шихты в загрузочных бадах / С.Л.Ровин, Л.Е. Ровин // Вестник ГГТУ им.П.О.Сухого. – 2014. - №1. – С.29-38.

Технологии плавки латуни в электрических печах для условий центробежного литья

Студент гр. 10405418 Шкляр В.В.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Центробежное литье – это специальная технология, которая использует центробежные силы для формирования отливок при свободной заливке расплава металла во вращающиеся изложницы.

Поскольку при таком способе формирования отливок на металл или сплав, являющимся исходным сырьем, воздействуют центробежные силы, то готовые изделия приобретают повышенную плотность и улучшенные механические характеристики.

Для плавки латуни преимущественно используются индукционные и каналные печи.

Индукционная тигельная печь (ИТП), которую иначе называют индукционной печью без сердечника, представляет собой плавильный тигель, обычно цилиндрической формы, выполненный из огнеупорного материала и помещенный в полость индуктора, подключенного к источнику переменного тока. Металлическая шихта загружается в тигель, и, поглощая электромагнитную энергию, плавится.

Достоинства тигельных плавильных печей:

1. Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов;

2. Интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты, отходов, выравнивание температуры по объёму ванны и отсутствие местных перегревов, гарантирующая получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу;

3. Принципиальная возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной или нейтральной) при любом давлении;

4. Высокая производительность, достигаемая благодаря высоким значениям удельной мощности, особенно на средних частотах;

5. Возможность полного слива металла из тигля и относительно малая масса футеровки печи, что создаёт условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению тепла, аккумулируемого футеровкой. Печи этого типа удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность быстрого перехода с одной марки сплава на другую;

6. Простота и удобство обслуживания печи, управления и регулировки процесса плавки, широкие возможности для механизации и автоматизации процесса;

7. Высокая гигиеничность процесса плавки и малое загрязнение воздуха.

К недостаткам тигельных печей относятся относительно низкая температура шлаков, наводимых на зеркало расплава с целью его технологической обработки. Шлак в ИТП разогревается от металла, поэтому его температура всегда ниже, а также сравнительно низкая стойкость футеровки при высоких температурах расплава и наличие теплосмен (резких колебаний температуры футеровки при полном сливе металла). Однако преимущества ИТП перед другими плавильными агрегатами значительны, и они нашли широкое применение в самых разных отраслях промышленности.

Индукционные каналные печи работают по типу миксера и предназначаются для выравнивания состава, поддержки постоянной температуры процесса, и выбора скорости разлива в кристаллизаторы или формы. Для каждого сплава и состава литья существуют параметры специальной шихты.

Достоинства:

1. Подогревание сплава происходит в нижней части, к которой нет воздушного доступа, что уменьшает испарение с верхней поверхности, нагретой до минимальной температуры;
2. Канальные печи относят к экономичным индукционным печам, так как происходящее расплавление обеспечивается маленьким расходом электрической энергии;
3. Печь имеет высокий коэффициент полезного действия благодаря применению в работе замкнутого контура магнитного провода;
4. Постоянная циркуляция в печи расплавленного металла вызывает ускорение плавильного процесса и способствует однородности перемешивания компонентов сплава.

Недостатки:

1. Стойкость каменной внутренней футеровки снижается при использовании высоких температур;
2. Футеровка разрушается при плавлении химически агрессивных сплавов из бронзы, олова и свинца.
3. При плавлении загрязненной низкосортной шихты происходит засорение каналов;
4. Поверхностный шлак на ванне не нагревается до высокой температуры, что не позволяет проводить операции в промежутке между металлом и укрытием и расплавлять стружку и скрап;
5. Канальные агрегаты плохо переносят перерывы в работе, что заставляет постоянно хранить в печи значительное количество жидкого сплава.

Таким образом мы можем увидеть, что для тигельной печи энергозатраты являются более высокими, однако принцип работы канальной печи подразумевает беспереывную работу.

Из вышестоящих сравнений можно сделать вывод, что весомых достоинств или недостатков по сравнению друг с другом у этих печей нет. Каждая печь вполне продуктивна и сбалансирована, однако нужно учитывать объем производства и количество рабочих часов. Тигельную печь рационально использовать для мелкосерийного производства, для работы с перерывами и возможностью изменения состава металла. Канальная печь в свою очередь хорошо себя показывает при крупносерийном непрерывном производстве. Постоянная потребность печи быть включенной компенсируется более малыми энергозатратами.

Одним из недостатков индукционных печей является более низкий электрический КПД при низких температурах для сплавов, имеющих низкие значения удельного сопротивления. При плавке меди удельное сопротивление садки увеличивается по мере нагрева и плавления согласно зависимости, приведенной на рисунке 1 [1].

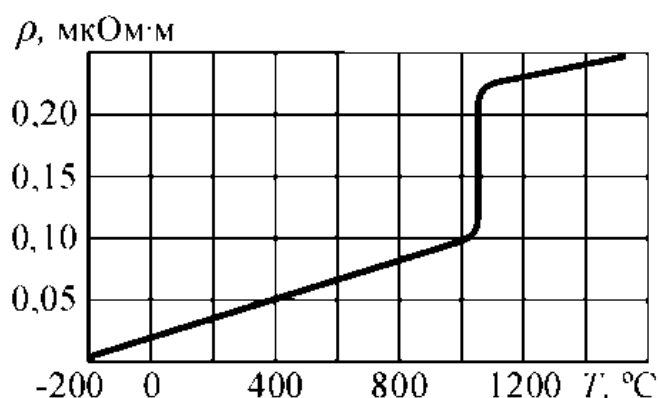


Рисунок 1 – Зависимость удельного сопротивления меди от температуры

В свою очередь на рисунке 2 приведена зависимость электрического КПД печи от удельного электрического сопротивления меди.



Рисунок 2 – Зависимость электрического КПД индукционной тигельной печи от удельного электрического сопротивления меди

Представленные зависимости свидетельствуют о том, что эффективность индукционного нагрева меди в области низких температур низка и использование газового нагрева на этом этапе наиболее целесообразно. Так как сама печь менее приспособлена для непосредственного использования газа, то высокоэффективный подогрев металла можно осуществлять в отдельных установках.

Компания OTTO JUNKER предлагает, например, оборудование предварительного разогрева лома и катодов конвейерного типа [2].

Кроме увеличения производительности печей предварительный подогрев металла при использовании газа, позволяет снизить удельный расход электрической энергии за счет использования большей доли от времени плавки с более высокими значениями электрического и общего КПД. При этом при увеличении производительности при стойкости кварцевой футеровки около 90-130 плавов при плавке бронзы и латуни удельный расход огнеупоров сократится пропорционально увеличению производительности.

Ключевое преимущество канальных печей, в частности, состоит в значительной экономии энергии (почти 100 кВт·ч/т по сравнению с тигельными печами) в случае плавки чистой меди [2]. С другой стороны, интенсивное и контролируемое движение ванны в тигельных печах более практично для расплавления стружки и легирования, а также для металлургической переработки (такой как окислительная плавка).

Список использованных источников

1. Температурная зависимость удельного сопротивления металлических проводников [Электронный ресурс]. – URL: <https://theslide.ru/uncategorized/temperaturnaya-zavisimost-udel'nogo-soprotivleniya-metallicheskih-provodnikov> (дата обращения: 17.02.2021)
2. Донсбах Ф., Шмитц У., Беббер Х., Трауцеддель Д. Использование индукционных печей для плавки и разлива материалов на основе меди. Компания «OTTO JUNKER GmbH» 2009 г. – URL: <https://ruslitmash.com/equipment/melting-equipment/otto-junker/> (дата обращения: 18.02.2021)

Студент гр. 10405418 Пинчук Р.В., гр. 10405119 Хорольский П.Д.,
гр. 10405117 Далецкий А.Р.
Научный руководитель – Корнеев С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При плавке количество газов на 1 т стали в среднем составляет 135-335 м³/ч [1]. Содержание пыли в «первичных» (неразбавленных воздухом) газах находится на уровне 5-10 г/м³ при плавлении и 20-50 г/м³ в окислительный период. В итоге количество выделяемой пыли изменяется в достаточно широких пределах – от 6 до 25 кг/т стали. Следует отметить, что плавильная пыль является опасным токсичным веществом вследствие предельно малого размера частиц (менее 1 мкм) и химического состава, в основе которого соединения многих тяжелых металлов.

Выбросы пыли в своей основе появляются из-за загрязнённой шихты и плохо очищенного стального лома, получаемого при утилизации различных транспортных средств, бытовой техники, оцинкованной метизной продукции и листового проката, а также труб водоснабжения. При нагревании таких веществ как поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен, а также резины могут выделяться особо вредные хлористые соединения, аммиак, формальдегиды.

Тяжелые металлы такие как цинк и свинец имеют температуру плавления ниже чем у стали что заставляет их интенсивно испаряться, окисляться, осаждаясь в виде пыли которая удаляется системами газоочистки.

Одной из основных проблем, с которой сталкиваются во всем мире при эксплуатации сталеплавильных агрегатов, является утилизация пыли, образующейся в электродуговых печах, при работе которых 1-2 % шихты превращается в пыль. Химический состав пыли зависит от типа лома, используемого для выплавки, стали, технологии плавки и способа удаления газа из печи и цеха. Поэтому и окислы, содержащихся в электродуговой пыли, по химическому составу различны, это могут быть окислы цинка, железа, никеля, хрома и др.

Системы газоочистки улавливают 70-90 % массы выбросов плавильной пыли, которая в свою очередь может подвергаться рециклингу в окомкованном виде или использоваться в качестве вторичного сырья.

Цинк и свинец являются ценными материалами поэтому их переработка из пыли может позволить окупить установку высокоэффективного пылеулавливающего устройства.

Ежегодно предприятия черной металлургии отправляют в отвалы пыли с повышенным содержанием цинка, в количестве 5-10% от массы выпущенного товарного металла. Ежегодный суммарный мировой прирост цинксодержащей пыли оценивается в 10-15 млн. тонн. Содержание цинка в такой пыли колеблется в широком диапазоне: от 2 до 20%, так же существуют отдельные техногенные месторождения с содержанием по цинку около 30%. Среднее же содержание по цинку оценивается в 8-10%.

Повысить качество переработки пыли можно многократным использованием пыли для повышения в ней концентрации цинка. Так на некоторых заводах Европы используют технологию, при которой технологические газы проходят через систему газоочистки с рукавными фильтрами, пыль собирается в специальном бункере и используется вновь: вскоре после расплавления лома ее вдувают в зону раздела металл-шлак. Для улучшения процесса пневмотранспорта используют смесь пыли и угля. Практически весь цинк, содержащийся во вдуваемых отходах, испаряется и переходит в образующуюся пыль. Таким способом удается повысить концентрацию цинка в отходах почти в 1,5 раза.

На ряде предприятий используют метод вельцевания пыли. В ходе процесса вельцевания пыль спекают, образуя гранулы, которые восстанавливают с помощью угля или кокса, впоследствии возгонки пары цинка конденсируют и улавливают специальными фильтрами.

Так же могут использовать метод гидрометаллургии. По одному из вариантов технология включает в себя выщелачивание цинка, свинца, меди, кадмия и кальция раствором кислоты с образованием соответствующих растворимых комплексов металлов и последующее сульфидное осаждение тяжелых металлов сероводородом H_2S . Переработка цинксодержащей пыли методами гидрометаллургии реализована на некоторых заводах Италии и США.

Так же, на одном из итальянских заводов для переработки отходов, образующихся при выплавке нержавеющей марки стали, установили переплавную плазменную печь постоянного тока, которая ежегодно перерабатывает около 20 тыс. т отходов. Получают сплав (в зависимости от состава отходов), содержащий, %: Cr 8-6; Ni 2-8; Mn 2-4; C 3-5. Состав шлака при переплаве, %: CaO 40-45; SiO_2 25-30; Cr_2O_3 около 2. Улавливаемая в процессе переплава плавильная пыль содержит более 50 % ZnO и около 6 % PbO [2].

Японский исследовательский центр металлов разработал процесс для дуговой печи без пылевыведения, который позволяет напрямую перерабатывать высокотемпературные отходящие газы. Отходящие газы из дуговой печи поступают в углеродсодержащий фильтр, где из газов извлекается железо. Цинк и свинец которые присутствуют в газе в виде пара, проходят через фильтр и удаляются в конденсаторе для тяжелых металлов в виде металлического цинка и свинца.

Одним из примеров утилизации пыли является метод брикетирования с помощью добавки связующего вещества или без, путём прессования в брикеты нужной формы.

В качестве связующего вещества могут использовать: жидкое стекло, известь, науглероживатель и др.

В Японии разработан процесс, названный VHR-процесс [2].

Процесс проводят в несколько этапов:

1) сухую пыль выдерживают при температуре 500-900 °C в течение 3 мин в вакууме при давлении 133 Па (1мм рт. ст.); на этом этапе из отходов удаляются натрий, калий, свинец и его соединения (PbO , $PbCl_2$, PbF_2);

2) ведут восстановление цинка; в качестве восстановителя выступают Fe и FeO;

3) испарившийся восстановленный цинк конденсируют в конденсаторе при температуре, превышающей температуру кипения цинка (при том же низком давлении);

4) оставшийся после удаления из пыли цинка железистый продукт брикетируют и используют в составе металлошхты при выплавке стали. Степень удаления цинка из отходов при такой технологии приближается к 100%.

Однако технологии брикетирования имеют недостатки такие как:

1) Дороговизна связующего вещества, а также увеличение количества шлака при последующей плавке;

2) Брикеты не обладают достаточными магнитными свойствами для того чтобы их можно было загрузить магнитными кранами;

3) Необходимость инвестиций и территории для создания линии производства брикетов.

Например, рециклинг конвертерных газов и пыли по схеме VOEST-ALPINE заключается в отборе грубой и тонкой пыли на различных участках системы газоочистки и подаче ее в роторную печь для обжига с последующим брикетированием при использовании валкового пресса и возврата в конвертер.

Для внедрения технологий по утилизации пыли требуется финансирование в исследовании вопроса связующего вещества для брикетов, а также большая заинтересованность предприятий этим вопросом т.к. в перспективе это может не только окупить затраты на построение линий утилизации, но и начать приносить прибыль и что немаловажно позволит сделать металлургическую промышленность гораздо более экологичной.

Внедрение систем предварительного нагрева шихты и лома, а также дополнительная подготовка шихтовых материалов к плавке в электродуговой печи позволяют уменьшить количество выбросов в виде газа и пыли, а также в целом повышают качество продукции.

Список использованных источников

1. Грищенко Е.А., Горбунова Л.Н., Кугузова В.П. Промышленная экология: учебное пособие. Красноярск: ИПЦ. КГТУ, 2007. – 743 с.
2. Утилизация – переработка сталеплавильной пыли // Электронный ресурс URL: http://emchezgia.ru/ekologiya/15_pererabotka_staleplavilnoi_pyli.php

Направления исследований в производстве поршневых алюминиевых сплавов

Студенты: гр. 10405418 Давыденко Н.А., гр. 10405119 Федорович Д.С.
Научный руководитель – Корнеев С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В высокофорсированных дизельных двигателях с турбонаддувом используют поршни из эвтектического силумина, легированного медью, магнием и никелем (АК12М2МгН).

К основной проблеме при литье под давлением я бы отнес неподатливость металлической формы, что способствует появлению напряжений в отливках при охлаждении; поэтому сплавы для литья под давлением должны иметь узкий интервал кристаллизации, высокую жидкотекучесть и достаточную прочность и пластичность.

Одним из наиболее широко используемых и эффективных является флюсовое рафинирование. При этом имеются универсальные препараты и флюсы, при обработке которыми совмещают несколько операций (покровную защиту, рафинирование и модифицирование). В составы флюсов и препаратов входят фториды и хлориды, поэтому общим их недостатком является токсичность веществ, выделяющихся в результате обработки расплавов. Ряд исследований посвящен созданию рафинирующей смеси с модифицирующим эффектом на основе карбонатов. В качестве основного компонента в составе смеси используют карбонат кальция. При разложении карбонатов возникают пузырьки CO_2 которые обеспечивают дополнительную рафинирующую обработку.

Другим направлением исследований является повышение эффективности обработки расплава инертным газом. Известно, что для получения заметного эффекта требуется значительное время обработки (15-20 мин), что связано с образованием больших по объему и быстро всплывающих пузырей рабочего газа, используемого неэффективно. При этом значительные объемы расплава остаются вне зоны обработки. Использование вращающегося импеллера для введения рабочего газа в расплав позволяет по сравнению со стационарной продувкой раздробить струю газа на пузырьки меньшего размера и распределить их более равномерно по объему расплава. Обработка в течение 10 мин расплава, имеющего изначально 4-й балл пористости по шкале ВИАМ, позволяет гарантированно снизить пористость до 1-го балла без применения флюсов [1].

Так же рассмотрим, подходы по повышению жаропрочности сплава АК12М2МгН при изготовлении поршней.

Поршень является ответственной деталью двигателя внутреннего сгорания. Жаропрочность наряду с жаростойкостью является одной из важнейших эксплуатационных характеристик, определяющих ресурс работы изделий из поршневых сплавов. Недостаточно высокие показатели жаропрочности и коррозионной стойкости служат причинами прогара поршней.

Повысить жаропрочность алюминиевых поршневых сплавов удастся путем легирования элементами, образующими тугоплавкие соединения, однако этот метод не всегда оказывается приемлемым с экономической, технологической или экологической точек зрения. В то же время накопление больших количеств возврата (бракованные детали, литники, стружка) поршневого сплава АК12М2МгН требует разработки эффективных способов его переработки. Технологии получения отливок, ориентированные на первичные сплавы, в данном случае не всегда эффективны в связи с повышенной загрязненностью отходов различными неметаллическими материалами и железом. Обладая низким коэффициентом диффузии в алюминии, железо и тугоплавкие фазы на его основе способны значительно повысить жаропрочность данных сплавов и выступить как полезный легирующий элемент. Исходя из этого, с целью повышения уровня механических свойств вторичных сплавов, при сохранении их повышенной жаропрочности, следует изменить форму интерметаллидных включений с пластинчатой на

компактную и уменьшить их размеры, что будет соответствовать принципам, заложенным в требованиях к микроструктуре поршневых сплавов [2]. Устранение вредного влияния загрязнений шихты в виде алюминиевой стружки при выплавке поршневого сплава АК12М2МгН рассмотрено, например, в работе [3].

Список использованных источников

1. Садоха М.А., Бачек А.К, Гутко В.К. Использование инертных газов при металлургической обработке алюминиевых сплавов // *Литье и металлургия.*– №2.– 2006.–С.148-150
2. Немененок Б.М., Калиниченко В.А., Садоха М.А., Гутко В.И. Повышение ресурса работы поршней двигателей внутреннего сгорания // *Литье и металлургия.*– №2. – 2005. – С.175-178
3. Митяев А.А., Волчок И.П., Лоза К.Н. Повышение качества переплава загрязненной алюминиевой стружки // *Литье и металлургия.* – №3.– 2009.– С.122-126

Машины и технология литейного производства

Сравнение различных способов предварительного подогрева металлошихты

Студент гр. 10404129 Тихончук Д.Г.
Научный руководитель – Ровин С.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Наиболее эффективным средством сокращения удельных затрат электроэнергии на плавку черных и цветных сплавов в традиционных дуговых и индукционных печах литейных цехов, повышения качества металла, улучшения экологических характеристик и безопасности процесса, повышения срока службы футеровки, снижения себестоимости жидкого металла является высокотемпературный подогрев металлошихты перед завалкой в печь [1]. Очевидно, что чем выше температура металлошихты, тем меньше затраты энергии в печи на ее нагрев и расплавление. Причем экономический эффект зависит не только от КПД установки подогрева шихты, но и от стоимости энергии, которая используется на подогрев, по сравнению со стоимостью электроэнергии.

Наиболее эффективным способом нагрева слоя кусковых материалов является его продувка горячими газами: так КПД нагрева таких материалов в шахтной печи достигает 70-80%, в то время как в стационарной отражательной печи он не превышает 7-12%, во вращающихся трубчатых и дуговых печах – 25-35%, в индукционных – 30-40% (в зависимости от размеров кусков и плотности их укладки).

В развитии техники предварительного подогрева шихты можно выделить следующие основные способы [2]:

- в загрузочных корзинах (бадьях);
- на конвейере, подающем шихту в плавильный агрегат;
- в печах проходного типа (например, во вращающихся трубчатых печах или наклонных печах);
- подогрев шихты в шахтах, установленных непосредственно над сводом печи или прилегающих к корпусу печи сбоку;
- нагрев шихты в самой печи (двухванные печи).

Нагрев шихты непосредственно в рабочем пространстве печи может быть осуществлен путем установки горелок в стенах, своде печи и введении их через рабочее окно. Однако такой способ обеспечивает КПД нагрева не более 10 %, т.к. высокотемпературные газы не могут проникнуть в слой шихты на глубину более 250-300 мм. Передача тепла нижележащим слоям осуществляется за счет теплопроводности и имеет существенно меньшую интенсивность.

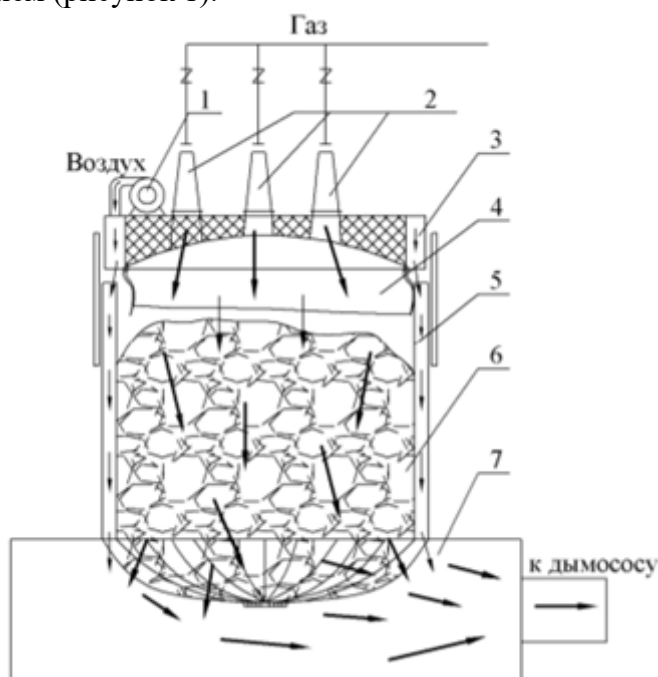
Подогрев шихты на пластинчатых конвейерах осуществляется за счёт движения над шихтой горячих печных газов, либо продуктов сжигания природного газа, в горелках, установленных над конвейером. В процессе подачи в печь может осуществляться и индукционный нагрев шихты: чаще всего такой способ нагрева осуществляется в наклонных печах. Недостатками подогрева шихты на конвейере являются низкий КПД (до 12-17%) и значительное окисление поверхности шихты.

Недостатками шахтных установок являются быстрый выход из строя футеровки печей от ударов шихты при загрузке и разгрузке, сложность конструкции загрузочных и разгрузочных устройств, низкая производительность подогрева за счет потерь времени на загрузку и разгрузку и потерь тепла печи при загрузке, невозможность использования установки без специальных механизмов загрузки и разгрузки, а также высокая стоимость таких установок [3].

Альтернативой, является подогрев шихты в завалочных бадьях. Этот способ может быть реализован как за счет тепла отходящих газов (работа таких установок должна быть синхронизирована с работой плавильных печей), так и за счет использования природного газа

(автономные установки подогрева шихты). Однако нагрев в завалочных бадьях имеет помимо очевидных плюсов – высокий КПД, компактность и небольшие инвестиционные затраты, ещё и существенный недостаток: нагрев шихты приводит к перегреву корпуса бадьи, что недопустимо, учитывая, что бадья является грузонесущим оборудованием.

Этот недостаток можно исключить путём оптимизации конструкции традиционных завалочных бадей – установки в бадью вставки, которая формирует воздушный зазор между шихтой и корпусом бадьи. Благодаря этой вставке тепловой поток вдоль стен корпуса бадьи блокируется, а воздушный зазор позволяет обеспечить хорошую теплоизоляцию. Кроме того, вставка является экраном, который дает многократное (в 4-5 раз) снижение передачи тепла к стенкам бадьи излучением (рисунок 1).



- 1 – продувочный вентилятор; 2 – горелки; 3 – коллектор обдува; 4 – огнестойкая завеса;
5 – вставка; 6 – нагреваемая шихта; 7 – корпус

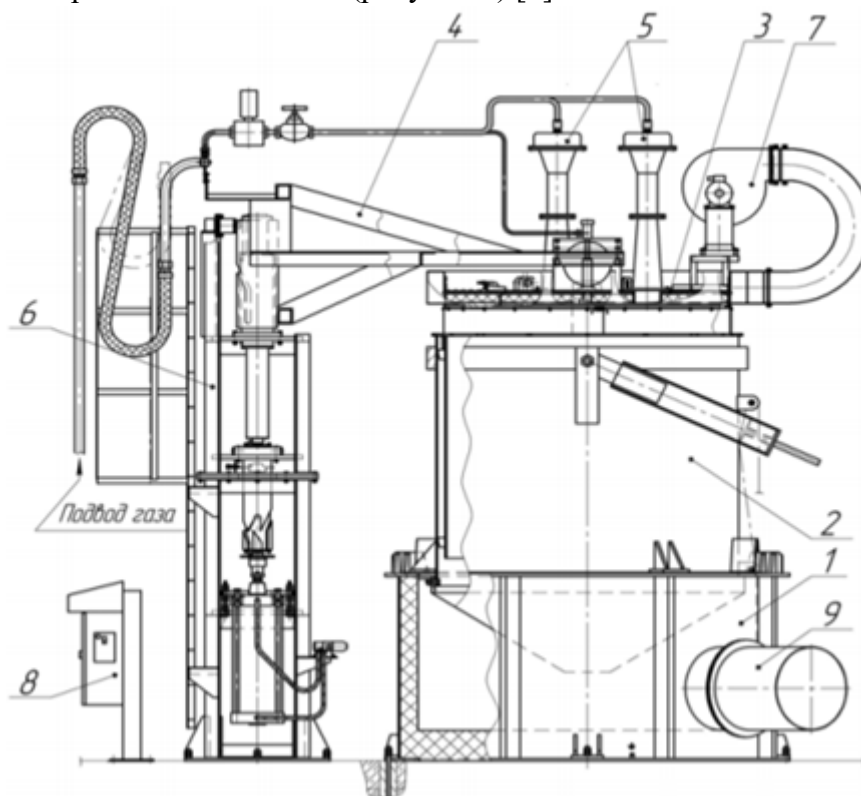
Рисунок 1 – Схема работы «бадьи-термоса»

Благодаря такой модернизации обычные завалочные бадьи фактически превращаются в «бадью-термос», конструкция которой, с одной стороны, препятствует перегреву несущего корпуса, с другой – после окончания процесса нагрева, препятствует быстрому охлаждению шихты.

В промышленной установке, использующей «бадью-термосы», достигнут термический КПД около 80 % в среднем за цикл нагрева. В начальный период КПД равен 90-95 % и по мере прогрева слоя шихты снижается до 60-70 % за счет уменьшения температурного напора. Это обстоятельство проявляется в постепенном росте температуры отходящих газов – от 50-60 °С – в начале процесса, до 300-350 °С – в конце [1].

По данным предприятий, внедривших эти установки, подогрев шихты обеспечивает сокращение удельных затрат электроэнергии на 150-160 кВт·ч на тонну расплава при расходе природного газа 13-14 м³ на тонну шихты или снижение стоимости жидкого металла на 10\$ за 1 т. При годовом производстве отливок 10000 т и выходе годного на уровне 55-60%, экономия на энергозатратах составляет около 150 тыс.\$, что примерно в 5 раз превышает стоимость такой установки подогрева шихты.

Такие преимущества, как компактность, высокий КПД, простота обслуживания и низкая стоимость установок высокотемпературного подогрева металлошихты в завалочных бадах специальной конструкции, делает эти установки одним из лучших решений задачи предварительного подогрева металлошихты (рисунок 2) [4].



1 – схема сжигания газа; 2 – свод; 3 – загрузочная бадья (корзина); 4 – основание; 5 – траверса
6 – футерованные стенки; 7 – система газотвода
Рисунок 2 – Схема установки ВПШ с «бадьей-термосом»

Список использованных источников

1. Высокотемпературный подогрев шихты в загрузочных бадах / Л.Е. Ровин, С.Л. Ровин // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2014. – № 1. – С.29–38.
2. Предварительный подогрев шихты. Установки, преимущества плавки на горячей шихте, на подогретой шихте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9540818/page:12/> Дата доступа: 16.04.2021
3. Установка для подогрева шихты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/SU1117440A1> Режим доступа: 16.04.2021.
4. Ресурсосберегающие технологии в литейном и металлургическом производствах Ровин С. Л., Ровин Л. Е. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://belisa.org.by/pdf/Publ/R12.pdf> Дата доступа: 16.04.2021

Студент гр. 10404117 Рамашка И.М.
Научный руководитель – Иванов И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Шероховатость поверхности – это совокупность микронеровностей на поверхностях изделий. шаг неровности, принимаемый в качестве шероховатости, должен быть очень мал, относительно базовой длины всей поверхности.

Способ определения шероховатости поверхности, заключающийся в физическом воздействии на поверхность облучением, измерении контролируемого параметра и определении на его основании степени шероховатости, отличающийся тем, что предварительно на поверхность наносят слой материала таким образом, чтобы не происходило образование диффузионного слоя с материалом поверхности, облучение осуществляют потоком протонов или дейтронов, в качестве контролируемого параметра регистрируют поток обратно рассеянных протонов или дейтронов, на основании которого определяют толщину слоя переменного состава из материала нанесенного слоя и материала поверхности, соответствующую степени шероховатости.

Примером является способ определения шероховатости поверхности (авторское свидетельство СССР 1816963), заключающийся в том, что контролируемую поверхность подвергают физическому воздействию - облучению потоком ускоренных ионов, измеряют контролируемый параметр - коэффициент ионно-электронной эмиссии и сравнивают его с эталонной величиной этого параметра - коэффициентом ионно-электронной эмиссии для гладкой поверхности, изготовленной из того же материала. Недостатком способа является необходимость изготовления эталонных образцов шероховатости поверхности из материала, идентичного материалу контролируемой поверхности, и проведения калибровочных измерений, что усложняет способ. Кроме того, сравнение результатов несколько снижает точность измерения.

Принято выделять три вида шероховатости объекта:

– Исходная шероховатость – возникающая в результате технологической обработки изделия различными абразивами.

– Эксплуатационная шероховатость – это приобретаемая в процессе эксплуатации шероховатость в результате износа и рабочего трения.

– Равновесная шероховатость – это вид эксплуатационной шероховатости, который можно воспроизвести в стационарных условиях трения.

Параметры шероховатости определены в ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения». Согласно этому документу, выделяют такие показатели шероховатости, как:

- R_a – это среднее арифметическое значение отклонения профиля;
- R_z – это высота неровностей профиля, снятая в 10 точках;
- S – это средний шаг местных выступов профиля;
- S_m – это среднее арифметическое значение шага неровности;
- R_{max} – это максимальная высота профиля;
- t_p – это относительная длина профиля (опорная);
- r – это уровень сечения профиля.

Оценка шероховатости может производиться двумя способами: либо поэлементно, путем сравнения отдельных параметров, либо в комплексе, используя сравнительный анализ исследуемого образца с эталоном.

Наиболее точным, на данный момент, является поэлементный способ, который может быть осуществлен различными методами определения шероховатости:

1) Щуповой метод измерения шероховатости поверхности – это контактный метод, измерения при котором производятся при помощи профилометра. Профилометр представляет собой чувствительный датчик, оборудованный тонкой, остро заточенной алмазной иглой, с так называемой, ощупывающей головкой.

Алмазная игла прижимается и перемещается параллельно исследуемой поверхности. В местах возникновения микронеровностей (выступов и впадин), возникают механические колебания измерительной головки иглы. Эти колебания передаются в датчик, преобразующий механическую энергию колебания в электрический сигнал, который усиливается преобразователем и измеряется. Записанные параметры этого сигнала в точности повторяют неровности на шероховатой поверхности детали.

Профилометры, по признаку типа преобразователя сигналов, разделяют на пьезоэлектрические, электронные, индукционные и индуктивные. Наиболее распространены приборы, использующие индуктивные преобразователи.

В качестве примера профилометра можно привести приборы моделей «СЕЙТРОНИК-ПШ8» (модели СЕЙТРОНИК-ПШ8-1, СЕЙТРОНИК-ПШ8-2, СЕЙТРОНИК-ПШ8-3 и СЕЙТРОНИК-ПШ8-4) а также старый-добрый «профилометр модели 130».

Помимо профилометров существуют также профилографы, которые позволяют не просто измерить, но и записать параметры шероховатого профиля в заранее выбранном масштабе.

Исследование поверхностей щуповым методом производится в несколько этапов: так, сначала профиль исследуемого объекта «ощупывается» несколько раз, а только затем, на основании серии измерений вычисляется усредненное значение параметра, характеризующегося как количественное выражение неровности относительно длины участка.

2) Оптический метод – это бесконтактный метод измерения шероховатости, который состоит из целой группы методов. Самые распространенные из них:

- Метод светового свечения и теневого метод;
- Микроинтерференционный метод;
- Растровый метод.

Растровый метод включает следующую последовательность действий: на исследуемую поверхность кладется стеклянная пластинка, с нанесенной на неё растровой сеткой (т.е. системой равноудаленных параллельных линий), с маленьким шагом. Затем, на пластинку подаются световые лучи под наклоном. При падении световых лучей под наклоном в местах микроскопических неровностей, штрихи отраженной растровой сетки накладываются на штрихи реально нарисованной сетки, в результате чего возникают муаровые полосы, которые и свидетельствуют о наличии выступов или впадин на поверхности изучаемого объекта. При помощи растрового микроскопа и определяют параметры неровности. Точную методику определения параметров можно посмотреть в соответствующем ГОСТе. Отметим, что растровый метод применим для обследования поверхностей, следы неровностей на которых имеют преимущественно одинаковое направление (например, царапины в цилиндрах двигателей).

Метод светового и теневого свечения – это наиболее часто применяемые методы измерения параметров неровностей. Метод светового свечения сводится к тому, что: световой поток от источника света, проходя сквозь узкую щель, превращается в тонкий, узкий пучок. Затем, при помощи объектива, он направляется на исследуемую поверхность под определенным углом. Отражаясь, луч опять проходит через объектив и формирует изображение щели в окуляре. При этом, абсолютно ровная поверхность будет иметь идеально прямой световой пучок (линия), а шероховатая поверхность – искривленный.

Теневой метод – это усовершенствованный и продолженный метод светового свечения. Состоит он в том, что: недалеко от изучаемой поверхности приспособляется линейка со скошенным ребром. Пучок света преодолевает тоже самое расстояние, однако, будто ножом, срезается ребром линейки. При этом, на измеряемой поверхности можно наблюдать тень, верхняя часть которой в точности повторяет изучаемый профиль. При помощи микроскопа, такое

изображение рассматривают, анализируют и делают выводы о параметрах и характере шероховатости.

Микроинтерференционный метод – реализуется при помощи специального измерительного прибора, который состоит из измерительного микроскопа и интерферометра. Используя интерферометр, получают интерференционную картину поверхности исследуемого объекта с искривлениями полос в местах неровностей. Параметры шероховатости измеряют, затем, при помощи микроскопа.

Также, следует выделить отдельно метод слепков, который применяется для оценки шероховатости различных труднодоступных поверхностей, а также поверхностей, обладающих сложным строением.

Метод слепков, представляет собой снятие негативных копий поверхности при помощи воска, парафина или гипса, а также последующее их изучение щуповым или оптическим методом. Таким образом, метод слепков – это не самостоятельный метод, а лишь метод связанный с подготовкой к измерению. Он применим только совместно с одним из способов измерения шероховатости.

**Вакуумная резина. Классификация, назначение,
свойства, область применения**

Студент 10404117 Наумец П.Ю.
Научный руководитель – Иванов И. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вакуумная резина – специальный тип резины, предназначенный для изготовления уплотнений (и не только их) в вакуумных системах. Вакуумная резина поставляется в пластинах (рулонах), трубках и шнурах (сечение – круг, квадрат, прямоугольник) и обладает отличной стойкостью к высокому давлению и к повышенным температурам, отличными показателями остаточной деформации.

Вакуумная резина №51-2062, стандарт изготовления ТУ 3810511681. Рабочий диапазон температур при постоянной эксплуатации от +7°C до +70°C. Кратковременно можно использовать температуру от -35°C до +95°C, но такие условия можно создавать на срок не более одной-двух минут. Данный тип резины имеет среднюю эластичность, умеренную устойчивость к щелочам и кислотам, но плохо реагирует на воздействие масла.

Резина марки №51-2062 может иметь цвета от белого до серого, её выпускают как в формованном, так и не формованном виде. Применяется такая резина в атомной, металлургической, автомобильной и химической промышленности. Имеет более востребованный спрос благодаря цене, которая ниже, чем у аналогов.

Вакуумная резина марки №9024, изготовленная по ТУ 3810511681. По сравнению с вышеописанными марками имеет более широкий диапазон временной и рабочей температуры, но не такая эластичная. Негативно воспринимает воздействие кислот и щелочи, зато обладает устойчивостью к маслу и органике. Выпускается формованной и неформованной. Данная резина применяется в тех сферах производства, в которых вакуумные системы используют органические и масляные соединения.

Марка ИРП-2044. Довольно жесткая резина, созданная для того, чтобы выдерживать температуру, выше 100. Хорошо реагирует на воздействие масел и не разрушается при контакте с органическими смесями.

Марки под номерами 5P-25, 5P-129 и 14P-2 изготавливают для вакуумных систем, рабочая температура которых достигает 300-400, при этом не отделяя от своей структуры химических элементов. Минусом такой резины является сильная деформация от сжатия, которая не позволяет использовать такой уплотнитель повторно, после разборки соединений.

Шнуры и трубки используются как уплотнения в пазах соответствующей геометрии. Из листов легко изготовить уплотнительные элементы различной конфигурации. Они отлично поддаются резке вручную и на ЧПУ оборудовании. Цельные листы вакуумной резины можно использовать как настилы и демпферные покрытия. Прокладки применяются в подвижных и неподвижных соединениях (между элементами трубопроводной арматуры, между фланцами, в дверках и пр.). С помощью трубок можно также соединять отдельные элементы вакуумных систем.

Для резиновых изделий, для вакуумной техники, применяют маслостойкую термостойкую резину. Наиболее близким по сущности и техническому уровню является способ получения маслостойкой термостойкой резины путем совместного смешения полипропилена, бутадиен-нитрильного каучука, олефинового каучука, минерального масла, вулканизирующего агента алкилфенолоформальдегидной смолы и активатора вулканизации - хлористого олова или хлористого алюминия и модификатора, представляющего собой полиизоцианат, содержащий не менее двух изоцианатных групп, полипропилен с содержанием 1-6% привитого малеинового ангидрида или малеиновой кислоты и пластификатор. Кроме того, в композицию

могут быть включены общеизвестные добавки, обычно применяемые для таких полимерных материалов, такие как наполнители, антиоксиданты, смазки, улучшающие перерабатываемость в изделия, антиазонаты. Это позволяет получить резину с низким маслопоглощением и высокой прочностью.

Таблица 1 – Основные характеристики вакуумной резины

| Свойства | Марка резины | | | | | |
|--|--------------|------|---------|----------|------|--------|
| | 7889 | 9024 | 51-2062 | ИРП-2044 | 1015 | 14Р-23 |
| Номинальная прочность при растяжении Н/см ² | 1680 | 980 | 1670 | 780 | 880 | 215 |
| Возможность разрыва при удлинении в процентах | 540 | 340 | 530 | 305 | 405 | 125 |
| Остаток возможного удлинения после разрыва % | 19 | 16 | 15 | 11 | 19 | 1 |
| Увеличение объёма при отмачивании в вазелиновом масле 24ч/70°С в % | 89 | 5 | 4 | 1 | 4,4 | 3,7 |
| Стойкость к минусовой температуре в °С | -55 | -45 | -50 | -0 | -35 | -75 |
| Максимальная температура нагрева в °С | 85 | 105 | 80 | 155 | 85 | 205 |

Пайка в среде водорода

Студент гр. 10404117 Орочко В. С.

Научный руководитель – Иванов И. А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Пайка в восстановительной газовой среде сопровождается реакцией восстановления окисной пленки газом. Для восстановления применяют водород, диссоциированный аммиак ($2\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$) и различные горючие газы – светильный, водяной, генераторный и др. Для пайки в среде водорода условие восстановительной среды соответствует неравенство $P_{\text{H}_2} > P_{\text{H}_2\text{O}}$, а окислительному процессу. Здесь P_{H} и $P_{\text{H}_2\text{O}}$ – парциальные давления водорода и водяного пара. Пайка в водороде (H_2). Очищенный от примесей паров воды и других газов водород эффективно удаляет окислы металлов.

Водород гораздо более активный восстановитель, чем формирующий газ или пары муравьиной кислоты. Так, например, окислы железа восстанавливаются в водороде примерно в 20 раз быстрее, чем в формирующем газе при $+500^\circ\text{C}$, и в 10 раз быстрее при $+300^\circ\text{C}$. Недостатком водорода является взрывоопасность, ограничивающая его применение. Также следует отметить, что водород эффективно проявляет свои полезные свойства лишь при температуре выше $+280^\circ\text{C}$.

Достоинства:

- Очищение от окислений.
- Улучшение смачиваемости.
- Отсутствие загрязнений.

Недостатки:

- Наличие открытого пламени при удалении водорода из рабочей камеры.
- Повышенные требования к безопасности.

Очищенный от примесей паров воды и других газов водород эффективно удаляет окислы металлов.

На скорость восстановления окислов металлов большое влияние оказывают кислород, попадающий в камеру пайки с газовой средой из-за подсоса воздуха, выделения кислорода из металла и т. п., а также скорость удаления продуктов реакции восстановления.

В присутствии паров воды скорость протекания этой реакции может стать равной нулю задолго до установления равновесного состава газовой фазы.

Константу равновесия реакции восстановления можно записать в виде: $K_p = p_{\text{H}_2} / p_{\text{H}_2\text{O}}$ где p_{H_2} и $p_{\text{H}_2\text{O}}$ – парциальные давления водорода и водяного пара.

При увеличении константы равновесия, т. е. при увеличении содержания водорода в газовой среде или уменьшении паров воды, реакция смещается в сторону восстановления металла из окислов. И наоборот, при уменьшении содержания водорода и увеличении содержания паров воды начинается окисление металла. Повышенное содержание влаги в среде водорода требует повышения температуры пайки. На практике парциальное давление водяного пара в газовой среде принято выражать через экспериментально определяемую точку росы.

Точкой росы называется температура конденсации влаги, содержащейся в данной газовой атмосфере. Косвенно, сравнивая теплоту образования окисла и водяного пара, можно получить сведения об активности восстановления водородом окислов металлов. Если теплота образования окисла меньше, чем у водяного пара (115,6 ккал на 1 моль O_2), то он восстанавливается легко, в противном случае с трудом или вообще не восстанавливается. По данным теплот образования окислов чистых металлов можно сделать предварительное заключение о возможности пайки в восстановительной среде сплавов на их основе. Так, сплавы, на поверхности которых образуются окислы MgO , TiO_2 , Al_2O_3 , BeO , не могут паяться в водородной

среде. Сплавы, на поверхности которых образуются окислы, содержащие Cr_2O_3 , требуют применения очень сухих восстановительных атмосфер. Наиболее легко осуществляется в водороде пайка низкоуглеродистых сталей. Так, при температуре пайки 850°C и более точка росы должна составлять $25\div 45^\circ\text{C}$. При пайке нержавеющей стали типа 12Х18Н9Т при температурах выше 1200°C точка росы должна составлять -60°C и ниже. Кроме указанных сталей пайке в водороде подвергают также высокоуглеродистые стали, быстрорежущие и хромомолибденовые. Температура пайки указанных сталей лежит в пределах $1180\text{-}1200^\circ\text{C}$. Для уменьшения взрывоопасности водород обычно применяют в смеси с азотом, эти смеси значительно дешевле. Так, при содержании 8% H_2 и менее смесь становится невзрывоопасной, но гораздо менее активной. Азотоводородные смеси готовят либо путем смешения технических азота и водорода, либо путем разложения газообразного аммиака.

Примером пайки изделий из стали, меди и/или медных сплавов серебрясодержащими припоями является патент RU2641601C2. Данный патент включает сборку изделий с использованием серебрясодержащего припоя, по которому между металлическими деталями помещается прокладка серебрясодержащего припоя; кассета помещается в специальную печь, в которой проводится пайка - в определенном режиме, соответствующем температуре плавления припоя, и в определенной, инертной или восстановительной атмосфере, как правило в среде водорода.

Повышение ударной прочности чугунов

Студент гр. 10404117 Силивончик П.Э.

Научный руководитель – Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Повышение прочности чугуна позволяет производить замену стальных литых деталей и поковок отливками из высокопрочного чугуна. Расширение области применения чугунных отливок взамен стальных деталей зависит от возможности повышения прочности, пластичности и ударной вязкости чугуна.

Состав чугуна, подвергающегося закалке и отпуску, зависит от требуемых физико-механических свойств и должен содержать примерно 0,5-0,8% связанного углерода.

Наличие таких легирующих элементов, как хром, никель и молибден, увеличивает прокаливаемость чугуна. Кроме того, эти элементы увеличивают износостойкость и твердость чугуна после закалки.

Для повышения прочности чугуна, а также для получения чугунов со специальными свойствами (износостойкости, жаропрочности и др.) их легируют различными элементами.

Существует много способов повышения прочности чугуна: легирование специальными примесями (никелем, хромом, молибденом и т.д.), термическая обработка отливок и т.д.

С размельчением зерна модуль упругости чугуна повышается, однако эта зависимость уменьшается с повышением прочности чугуна.

Применение чугуна как конструкционного материала требует во многих случаях повышения его механических качеств. Изменение содержания С и Si: для белого чугуна – уменьшение содержания С; для серого чугуна с пластинчатым графитом – уменьшение углеродного эквивалента; для ковкого чугуна – уменьшение содержания С. Модифицирование: для белого чугуна – добавка в жидкий чугун Ti, С, Mg для изменения отбеливаемости; для серого чугуна с пластинчатым графитом – добавка ферросилиция, силикокальция в жидкий чугун с низким углеродным эквивалентом.

В конце 40-х годов на основе анализа, накопившегося экспериментального и практического материала все чаще, высказывались соображения (И. А. Одинг, Б. С. Мильман, С. В. Сервисен, П. П. Берг, И. В. Кудрявцев) о том, что ценность чугуна как конструкционного материала определяется комплексом показателей, среди которых предел прочности является лишь одним из определяющих. Однако за весь период 20-40-х годов поиски повышения прочности чугуна велись путем улучшения показателей предела прочности при изгибе или при растяжении.

Титан, раскисляя металл, связывает, кроме того, содержащиеся в жидком чугуне газы и серу. Содержание в чугуне титана в количестве 0,1 % способствует размельчению графита и повышению прочности чугуна. Присадка титана осуществляется добавкой в шихту титаносодержащих природно-легированных чугунов. При изготовлении отливок со специальными свойствами – кислотоупорных, жароупорных, немагнитных и др. применяют чугуны со значительным содержанием легирующих элементов, обеспечивающим получение структур, обладающих названными свойствами.

В конце плавки чугуна необходимо температуру довести до 1550 °С для более интенсивного распределения графита и увеличения количества связанного углерода. Чем выше содержание углерода в чугуне, тем до более высоких температур допустим перегрев его без образования междендритного графита. Перегрев до определенных пределов является одним из эффективных методов повышения прочности чугуна.

Сравнительно длительная выдержка жидкого чугуна при низких температурах не сопровождается каким-либо значительным изменением химического состава. При этом форма и

характер распределения графита в литых образцах остаются примерно одинаковыми. Количество связанного углерода несколько увеличивается, что, по-видимому, способствует некоторому, хотя и незначительному повышению прочности чугуна. Практически следует принять, что выдержка расплава при низких температурах не оказывает влияния на прочностные свойства литого металла.

По характеру воздействия на процесс кристаллизации модификаторы разделяются на образующие дополнительные центры кристаллизации и на поверхностно активные вещества. К модификаторам первого типа относятся ферросилиций, силикокальций и алюминий. Будучи добавленными к жидкому чугуну, эти вещества образуют с углеродом, азотом, кислородом чугуна соединения, которые служат центрами кристаллизации графита, что приводит к измельчению графитных включений и повышению прочности чугуна при растяжении до 28 кгс/мм² и выше.

Примером повышения ударной прочности чугуна является патент RU 2634531. Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к составам чугуна, который может быть использован в станкостроении. Чугун содержит, мас. %: углерод 2,1-2,4; кремний 1,0-1,5; марганец 4,0-5,0; хром 4,5-5,5; ванадий 4,0-5,0; молибден 4,0-5,0; медь 1,0-2,0; железо - остальное.

Техническим результатом изобретения является повышение ударно-усталостной прочности чугуна.

Технический результат достигается тем, что чугун, содержащий углерод, кремний, марганец, хром, ванадий, железо, дополнительно содержит молибден и медь, при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 2,1-2,4; кремний 1,0-1,5; марганец 4,0-5,0; хром 4,5-5,5; ванадий 4,0-5,0; молибден 4,0-5,0; медь 1,0-2,0; железо – остальное. В составе чугуна компоненты проявляют себя следующим образом. Хром обеспечивает твердость и износостойкость чугуна. Молибден, медь и ванадий повышают прочность сплава, препятствуют образованию и развитию трещин в чугунных изделиях при ударных нагрузках.

Чугун выплавляют в электропечах и отливают в горячие (400-500°C) металлические формы, обмазанные огнеупорной глиной. Для снятия внутренних напряжений отливки отжигают при температуре 600°C.

Процесс получения бескислородной меди

Студенты: гр. 10404117 Новик А.А., гр. 10404118 Курач Д.И.
Научный руководитель – Иванов И.А
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Медь обладает очень высокой электрической и тепловой проводимостями и легко поддается любой горячей или холодной обработке. Она имеет большую коррозионную стойкость, обусловленную реакцией на поверхности между металлом и кислородом воздуха, в результате чего получается тонкий защитный окисный слой. Медь широко применяется в производстве электрических, акустических и других кабелей как в виде металла высокой чистоты (ОФС или ОСС), так и с очень малыми добавками мышьяка, фосфора, серебра, серы или теллура.

Высокоочищенную бескислородную медь получают в процессе так называемого электрического рафинирования. Она оседает на катодах электрических ячеек, вследствие чего имеет и иное название – медь катодная. Чистота достигает порядка 99,99 %. Такой металл называют и медью бескислородной, у которой высокая степень очистки (ОФС – Oxygen-Free Copper). Расплавленная чистая медь впоследствии разливается в специальные формы, которые имеют квадратные либо прямоугольные сечения. Этот процесс происходит в вакууме, при отсутствии кислорода, что предотвращает его проникновение в расплавленный металл. Отсутствие примесей кислорода в такой меди существенно увеличивает показатели ее электропроводности и прочности.

Бескислородная медь ОФС имеет разные степени очистки. Чистота металла обозначается следующим образом: «·N». На месте звездочки (*) вставляют цифру, которая раскрывает информацию о количествах девяток после запятой. Так, марка бескислородной меди ОФС 6N сообщает о том, что чистого металла в ней 99,999999 %. Количество посторонних примесей составляет 0,000001 %.

Первое производство меди качества 6N было осуществлено в 1985 году в Японии, компанией Nippon Mining Co. В массовое производство высоко очищенная бескислородная медь пошла в 1987 году. Основными сферами применения тогда стали акустические провода, межблочные сетевые кабели.

Отдельными компаниями заявляется, что они достигли степень очистки выше показателя 6-7N, 8N и т. д. Но при этом следует учитывать, что в настоящее время единства при определении стандартов чистоты бескислородной меди и ее качества нет. В некоторых случаях наличие каких-либо примесей просто не учитывается. Обычно к таким инородным включениям относится серебро.

К преимуществам бескислородной меди ОФС относят следующие:

- в вакууме, при накаливании она не ломается и не становится хрупкой;
- способна легко изменять формы при холодной деформации (при воздействии на нее давлением в условиях комнатных или близких к ним температур);
- при нахождении в различных условиях не меняет своего цвета;
- среднее электрическое сопротивление такого металла постоянно;
- удельная электропроводность всегда имеет высокие показатели;
- металл однороден в своей структуре;
- свободно обрабатывается высокотемпературной пайкой и сваркой.

Вследствие своих качеств и свойств бескислородная медь нашла применение в разнообразных изделиях, а именно:

- из нее изготавливают обмотки трансформаторов
- применяют в производстве коаксиальных кабелей
- используют в электронных системах и устройствах

- незаменимый металл в сверхпроводниках и линейных ускорителях;
- важный структурный элемент телекоммуникационных проводов и кабелей, предназначенных для эксплуатации под водой
- является частью проводов токовых трансформаторов.

Процесс производства монокристаллической меди впервые был запатентован профессором Ацуми Оно (Atsumi Ohno) из института Чива (Япония) в 1982 году (патент US4515204). Данный процесс обеспечивает непрерывное литье (Continuous Casting) расплавленной меди в предварительно разогретые формы и последующее длительное остывание металла. В результате получается однородная медь, кристаллическая решетка которой очень длинная. Один кристалл такой решетки имеет длину около 125 метров. Для производства ОСС меди (Ohno Continuous Casting) применяется металл повышенной очистки 99,9997% Cu или 99,9999% Cu.

Бескислородная медь широко используется в вакуумной технике. Она незаменима при конструировании вакуумных распределительных систем и полупроводников. Широко используется она при изготовлении изделий для космической отрасли. Среди иных областей, где используют медь бескислородную, числятся: радиоэлектроника, микроэлектроника, радио- и приборостроение, атомная энергетика, ювелирная и строительная промышленности. Из нее изготавливают провода и трубы, предназначенные для работы в сильных электромагнитных полях. Бескислородная медь является основой для изготовления электрохимических анодов.

Современная кабельная продукция, сделанная с использованием бескислородной меди, отличается повышенной проводимостью. Это дает возможность осуществлять высокую пропускную способность электрических сигналов при меньших сечениях проводов.

При применении такой меди отмечают ее достоинства в противостоянии внутренней коррозии. Благодаря этому свойству провода из бескислородной меди со временем характеристик своих не теряют. По этой причине кабели с начинкой из этого металла используют в условиях, где присутствует высокая влажность.

Плавка и разливка металла в вакууме

Студенты: гр. 10404117 Коцур И.Н., гр. 10404119 Стенник М.А.
Научный руководитель – Иванов И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Плавка металла в вакууме позволяет значительно уменьшить количество примесей и растворенных газов в металлах. Соответствующее улучшение качества трансформаторной стали снижает гистерезисные потери, что дает большую экономию электроэнергии.

В вакуумных индукционных печах выплавляют фасонные отливки из высоколегированных сталей и сплавов, предназначенные для деталей летательных аппаратов, газовых турбин и других изделий. Это связано с тем, что указанные стали и сплавы содержат легкоокисляющиеся элементы (алюминий, титан и др.), склонные к образованию значительного количества окисных плен, резко снижающих физико-механические свойства сплавов. В вакууме сплавы освобождаются от газов и вредных примесей, которые во время плавки удаляются.

В вакуумной индукционной печи, вакуумная камера представляет собой горизонтальный цилиндр, перемещаемый по рельсам на колесах. Одна из торцевых стенок камеры неподвижна. К ней крепится кронштейн для установки индуктора с плавильным тиглем и площадкой для установки литейной формы. На этой же стенке вне камеры установлен электродвигатель с редуктором, служащим для поворота тигля вместе с формой на 90° . Токоподводящий шланг и ввод для поворота печи через герметизированные окна также проложены в торцевой неподвижной стенке.

Водяная рубашка служит для охлаждения вакуумной камеры. Снаружи на камере расположены дозатор, смотровые глазки, ардометр для замера температуры сплава в тигле и клапан для напуска воздуха. Печь обслуживается с площадки. Рядом с печью размещается пульт управления, оснащенный приборами для контроля расходуемой мощности при плавке, глубины вакуума, температуры сплава и других параметров.

Печь такой конструкции характеризуется периодическим действием: вакуум в плавильной камере сохраняется для плавки металла и заливки одной формы, после чего он нарушается.

Материал тигля для плавки металлов в вакууме не должен испаряться при рабочих температурах, а также не содержать или не образовывать в результате реакции с жидким металлом сильно летучих и легко диссоциирующих соединений. Так, например, не рекомендуется проводить плавку стали под вакуумом в кварцевых тиглях из-за значительной летучести кремниевой кислоты и оксида кремния. Плавка в вакууме также сильно ухудшает службы магнетитового тигля, удовлетворительно работающего при плавке в атмосфере воздуха. Здесь имеет место разложение материала тигля ввиду сильного испарения магния в вакууме. Испаряющийся магний конденсируется на холодных внутренних деталях печи и на смотровом стекле, что затрудняет ведение плавки.

Разливка стали в вакууме преследует две цели:

а) предохранить сталь от вторичного окисления, которое происходит при обычной разливке на воздухе;

б) обеспечить дополнительную дегазацию стали непосредственно в процессе разливки.

При разливке стали в вакууме изложницу помещают в специальную герметичную камеру (кессон). На эту камеру, перекрытую листом алюминия, герметически плотно устанавливают промежуточный ковш. Размер отливок определяется только размерами вакуумных камер и ковшей. Нижняя часть корпуса вакуумной камеры – водоохлаждаемая. Разрежение в системе создается четырех ступенчатым парожеткаторным насосом, обеспечивающим давление в камере к началу разливки $0,17-0,34$ кПа. Установка снабжена телевизионными камерами, позволяющими наблюдать за процессом разливки.

Разливка на вакуумной установке производится следующим образом. Разливочный ковш устанавливают над промежуточным ковшом и начинают заполнять его жидким металлом. После того как в промежуточном ковше накопится необходимое количество металла для осуществления непрерывной заливки, открывают стопор промежуточного ковша и струя металла, прожигая алюминиевую пластину, попадает в вакуумную камеру.

Давление в камере резко повышается при попадании первых порций жидкого металла. После этого оно вновь понижается и поддерживается почти постоянным до заполнения всей изложницы. После достижения металлом уровня низа прибыльной надставки разливка прерывается. Заливку прибыли производят несколькими порциями жидкого металла.

Процесс разливки в вакууме имеет свои особенности. Попадая в вакуум, струя дегазированной стали распадается на мелкие капли. Пузырьки газов, выделяющиеся из стали, как бы взрывают струю жидкого металла, и этим способствуют достижению высокой степени дегазации. Иногда для лучшего дробления струи в нее вдувают инертный газ. При падении в изложницу струя становится конусообразной. Угол раскрытия струи достигает 90-120 мм и брызги попадают на стенки изложницы. Разбрызгивание металла на стенки изложницы ведет к образованию настывки на поверхности изложницы, отслаивающейся при ковке в виде чешуи, а иногда образующей сетку мелких трещин, затрудняющих ковку.

С целью ограничения чрезмерного раскрытия струи в вакууме используют направляющую трубу, которая состоит из сварного металлического кожуха толщиной 10 мм и двух огнеупорных колец, вставляемых в кожух. Труба имеет длину 600 мм и диаметр 280-300 мм.

Студент гр. 10404117 Григорович В.А.

Научный руководитель – Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вакуумный насос (ВН) – устройство удаляющее или поглощающее газ с целью получения или поддержания в откачиваемых сосудах давления ниже атмосферного в заданных интервалах при известной величине и составе газового потока. Существует три класса вакуумных насосов. Область давлений, с которой имеет дело вакуумная техника, охватывает диапазон от 10^5 до 10^{-12} Па.

Механические ВН. Откачивающее действие их основано на перемещении газа в следствии механического перемещения рабочих частей насоса. Струйные ВН. Основаны на увлечении, удалении газа струёй жидкости, пара или газа. Поглотительные (сорбционные или криогенные) ВН. Основаны на поглощении с помощью процессов сорбции или конденсации ионизированного газа, испарении поглотителей или охлаждении их до криогенных температур.

Механические вакуумные насосы классифицируются: по области действия – на низкого, среднего, высокого вакуума; по принципу действия – объёмные и скоростные; по конструкции рабочих органов – поршневые, пластинчато-роторные, пластинчатое статорные, золотниковые, винтовые, двух роторные, жидкостно-кольцевые, осевые, центробежные; по эффективности рабочего процесса – с полным внутренним сжатием (поршневые), с частичным внутренним сжатием (винтовые), без внутреннего сжатия (с внешним сжатием); по степени герметичности рабочей полости – с контактной системой уплотнения (поршневые, пластинчатые), с бесконтактной системой уплотнения (двух роторные, все осевые); по назначению – подразделяются на сверхвысоковакуумные, высоковакуумные, средне вакуумные и низковакуумные.

Основные параметры вакуумных насосов, по которым проводят их сравнительный анализ и выбор, это: S_n – быстрота действия ВН, быстрота откачки во входном сечении, $\text{м}^3/\text{с}$. $P_{\text{вх}}$ – давление во входном сечении ВН, Па. Рост – предельное давление откачки ВН, Па. Предельное давление откачки – минимальное давление, достиг на входе насоса при сколь угодно долгой откачке. Поток газа – расход газа в котором количество газа выражено произведением давления газа на его объём. Количество газа – это действительно произведение давления на объём, а поток – это $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$.

Общее требование потребителя к промышленным вакуумным насосам: получение заданной быстроты действия при наименьших размерах, массе, стоимости и сложности насоса с конструктивным обеспечением минимальных эксплуатационных издержек. Интегральный показатель, учитывающий все эти требования – это отношение суммы затрат на приобретение насоса и на его эксплуатацию, отнесенные к скорости действия насоса.

Эксплуатационные особенности: селективность действия; мобильность запуска и остановки; способность продолжать работу при аварии. К сравнительным экономическим показателям относятся объёмы потребления энергии, воды, рабочей жидкости, сжиженного газа, потребность во вспомогательном оборудовании. Технический уровень характеризуется удельными параметрами: Удельная материалоемкость, $\text{кг}/(\text{л}/\text{с})$; Удельные затраты на электрическую энергию $\text{кВт}/(\text{л}/\text{с})$; Удельная себестоимость $\text{руб}/(\text{л}/\text{с})$

Студенты гр.10404117 Васильченко В.В., Пацевский Н.В.
Научный руководитель – Иванов И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Измерение давления необходимо для управления технологическими процессами и обеспечения безопасности производства. Кроме того, этот параметр используется при косвенных измерениях других технологических параметров: уровня, расхода, температуры, плотности и т.д.

Датчик давления – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газы, пар). В датчиках давление измеряемой среды преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код.

Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент – приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала.

Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал.

Существует несколько методов измерения давления:

- Тензометрический метод. Чувствительные элементы датчиков базируются на принципе изменения сопротивления при деформации тензорезисторов, приклеенных к упругому элементу, который деформируется под действием давления.

- Ёмкостной метод. Ёмкостные преобразователи используют метод изменения ёмкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками.

- Резонансный метод. В основе метода лежит изменение резонансной частоты колеблющегося упругого элемента при деформировании его силой или давлением.

- Индуктивный метод. Основан на регистрации вихревых токах Фуко. Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном.

- Ионизационный метод. В основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц.

- Пьезоэлектрический метод. В основе лежит прямой пьезоэлектрический эффект, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению.

Достоинства и недостатки типов преобразователей.

Достоинства тензометрических (КНС – преобразователей): высокая степень защиты от агрессивной среды, высокий предел рабочей температуры, налажено серийное производство, низкая стоимость. Недостатки же: неустраняемая нестабильность градуировочной характеристики, высокие гистерезисные эффекты, низкая устойчивость при воздействии ударных нагрузок и вибрации.

Достоинства пьезорезистивных преобразователях (на монокристаллическом кремнии): высокая стабильность характеристик, устойчивость к ударным нагрузкам, низкие (практически отсутствуют) гистерезисные эффекты, высокая точность, возможность измерять давления различных агрессивных сред. Недостатки: ограничение по температуре (до 150 градусов по Цельсию).

Достоинства емкостных: высокая точность, высокая стабильность характеристик, возможность измерять низкий вакуум, простота конструкции. Недостатки: зачастую, нелинейная зависимость емкости от приложенного давления, необходимо дополнительное оборудование или электрическая схема для преобразования емкостной зависимости в один из стандартных выходных сигналов.

Достоинства резонансных: высокая стабильность характеристик, высокая точность измерения давления. Недостатки же: при измерении давления агрессивных сред необходимо защитить чувствительный элемент, что приводит к потере точности измерения, высокая цена, Длительное время отклика, индивидуальная характеристика преобразования давления в электрический сигнал.

Достоинства индукционных: возможность измерять дифференциальные давления с высокой точностью, незначительное влияние температуры на точность измерения. Недостатки: сильное влияние магнитного поля, чувствительность к вибрациям и ударам.

Достоинства ионизационного метода: возможность измерения высокого вакуума, высокая точность, стабильность выходных параметров. Недостатки: нельзя использовать подобные приборы при высоком давлении (низкий вакуум является порогом), нелинейная зависимость выходного сигнала от приложенного давления, высокая хрупкость, необходимо сочетать с другими датчиками давления.

Влияние хрома на коррозионные свойства стали

Студенты гр. 10404117 Глаз М.В., Трусевич Е.А.
Научный руководитель – Иванов И. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Коррозионная стойкость любого материала – это его способность сопротивляться коррозии, в данных условиях. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего вида поверхности металла, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии.

Во всех марках нержавеющей стали главными компонентами, отвечающими за коррозионную стойкость и пластичность металла, являются хром и никель. Добавление > 10 % хрома делает сталь нержавеющей, создавая на поверхности слой, содержащий большое количество оксида хрома. Этот слой образуется в результате реакции содержащегося в сплаве хрома с кислородом из атмосферного воздуха. Он придает стали свойство, которое делает ее нержавеющей. Добавление никеля обеспечивает, кроме повышения коррозионной стойкости, хорошую пластичность и улучшенные свойства формовки и сварки стали, улучшается жаростойкость этих сплавов.

Коррозионная стойкость хромистых сталей зависит от содержания хрома и углерода, режимов термической обработки и состава коррозионной среды.

В более окислительных средах электродный потенциал с отрицательного на положительный изменяется при меньших содержаниях хрома, тогда как в присутствии воздуха переход осуществляется при 11-14 % Cr. Увеличение содержания хрома с 13 до 17 % существенно усиливает коррозионную стойкость хромистых сталей в азотной кислоте. Однако, в разбавленных 5 %-ных растворах серной и соляной кислот коррозионная стойкость железо хромистых сплавов ухудшается тем сильнее, чем выше в них содержание хрома (восстановительные кислоты оказывают отрицательное действие).

Никель сам по себе относится к коррозионностойким металлам. Он хорошо противостоит действию воды, растворов солей и щелочей. Добавление его к железу повышает коррозионную стойкость сплавов в растворах серной и соляной кислот и в ряде органических кислот.

Никель относится к числу элементов, при введении которых в железо происходит скачкообразное улучшение коррозионной стойкости сплава в серной кислоте. Никель, так же, как и хром, обладает способностью к пассивированию и изменяет положительный электродный потенциал на отрицательный в растворах азотной кислоты, поваренной соли с перекисью водорода и при зачистке под раствором. Пассивирующая способность никеля ниже, чем хрома и молибдена.

Легирующие элементы и их влияние на свойства стали-хром (Cr) – наиболее дешевый и распространенный элемент. Хром повышает твердость прочность, незначительно уменьшая пластичность, увеличивает коррозионную стойкость; содержание больших количеств хрома делает сталь нержавеющей и обеспечивает устойчивость магнитных сил.

В металлургии легирование производится введением в расплав или шихту дополнительных элементов (например, в сталь – хрома, никеля, молибдена, вольфрама, ванадия, ниобия, титана), улучшающих механические, физические и химические свойства сплава. Легирование проводится на различных этапах получения металлического материала с целями повышения качества металлургической продукции

Хромистая сталь. Наиболее распространены в промышленности высокохромистые стали с содержанием хрома от 8 % и выше, примерами которых являются марки 20X13, 30X13, 15X11МФ и другие. Для дополнительного улучшения свойств высокохромистых сталей в них

вводят добавки, которыми могут быть молибден, вольфрам, ванадий, ниобий, титан. Максимальная температура, при которой допускается длительная работа высокохромистых сталей, составляет около 650 °С.

Изобретение (см. Патент № RU2015120672/02A) относится к металлургии, в частности, к составам жаропрочных низкоуглеродистых хромоникелевых сплавов аустенитно класса, и может быть использовано при изготовлении труб коллекторов (реакционных труб) высокотемпературных установок производства водорода, метанола, аммиака и др., с рабочими режимами при температуре от плюс 700°С до плюс 980°С и давлением до 46 атм. В обоснованных случаях изделия из указанных сплавов (трубы, листы, поковки и др. металлопрокат) могут быть использованы в нефтегазохимическом и др. оборудовании в качестве коррозионностойкого материала. Сплав содержит компоненты в следующем соотношении мас. %: углерод 0,08-0,14, хром 19,0-21,0, никель 31,0-34,0, ниобий 0,90-1,35, кремний 0,0005-0,79, марганец 0,5005-1,21, ванадий 0,0005-0,20, титан 0,0005-0,10, алюминий 0,0005-0,10, иттрий >0-0,001, кислород >0,0005-0,028, водород >0,0005-0,0025, азот >0,0005-0,095, сера ≤0,03, фосфор ≤0,03, свинец ≤0,009, олово ≤0,009, мышьяк ≤0,009, цинк ≤0,009, сурьма ≤0,009, молибден ≤0,5, медь ≤0,2, железо - остальное.

Известен жаропрочный сплав KHR32C японской фирмы KUBOTA, имеющий следующий состав: С – 0,11÷0,16%; Si - 1,2% (max), Mn – 0,5% (max); Cr - 19,0÷20,5%; Ni – 33,5÷35,0%; Nb – 0,6÷1,6% (KUBOTA HEAT RESISTANT ALLOYS, Catalog, 1997). Наиболее интересным по технической сущности и достигаемому результату является жаропрочный сплав, описанный в патенте РФ №2149210, С22С 30/00, С22С 38/50, опубликованный 20.05.2002 г., №14 и содержащий. %: углерод 0,08÷0,14; хром 19,0÷21,0; никель 31,0÷34,0; ниобий 0,90÷1,35; железо – остальное, дополнительно содержит, кремний 0,0005÷0,79; марганец 0,5005÷1,21; ванадий 0,0005÷0,20; титан 0,0005÷0,10; алюминий 0,0005÷0,10.

Студент гр. 10404117 Шевчук Е. С.
Научный руководитель – Иванов И. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Медь входит в состав твердых припоев, которые широко используют в качестве припоя при пайке низкоуглеродистых и углеродистых сталей, малолегированных и легированных сталей, коррозионностойких сталей, чугуна, никеля и никелевых сплавов, а также ряда других металлов и сплавов. Низкая упругость паров меди способствует ее применению при пайке деталей электровакуумных приборов. Применению меди в качестве припоя способствует ее относительно низкая стоимость по сравнению с другими припоями.

Для пайки рекомендуют использовать медь марок М0 М0б, М1р, М2р по ГОСТ 859-2001, не содержащих кислород, а пайку производить в восстановительной или защитной газовой атмосфере либо в вакууме.

В окислительной атмосфере кислород диффундирует в медь с образованием окиси меди Cu_2O , что может привести к появлению межкристаллитных трещин и последующему водородному охрупчиванию в процессе отжига паяного соединения в водородсодержащей атмосфере. Аналогичным образом, при пайке в восстановительной атмосфере кислородсодержащей медью марок М1, М2, М3 присутствующая в них окись меди Cu_2O восстанавливается водородом с образованием большого количества водяных паров, приводящих к пористости и охрупчиванию паяного шва; при этом происходит потеря вакуумной плотности паяного соединения.

При температуре пайки 1100-1120 °С медь хорошо растекается по паяной поверхности и легко поднимается в капиллярные зазоры на большую высоту. Это используется для получения паяного соединения большой протяженности (15 мм и более), которое трудно выполнить с помощью других припоев. Соединительные зазоры при пайке медью рекомендуется иметь порядка 0,05 мм и менее.

Как правило, соединение, паяемое медью, более прочное, чем чистая медь. Если у меди величина временного сопротивления разрыву составляет около 200 МПа, то $\sigma_{\text{в}}$ паяного медью соединения достигает 350-400 МПа и более. Это обусловлено растворимостью паяного металла в меди. Жидкая медь весьма активно взаимодействует с паяемыми металлами. Жидкая медь склонна к проникновению по границам зерен железа в низкоуглеродистых и конструкционных сталях. При пайке высоконикелевых сталей, никеля и никелевых сплавов медь в расплавленном состоянии взаимодействует с основным металлом, образуя более тугоплавкий, чем медь сплав, который при температуре пайки плохо растекается и не падает в зазоры. При пайке молибдена необходимо строго соблюдать режим пайки (температура 1100 °С, выдержка не более 10 минут), так как увеличение температуры и выдержки приводят к увеличению хрупкой диффузионной зоны и к снижению прочности паяного соединения. Подобное явление происходит и при пайке титана чистой медью. В этом случае при избытке меди могут образовываться легкоплавкие структурные составляющие.

При флюсовой пайке углеродистых и малолегированных сталей в контролируемых газовых средах самым распространенным способом является пайка медью в печах с восстановительной атмосферой (водород, диссоциированный аммиак, продукты цепочного сгорания смеси воздуха с газами: генераторным, бытовым, пропаном и другими). Окисная пленка на поверхности этих сталей химически неустойчивая, легко восстанавливается в газовых средах и растворяется флюсами № 200 и № 201 (ГОСТ 23178-78). При пайке малолегированных сталей, содержащих хром и алюминий, которые образуют на поверхности стали более химически стойкие окислы, следует применять более активный флюс № 209 (ГОСТ 23178-78).

При температуре пайки чистая медь достаточно хорошо растекается по паяемой поверхности коррозионностойких сталей; при этом происходит отжиг стали. Хорошие результаты получаются при пайке коррозионностойких сталей медью в среде аргона с трехфтористым бором (BF_3).

Пайку медью конструкционных инструментальных сталей можно совмещать с закалкой и последующим отпуском. При этом сохраняется прочность основного металла и повышается прочность паяного шва.

При пайке чугуна медь в качестве припоя применяют сравнительно редко, так как высокая температура пайки приводит к графитизации чугуна. Кроме того, при перегреве выше $900\text{ }^\circ\text{C}$ в процессе охлаждения может выделяться хрупкий цементит.

Эффективным припоем для соединения деталей из стали является ПОС-41. Другие припои для пайки также можно применять, но они не совсем подходят для этих целей. Припой на основе цинка плохо сочетается со сталью, особенно низколегированных и углеродистых сплавов.

Исследовать процесс повышения износостойкости чугунов

Студент гр. 10404117 Куприевская Е.В.

Научный руководитель – Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Чугун является распространенным конструкционным материалом, из которого изготавливается большое количество корпусных изделий. Он применяется в узлах, где присутствует трение скольжения. Такая распространенность чугунов обусловлена экономическими, технологическими и в ряде случаев их эксплуатационными свойствами. Чугуны значительно дешевле сталей, обладают высокими литейными свойствами, а также им присущи антифрикционные свойства, которые связаны с наличием в них графитовых включений.

Износ в гидроабразивных средах является сложной и неоднозначной функцией условий взаимодействия металла детали с абразивными частицами и средой. Он зависит от многих факторов: продолжительности эксплуатации, концентрации абразива в жидкости, размера, формы и твердости абразивных частиц, их скорости в момент удара о поверхность детали, угла атаки частицами изнашиваемой поверхности, снижения механических свойств материала вследствие разупрочняющего воздействия на него среды и др.

Для производства литых деталей багерных насосов содержание никеля в базовом чугуне может быть на уровне 0,3-1,0%.

Повышения износостойкости белых чугунов можно достичь дополнительным микролегированием и модифицированием.

Исследованием влияния сурьмы на свойства чугуна 290Х19Г4 в диапазоне ее концентраций от 0 до 1,0% (по присадке) установлено, что небольшие присадки (до 0,15%) способствуют повышению износостойкости чугуна на 15-20% вследствие ее влияния не только на эвтектическое превращение, но и на кристаллизацию аустенита.

Сурьма сдвигает эвтектическую точку в сторону меньшего содержания углерода, увеличивает количество эвтектики и изменяет ее.

Дальнейшее увеличение присадки сурьмы резко снижает износостойкость чугуна вследствие образования не мелкодисперсной эвтектики, а сплошного поля структурно-свободного цементита, который ослабляет связь с матрицей сплава и легко выкрашивается под действием абразива.

Для повышения износостойкости хромомарганцевого чугуна его целесообразно дополнительно легировать сурьмой в количестве 0,1-0,15% (по присадке).

Исследовано влияние бора на эксплуатационные характеристики хромомарганцевого чугуна в диапазоне концентраций от 0 до 0,1% (по присадке). Установлено, что дополнительная обработка базового чугуна бором существенно улучшает износостойкость и повышает твердость металла.

Бор оказывает сильное влияние на процессы кристаллизации чугуна как поверхностно-активный элемент, измельчает зерно и осуществляет дополнительное раскисление металла. Бор изменяет и состояние границ зерен, и пограничных слоев, что положительно влияет на свойства чугуна.

Микролегирование чугуна бором повышает его технологические и эксплуатационные свойства и этим снижает содержание в чугуне хрома, марганца, никеля и других элементов.

Однако исследования показали, что к обработке чугуна бором необходимо подходить очень осторожно, поскольку уже при присадке 0,03% чугун приобретает хрупкий излом при комнатной температуре, а его износостойкость практически остается без изменений.

Для повышения эксплуатационных характеристик белых чугунов их целесообразно модифицировать бором в пределах 0,005-0,020% (по присадке).

Патент о легировании чугуна бором относится к области черной металлургии. В составе чугуна бор препятствует процессу графитизации при содержании 0,01 мас. %, а при содержании 0,001-0,005 мас. % способствует образованию в ковком чугуне шаровидного графита. Вводить бор в металл следует только после раскисления, так как он является очень сильным раскислителем. С целью повышения его извлечения в железоуглеродистый сплав введение целесообразно в виде комплексного сплава с железом, кремнием, кальцием. При введении в состав лигатуры 4,0-8,0 мас. % бора будет достигаться вышеуказанный эффект. При содержании бора менее 4,0 мас. % остаточное содержание бора в чугуне будет менее 0,001 мас. %, а при его концентрации в сплаве более 8,0 мас. % остаточное содержание в железоуглеродистом расплаве будет чрезмерным. Заливку форм осуществляют при температуре 1310-1360°C, выбивку – при температуре 750-550°C. Охлаждение отливок до температуры окружающей среды осуществляют на воздухе. Способ обеспечивает получение мелкозернистых элементов с высокими значениями твердости (HRC61), износостойкости и ударостойкости в литом состоянии.

Студент гр. 10404117 Трусевич Е.А.
Научный руководитель – Иванов И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Пластичность алюминия – это его свойство необратимо изменять свои размеры и форму (т.е. пластически деформироваться) под действием механических нагрузок. Механические свойства алюминия зависят от степени чистоты, вида и режимов его обработки, температуры и других факторов. С повышением температуры прочность алюминия снижается, а пластичность возрастает. Алюминий обладает высокой способностью к деформации; его пластичность возрастает с повышением чистоты. Алюминий чистотой 99,995 % можно подвергнуть очень большим вытяжкам, например, с диаметра 80 до диаметра 0,1 мм.

Легирование алюминия высокой степени чистоты повышает его прочность, но понижает его пластичность как при комнатной, так и при пониженных температурах. Пластичность алюминиевых сплавов можно повысить с использованием динамических эффектов дальнего действия при ионной бомбардировке. Экспериментально с использованием методов статических испытаний на одноосное растяжение, оптической металлографии и просвечивающей электронной микроскопии доказана возможность радиационного отжига холоднодеформированных листов алюминиевых сплавов, таких как ВД1, Д16 системы Al-Cu-Mg (толщиной 2-3 мм), а также трудно отжигаемого термически сплава третьего поколения 1424 системы Al-Mg-Li-Zn при одностороннем облучении пучками ускоренных ионов Ag⁺ (при проективном пробеге внедряемых ионов, составляющем всего лишь несколько десятков нанометров).

Радиационно-динамическая природа быстропротекающего отжига пучком ускоренных ионов аргона подтверждается отсутствием заметных изменений структуры и свойств сплавов ВД1 и 1424 при их обычном печном нагреве в отсутствие облучения, в условиях полного воспроизведения теплового режима воздействия пучка ионов. Кроме того, установлено, что в результате воздействия ускоренных ионов Ag⁺ на холоднодеформированный сплав Д16 в зависимости от режима облучения могут быть обеспечены различные свойства, а именно: при относительно невысоком флюенсе $\sim 5 \cdot 10^{16}$ см⁻² наблюдается изменение относительного удлинения (~ 2 раза при постоянстве прочностных характеристик); при последующем увеличении флюенса до $\sim 7,2 \cdot 10^{16}$ см⁻² достигается увеличение относительного удлинения в 4,5 раза, предел текучести уменьшается на 110 МПа, что аналогично отожженному состоянию (но при более высоком значении предела прочности); при облучении флюенсом $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² формируемые свойства сплава Д16 близки к свойствам закаленного состояния.

Пластичность алюминиевого сплава АМг6 можно увеличить воздействием лазерного излучения. Установлено, что в результате протекания ускоренных процессов полигонизации и рекристаллизации по сравнению с длительной изотермической выдержкой после лазерного воздействия пластичность сплава АМг6 повышается. После лазерной обработки относительное удлинение при максимальном нагружении, а также относительное удлинение разрушения увеличиваются на 2,5-3 %, более выражены участок сосредоточенной пластической деформации и зона долома.

Исследование дисперсных металлоотходов, образующихся в металлургическом производстве ОАО «МТЗ»

Студент гр. 10404116 Телешова Е.В.
Научный руководитель – Ровин С.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одна из важнейших проблем современного промышленного производства – вторичное использование (рециклинг) дисперсных металлосодержащих отходов, таких как: стружка, окалина, пыль металлургических производств, шламы и т.п. [1]. Эта проблема имеет два основных аспекта – экологический и экономический:

- во-первых, низкосортные металлоотходы – это стабильно накапливающиеся опасные отходы, захоронение которых создает угрозу не только экосистеме, но также напрямую человеческому здоровью;

- во-вторых, основным компонентом в них выступают металлы – дорогостоящее и дефицитное сырье, которое полностью ввозится в нашу страну из-за рубежа.

Львиную долю образующихся и накапливающихся металлоотходов (около 90%) составляют отходы, содержащие железо и его соединения. Решение этой проблемы требует всестороннего исследования железосодержащих отходов машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий и поиска наиболее экономичных и эффективных способов их переработки и возврата в производство.

С этой целью были исследованы пыль дробеочистки отливок и окалина металлургического производства Минского тракторного завода. Ежегодно на ОАО «МТЗ» образуется около 3000 тонн таких отходов, и сегодня они практически полностью вывозятся и захораниваются на промышленных полигонах.

В процессе исследования пыли дробеочистки определялся ее гранулометрический состав (методом ситового анализа), влажность, насыпной вес, потери при прокаливании и металлосодержание – методом омагничивания.

Результаты ситового анализа представлены на рисунке 1.

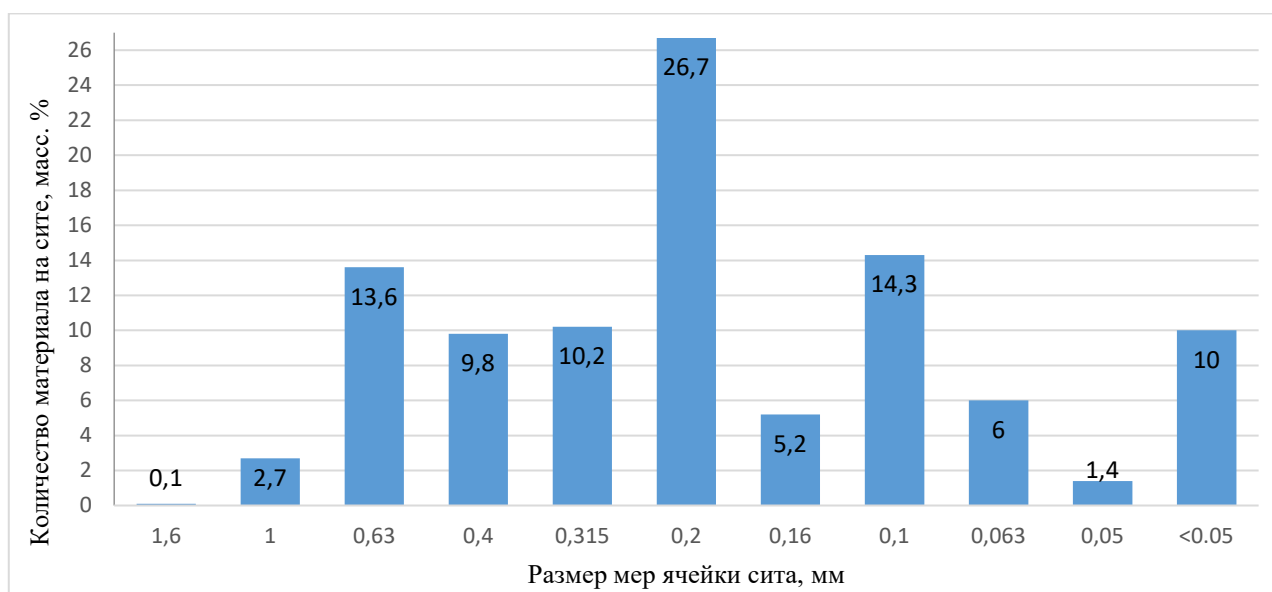


Рисунок 1 – Гранулометрический состав пыли дробеочистки

Средняя влажность пыли дробеочистки составила 0,03%, потери при прокаливании (материал прокаливался в течении 30 минут при температуре 900) ~ 1 %. Доля омагниченного

материала относительно исходного составляет 50-53%. Насыпная плотность исходной пыли составила в среднем 2050 кг/м³, омагниченной части ~ 3740-3760 кг/м³, а немагнитного отсева – около 1470-1480 кг/м³.

Для оценки распределения металлической части материала по фракциям было выполнено омагничивание пыли на наиболее характерных ситах: 0,315+; 0,2; 0,2-. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение омагниченного материала по фракциям

| Размер частиц, мм | Количество материала данной фракции, г / масс. % | В том числе масса омагниченного материала, г / % | Доля омагниченного материала данной фракции относительно всего материала, масс. % |
|-------------------|--|--|---|
| >0,315 | 179 / 36 | 166 / 92,7 | 33,2 |
| 0,2-0,315 | 142 / 28 | 37 / 26,1 | 7,4 |
| <0,2 | 179 / 36 | 45 / 25,1 | 9,0 |
| Всего | 500 / 100 | | 49,6 |

Из данных в таблице 1 следует, что самое большое количество металла содержится в материале с размером частиц > 0,315 мм – 92,7% от материала этой фракции, что составляет около 67 % от общего количества омагничиваемой пыли дробеочистки. При этом, как показал химанализ, основной составляющей немагнитной части пыли дробеочистки является SiO₂ (до 90-93%), а омагниченной части: в материале с размером частиц ≥ 0,315 мм – в основном металл, в зависимости от материала применяемой дробы, – либо чугун, либо сталь; а в материале < 3,15 мм – в основном оксиды железа (FeO и Fe₂O₃).

Учитывая результаты предварительных исследований наиболее рациональной технологической схемой рециклинга образующейся в литейных цехах ОАО «МТЗ» пыли дробеочистки представляется следующая:

- отдельный сбор пыли в зависимости от применяемой дробы;
- отсев фракции с размером 0,315+;
- омагничивание этой фракции;
- переплав полученной омагниченной части в ротационной наклоняющейся печи (РНП);
- жидкая завалка полученного в РНП расплава в имеющиеся в литейных цехах индукционные печи (дуплекс-процесс).

Реализация такой технологии позволит предприятию получить дополнительно около 480-500 тонн металла при себестоимости расплава в 4-5 раз ниже текущей себестоимости жидкого чугуна.

Лабораторные исследования окалины кузнечных и термических цехов ОАО «МТЗ» включали в себя определение влажности материала, размеров составляющих его частиц, потерь при прокаливании и насыпной плотности. Кроме того, с целью определения оптимальных режимов рециклинга окалины, исследовались процессы твердофазного восстановления окалины. В качестве восстановителя при этом использовался скрытокристаллический графит.

Образцы окалины имели среднюю плотность около 2200-2500 кг/м³, влажность – не более 0,5-0,6%, потери при прокаливании – около 1%. Частицы имеют широкий разброс размеров: от 1-2 до 10-20 мм, при толщине от 0,05 до 2-3мм.

При проведении исследований процесса восстановления навеска окалины смешивалась с восстановителем в пропорциях 2/1 или 8/3. Подготовленные образцы помещались в печь. Температура нагрева образцов варьировалась в пределах 850-1150 °С. Время пребывания материала в печи составляло от 20 до 60 мин. После извлечения образцов из печи они взвешивались. Контроль процесса восстановления осуществлялся по убыли массы, которая, в случае с сухой и обезжиренной окалиной, может быть связана только с удалением кислорода – металлизацией. Исследования проводили отдельно для мелкой (с размерами до 2-3 мм и толщине

пластинки не более 0,5 мм) и крупной окалины (размеры не менее 5-10мм при толщине не менее 1 мм). Данные проведенных исследований представлены на рисунке 2 и в таблице 2.

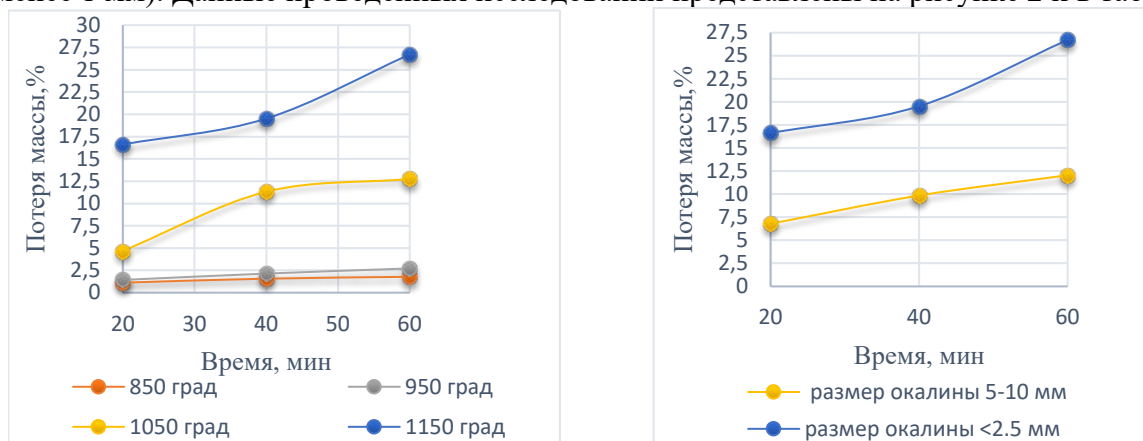


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления окалины от температуры (а) и размера частиц при температуре 1050°С (б)

Таблица 2 – Данные восстановления частиц окалины с размерами до 2-3 и толщине до 0,5 мм

| Температура восстановления, °С | Потеря массы (%) в зависимости от продолжительности процесса (мин.) | | | Степень металлизации через 60 мин., % |
|--------------------------------|---|-------|-------|---------------------------------------|
| | 20 | 40 | 60 | |
| 850 | 1,12 | 1,57 | 1,78 | 6,6 |
| 950 | 1,43 | 2,14 | 2,72 | 10,1 |
| 1050 | 4,68 | 11,32 | 12,75 | 41,2 |
| 1150 | 16,62 | 19,53 | 26,72 | 99,0 |

Из представленных данных видно, что скорость восстановления окалины значительно увеличивается при температурах выше 1000°С, а при температуре 1150 °С уже через 20 минут степень металлизации достигает 61,5%. В тоже время исследования показали, что при температурах около 1250°С окалина начинает активно спекаться. Таким образом, оптимальными для восстановления окалины кузнечных и термических цехов твердым восстановителем являются температуры в интервале 1000-1200°С, с увеличением температуры скорость восстановления растет.

Важную роль при твердофазном восстановлении играют также предварительная подготовка шихты: измельчение материалов – увеличение площади поверхности контакта (см. Рисунок 2, б), и тщательное смешивание частиц оксидов железа и графита приводят к значительному ускорению процесса восстановления. Это позволяет сделать вывод, что процессы нагрева и восстановления в динамическом слое при постоянном перемешивании должны проходить более интенсивно, а, следовательно, наиболее рациональным способом рециклинга окалины для ОАО «МТЗ» представляется предлагаемый белорусскими учеными малотоннажный рециклинг с применением РНП [2].

Список использованных источников

1. Волобуев, В.Ф. Ресурсы вторичных черных металлов: справ. / В.Ф. Волобуев, Г.Ф. Попов. – М.: Металлургия, 1996. – 128 с.
2. Ровин, С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах / С.Л. Ровин. – Минск: БНТУ, 2015. – 382с.

Сравнительная оценка воздушно-прессового и пескодувно-прессового методов формообразования

Студент гр. 10404118 Мисюк А.Н.
Научный руководитель – Ровин С.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Воздушно-прессовый метод изготовления разовых песчано-глинистых форм «сейатсу-процесс» (Seiatsu), запатентованный японской фирмой «Синто», в настоящее время является одним из самых популярных методов формообразования, позволяющий получать формы с высокого качества с достаточно высокой производительностью. На начальном этапе опока заполняется формовочной смесью, после чего осуществляется ее продувка воздушным потоком. Поток воздуха, протекая сквозь поры смеси, уплотняет ее, особенно по контуру модели (в соответствии с расположением вент на подмодельной плите), что весьма трудно осуществить другими известными способами формовки. Затем с помощью прессового рабочего органа (прессовой плиты, гибкой дифрагмы, многоплунжерной головки) производится окончательное уплотнение смеси. При использовании этого способа и модель, и подмодельные плиты должны быть в обязательном порядке оснащены вентилями, которые необходимы для равномерного удаления из объема опоки продуваемого через смесь воздуха. Многолетнее использование Seiatsu-процесса показало не только возможность изготовления форм с высокой равномерностью плотности смеси по высоте опоки, но и наличие высокой газопроницаемости, которая появляется в результате продувки смеси воздушным потоком. Образующиеся в результате этого дополнительные каналы в объеме смеси обеспечивают значительно более интенсивный отвод газов из формы в процессе ее заливки расплавом, что позволяет сводить к минимуму брак отливок по газовым дефектам.

Современный пескодувно-прессовый процесс изготовления форм, реализуемый на автоматических формовочных линиях, включает вдув смеси и допрессовку. Вдув формовочной смеси из резервуара в опоку производят с помощью сжатого воздуха. Вдув сопровождается заполнением опоки смесью, ее уплотнением (плотность 1300-1450 кг/м³) и удалением отработанного воздуха в атмосферу. Окончательное уплотнение смеси осуществляется допрессовкой при повышенном давлении 1,0-1,5 МПа, достигаемая при этом плотность составляет 1650-1700 кг/м³. Процесс вдува смеси для получения формы средних размеров длится примерно 1 с, столько же длится и допрессовка. С учетом времени создания замкнутого объема для вдува механизмами формовочного автомата, протяжки модельных комплектов, их отвода и подготовки к выдаче полуформы (формы) все операции на позиции формообразования занимают не более 7-20 с (для форм размерами от 480×600 до 700×950 мм), что обеспечивает высочайшую производительность этому способу формовки. Благодаря возможности заполнять теневые стороны модельной оснастки этот способ является основным методом формовки на автоматических линиях изготовления разовых безопочных форм из песчано-глинистых смесей. Однако при этом следует отметить, что к смесям, применяемым при использовании пескодувно-прессового способа изготовления форм, предъявляются повышенные требования: прочность при сжатии в сыром состоянии должна быть не менее 0,12-0,20 МПа, текучесть не менее 70-75%, а влажность смеси не должна превышать 3,0-3,5% [1].

Применение данных методов формообразования позволяет получать формы с равномерно высокой твердостью поверхности рабочей полости, а, следовательно, и отливки высокой точности, что в значительной мере сокращает затраты на дальнейшую мехобработку отливок. Высокая производительность процесса и хорошие санитарно-гигиенические условия труда, технологическая надежность процесса также являются характерными качествами данных методов. Во многих случаях отпадает необходимость в использовании стержней, так как

благодаря равномерной твёрдости формы, возможна формовка сложных контуров моделей, а высокая прочность обеспечивает возможность получения высоких болванов. Так же, благодаря данным методам, возможно более плотное расположение моделей на подмодельной плите, поскольку допускаются меньшие расстояния между моделями и до стенок опок, это позволяет производить больше отливок в одной форме. Машины данных процессов работают с относительно невысоким уровнем шума, что является важным шагом в сторону улучшений условий труда, и без динамических нагрузок на фундамент, это сокращает затраты на техобслуживание и снижает вероятности возникновения неполадок [2].

Качество уплотненных форм можно оценивать по показателям плотности: средней плотности, плотности в наиболее трудноуплотняемом месте по контуру модели и равномерности распределения плотности. Эффективность того или иного способа формовки устанавливается, как правило, в результате анализа средней плотности по высоте формы.

На рисунке 1 представлен график распределения плотности δ формовочной смеси по высоте H_0 оснастки при воздушно-прессовом процессе уплотнения, на рисунке 2 представлен график распределения плотности δ формовочной смеси по высоте H_0 оснастки при пескоструйно-прессовом процессе уплотнения.

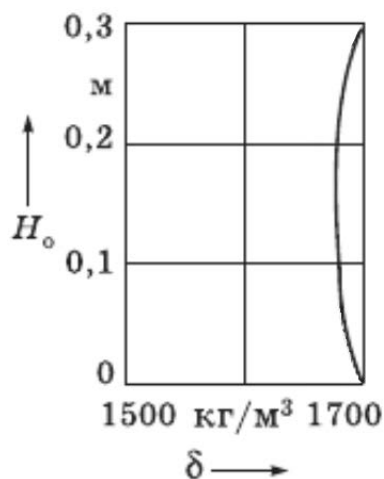


Рисунок 1 – Распределение плотности δ формовочной смеси по высоте H_0 оснастки при воздушно-прессовом процессе уплотнения

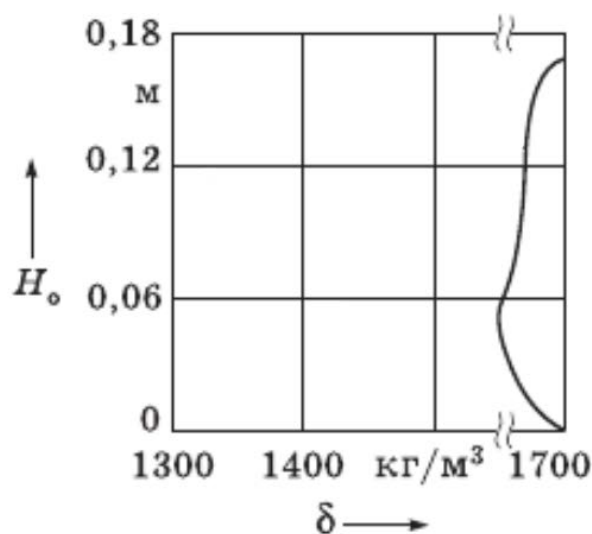


Рисунок 2 – Распределение плотности δ формовочной смеси по высоте H_0 оснастки при пескоструйно-прессовом процессе уплотнения

Исходя из графиков, представленных на рисунках, можно сказать, что применение воздушно-прессового и пескодувно-прессового процессов уплотнения позволяет получать формы с высокой плотностью смеси в наиболее ответственных местах и с достаточно высокой равномерностью распределения плотности по высоте формы. При этом пескодувно-прессовый метод позволяет уплотнять смесь даже в теневых участках модели и обеспечивает более высокую производительность формовки, в тоже время воздушно-прессовый метод дает большую равномерность уплотнения и обеспечивает более высокую газопроницаемость форм, при относительно меньших инвестиционных затратах на формовочное оборудование.

Но в целом, оба метода этих метода сегодня занимают лидирующее положение по востребованности среди способов, используемых на автоматических линиях для изготовления форм из сырых песчано-глинистых смесей, обеспечивая получение отливок высочайшего качества самого разного назначения в серийном и массовом производстве [3].

Список использованных источников

1. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства: учебник / Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, Н.В. Андрианов. В 2 ч. Ч. 2. Технология изготовления отливок в разовых формах. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 406с.
2. Одиночко, В.Ф. Автоматические линии для изготовления отливок в разовых формах / В.Ф. Одиночко, С.Л. Ровин. – Минск: БНТУ, 2018. – УЭМК 32 – 2.2018.
3. <https://litejka.ru>. Дата доступа: 15.04.2021.

Студенты: гр. 10404118 Курач Д.И., гр. 10404119 Стенник М.А.,
гр. 10404119 Белевич И.Т.

Научный руководитель – Ровин С.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литье по выжигаемым (или газифицируемым) моделям является одним из специальных способов литья. Данный метод хорошо подходит для создания точных, тонкостенных, сложных по конфигурации отливок в индивидуальном и серийном производстве из различных сплавов.

Сущность метода состоит в изготовлении модели из полимерного синтетического материала, как правило из полистирола, которая в процессе заливки жидкого металла в форму выгорает (газифицируется) и замещается расплавом по мере его поступления.

Традиционными методами изготовления выжигаемых моделей являются: вырезание из формованной полистирольной плиты (способ не требует большой точности и больших затрат при изготовлении, однако подходит лишь для изготовления моделей с простой геометрией и несложной поверхностью) и изготовление моделей в пресс-формах из вспенивающегося полистирола (способ применяется в серийном производстве, модели имеют высокую точность, однако при этом требуется длительная и затратная подготовка к выпуску – разработка и изготовление дорогостоящих прессформ).

Последние годы в литейном производстве все шире используются аддитивные технологии, одно из направлений их применения – «выращивание» полистирольных моделей с применением 3D-печати.

3D-печать дает возможность изготавливать уникальные объекты сложной геометрии для получения высококачественных отливок, что зачастую невыполнимо при использовании традиционных методов. Модели, которые созданы аддитивными методами, могут быть гораздо сложнее и тоньше, чем пенополистирольные модели, изготовленные в пресс-формах.

При этом исключается необходимость в изготовлении пресс-форм, а время изготовления моделей на 3D-принтере составляет от 1-2 до 6-8 часов, в зависимости от размеров модели [1].

Литейные модели для последующего литья по выжигаемым моделям могут быть получены из порошкового полистирола или фотополимерных композиций.

3D-печать полистирольных моделей приобрела особую популярность в области прототипирования, при изготовлении пилотных отливок, отработке технологии для освоения промышленного выпуска новых отливок, при выпуске штучной и малосерийной продукции. Полистирольные модели «выращиваются» чаще всего на AF-машинах, работающих по технологии SLS – Selective Laser Sintering – послойное спекание порошковых материалов [2].

Суть технологии заключается в следующем. Модельный материал (полистирольный порошок с размером частиц 50-150 мкм), накатывается специальным роликом на рабочую платформу, установленную в герметичной камере с атмосферой азота или инертного газа. Лазерный луч «пробегаёт» там, где компьютер «видит» в данном сечении САД-модели «тело», как бы заштриховывая сечение детали. Лазерный луч является источником тепла, под воздействием которого происходит спекание частичек полистирола (рабочая температура около 120 °С). Затем платформа опускается на 0,1-0,2 мм и новая порция порошка накатывается поверх отвержденного, формируется новый слой, который также спекается с предыдущим. Процесс повторяется до полного построения модели, которая в конце процесса оказывается заключенной в слой неспекенного порошка. Затем модель извлекается из машины и очищается от порошка.

Преимуществом данной технологии является отсутствие поддержек – они не нужны, поскольку модель и все ее строящиеся слои во время построения удерживаются массивом порошка. Имеющиеся на рынке машины позволяют строить достаточно крупные модели – размерами до 550x550x750 мм. Весьма высока и детализация построения моделей: могут быть построены элементы (номера деталей, условные надписи и пр.) с толщиной фрагментов до 0,6 мм, а гарантированная толщина стенки модели составляет до 1,5 мм [2].

К недостаткам технологии нужно отнести следующее: неравномерность распределения тепла по рабочей камере, по массиву материала и, соответственно – опасность коробления вследствие температурных деформаций; порошок полистирола не сплавляется, а спекается – поэтому структура модели получается пористой, похожей на структуру пенопласта, и хрупкой, поэтому «выращенная» модель требует весьма аккуратного обращения при очистке и дальнейшей подготовке к формованию. Для придания прочности и удобства работы с ней (сочленения с литниковой системой, формовки) модель пропитывают специальным составом на восковой основе – процесс называется инфильтрацией: пропитку проводят в специальной печи при температуре около 80°C. Это требует дополнительных затрат и тоже несет опасность деформирования модели. Однако в последнее время появились полистирольные модельные порошки, не требующие инфильтрации.

Суть технологии создания моделей из свето- или фото-полимеров состоит в использовании специальных светочувствительных смол, которые отверждаются избирательно и послойно в точках или местах, куда по заданной программе подводится луч света. Способы засветки слоя различны (лазер, ультрафиолетовая лампа, видимый свет). Существует две основные технологии создания моделей из фотополимерных композиций: лазерная стереолитография (SLA-технология) – отверждение слоя посредством лазера, и «моментальная» засветка слоя – отверждение слоя фотополимера вспышкой ультрафиолетовой лампы или прожектора [3].

SLA-технология предполагает последовательное «пробегание» лазерного луча по всей поверхности формируемого слоя модели. Согласно второму способу отверждение всего слоя происходит сразу же после или в процессе его формирования за счет излучения от управляемого источника света – видимого или ультрафиолетового. Скорость выращивания вторым способом выше. Однако SLA-технология точнее и применяется там, где требования к чистоте поверхности и точности построения модели являются основными и определяющими.

Основой в SLA-процессе является ультрафиолетовый лазер. Лазерный луч здесь является источником света. Луч «штрихует» текущее сечение САД-модели и отверждает тонкий слой жидкого полимера в местах своего прохождения. Затем платформа, на которой производится построение, погружается в ванну с фотополимером на величину шага построения и новый слой «обрабатывается» лазером по соответствующему контуру. При выращивании модели, имеющей нависающие элементы, одновременно с основным телом строятся поддержки в виде тонких столбиков, на которые укладывается первый слой нависающего элемента, когда приходит черед его построения. Процесс повторяется до завершения построения. Затем модель извлекается, остатки смолы смываются ацетоном или спиртом, а поддержки удаляются механическим способом. Качество поверхности стереолитографических моделей выше спекаемых по SLS-технологии и, как правило, модель не требует дополнительной обработки. В некоторых случаях, если угол между строящейся поверхностью модели и вертикалью меньше 30°, модель может быть построена и без поддержек. Ведущим производителем SLA-машин является американская компания «3D Systems», которая выпускает широкую гамму машин с размерами зоны построения от 250x250x250 мм до 1500x570x500 мм [3].

Последнее время все большую популярность приобретают так называемые Quick-Cast-модели, т. е. модели для «быстрого литья». Модели Quick-Cast имеют сотовую структуру массива стенок: внешние и внутренние рабочие поверхности выполняются сплошными, а само тело стенки формируют в виде набора сот. Такая структура обеспечивает при литье по выжигаемым

моделям дополнительные преимущества: при сохранении требуемой манипуляторной прочности существенно, на 70 % снижается общая масса модели, а это кроме экономии модельного материала и снижения стоимости модели означает, что меньшее количество материала должно быть газифицировано в процессе заливки формы расплавом, соответственно снижается вероятность появления газовых дефектов в теле отливки и уменьшается нагрузка на систему обезвреживания аспирируемых газов [3].

Список использованных источников

1.Аддитивные технологии в литье по выжигаемым моделям – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Применение 3D-технологий в литье по выжигаемым моделям (iqb.ru). Дата доступа: 14.04.2021.

2.Использование аддитивных технологий при литье по выжигаемым моделям – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Использование аддитивных технологий при литье по выжигаемым моделям (cyberleninka.ru). Дата доступа: 14.04.2021.

3.Аддитивные технологии в опытном литейном производстве – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. - Праксис Инжиниринг (praxis-engineering.ru). Дата доступа: 14.04.2021.

Особенности, преимущества, и недостатки безопочной горизонтально-стопочной формовки

Студент гр. 10404118 Мисюк И.Н.
 Научный руководитель – Ровин С.Л.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Линии безопочной формовки со сборкой форм в горизонтальную стопку (безопочная формовка с вертикальной плоскостью разъёма) являются наиболее производительными и распространёнными сегодня автоматическими линиями массового производства отливок в сырых песчано-глинистых смесях.

При безопочной формовке форма изготавливается без применения опок непосредственно в технологической камере формовочной машины, вход и выход из которой во время формообразования ограничивается прессующими колодками, на которых смонтированы подмодельные плиты, модели отливок и ЛПС. При горизонтально-стопочной формовке формы прижимаются к ранее изготовленным, формируя непрерывную горизонтальную стопку, опирающуюся на стол шагающего конвейера и ограниченную с двух сторон его бортами. Формы, собранные в горизонтальную стопку, удерживают друг друга, не позволяя раскрыться или разрушиться во время заливки расплавом [1].

Схема автоматической линии представлена на рисунке 1.

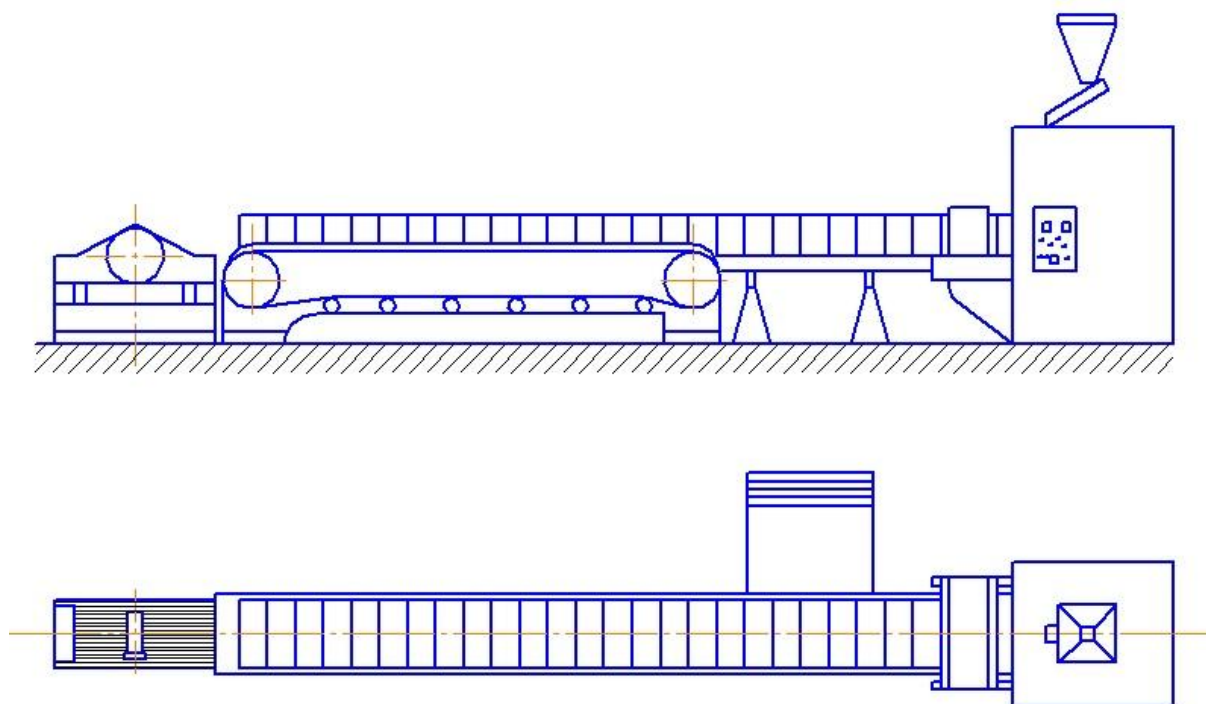


Рисунок 3 – Схема автоматической линии безопочной горизонтально-стопочной формовки

Технологический цикл горизонтально-стопочной формовки включает в себя следующие операции:

- Подача и дозирование формовочной смеси в бункер;
- Засыпка дозы смеси в гильзу пескодувной головки;
- Обдув сжатым воздухом (очистка) и опрыскивание модельного комплекта разделительным составом;
- Надув смеси в формовочную камеру;
- Двухстороннее прессование;

- Протяжка моделей;
- Простановка стержней;
- Выталкивание формы и сборка горизонтальной стопки;
- Заливка форм;
- Охлаждение, транспортирование к выбивной решетке;
- Выбивка отливок.

Подача смеси в камеру прессования выполняется в потоке сжатого воздуха, что позволяет одновременно дозировать смесь и предварительно уплотнять её до плотности 1300-1450 кг/м³. При последующем двустороннем прессовании получают равномерную плотность по всему объему формы (1600-1700 кг/м³) и высокую твердость по обоим (левому и правому) отпечаткам моделей. Операции на позиции формообразования занимают не более 7-20 с [2]. На рисунке 2 изображён график распределения плотности по объему формы при пескодудно-прессовом уплотнении.

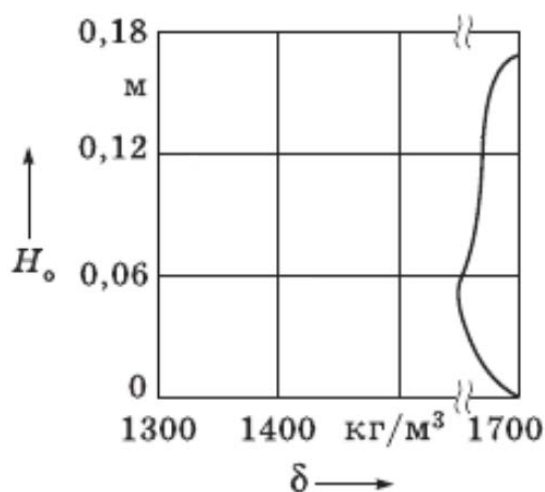


Рисунок 4 – График распределения плотности по объему формы при пескодудно-прессовом уплотнении

Следует отметить, что к смесям, применяемым при использовании пескодуднопрессового способа изготовления форм, предъявляются повышенные требования:

- Прочность при сжатии в сыром состоянии – не менее 0,12-0,20 МПа;
- Текучесть – не менее 70-75%;
- Влажность – не более 3,0-3,5%.

Автоматические линии безопочной формовки со сборкой форм в горизонтальную стопку оснащаются стержнеукладчиками, имеющими заменяемые стержневые маски, в которые вручную либо автоматически укладывают стержни. В масках стержни, как правило, удерживаются с помощью вакуума до момента установки в форму. Формовочный автомат и стержнеукладчик работают синхронно. Ни одно из этих устройств не начинает новый цикл, пока другое устройство не завершит начатый цикл.

Используют также подогрев подмодельных плит и моделей до температуры на 10-15°С выше температуры смеси, что предотвращает конденсацию влаги на металлической модельной оснастке и прилипание к ней формовочной смеси.

Основные преимущества изготовления форм и отливок на автоматических линиях безопочной формовки со сборкой в горизонтальную стопку [3]:

- Отсутствие опочной оснастки;
- Отсутствие транспортных средств и механизмов для перемещения и манипуляций с пустыми опоками;
- Простота устройств для выбивки форм;

- Отсутствие устройств для нагружения формы во время их заливки и кристаллизации металла;
- Улучшение вентиляции форм и стержней в связи с вертикальным расположением разъёма форм;
- Высокая производительность (до 500 форм в час);
- Стабильность и высокая размерная точность форм и получаемых отливок;
- Экономия производственных площадей;
- Отсутствие ударных нагрузок и шума при работе;
- Высокий уровень автоматизации;
- Возможность производить тонкостенные отливки;
- Быстрая смена модельной оснастки;
- Экономичность.

Главный недостаток автоматической линии безопочной горизонтально-стопочной формовки – невозможность изготовления крупных и тяжелых отливок вследствие ограниченных размеров изготавливаемых форм, некоторые ограничения по изготовлению стержневых отливок (невозможность применения стержней, собираемых в формах) и жесткие требования к параметрам и качеству используемой формовочной смеси.

В основном данный метод применяют для форм размерами не более 800×700×(250-400) мм при максимальном весе изготавливаемых отливок до 80 кг.

Список использованных источников

1. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства. / Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, В.Н. Эктова. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 416 с.
2. Матвеевко, И.В. Формовочное и стержневое оборудование литейных цехов. / И.В. Матвеевко, А.З. Исагулов. – Караганда: КарГТУ, 2004. – 215с.
3. <http://www.ruscastings.ru/> Дата доступа 15.04.2021

Студенты: гр. 10404119 Родевич В.А., гр. 10404118
Мисюк А.Н., гр. 10404118 Мисюк И.Н.
Научный руководитель – Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время разработано более 100 составов холоднотвердеющих смесей для изготовления форм и стержней. Все многообразие ХТС можно классифицировать по виду связующего, по способу отверждения (ввод катализатора в смесь при ее приготовлении, продувка формы или стержня реагентами), по длительности цикла отверждения (с длительным циклом – 30-45 мин и коротким циклом – 5-180 с) и по реологическим свойствам смеси (пластичные, сыпучие, жидкоподвижные).

По виду связующего можно выделить смеси с неорганическими (жидкое стекло, фосфаты, кристаллогидраты), органическими (смолы, ЛСТ и др.) и комбинированными связующими (органическими и неорганическими).

Жидкостекольные смеси. Это наиболее широко применяемые холоднотвердеющие смеси. Для обеспечения твердения смесей с жидким стеклом используются продувка CO_2 , ввод в смесь двухкальциевых силикатов, жидких эфиров, ферросилиция, выдержка на воздухе.

CO_2 -процесс. Освоение жидкостекольных смесей, отверждаемых продувкой CO_2 , было начато в 1950-х гг. Эти смеси явились первыми холоднотвердеющими смесями, позволившими во многих случаях исключить сушку форм и стержней, повысить производительность труда и качество отливок, снизить их себестоимость.

На практике применяются следующие способы продувки форм и стержней углекислым газом:

- Продувка через отверстия в модели и стенках стержневого ящика;
- Продувка через каналы в форме по контуру модели или в знаковой части стержня (до извлечения из оснастки);
- Установка на полуформу или стержневой ящик со стержнем герметизированной камеры, из которой CO_2 поступает в рабочее пространство формы или стержень;
- Выдержка стержней в камере, наполненной CO_2 .

Для продувки форм и стержней применяют чистый, пищевой углекислый газ либо углекислый газ, разбавленный воздухом или дымовыми газами (до концентрации CO_2 50-60 %). Прочность смеси и скорость твердения увеличиваются при повышении температуры газа.

Важными параметрами смесей являются модуль и плотность жидкого стекла, а также его содержание в смеси. В процессе продувки прочность смеси повышается до некоторой величины, а затем уменьшается. С увеличением модуля жидкого стекла длительность продувки до достижения максимальной прочности сокращается, но при этом снижается величина максимальной прочности. Поэтому при необходимости отверждать формы и стержни быстро при малом сроке их хранения следует применять жидкое стекло с модулем 2,6-3.

С увеличением модуля жидкого стекла падает живучесть смеси. Для сохранения пластических свойств смеси в течение нескольких суток целесообразно применять жидкое стекло с модулем 2,3-2,6. При изготовлении крупных форм и стержней, обладающих высокой прочностью, следует использовать жидкое стекло с модулем 2-2,3.

Оптимальные вязкость и содержание влаги в жидком стекле обеспечиваются при его плотности 1480-1520 кг/м³. При большей плотности ухудшается распределение жидкого стекла по зернам песка, а при меньшей плотности снижается прочность смеси.

Обычно в смесях содержится 5-7 % жидкого стекла. При меньшем содержании прочность смесей мала, а при большем ухудшается выбиваемость смеси. Для CO_2 -процесса следует применять пески с минимальным содержанием глины, которая снижает прочность в обработанном состоянии.

ХТС с жидким стеклом нетоксичны, обладают хорошей податливостью. На стальном литье при их применении получается легкоудаляемый пригар, даже без окраски формы. К недостаткам этих смесей следует отнести их плохую выбиваемость и затрудненную регенерацию.

Твердение смеси при тепловой сушке и провяливании. При сушке ХТС на жидком стекле образуется прочная структура стекловидной пленки силикатов натрия. Оптимальная температура сушки составляет $150\text{ }^\circ\text{C}$, длительность – 0,5-1,5 ч. Максимальная прочность (11 МПа) достигается при остаточной влажности 0,3 %. При пропускании горячего воздуха через смесь длительность сушки сокращается до 30-40 мин. При высушивании смеси жидкое стекло теряет влагу. При $200\text{ }^\circ\text{C}$ потери влаги составляют 93 %. По мере обезвоживания жидкого стекла формируется весьма прочная стекловидная структура в виде кремнекислородного каркаса.

На практике применяют комбинацию продувки смесей CO_2 с последующей тепловой обработкой при $200\text{ }^\circ\text{C}$. При этом с повышением длительности продувки CO_2 эффективность последующей сушки падает, что приводит к уменьшению прочности с увеличением продолжительности предварительной продувки CO_2 . При выдержке на воздухе ХТС с жидким стеклом твердеют медленно (от 7 до 24 ч).

Отверждение двухкальциевыми силикатами. Жидкостекольные ХТС, в которых для отверждения применяют двухкальциевые силикаты (ферро-хромовый шлак и нефелиновый шлак), бывают двух видов: пластичные и жидкие самотвердеющие смеси.

Жидкие самотвердеющие смеси. Они обладают высокой жидкотекучестью, позволяющей ей качественно заполнять стержневые ящики и пространство между опокой и моделью под действием собственного веса без применения внешних воздействий. Обеспечение высокой текучести основано на применении ПАВ. Все поверхностно-активные по отношению к воде вещества имеют асимметричную молекулярную структуру. Их молекула состоит из двух значительно отличающихся по своим свойствам частей: полярной гидрофильной группы с большим сродством к воде – на одном конце молекулы и длинной неполярной гидрофобной углеводородной группы – на другом.

Полярные группы чаще всего имеют вид $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_2\text{OH}$, $-\text{SO}_3\text{Na}$, $-\text{O}-\text{SO}_2\text{OH}$ и др. Молекулы ПАВ самопроизвольно адсорбируются из растворов на различных поверхностях раздела жидких, газообразных и твердых фаз. Адсорбция ПАВ на границе «жидкость – газ» приводит к снижению поверхностного натяжения жидкости и при замешивании воздуха – к пенообразованию.

Текучесть смеси при применении ПАВ объясняется пенообразованием и снижением поверхностного натяжения воды, приводящим к уменьшению сил связи между смоченными зернами наполнителя. К ПАВ, используемым в ЖСС, предъявляются следующие основные требования: высокая пенообразующая способность и умеренная устойчивость пены (пена должна опадать за относительно короткое время, 5-20 мин).

Пенообразующая способность и устойчивость пены зависят от длины углеводородного радикала и количества содержащихся в нем атомов углерода. Низкомолекулярные ПАВ (при малом числе атомов углерода в углеводородном радикале) обладают низкой пенообразующей способностью с малой устойчивостью пены, а высокомолекулярные – высокой пенообразующей способностью с высокой устойчивостью пены. Поэтому для получения пенообразователей с оптимальными свойствами необходимо сочетать, по крайней мере, два вещества, выбираемые из низших и высших гомологов ПАВ.

В состав ЖСС входят жидкая композиция (ПАВ, жидкое стекло и вода), наполнитель, отвердитель и различные добавки для регулирования технологических и рабочих свойств смеси.

Состав и количество жидкой композиции должны обеспечивать общую влажность смеси в пределах 4,5-5 %. Содержание жидкого стекла в смесях составляет 6-7 % при использовании в качестве отвердителя феррохромового шлака и 3,5-4,5 % при применении нефелинового шлама. В качестве пенообразователей используют следующие ПАВ: контакт Петрова (0,5 %) + мылонафт (до 0,15 %) или ДС-РАС (0,1-0,15 %). В состав жидкой композиции вводят 1,5-2 % воды. Жидкое стекло должно иметь модуль 2,6-2,9 при плотности 1,46-1,52 г/см³. Общее содержание жидкой композиции в смесях – 5,5-10 % (сверх 100 % твердой составляющей).

В качестве наполнителей для ЖСС используют кварцевые пески групп 016-04 с содержанием глинистой составляющей не более 2 %. Могут применяться и другие наполнители указанного гранулометрического состава. Для обеспечения твердения смесей в них вводят 3-5 % феррохромового шлака или нефелинового шлама. Феррохромовый шлак имеет следующий минералогический состав: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – 70 %, $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{FeO}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_2$ – 20-25 %. Содержание CaO в феррохромовом шлаке должно быть не менее 48 %, влажность – не более 1,5 %, удельная поверхность частиц шлама – не ниже 1800-2000 см²/г.

Нефелиновый шлак (побочный продукт производства глинозема из нефелиновых руд) содержит 80-85 % $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. В нем должно содержаться не менее 53 % CaO (с удельной поверхностью зерен 7500-8000 см²/г).

Твердение смесей является следствием обменных реакций между жидким стеклом и силикатом кальция. Первым этапом является растворение силиката кальция в жидком стекле. В растворе происходит взаимодействие в соответствии с реакцией.

Раствор оказывается пересыщенным образующимися гидросиликатами. Выделяясь из раствора, они обеспечивают связку зерен наполнителя. Состав образующихся гидросиликатов по мере твердения смеси изменяется в сторону повышения их основности, постепенно приближаясь к равновесному составу. Одновременно изменяется состав жидкой фазы, модуль которой М понижается. Равновесные составы образуются после длительного периода твердения – 1-3 суток. Образование гидросиликатов в процессе твердения смеси сопровождается поглощением SiO_2 из жидкой фазы. Поэтому ее модуль изменяется от 2,9 (при модуле жидкого стекла 2,9) в начале твердения до 0,5 в конце. Формирование прочности смеси находится в прямой зависимости от количества, образовавшегося гидросиликата.

Наращение прочности ЖСС во времени характеризуется наличием инкубационного периода ти, величина которого зависит от продолжительности достижения предельной растворимости гидросиликатов в жидком стекле. С повышением концентрации жидкого стекла в смеси эта продолжительность увеличивается, что приводит к возрастанию ти. Увеличение количества отвердителя и его удельной поверхности ведет к снижению ти. С величиной ти связана живучесть смеси. Для обеспечения качественного заполнения опок и стержневых ящиков живучесть смеси должна быть не менее 2-3 мин.

Основные отличия Microsoft Office 2019 от Microsoft Office 2016

Студенты: гр. 10404220 Милютин Р.А., Пугач М.В., гр. 10404129 Коршак В.Е.

Научный руководитель – Одиночко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Функционал Microsoft Office 2019 мало чем отличается от функционала Microsoft Office 2016, так как в Office 2019 по большей части вошли все те функции, которые постепенно добавлялись в Office 2016. Обновление затронуло Word, Excel, PowerPoint, Outlook и Access. Office 2019 работает исключительно с Windows 10.

Пакет редакторов был подвергнут серьезному изменению внешнего вида и панелей управления. В каждом приложении появилась возможность настраивать набор и расположение команд под себя (кастомизация). Также было интегрировано более качественное и точное распознавание угла наклона и силы нажатия стилуса, что актуально для планшетов и ноутбуков с сенсорными дисплеями. Более конкретные нововведения рассмотрим на примере конкретных программ.

- PowerPoint. Внедрена поддержка SVG-векторных картинок и 3D-моделей. Их можно свободно вставлять в презентацию. Добавлен переход «Трансформация» для плавной смены слайдов. Добавлена функция увеличения (Зум). Реализована возможность экспортировать видео в разрешении 4К.

- Excel. Добавлены новые графические элементы: диаграмма с картой и диаграмма «Воронка», также появились временные шкалы. Добавлены 2D-карты для преобразования географических данных. Внедрены новые функции и формулы для работы с данными.

- Word. Интегрирована новая версия переводчика. Также Word обзавелся режимом фокуса, который помещает изучаемый пользователем контент впереди и по центру, и новым переводчиком.

- Outlook. Обновленный формат карточек контактов с возможностью быстрого просмотра. Сортировка почты по различным фильтрам, то есть сфокусированная папка для входящих писем, которая отфильтровывает маловажную корреспонденцию. Добавление упоминаний для контактов.

- Access. Помимо переделанного оформления добавлены новые функции, которые увеличивают удобство и возможности приложения. Добавление новых связей и математических единиц. Новые схемы для упрощения работы.

Также в Word и Outlook появились обучающие инструменты, такие как чтение вслух и трекинг межбуквенных пробелов.

Особенности MS Office 2019.

1.Привлекательное оформление

Позволяет сделать ваши документы, листы и презентации эффектнее, позволяет вставлять изображения в формате SVG и применять к ним фильтры.

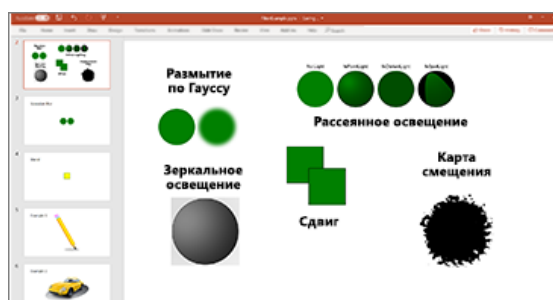


Рисунок 1 – Привлекательное оформление

2. Устранение языкового барьера

Перевод слов, фраз и целые фрагменты текста на другой язык с помощью Microsoft Translator.

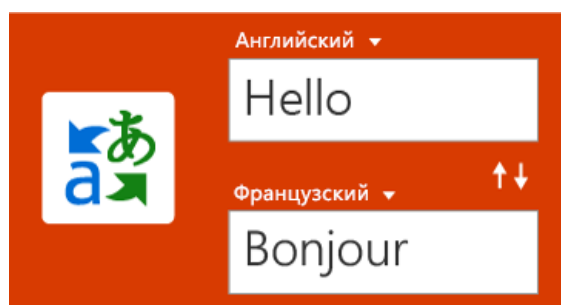


Рисунок 2 – Устранение языкового барьера

3. Поддержка уравнений LaTeX

Математические формулы можно создавать с использованием синтаксиса LaTeX.

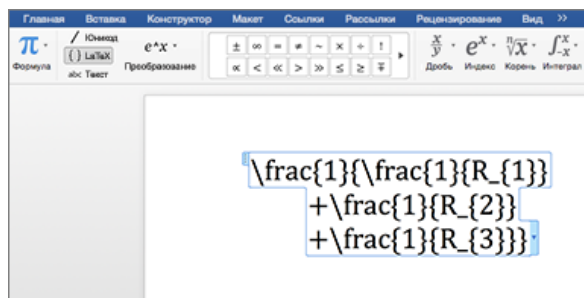


Рисунок 3 – Поддержка уравнений LaTeX

4. Удобная навигация презентации с помощью оглавления

Оглавление позволяет переходить между слайдами в любом порядке, пропускать неважные части слайд-шоу или возвращаться к важным, не нарушая ход презентации.



Рисунок 4 – Удобная навигация презентаций с помощью оглавления

5. Рукописный ввод

Позволяет использовать палец или перо для записи сложных математических задач и выделения текста. Мышь тоже работает!

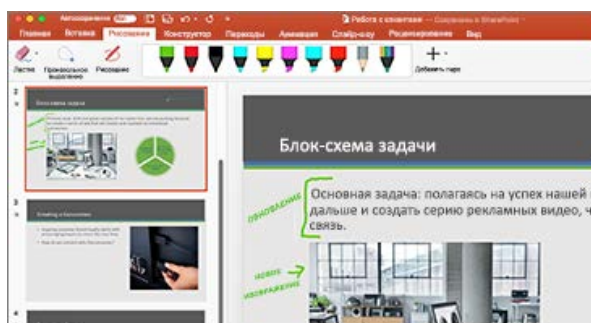


Рисунок 5 – Рукописный ввод

6. Новые диаграммы для наглядного представления данных

Предлагаются на выбор 11 новых диаграмм, в том числе графики, гистограммы и линейчатые диаграммы.

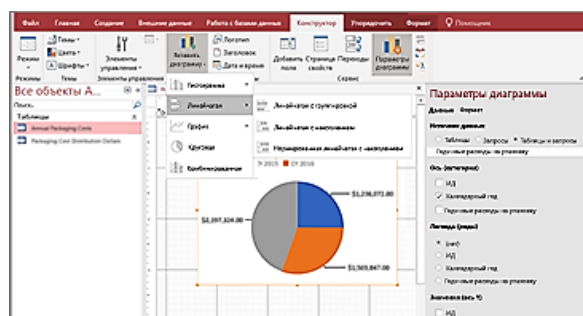


Рисунок 6 – Новые диаграммы для наглядного представления данных

7. Поддержка больших чисел (bigint)

Тип данных для больших чисел хранит неденежные числовые значения и совместим с типом данных SQL_BIGINT в ODBC. С помощью этого типа данных можно рационально под- считывать большие числа.

| Имя поля | Тип данных |
|----------|----------------|
| Код | Счетчик |
| | Короткий текст |
| | Длинный текст |
| | Числовой |
| | bigint |
| | Дата и время |
| | Денежный |
| | Счетчик |
| | Логический |

Рисунок 7 – Поддержка больших чисел (bigint)

8. Исправление проблем с читаемостью одним щелчком

Средство проверки читаемости стало еще лучше благодаря поддержке международных стандартов и полезным рекомендациям по упрощению читаемости документов.

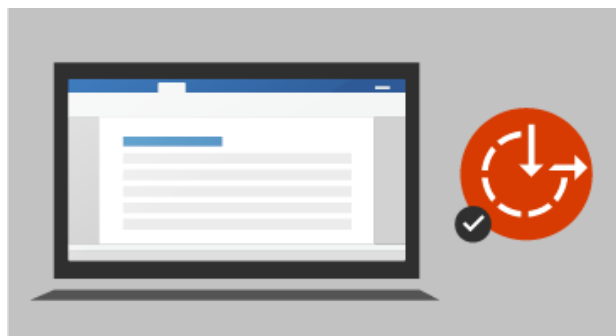


Рисунок 8 – Исправление проблем с читаемостью одним щелчком

MS Office 2019 обладает новыми функциями, описанными выше, которые упрощают и улучшают качество работы. Предоставляются новые возможности и способы внешнего изменения формата вашей работы.

Хромистые чугуны и их самоупрочнение

Студент гр. 10404129 Кучмин. Я.С.
Научный руководитель – Калининченко В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Для изготовления ряда быстроизнашивающихся деталей механического оборудования обычно применяют износостойкие чугуны, многие из которых, например, «нихард» (ЧХ9Н5), ИЧХ12М, ЧХ16М2, ЧХ28Н2, «Клаймэкс эллой – 42», комплексно легированный износостойкий чугун (КЛИЧ) марки ЧХ15Г2НМФТ и др., содержат в составе дорогостоящие и остродефицитные компоненты (Ni, Mo, V, W, Nb и др.). Для замены этих материалов экономнолегированными, не содержащими этих элементов, учеными ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» разработаны износостойкие чугуны на Fe-Cr-Mn и Fe-Mn основах, например, ЧХ(12-20)ГЗД, ЧХ15Г4Т, ЧГ(2-8)Ю, ЧГ6Ф и др. Главной их особенностью и неоспоримым преимуществом является метастабильность аустенитной составляющей структуры (первичного, эвтектического, остаточного), что обеспечивает эффект деформационного самоупрочнения в процессе эксплуатации благодаря развитию в рабочем поверхностном слое деталей наклепа, затем ДМПИ непосредственно под воздействием эксплуатационной абразивной среды (кокса, агломерата, известняка, дроби и пр.). Это превращение вызывает образование мартенсита деформации (аналогично тому, как образуется мартенсит при закалке), однако более дисперсного, твердого и износостойкого. Параллельно протекают процессы динамического деформационного старения мартенсита и аустенита (ДДС), обуславливающего дополнительное дисперсионное самоупрочнение выделяющимися высокодисперсными частицами карбидов и карбонитридов. Кроме того, эти ДФПИ сопровождаются перераспределением и поглощением энергии воздействующей эксплуатационной среды, в связи с чем, меньшая ее часть остается на разрушение поверхности деталей [1]. Все это в совокупности обеспечивает дополнительное и весьма существенное повышение износостойкости и долговечности деталей, изготовленных из этих чугунов. Разработанные износостойкие экономнолегированные чугуны получили промышленное использование: – ЧХ15Г4Т внедрены для отливки и обработки защитных плит разгрузочной части агломашин аглофабрики, тракта шихтоподачи в доменных цехах (защитные плиты перекидного лотка, скипов и др.), взамен чугуна КЛИЧ (ЧХ15Г2НМФТ) и стали Гадфильда (110Г13Л); – ЧХ14Г6Т – для отливки и обработки плит защитного листа желоба агломашин с ребристой рабочей поверхностью, чередование выступов и впадин, расположенных перпендикулярно движению агломерата, обеспечивает эффект самофутеруемости воздействующим на плиты агломератом. Преимущественно аустенитно-карбидная (литая) структура чугуна ЧХ15Г4Т постепенно трансформировалась в процессе эксплуатации в смесь α' - фазы и карбидов $(Cr,Fe)_7C_3$ и $(Cr,Fe)_{23}C_6$ вследствие ДМПИ. При этом внутри бывших зерен первичного аустенита наблюдаются дисперсные выделения вторичных карбидов $(Cr,Fe)_{23}C_6$, преимущественно сферической формы на фоне α' -фазы, что свидетельствует о развитии процессов ДДС, дестабилизации аустенита вследствие обеднения его углеродом и хромом и термо-деформационном превращении в α' -фазу. В результате этого микротвердость бывших аустенитных зерен возросла с 3900-4000 МПа до 4500-4850 МПа в $(\alpha' + (Cr, Fe)_{23}C_6)$ смеси, а расположенные темные области около первичных карбидов имели более высокую микротвердость 5300 МПа, что свидетельствует об образовании мартенсита вследствие ДМПИ. Этим объясняется повышенная износостойкость и долговечность плит. Для замены дефицитных дорогостоящих чугунов ЧХ20НМФ (Германия), ЧХ14НМФ, ЧХ21НФ и ИЧХ28Н2МФТ, применявшихся для изготовления лопастей дробеметов, разработаны чугуны ЧХ12Г4Д2 и ЧХ20ГЗД. Для бронифутеровочных плит дробеметных камер, испытывающих ударноабразивное воздействие с большей величиной ударной составляющей, чем лопасти,

разработан чугун ЧГ10Х4Ю с повышенным содержанием марганца и преимущественно аустенитной структурой металлической основы несколько большей степени стабильности. Сравнение свойств известных износостойких чугунов, с разработанными экономнолегированными сплавами показывает, что по ударно-абразивной износостойкости и ударной вязкости новые чугуны не уступают своим аналогам. При этом они значительно дешевле и доступнее, поскольку не содержат остродефицитных элементов. При замене применявшихся чугунов на разработанные ЧХ12Г4Д2 и ЧХ21Г7Д2 в условиях объединения «Красный котельщик» долговечность лопастей дробебетоуловителей возросла более чем в 30 раз по сравнению со стойкостью деталей из чугуна СЧ15 и в 1,5-2 раза – никельсодержащего чугуна ИЧХ28Н2МФТ и соответствовала долговечности покупных деталей импортного производства. Применение новых чугунов с метастабильной структурой, самоупрочняющихся при эксплуатации, позволяет экономить остродефицитные легирующие компоненты (никель, молибден, ванадий), снизить их стоимость в пределах 420-470 долл./т при одновременном повышении долговечности деталей в 1,5-2,5 раза, сократить ремонтно-эксплуатационные затраты, повысить производительность оборудования. В целях экономии никеля и замены дорогих жаростойких сталей типа 35Х23Н7СЛ, 40Х24Н12СЛ (содержат 7-13% Ni), применяющихся для деталей печной арматуры, в ГВУЗ «ПГТУ» разработаны безникелевые жаростойкие стали на Fe-Cr-Mn основе. Стали содержат 21-23,5% хрома, марганца, кремния при небольшом содержании ванадия 0,1-0,25%, никель исключен из состава. Для материалов (ЧХ28Н2, ЧХ24Т, 75Х28Н2СЛ) постепенно снижается на 6-8 HRC, в то время как в разработанном сплаве она повышается на 5-7 HRC. Последнее объясняется эффектом дестабилизации аустенита, постепенным образованием мартенсита закалки (на стадии охлаждения) и дисперсионным упрочнением. В результате износостойкость известных никельсодержащих материалов в процессе работы постепенно снижается, а разработанного сплава – напротив, повышается. По жаростойкости новый безникелевый сплав соответствует стали 75Х28Н2СЛ, поэтому является серьезной альтернативой дорогостоящим чугунам, сталям и эффективным их заменителем.

Таблица 1 – Марки сталей

| Марка стали | σ_B МПа | σ_T МПа | δ , % | Ψ , % | KCV, МДж/м ² | KCU, МДж/м ² |
|-------------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------------------|----------------------------|
| 08Х18Г6СФ | 990-1240 | 475-490 | 30-39 | 20-38 | > 3,75 | - |
| 08Х22Г6СФ | 700-990 | 485-510 | 40-46 | 50-67 | 2.5-3.5 | - |
| 20Х18Г9С2ДЛ | 760-810 | 520-600 | 28-33 | 27-35 | - | 3,7 |
| 08Х22Н6Т | 680 | 410 | 40 | 45 | - | 2,5 |
| 10Х18Н9Л | 441 | 177 | 25 | 35 | - | 0,98 |

Таким образом, для композиционных покрытий был выплавлен сплав (образец № 1) износостойкого чугуна ЧХ16М2 по ГОСТ 7769-82 с прогнозируемыми свойствами (рисунок 1). Как видно, полученный материал обладает типичной для белых чугунов микроструктурой, а химический состав карбидообразующей фазы подтверждается рентгенограммой (рисунок 2).

После требуемой механической обработки (резка и токарная обработка) с целью создания основы для экспериментальных пластин и втулок данный материал был подвержен согласно ГОСТ 7769-82 закалке, с придания образцам максимальной твердости возможной для данного типа триботехнических материалов.

Следующим этапом, в соответствии с ГОСТ 7769-82, изготовленные и закаленные образцы № 3 были подвержены отпуску, с целью снятия в образцах термических напряжений и гомогенизации их механических свойств. Проведенная электронная микроскопия полученных структур и изменения в них отражены на рисунке 2.

Таблица 2 – Марки чугунов

| Марка чугуна, изготовитель | Металлическая основа | Твердость НРС | Относит. износостойкость, Е | Ударная вязкость КС, Дж/см ² |
|---|----------------------|---------------|-----------------------------|---|
| Известные чугуны | | | | |
| ИЧХ28Н2МФ ОАО «Красный котельщик» | М-А | 52 | 96 | 15 |
| ЧХ16МНФТ (ОАО «Амурлитмаш») | М | 68.3 | 270 | 4,2 |
| ЧХ21НФ (Камышинский кузнечнолитейный завод) | М | 58 | 183 | 4,0 |
| Разработанные экономнолегированные чугуны | | | | |
| ЧХ20ГЗД | А-М | 47 | 288 | 9,0 |
| ЧГ10Х4Ю | А | 49,5 | 185 | 13,0 |

Таблица 3 – Виды термической обработки отливок из легированного чугуна ЧХ16М2

| Термообработка и ее назначение | Режим | | |
|--|----------------|--------------|------------|
| | Температура, К | Выдержка, ч. | Охлаждение |
| Отжиг и высокий отпуск для снижения твердости и улучшения обрабатываемости | 963-1023 | 6-12 | С печью |
| Нормализация для повышения твердости отливок (закалка) | 1323-1373 | 1-2 | На воздухе |
| Отпуск после отливки или нормализации для снятия внутренних напряжений | 793-833 | 3-4 | С печью |

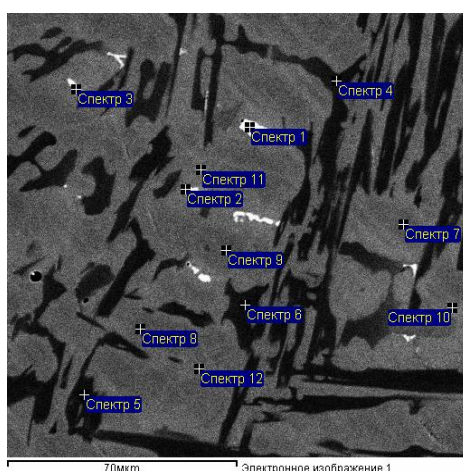


Рисунок 1 – Общий вид выплавленного износостойкого чугуна ЧХ16М2 (образец №1)

На всех этапах подготовки экспериментальных образцов, для оценки их свойств и прогнозируемости эффективности проводимых мероприятий, шла оценка их микротвердости по стандартной методике, используя микротвердомер ПМТ-3. Результаты измерений микротвердости образцов на всех этапах термической и механической обработок представлены в таблице 4.

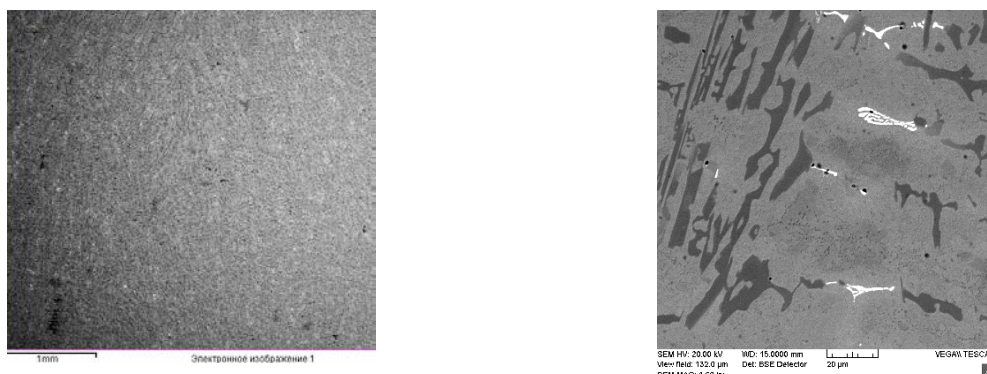


Рисунок 2 – Микроструктура образца из износостойкого чугуна ЧХ16М2 после отпуска (образец № 3)

Таблица 4 – Результаты измерений твердости образцов по методу Роквеллу

| № образца | HRC 1 изм. | HRC 2 изм. | HRC 3 изм. | Среднее значение HRC | Вид термообработки |
|-----------|------------|------------|------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 48,0 | 48,0 | 47,5 | 47,8 | Исходный |
| 2 | 46,5 | 45,5 | 45,5 | 45,8 | Отжиг |
| 4 | 56,0 | 56,5 | 56,0 | 56,0 | Закалка |
| 3 | 55,5 | 54,5 | 55,0 | 55,0 | Отпуск |

Заключение. Как видно, свойства полученного материала вполне соответствуют ГОСТ 7769-82, и, исходя из первоначальных тестовых экспериментов, могут быть использованы как антифрикционные материалы или предложены в качестве прототипа подложки для дальнейшего нанесения упрочняющих покрытий.

Список использованных источников

1. Функциональные материалы и технологии с эффектом самоупрочнения при эксплуатации [Электронный ресурс]. режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/286449477.pdf>. Дата доступа: 16.04.2021.
2. ГОСТ 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами [Электронный ресурс]. режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200011542>. Дата доступа: 16.04.2021.

Дефекты металлических изделий, полученных методом 3D печати

Студенты: гр. 10404118 Дикун А.О., Янкович С.В., гр. 10401119 Путрич О.И.

Научный руководитель – Гуминский Ю.Ю.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В настоящее время наиболее распространенными методами 3D печати металлических изделий являются SLM и DLMS. При изготовлении металлических детали методами данными, возможно образование дефектов.

Одним из наиболее распространённых видов дефектов является повышенная пористость изделия, которая возникает во время печати. Эти поры снижают усталостные характеристики и механические свойства получаемых изделий, поскольку они действуют как концентраторы напряжений, что приводит к снижению пластичности. Как правило, основной причиной появления высокой пористости является использование металлического порошка. При его распылении внутри частиц могут образоваться газовые поры, которые остаются в выращиваемой детали.

Но наиболее распространенным источником образования пор является сам процесс 3D-печати. При плавлении порошка под воздействием слишком высокой плотности энергии происходит чрезмерное испарение материала и образование брызг, что приводит к появлению пор с формой «замочная скважина». С другой стороны, при недостаточной плотности энергии металлический порошок не плавится нужным образом, и появляются нерасплавленные участки.

Одним из основных ограничений 3D-печати является необходимость в создании в процессе печати поддерживающих структур на все поверхности, угол наклона к горизонтали, которых меньше 45 градусов. Такая необходимость существует при любом типе 3D печати. На рисунке 1 наглядно показано, что может произойти, если не предусмотреть поддержки (метод FDM печати).

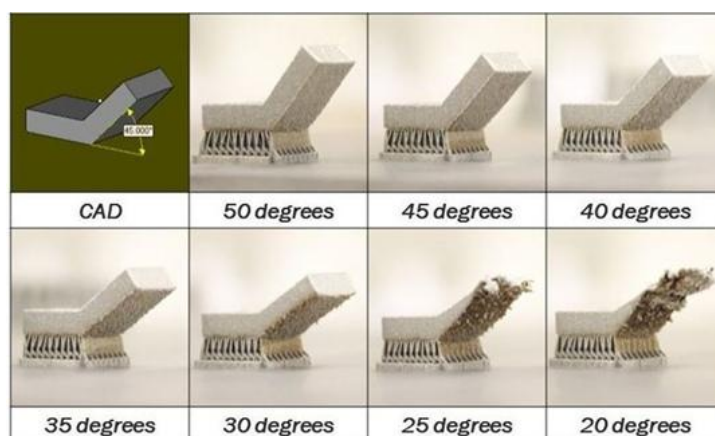


Рисунок 1 – Зависимость степени разрушения площадки без поддерживающих конструкций от угла её наклона к горизонтали

Угол наклона зависит от плотности металла, у сталей и жаропрочных сплавов даже 45 градусов не будут гарантией качественной поверхности, у титана или алюминия зачастую некоторые нависающие поверхности можно напечатать вообще без поддержек. Исходя из этого меняется подход к проектированию каналов/полостей внутри массы материала. Каналы проектируются с минимальным количеством нависающей массы, т.к. только так их можно напечатать без поддержек внутри. Дополнительно необходимо предусматривать возможность удаления порошка из закрытых полостей.

Поддерживающие структуры не только удерживают деталь на платформе построения, но и выполняют функцию теплоотвода. Недостаточный теплоотвод приводит к пережиганию массы металла, это неизбежный брак (рисунок 2, а).



а)

б)

а – пережигание; б - отрыв от платформы

Рисунок 2 – Примеры брака

Расстановка поддержек на этапе проектирования является не маловажным фактором для предотвращения и других дефектов. Необходимо учесть, что поддержки состоят из металла. Характерный пример - печать изделий с большой площадью прожига может привести к накоплению большого количества внутренних напряжений и, как следствие, к отрыву детали от платформы и деформации. (рисунок 2 б).

При таком размещении детали большая площадь одновременного прожига привела к накоплению остаточных напряжений в материале, которые и оторвали деталь от платформы. Такую ситуацию можно предотвратить, поставив образец вертикально или под углом. Если все же требуется горизонтальное расположение образца, то тогда следует усилить поддержки и обеспечить более интенсивный теплоотвод.

Как правило, металлические детали после выращивания проходят постобработку: удаление порошка, термообработку, удаление поддерживающих структур и т.д. Наибольшую проблему представляет процесс удаления поддерживающих структур, так как они удаляются вручную и на детали могут быть области со сложным доступом. Поэтому следует на стадии проектирования модели под печать оптимизировать её конструкцию, чтобы избежать лишней объем поддерживающих структур.

Еще одной особенностью металлических деталей, изготовленных методами 3D печати, является шероховатость боковой поверхности изделий (около 10-12 R_a). Однако это не является большой проблемой и устраняется методами, характерными для традиционного литья: пескоструйная обработка, шлифовка и полировка.



Рисунок 3 – Шероховатости боковой поверхности

Подводя итоги, можно сделать следующий вывод – современные методы 3D печати металлических изделий не являются совершенными. В процессе изготовления могут образовываться различные дефекты, о предотвращении которых следует позаботиться еще на стадии проектирования 3D модели.

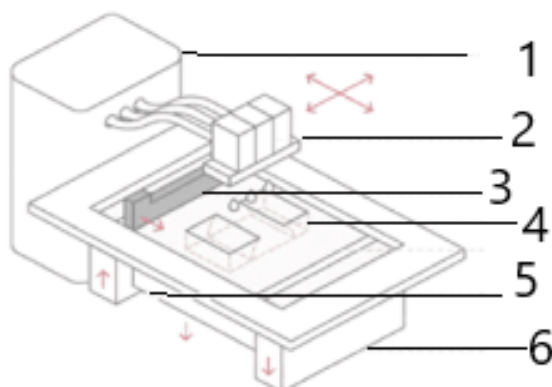
Изготовление литейных песчаных форм методом РСМ

Студенты гр. 10404128 Пацовский Н.В., Мацинов С.А.
 Научный руководитель – Гуминский Ю.Ю.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Технологии 3D-печати продолжают стремительно развиваться и становятся доступнее с каждым днём. Разрабатываются новые материалы, улучшается производительность, надёжность и удобство принтеров. Так же ведется активная работа по усовершенствованию ПО для 3D-принтеров.

Аддитивные методы все глубже внедряются в производственный цикл классических производств, значительно экономя время и средства. Всё это позволяет предприятиям задействовать совершенно новые, гораздо более выгодные бизнес-модели.

Существует технология 3D печати методом РСМ, который позволяет относительно быстро создавать песчаные формы и стержни практически любой сложной геометрии.



- 1 – устройство подачи связующего состава; 2 – печатающая головка принтера;
 3 – рекоатер; 4 – изделие; 5 – устройство подачи материала построения;
 6 – устройство заборки излишков материала

Рисунок 1 – Сущность РСМ - метода

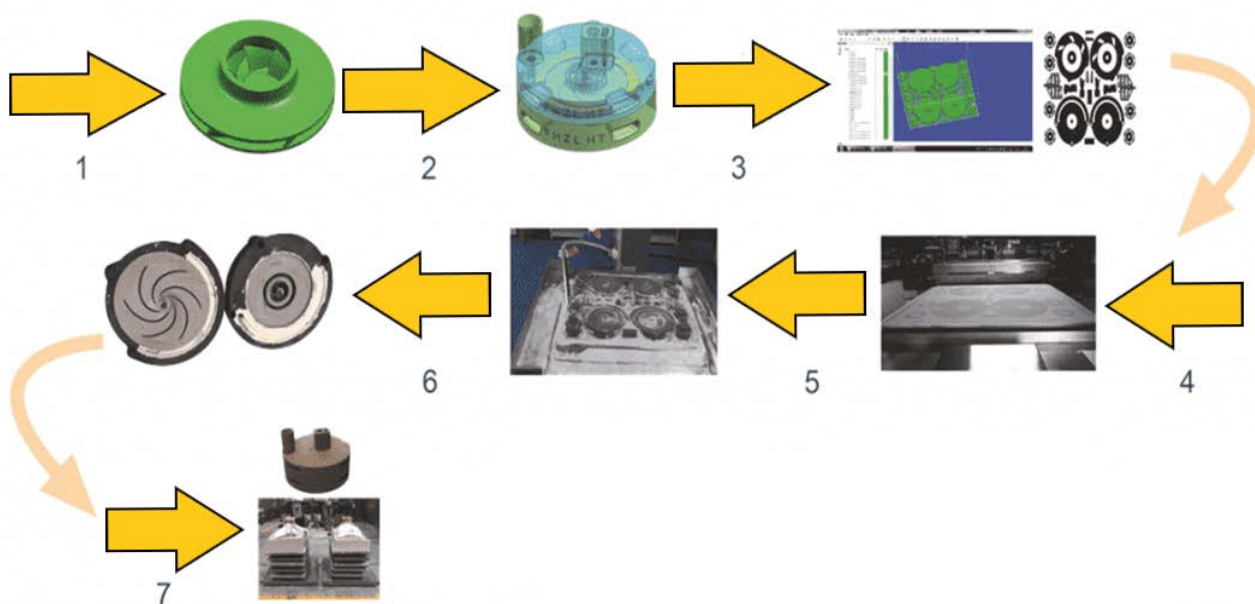
Производство песчаных форм методом РСМ (рисунок 1) – передовая технология, которая объединяет традиционную технологию литья в песчаную форму и 3D-печать. Эта технология позволяет быстро создавать песчаные модели и стержни, которые эффективны для быстрого литья сложных деталей. РСМ не нуждается в шаблоне и может уменьшить производственный цикл, и тем самым себестоимость продукции. Данный метод объединяет различные технологии: проектирование САД-модели, 3D-печать, интеллектуальный ЧПУ и т.д.

Рассмотрим пошагово процесс изготовления песчаных форм методом РСМ.

Первым шагом является создание 3D модели путем моделирования в САД системе или сканирование детали (если уже существует на предприятии процесс производства традиционными методами). Далее наступает процесс непосредственной печати формы.

Связующее смешивается (смола-активатор) с песком и просушивается до подачи песка в бункер. В дальнейшем на подложку наносится тонкий слой такой смеси, а сверху проходит печатная головка, которая впрыскивается отвердитель на поверхность слоя и тем самым отверждая определенную площадь этого слоя. И так слой за слоем формируется (выращивается) форма.

При необходимости в одном бункере можно напечатать несколько слоев форм. Никаких ограничений для этого нет, как нет и ограничений на любую сложность геометрии. Песок прочно держит запечатанные участки и формы могут иметь любые диаметры и любые углы, без ограничений, какие существуют в большинстве технологий 3D-печати.



1 – результат сканирования; 2 – формируем геометрию; 3 – слайсинг; 4 – печать песчаной формы; 5 – очистка от излишков песка; 6 – извлекаем полученную модель; 7 – сборка форм
Рисунок 2 – Этапы производственного изготовления литейных форм методом РСМ

Данный метод имеет свои преимущества по сравнению с традиционными методами. К этим преимуществам можно отнести:

- экономия времени производственного цикла (рисунок 3), т.к. в нём отсутствует этап изготовления оснастки,
- отсутствие стержней, что существенно снижает затраты на вспомогательные инструменты и оснастку;
- РСМ – метод позволяет создавать формы под отливки сложной, эксклюзивной геометрии;
- практически полная автоматизация процесса позволяет снизить вероятность брака при производстве.

Но РСМ-методу присущ и ряд недостатков. Например, данный метод позволяет получать только ХТС формы, в которых связующим является смола. А как известно – данные смеси экологически вредные и требуют дополнительных мероприятий по улавливанию и нейтрализации вредных веществ, выделяемых при заливке расплава.

К другим недостатком так же можно отнести: высокая стоимость оборудования, малая эффективность в массовом производстве и для крупногабаритного литья.

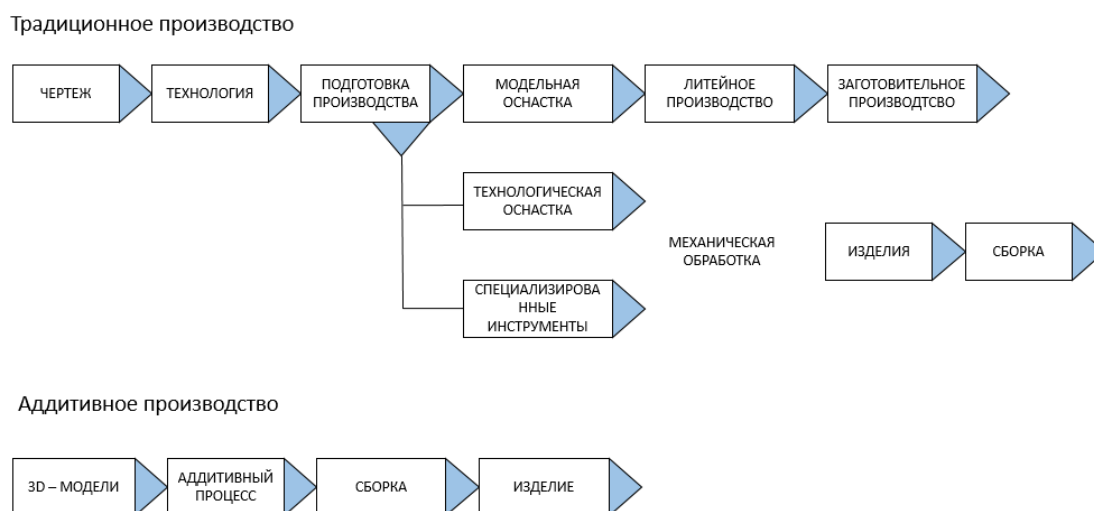


Рисунок 3 – Сравнение традиционного и аддитивного производства

Преимуществами РСМ по сравнению с другими 3D методами являются:

- высокая производительность (при печати больших объемов форм);
- повторное использование материала для печати (непрореагированной смеси);
- нет необходимости в поддержке нависающих частей (сама смесь является опорой);
- высокая точность печати ($\pm 0,3$ мм).

Собственно, это единственный 3D метод, который позволяет получить готовую литейную песчаную форму.

Из недостатков можно выделить высокую стоимость оборудования и экологически вредное производство (связанно с применением смоляных смесей).

С каждым годом все больше и больше предприятий активно используют системы 3D-печати в производственных и научных целях. Оборудование для аддитивного производства, грамотно встроенное в производственную цепочку, позволяет не только сократить издержки и сэкономить время, но и начать выполнять более сложные задачи. Метод РСМ является крайне перспективным для литейного производства. Технология 3D-печати РСМ развивает технологию литья в одноразовые формы. Возможно, это одна из передовых технологий изготовления форм для литья в настоящее время, объединяющая традиционную технологию литья в песчаную форму и 3D-печать, которая имеет большие перспективы развития.

Процесс литья по выплавляемым моделям

Студент гр. 10404129 Коршак В.Е.
Научный руководитель – Калиниченко В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Процесс литья по выплавляемым моделям может отличаться в зависимости от отрасли и области применения, но обычно он состоит из следующих этапов. Литые детали можно изготавливать из самой восковой модели, называемой прямым методом, или из реплик исходной восковой модели, называемой непрямым методом. Прямой метод переходит от первого шага сразу к четвертому.

1. Изготовление моделей: Художник вырезает узор из воска. Размер и сложность восковой модели ограничены навыками резчика по воску и мощностью его литейного оборудования.

2. Создание формы: затем литейщик отливает эту модель и полирует отливку для получения «эталонного» рисунка. Мастер-модель используется для изготовления восковой формы из резины, которая нагревается и «вулканизируется» вокруг мастер-модели для изготовления гибкой восковой формы.

3. Изготовление восковых моделей: расплавленный воск впрыскивается или иногда заливается в форму для резины. Это можно делать снова и снова, чтобы сделать копии оригинального дизайна.

4. Сборка воскового узора: к восковым копиям добавляются литники, и они соединяются, образуя древовидную структуру, которая обеспечивает пути для выхода расплавленного воска и расплавленного металла для последующего заполнения полости.

5. Нанесение паковочной массы: восковое дерево либо погружают в суспензию диоксида кремния, либо помещают в колбу и окружают жидкой паковочной массой.

6. Выгорание: после высыхания паковочной массы колбу помещают вверх дном в печь, в которой воск плавится, оставляя отрицательную полость в форме исходной модели.

7. Заливка: форму для паковки дополнительно нагревают в печи для уменьшения разницы температур с расплавленным металлом. Металл плавится, а затем разливается под действием силы тяжести или вакуума, чтобы втягивать металл в полость.

8. Отливка: как только расплавленный металл несколько остынет, форму для паковки закалывают в воде, чтобы растворить огнеупорный гипс и освободить черновую отливку. Литники обрезаются и перерабатываются, а отлитые детали очищаются, чтобы удалить следы процесса литья.

9. Чистовая обработка: литые детали подвергаются шлифовке, механической обработке или пескоструйной обработке для достижения окончательной геометрии и чистоты поверхности. При необходимости литые детали также подвергаются термообработке для улучшения механических свойств материала.

Краткое изложение долгой истории литья по выплавляемым моделям.

Без преувеличения можно сказать, что литье по выплавляемым моделям так же старо, как сама цивилизация. Такие артефакты, как скипетры, скульптуры и мебель, изготовленные методом литья по выплавляемым моделям, были обнаружены в Израиле, Вьетнаме, Нигерии, Никарагуа и в долине Инда. Самому старому известному отлиту из воска предмету, амулету, созданному обществом в долине Инда, более 6000 лет. После столетий использования в производстве скульптурных орнаментов и текстильных рельефов, литье по выплавляемым моделям начали вытесняться штучным литьем в Европе 18 века. Части процесса были адаптированы для литья по выплавляемым моделям для удовлетворения потребностей растущей промышленности 19 века. В стоматологии широко используются методы выплавляемого воска

для создания золотых коронок, вкладок и накладок. Наследие литья по выплавляемым моделям, как таковое, остается очевидным и сегодня.

Переход к литью по выплавляемым моделям в 21 век с помощью цифрового дизайна и 3D-печати.

Сегодня цифровые программные инструменты и 3D-печать дополняют литье по выплавляемым моделям преимуществами цифрового дизайна и производственного процесса.

Благодаря цифровому рабочему процессу дизайнеры используют программные инструменты САПР для создания проектов в цифровом виде и 3D-принтер с высоким разрешением для создания 3D-печатных шаблонов, которые затем можно отлить в форму. После выгорания положительного шаблона процесс идет по тому же пути, что и традиционное литье по выплавляемым моделям.

Благодаря цифровым технологиям значительно сокращается потребность в трудоемком ручном труде, а сам дизайн легко сохранять, изменять и воссоздавать при необходимости.

Применение литья по выплавляемым моделям с использованием цифровых технологий.

От инженеров до ювелиров, представители различных профессиональных сфер используют преимущества новых возможностей, предоставляемых цифровыми технологиями литья по выплавляемым моделям.

Ювелирные украшения.

Одним из первых случаев использования литья по выплавляемым моделям было изготовление ювелирных изделий и изящных украшений. Но восковые выкройки для сложных ювелирных изделий сложно изготовить вручную, и в мире, где царит высокий спрос и быстрая мода, изделиям ручной работы может быть трудно поспевать за ними.

Цифровой дизайн, современные материалы и доступные собственные 3D-принтеры меняют подходы производителей и дизайнеров ювелирных изделий к разработке, созданию прототипов и производству.

Дизайнеры ювелирных изделий могут использовать программные инструменты САПР для проектирования ювелирных изделий, что упрощает создание и подгонку сложных геометрических фигур, для вырезания которых из воска раньше требовались часы кропотливого труда.

Доступные по цене настольные 3D-принтеры могут быстро создавать узоры, которые можно отливать так же, как традиционный воск. 3D-печать предлагает практически неограниченные возможности для геометрического творчества в дизайне. Благодаря точно управляемому лазеру необычные детали дизайна – изящная филигрань, рельефный текст и детализированная оправа из камня – можно запечатлеть с невероятной резкостью.

Самыми большими препятствиями на пути внедрения цифрового рабочего процесса в ювелирном деле часто являются навыки цифрового дизайна и обучение. Тем не менее, новые группы дизайнеров ювелирных изделий, входящие в отрасль, обучаются основам традиционного дизайна наряду с программным обеспечением САД для ювелирных изделий и обучаются работе с 3D-принтерами, что подготавливает их к неизбежному переходу.

Стоматология.

Литье по выплавляемым моделям и прессование реставраций были стандартной практикой в стоматологии на протяжении десятилетий для изготовления вкладок, накладок, коронок, коронок из керамического сплава, цельно керамических коронок, частичных каркасов протезов и других реставраций на имплантатах.

Восковые модели традиционно формируются вручную на рабочей матрице зуба или модели дуги, которые основаны на ручном слепке, сделанном пациентом. Затем образцы прикрепляют к дереву и сжигают, следуя традиционному процессу литья по выплавляемым моделям.

С помощью цифровых технологий стоматологи собирают анатомические данные пациентов в цифровом виде с помощью внутри ротового сканера или в лаборатории сканируют

физическую модель или слепок с помощью настольного сканера. Данные сканирования импортируются в программное обеспечение САД, и зубной техник проектирует требуемые реставрации. Затем шаблоны можно распечатать на 3D-принтере из воскообразного материала и отлить или прессовать с использованием традиционного рабочего процесса.

В стоматологии цифровой дизайн также не является большим ограничением, поскольку анатомия пациента создается по слепку. Программные инструменты стоматологического САПР упрощают процесс проектирования, а 3D-печать автоматизирует процесс изготовления шаблонов, который традиционно требует наличия опытного специалиста и множества ручных операций. Цифровые технологии с литьем по выплавляемым моделям сочетают в себе лучшее из аналогового и цифрового мира и позволяют зуботехническим лабораториям создавать высокоточные модели с последовательным и надежным цифровым рабочим процессом и простым в использовании оборудованием.

Производство.

В отраслях, где требуется массовое производство металлических деталей с высокой точностью размеров, литье остается экономически эффективным и высокопроизводительным производственным процессом, позволяющим производить критически важные компоненты для аэрокосмической, автомобильной и медицинской промышленности.

Традиционно модели для литья по выплавляемым моделям, промышленной формы литья по выплавляемым моделям, вырезаются вручную или обрабатываются на станке, если деталь не требует массового производства. С помощью 3D-печати инженеры могут напрямую создавать выкройки, чтобы сократить время выполнения заказа и добиться геометрической свободы, которая превышает ограничения, накладываемые конструкцией на технологичность для процессов формования.

Хотя стереолитографические 3D-принтеры рассматриваются в первую очередь как инструменты для создания пластиковых деталей, их высокая точность и обширная библиотека материалов хорошо подходят для рабочих процессов литья, которые производят металлические детали с меньшими затратами, с большей свободой проектирования и за меньшее время, чем традиционные методы.

Рабочие процессы SLA 3D-печати и литья металла также можно использовать для повышения скорости и гибкости 3D-печати без затрат на прямые 3D-принтеры по металлу.

Революция в традициях.

Развитие литья по выплавляемым моделям с использованием цифровых инструментов доказывает, что технологиям не нужно отчуждать нас от прошлого. При правильном применении эти методы позволяют производить высококачественные детали в больших масштабах – от ювелирных изделий на заказ до массовых автомобильных запчастей. В результате мы получаем замечательную новую степень эффективности производства и свободу дизайна.

Студент гр. 10404119 Родевич В.А.
Научный руководитель – Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время разработано более 100 составов холоднотвердеющих смесей для изготовления форм и стержней. Все многообразие ХТС можно классифицировать по виду связующего, по способу отверждения (ввод катализатора в смесь при ее приготовлении, продувка формы или стержня реагентами), по длительности цикла отверждения (с длительным циклом – 30-45 мин и коротким циклом – 5-180 с) и по реологическим свойствам смеси (пластичные, сыпучие, жидкоподвижные).

По виду связующего можно выделить смеси с неорганическими (жидкое стекло, фосфаты, кристаллогидраты), органическими (смолы, ЛСТ и др.) и комбинированными связующими (органическими и неорганическими).

Жидкостекольные смеси. Это наиболее широко применяемые холоднотвердеющие смеси. Для обеспечения твердения смесей с жидким стеклом используются продувка CO_2 , ввод в смесь двухкальциевых силикатов, жидких эфиров, ферросилиция, выдержка на воздухе.

CO_2 -процесс. Освоение жидкостекольных смесей, отверждаемых продувкой CO_2 , было начато в 1950-х гг. Эти смеси явились первыми холоднотвердеющими смесями, позволившими во многих случаях исключить сушку форм и стержней, повысить производительность труда и качество отливок, снизить их себестоимость.

На практике применяются следующие способы продувки форм и стержней углекислым газом:

- продувка через отверстия в модели и стенках стержневого ящика;
- продувка через каналы в форме по контуру модели или в знаковой части стержня (до извлечения из оснастки);
- установка на полуформу или стержневой ящик со стержнем герметизированной камеры, из которой CO_2 поступает в рабочее пространство формы или стержень;
- выдержка стержней в камере, наполненной CO_2 .

Для продувки форм и стержней применяют чистый, пищевой углекислый газ либо углекислый газ, разбавленный воздухом или дымовыми газами (до концентрации CO_2 50-60 %). Прочность смеси и скорость твердения увеличиваются при повышении температуры газа.

Важными параметрами смесей являются модуль и плотность жидкого стекла, а также его содержание в смеси. В процессе продувки прочность смеси повышается до некоторой величины, а затем уменьшается. С увеличением модуля жидкого стекла длительность продувки до достижения максимальной прочности сокращается, но при этом снижается величина максимальной прочности. Поэтому при необходимости отверждать формы и стержни быстро при малом сроке их хранения следует применять жидкое стекло с модулем 2,6-3.

С увеличением модуля жидкого стекла падает живучесть смеси. Для сохранения пластических свойств смеси в течение нескольких суток целесообразно применять жидкое стекло с модулем 2,3-2,6. При изготовлении крупных форм и стержней, обладающих высокой прочностью, следует использовать жидкое стекло с модулем 2-2,3.

Оптимальные вязкость и содержание влаги в жидком стекле обеспечиваются при его плотности 1480-1520 кг/м^3 . При большей плотности ухудшается распределение жидкого стекла по зернам песка, а при меньшей плотности снижается прочность смеси.

Обычно в смесях содержится 5-7 % жидкого стекла. При меньшем содержании прочность смесей мала, а при большем ухудшается выбиваемость смеси. Для CO_2 -процесса следует

применять пески с минимальным содержанием глины, которая снижает прочность в обработанном состоянии.

ХТС с жидким стеклом нетоксичны, обладают хорошей податливостью. На стальном литье при их применении получается легкоудаляемый пригар, даже без окраски формы. К недостаткам этих смесей следует отнести их плохую выбиваемость и затрудненную регенерацию.

Твердение смеси при тепловой сушке и провяливание. При сушке ХТС на жидком стекле образуется прочная структура стекловидной пленки силикатов натрия. Оптимальная температура сушки составляет 150 °С, длительность – 0,5-1,5 ч. Максимальная прочность (11 МПа) достигается при остаточной влажности 0,3 %. При пропускании горячего воздуха через смесь длительность сушки сокращается до 30-40 мин. При высушивании смеси жидкое стекло теряет влагу. При 200 °С потери влаги составляют 93 %. По мере обезвоживания жидкого стекла формируется весьма прочная стекловидная структура в виде кремнекислородного каркаса.

На практике применяют комбинацию продувки смесей CO₂ с последующей тепловой обработкой при 200 °С. При этом с повышением длительности продувки CO₂ эффективность последующей сушки падает, что приводит к уменьшению прочности с увеличением продолжительности предварительной продувки CO₂. При выдержке на воздухе ХТС с жидким стеклом твердеют медленно (от 7 до 24 ч).

Отверждение двухкальциевыми силикатами. Жидкостекольные ХТС, в которых для отверждения применяют двухкальциевые силикаты (ферро-хромовый шлак и нефелиновый шлак), бывают двух видов: пластичные и жидкие самотвердеющие смеси.

Жидкие самотвердеющие смеси. Они обладают высокой жидкотекучестью, позволяющей ей качественно заполнять стержневые ящики и пространство между опокой и моделью под действием собственного веса без применения внешних воздействий. Обеспечение высокой текучести основано на применении ПАВ. Все поверхностно-активные по отношению к воде вещества имеют асимметричную молекулярную структуру. Их молекула состоит из двух значительно отличающихся по своим свойствам частей: полярной гидрофильной группы с большим сродством к воде – на одном конце молекулы и длинной неполярной гидрофобной углеводородной группы – на другом.

Полярные группы чаще всего имеют вид -ОН, -NH₂, -COOH, -SO₂ОН, -SO₃Na, -О-SO₂ОН и др. Молекулы ПАВ самопроизвольно адсорбируются из растворов на различных поверхностях раздела жидких, газообразных и твердых фаз. Адсорбция ПАВ на границе «жидкость – газ» приводит к снижению поверхностного натяжения жидкости и при замешивании воздуха – к пенообразованию.

Текучесть смеси при применении ПАВ объясняется пенообразованием и снижением поверхностного натяжения воды, приводящим к уменьшению сил связи между смоченными зернами наполнителя. К ПАВ, используемым в ЖСС, предъявляются следующие основные требования: высокая пенообразующая способность и умеренная устойчивость пены (пена должна опадать за относительно короткое время, 5-20 мин).

Пенообразующая способность и устойчивость пены зависят от длины углеводородного радикала и количества содержащихся в нем атомов углерода. Низкомолекулярные ПАВ (при малом числе атомов углерода в углеводородном радикале) обладают низкой пенообразующей способностью с малой устойчивостью пены, а высокомолекулярные – высокой пенообразующей способностью с высокой устойчивостью пены. Поэтому для получения пенообразователей с оптимальными свойствами необходимо сочетать, по крайней мере, два вещества, выбираемые из низших и высших гомологов ПАВ.

В состав ЖСС входят жидкая композиция (ПАВ, жидкое стекло и вода), наполнитель, отвердитель и различные добавки для регулирования технологических и рабочих свойств смеси.

Состав и количество жидкой композиции должны обеспечивать общую влажность смеси в пределах 4,5-5 %. Содержание жидкого стекла в смесях составляет 6-7 % при использовании в качестве отвердителя феррохромового шлака и 3,5-4,5 % при применении нефелинового шлака. В качестве пенообразователей используют следующие ПАВ: контакт Петрова (0,5 %) + мылонафт (до 0,15 %) или ДС-РАС (0,1-0,15 %). В состав жидкой композиции вводят 1,5-2 % воды. Жидкое стекло должно иметь модуль 2,6-2,9 при плотности 1,46-1,52 г/см³. Общее содержание жидкой композиции в смесях – 5,5-10 % (сверх 100 % твердой составляющей).

В качестве наполнителей для ЖСС используют кварцевые пески групп 016-04 с содержанием глинистой составляющей не более 2 %. Могут применяться и другие наполнители указанного гранулометрического состава. Для обеспечения твердения смесей в них вводят 3-5 % феррохромового шлака или нефелинового шлака. Феррохромовый шлак имеет следующий минералогический состав: $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ – 70 %, $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{FeO}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_2$ – 20-25 %. Содержание СаО в феррохромовом шлаке должно быть не менее 48 %, влажность – не более 1,5 %, удельная поверхность частиц шлака – не ниже 1800-2000 см²/г.

Нефелиновый шлак (побочный продукт производства глинозема из нефелиновых руд) содержит 80-85 % $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. В нем должно содержаться не менее 53 % СаО (с удельной поверхностью зерен 7500-8000 см²/г).

Твердение смесей является следствием обменных реакций между жидким стеклом и силикатом кальция. Первым этапом является растворение силиката кальция в жидком стекле. В растворе происходит взаимодействие в соответствии с реакцией.

Раствор оказывается пересыщенным образующимися гидросиликатами. Выделяясь из раствора, они обеспечивают связку зерен наполнителя. Состав образующихся гидросиликатов по мере твердения смеси изменяется в сторону повышения их основности, постепенно приближаясь к равновесному составу. Одновременно изменяется состав жидкой фазы, модуль которой М понижается. Равновесные составы образуются после длительного периода твердения – 1-3 суток. Образование гидросиликатов в процессе твердения смеси сопровождается поглощением SiO_2 из жидкой фазы. Поэтому ее модуль изменяется от 2,9 (при модуле жидкого стекла 2,9) в начале твердения до 0,5 в конце. Формирование прочности смеси находится в прямой зависимости от количества, образовавшегося гидросиликата.

Наращение прочности ЖСС во времени характеризуется наличием инкубационного периода ти, величина которого зависит от продолжительности достижения предельной растворимости гидросиликатов в жидком стекле. С повышением концентрации жидкого стекла в смеси эта продолжительность увеличивается, что приводит к возрастанию ти. Увеличение количества отвердителя и его удельной поверхности ведет к снижению ти. С величиной ти связана живучесть смеси. Для обеспечения качественного заполнения опок и стержневых ящиков живучесть смеси должна быть не менее 2-3 мин.

**Машины
и технология
обработки
металлов давлением**

Прессование и гидропрессование

Студенты гр. 10402118 Левкович Е.В., Ширяев В.Д.
 Научный руководитель – Белявин К.Е.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Прессование – один из способов обработки материалов давлением, при котором происходит выдавливания заготовки из замкнутого объёма через канал (отверстие) матрицы [1].

Достоинства:

- пластическая обработка с высокими вытяжками даже при работе с малопластичными металлами и сплавами;
- получение изделия практически любого поперечного сечения, что не всегда реально при выборе других технологий обработки;
- получение широкого сортамента изделий при замене матрицы на одном прессовом оборудовании;

Недостатки:

- высокий расход материала на единицу изделия, так как при производстве получается большой пресс-остаток;
- заметная неравномерность механических и других свойств по длине и поперечному сечению изделия в некоторых случаях;
- сравнительно высокая стоимость используемого инструмента.

Виды прессования:

- прямое (рисунок 1) и обратное (рисунок 2).

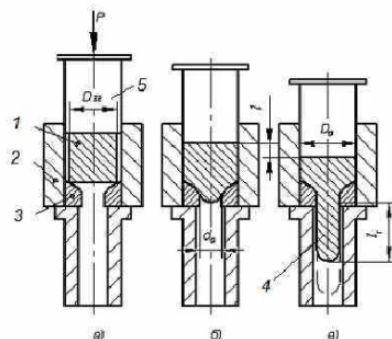


Рисунок 1 – Схемы процесса прямого прессования:
 1 – слиток; 2 – контейнер; 3 – матрица; 4 – изделие; 5 – пуансон

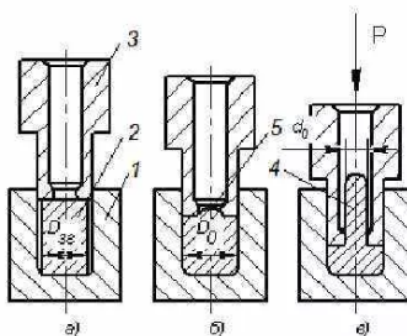


Рисунок 2 – Схемы процесса обратного прессования:
 1 – контейнер; 2 – слиток; 3 – пуансон; 4 – изделие; 5 – матрица

Гидропрессование – процесс выдавливания жидкой рабочей средой, действующей непосредственно на металл, при котором изделие и инструмент разделены слоем рабочей жидкости, сохраняющей по толщине слоя истечения свойства данной жидкости

Гидропрессование можно разделить на два вида:

1. Изостатическое прессование – способ обработки материалов давлением который заключается в том, что обработка изделий происходит посредством сжатого газа или жидкости в специальных аппаратах высокого давления.

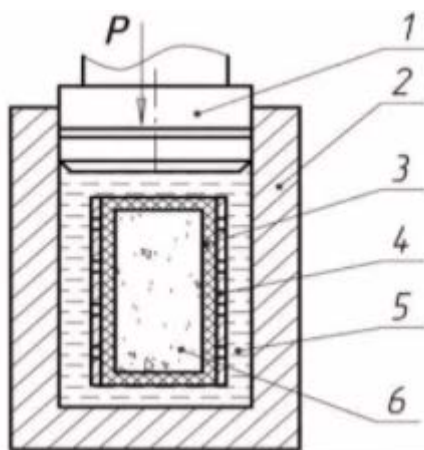


Рисунок 3 – Схема изостатического прессования:

1 – шток; 2 – контейнер; 3 – эластичная прессформа; 4 – перфорированная обойма; 5 – рабочая жидкость; 6 – порошок; P – давление

2. Гидростатическое прессование – способ обработки металлов и других материалов, при котором давление на деформируемую заготовку передаётся через жидкость (вода, масло, расплавленные соли, стекло, легкоплавкие металлы) (рисунок 4).

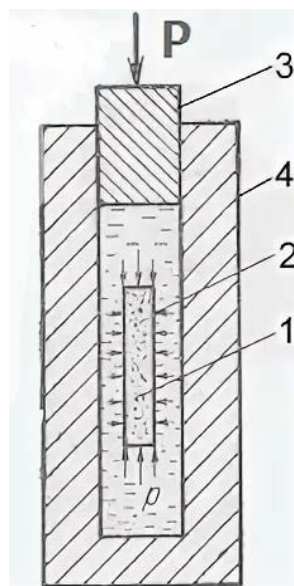


Рисунок 4 – Схема гидростатического прессования:

1 – прессуемое изделие; 2 – форма с эластичной оболочкой; 3 – гидравлический насос; 4 – гермитичный сосуд (камера); P – давление

Сущность процесса изостатического прессования – в изменении первоначального объема взятого материала: до получения более компактной его формы [2].

Гидростатическое прессование применяют для получения металлокерамических заготовок, к которым не предъявляют высоких требований по точности. Отсутствие внешнего трения способствует получению заготовок равномерной плотности и снижению требуемого давления. В качестве рабочей жидкости используют масло, воду, глицерин и др. Гидростатическим прессованием получают самые разнообразные по форме и размерам заготовки.

Гидростатическое прессование позволяет получать заготовки цилиндрического и прямоугольного сечения, трубы и другие изделия сложной формы. Для получения заготовок заданной геометрической формы эластичные оболочки помещают в стальные обоймы, обеспечивающие передачу давления жидкости на поверхность оболочки.

Гидростатическое прессование позволяет всесторонне обжимать порошок в прессформе давлением через жидкости. Этим устраняется основной недостаток обычного холодного прессования на прессах – неравномерная плотность прессуемого изделия, и можно формовать брикеты сравнительно больших габаритов, в частности, так называемые осевые изделия. Прессформа для гидростатического прессования представляет собой тонкую резиновую оболочку, заключенную обычно в перфорированный металлический кожух. После заполнения порошком прессформу помещают в герметизированный резервуар с жидкостью (масло, эмульсия, вода), где создают необходимое давление [3].

Список использованных источников

1. Технология изостатического прессования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sdgroup.pro/blog/tekhnologiya-izostaticheskogo-pressovaniya>. – Дата доступа: 07.02.2021.
2. Гидростатическое прессование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id309358p1.html>. – Дата доступа: 07.02.2021.
3. Прессование металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vt-metall.ru/articles/136-pressovanie-metalla>. – Дата доступа: 07.02.2021.

Горячее прессование композиционных материалов

Студенты гр. 10402118 Куканова О.В., Муковозчик Н.В.

Научный руководитель – Минько Д.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Горячее прессование является одним из основных методов формирования современных композиционных материалов. Ознакомимся с наиболее распространенным в настоящее время методом – прямым прессованием. Данный метод позволяет получать детали, близкие по размерам к конечным изделиям, что значительно минимизирует затраты после механической обработки. Поэтому, метод прямого прессования является наиболее выгодным для мелкосерийного производства.

Целью работы является изучение технологических параметров процесса горячего прессования, а также его устройства.

Для прямого прессования могут применяться гидравлические прессы, которые имеют различные конструкционные и технологические параметры (в зависимости от типа матрицы композиционного материала). Нагрев производится в закрытых пресс-формах при повышенных и высоких температурах и возрастающем до заданной величины давлении.

Методом прямого прессования могут быть получены металлокерамические композитные материалы с высокой прочностью, благодаря использованию таких включений, как графит, борид титана, нитрид кремния и алюминий. Полученные методом прямого прессования композиционные материалы на основе металлических или керамических матриц имеют гораздо более высокие значения предела прочности по сравнению с традиционными металлическими и керамическими материалами [1].

По конструкции, пресс горячего прессования представляет собой сборную систему, которая включает в себя следующие основные элементы (рисунок 1):

- рама гидравлического прессы;
- вакуумная камера с двойными стенками и системой охлаждения;
- зона нагрева;
- приборы для измерения и контроля давления температуры;
- источник питания с водоохлаждаемыми кабелями питания;
- верхний и нижний пуансоны;
- система подачи инертного газа;
- платформа для установки формы для прессования.

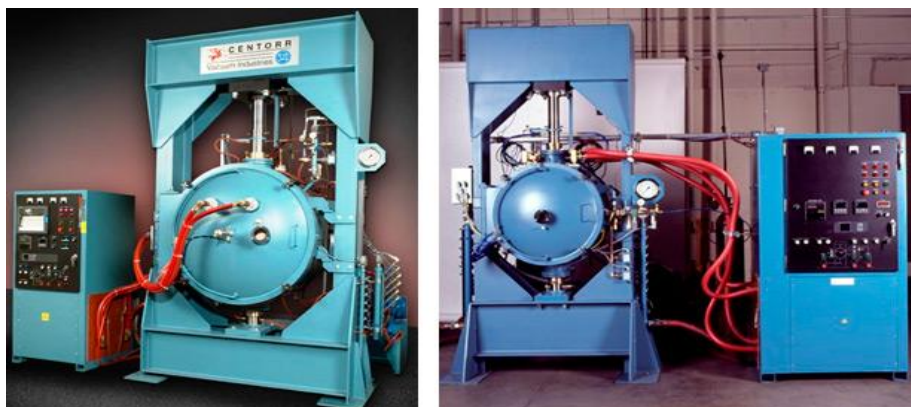


Рисунок 1 – Прессы горячего прессования Centorr/VacuumIndustries для композиционных материалов на основе керамической или металлокерамической матрицы

Области применения данного оборудования расширяются с каждым годом. Это связано с повышенным спросом на легкие и сверхпрочные конструкционные и функциональные композиционные материалы. Они используются для получения:

- магнитных головок;
- подшипников, клапанов;
- деталей корпуса и крыльев самолетов;
- лопаток турбин ракетных двигателей.

Список использованных источников

1. Жолобов, В.В. Горячее прессование как один из основных методов формования современных композиционных материалов / В.В. Жолобов, Г.И. Зверев // Инструмент для горячего прессования металлов, 2011. – С 151–155.

Студенты гр. 10402129 Жогло А.Г., Смоглей В.Г.
Научный руководитель – Минько Д.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Проблемы повышения качества, уровня механических и эксплуатационных свойств металлов не теряют своей актуальности, а зачастую приобретают особую значимость, так как изделия, полученные обработкой материалов давлением, используются почти во всех сферах жизни. В связи с этим требуются высокоэффективные методы физического моделирования, чтобы с наибольшей точностью оценить поведение материалов в определённых условиях. На сегодняшний день широко развиваются такие методы физического моделирования, которые позволяют сопоставить полученные результаты лабораторных экспериментов с промышленными условиями.

Метод физического моделирования заключается в теории подобия. Она гласит, что подобные процессы происходят в подобных геометрических и временных условиях, имеют одинаковую физическую природу и описываются одинаковыми по форме и по существу уравнениями [1].

Помимо физического, существуют также математическое и компьютерное моделирование. Первое заключается в построении математической модели, описывающей процесс, а вторая использует компьютерные технологии для визуализации процесса.

Преимущества физического моделирования заключаются в полном воспроизведении процесса, наглядности процесса, возможности регистрации наблюдений без преобразующих устройств, изучении явлений, не поддающихся математическому описанию.

Недостатки физического моделирования в том, что для исследования каждого нового процесса необходимо создавать новую модель. Параметры оригинала часто требуют физической перелки или полной замены модели и сложные объекты дорого изготавливать.

Последний недостаток проявляется, например, для систем с протеканием химических реакций, так как результат их протекания находится в сложной зависимости от геометрических размеров аппаратов и кинетических закономерностей процесса.

Также стоит учесть, что для реализации методов физического моделирования необходимо создавать специальное оборудование. Созданный американской компанией «Dynamic Systems Inc.» (DSI) испытательный комплекс для физического моделирования GLEEBLE является на сегодняшний день самой передовой системой, используемой для изучения металлургических процессов, разработки новых материалов и воспроизведения реальных условий производственных процессов в лабораторных условиях.

Системы Gleeble оснащены высокоскоростными системами нагрева и охлаждения образцов в сочетании с надёжными механическими возможностями с обратной связью и цифровым управлением. Простое в использовании программное обеспечение предназначено для обеспечения удобного интерфейса для подготовки тестовых программ, управления тепловыми и механическими системами и сбора данных.

Системы Gleeble доступны в нескольких моделях, каждая из которых имеет широкий спектр доступных опций и конфигураций. Такая гибкость позволяет адаптировать систему Gleeble к необходимым требованиям при проведении испытаний. Доступные опции включают преобразователи, тензодатчики, контактные и бесконтактные экстензометры, инфракрасные пирометры, системы охлаждения, губки, захваты и вакуумные системы.

Особенности Gleeble включают в себя:

- высокоскоростной прямой нагрев до 10000 °C/c;
- контролируемое охлаждение или ускоренное охлаждение с дополнительным охлаждением (воздух / газ / вода / туман);

- моделирование нескольких видов применения, процессов и материалов;
- возможность испытания в вакууме, под воздействием воздуха или инертного газа;
- удобный и простой в использовании элемент управления и программного обеспечения;
- тихая работа, простота установки и небольшая занимаемая площадь в лаборатории.

Стоит заметить, что аналогичных крупных компаний-производителей в мире нет, и в основном подобное оборудование производят на заказ для решения узких задач физического моделирования.

Система физического моделирования Gleeble 3800-GTC является мощной серийно производимой системой, предлагаемой компанией DSI. Для обеспечения возможности проведения широкого круга исследований система Gleeble 3800-GTC имеет передовые технические характеристики (максимальное усилие сжатия 200 кН, а растяжения – 100 кН) [2].

Комплекс Gleeble System 3800 предназначен для исследования свойств металлов и сплавов и позволяет моделировать большинство металлургических процессов, например, таких как непрерывное литье, обработка в полутвердом состоянии, горячая прокатка, ковка, стыковая сварка, термическая обработка и прочие.

Комплекс Gleeble 3800-GTC выполнен по модульной схеме, что позволяет максимально гибко менять его конфигурацию в зависимости от условий исследования. К основному силовому блоку для выполнения различных поставленных задач подсоединяются модули для выполнения деформации сжатием или растяжением, для кручения, для ударной деформации и для многоосевой деформации [2].

Каждый из модулей имеет свою рабочую камеру, которая соединена с вакуумной системой, обеспечивающей разрежение не менее $1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст. Испытания можно проводить при более низком вакууме, в среде защитного газа или на воздухе.

Кроме того, конструкция Комплекса является достаточно «открытой» и допускает использование различных дополнительных устройств в процессе обработки материалов давлением.

Для реализации различных схем деформирования в комплексе предусмотрено использование до четырех сменных модулей. Все они имеют одинаковые принципы работы и отличаются лишь исполнительным механизмом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид комплекса с мобильными блоками

Нагрев образцов производится прямым пропусканием электрического тока, что ограничивает возможность работы с диэлектриками. Система управления температурой обеспечивает изменение температуры при нагреве со скоростью $1000\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ не более $(5\div 6)\text{ }^{\circ}\text{C}$ и поддержание заданной температуры испытания с точностью $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При работе можно применять образцы различной конфигурации (рисунок 2). Конкретная конфигурация образца определяется целью эксперимента. Компанией DSI разработаны методики проведения большинства применяемых тестов и выработаны рекомендации по конфигурации образцов [2].



Рисунок 2 – Образцы для испытаний на комплексе Gleeble

Охлаждение образцов в процессе проведения экспериментов производится различными способами:

- за счет теплоотвода в водоохлаждаемые медные или стальные захваты;
- за счет обдува воздухом или инертным газом;
- за счет обтекания водой снаружи, внутри образцов или одновременно снаружи и внутри.

Максимальная скорость охлаждения, достигнутая при испытаниях комплекса на образцах толщиной 6 мм, составляет $8,500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. При охлаждении образцов воздухом или водой вакуумная система отключается от рабочей камеры [2].

Испытания можно проводить при температурах от комнатной вплоть до температуры плавления, причем для исследований жидко-твердого состояния предусмотрено использование специальных кварцевых трубок. Максимальное усилие при растяжении составляет 100 кН, при сжатии – 200 кН, при проведении ударных испытаний – 200 кН. Максимальные скорости деформации до 200 с^{-1} достигаются при испытаниях на образцах при использовании модуля для ударных испытаний, для которого скорость движения рабочей траверсы составляет 2,5 м/с. Таким образом, скорости деформации на Gleeble 3800 перекрывают весь диапазон скоростных режимов деформации самых современных станов горячей прокатки.

Для сохранения площади контакта рабочего инструмента с обрабатываемым металлом разработана специальная оснастка для осадки плоского образца. Эти испытания позволяют избежать образования шейки или бочки, которые характерно для растяжения или сжатия. Также можно моделировать процессы сварки, литья, термообработки т.д.

В настоящее время системами физического моделирования Gleeble оснащены многие технические университеты и передовые промышленные предприятия во всем мире. Имеются они также в нескольких технических университетах России, однако в Беларуси они отсутствуют. Приобретение такого оборудования существенно повысило бы научный потенциал БНТУ, оно явилось бы востребованным инструментом проведения научных исследований и

хоздоговорных работ всеми выпускающими кафедрами и лабораториями механико-технологического факультета.

Список использованных источников

1. Иванов, И.Е. Методы подобия физических процессов: учеб. пособие / И.Е. Иванов, В.Е. Ерещенко. – М.: МАДИ, 2015 – 144 с.
2. Gleeble 380-GTC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gleeble.com/products/gleeble-systems/gleeble-3800.html>. – Дата доступа: 14.04.2021.

Студенты гр.: 10402129 Мельников Р.С., Славиковский М.С.,
гр. 10402120 Дешко Г.Д.

Научный руководитель – Липницкий А.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Последние несколько лет 3D-печать (рисунок 1) металлом активно набирала популярность. И это вполне естественно: каждый материал предлагает уникальное сочетание практических и эстетических качеств, может подходить для широкого круга изделий, прототипов, и даже функциональных высокопрочных деталей. Причина, по которой 3D-печать металлом стала столь популярной, заключается в том, что напечатанные объекты можно выпускать серийно.



Рисунок 1 – 3D печать

На самом деле, некоторые из напечатанных деталей так же хороши (если не лучше), как и те, которые изготавливаются традиционными способами. При традиционном производстве работа с пластиком и металлом может оказаться довольно ресурсозатратной – появляется масса отходов, используется немало лишнего материала. 3D-напечатанные металлические детали требуют меньше энергии, а количество отходов сокращается до минимума. Немаловажно и то, что конечный напечатанный 3D-продукт оказывается до 60 % легче традиционной детали.

Металлическая 3D-печать в промышленности.

В настоящее время при 3D-печати работают со следующими металлическими материалами:

Алюминий, сталь, латунь, медь, бронза, стерлинговое серебро, золото, платина, титан (Ti64 или TiAl4V), суперсплав инконель и комбинированный сплав кобальт-хром.

Причина, по которой крупные компании так полюбили 3D-печать, заключается в том, что на ее основе можно построить полностью автоматизированные линии, выпускающие «топологически оптимизированные» детали. Это означает, что появляется возможность точно выделять исходные материалы и делать компоненты толще лишь в том случае, если они должны выдерживать большие нагрузки. В целом масса деталей существенным образом уменьшается, а их структурная целостность при этом сохраняется. Детали, полученные на 3D принтерах из различных материалов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Детали, полученные на 3D принтерах из различных материалов

Металлическая 3D-печать. Применения.

Есть несколько отраслей, в которых уже применяются 3D-принтеры. Зачастую подобным способом изготавливают, делали касательно авиапромышленности (рисунок 3), отдельные детали прессов или полноценных ферм, для изготовления которых раньше приходилось использовать различные виды сварки.

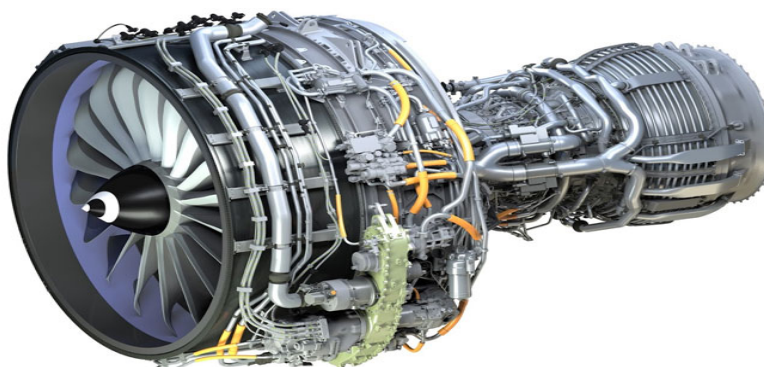


Рисунок 3 – Детали авиадвигателя GE LEAP, напечатанные на 3D-принтере

Большинство процессов 3D-печати металлом начинается с «атомизированного» порошка (рисунок 4).



Рисунок 4 – «Атомизированный» порошок для процессов 3D-печати металлом

Детали, выполненные по технологии DMLS, имеют механические свойства, эквивалентные литью.

3D-напечатанный металл может иметь разное разрешение. При самом высоком разрешении толщина слоя составляет 0,0008-0,0012".

Процессы металлической 3D-печати.

Процесс металлической 3D-печати №1:

Powder Bed Fusion (расплавление в заранее сформированном слое).

Процесс металлической 3D-печати, который сегодня применяется большинством соответствующих крупных компаний, называется Powder Bed Fusion. Это название указывает на

то, что некий источник энергии (лазер или другой энергетический пучок) расплавляет «атомизированный» порошок (т.е. такой металлический порошок, который тщательно измельчен на сферические частицы), в результате чего получают слои печатаемого объекта.

Процесс металлической 3D-печати №2:

Binder Jetting (разбрызгивание связующего вещества).

При 3DP-технологии ExOne металлические объекты печатаются за счет связывания порошка перед его обжигом в горне.

Другой профессиональный подход, при котором также применяется порошковая основа, называется Binder Jetting. В этом случае слои формируются за счет склеивания металлических частиц и дальнейшего их спекания (или сплавления) в высокотемпературном горне – точно так же, как это делается с керамикой.

Еще один вариант, который тоже похож на работу с керамикой, это замешивание металлического порошка в металлическую пасту. 3D-принтер с пневматическим экструдированием (похожий на шприцевый биопринтер или недорогой пищевой принтер) формирует 3D-объекты. Когда требуемая форма достигнута, объект отправляется в печь, т.е. в горн. Этот подход применяется в Mini Metal Maker.

Процесс металлической 3D-печати №3:

Metal Deposition (нанесение слоя металла).

Обычно весь процесс идет в закрытой камере, но в проекте MX3D при строительстве полноразмерного моста использованы приемы привычной 3D-печати. Другой вариант наплавления металла называется EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing – аддитивная технология электронного пучка).

Металлическая 3D-печать. Принтеры.

Металлический 3D-принтер №1:

Sciaky EBAM 300 – печать металлическим филаментом.

Самый крупный из серийных принтеров Sciaky – это EBAM 300. Он печатает объекты в объеме 5791×1219×1219 мм.

EBAM 300 является также одним из самых быстрых промышленных 3D-принтеров. Трехметрового размера титановая деталь печатается на нем за 48 часов, при этом расход материала составляет около 7 кг в час. Кованные детали, на которые обычно уходит 6-12 месяцев, на этом 3D-принтере могут быть сделаны за 2 дня.

Металлический 3D-принтер №2:

Fabrisonic UAM – ультразвуковая 3D-печать.

Другой способ печати крупных металлических деталей – UAM (Ultrasound Additive Manufacturing Technology – ультразвуковая аддитивная технология). Аппараты этой фирмы представляют собой трехосные фрезы с ЧПУ, к которым добавлены сварочные головки для аддитивности процесса. Металлические слои сначала разрезаются, а потом свариваются ультразвуком. Самый большой принтер Fabrisonic 7200 работает в объеме 2×2×1,5 м.

Металлический 3D-принтер №3:

Concept Laser XLine 1000 – 3D-печать металлическим порошком.

В этом оборудовании задействовано два лазера, а рабочий объем составляет 800×400×500 мм. Используется лазерная технология LaserCUSING (вариант селективного лазерного сплавления) от Concept Laser, которая позволяет печатать сплавами стали, алюминия, никеля, титана, благородных металлов и даже некоторыми чистыми веществами (титан и высоколегированная сталь).

В заключение следует сказать, что в настоящее время, производство каких-либо деталей для той или иной промышленности посредством 3D печати находится в стадии постоянного прогресса. С развитием технологии и модернизации существующего оборудования процесс печатного 3D моделирования становится все более совершенным, позволяющим создавать изделия повышенной твердости достигая 60 и даже 90 HRC.

Студенты гр. 10402129 Милашевский В.С., Радионов А.В.

Научный руководитель – Зеленин В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Безвоздушные шины – перспективное направление решения ряда проблем автопрома, в том числе контроля давления в шинах, их изнашивания при активной езде и деформирования дисков. Отличие колес без воздуха сводится к тому, что упругость и прочность шин обеспечивается использованием высокоэластичных материалов. При этом отпадает необходимость создания давления в шинах колес. Во внутренней части шины находится каркас, состоящий из эластичных пластин. Сами пластины имеют ячеистую структуру. Также есть конструкции с центральной ступицей и расходящимися от неё к протектору полиуретановыми спицами. Такие колеса легко возвращают исходную форму после деформирования при преодолении препятствий на дороге.

Существует два основных вида безвоздушных шин:

Закрытые. Внешне они выглядят также, как и обычные покрышки, но внутри заполнены стекловолокном.

Открытые. Состоят из основы, крепящейся на ось, растяжного хомута, идущего по верхней части, и устойчивой к деформации структуры – спиц или ячеек [1].

Появление высокоскоростных безвоздушных шин является революционным шагом в направлении повышения безопасности автомобилей и живучести военной техники. Успехи зарубежных шинных компаний и накопленный опыт создания нетрадиционных колёсных пневматических шин послужили толчком для проектирования и производства колёс с безвоздушными шинами новых конструкций из эластичных полиуретанов на кафедре машиностроения и транспорта Братского государственного университета (с 1974 г. по 2018 г. – кафедре автомобильного транспорта). В рамках НИОКР были разработаны и изготовлены натурные образцы колёс с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов для легкового автомобиля малого класса (рисунок 1) [2].

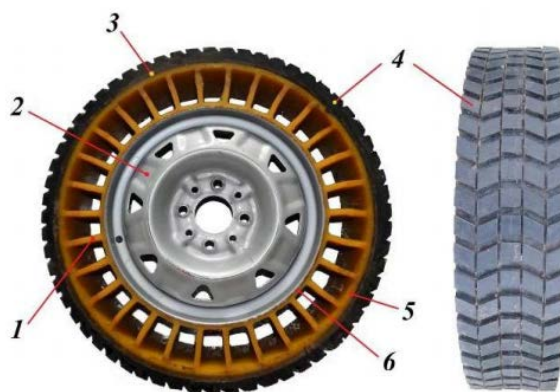


Рисунок 1 – Автомобильное колесо с безвоздушной шиной из эластичных полиуретанов:
1 – гибкие спицы; 2 – стандартное дисковое колесо 5JX13H2 с глубоким ободом; 3 – опорное кольцо; 4 – протектор; 5 – соединительное кольцо; 6 – посадочное кольцо

Упругое сопротивление и несущая способность безвоздушной шины обеспечиваются гибкими радиальными спицами и опорным кольцом. При этом гибкие полиуретановые спицы

под воздействием весовой нагрузки в зоне контакта колеса с опорной поверхностью испытывают напряжения сжатия и продольный изгиб, а в верхней полуокружности безвоздушной шины – находятся в напряжённом состоянии под воздействием растягивающих сил. Показано, что уменьшение суммарной нормальной жёсткости гибких спиц позволяет снизить силовую неоднородность безвоздушной шины, обусловленную её циклической симметрией, но снижает несущую способность колеса. Позволило обеспечить требуемую несущую способность гибких спиц в зоне контакта безвоздушной шины с опорной поверхностью и снизить силовую неоднородность колеса при качении. Применение опорного кольца из полиуретанового эластомера с высоким модулем упругости в сравнении с материалом гибких спиц [3].

Использование безвоздушных колес по сравнению с пневматическими шинами, дает следующие преимущества:

При движении по неровностям дороги колесо способно поглощать и гасить колебания изменения первоначальной формы и быстрого возвращения к ней (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изменение формы безвоздушного колеса при наезде на неровность

Благодаря использованию безвоздушной шины отпадает потребность в постоянном контроле давления воздуха;

Срок эксплуатации безвоздушного колеса может составлять 9 млн. циклов без восстановления, что в 2-3 раза больше чем у пневматической шины;

Безвоздушное колесо имеет меньшую массу, что позволяет транспортному средству потреблять меньше топлива при его эксплуатации;

Простота в эксплуатации (отсутствие дисков, герметичных тороидальных камер для воздуха).

Но также следует отметить и недостатки при эксплуатации безвоздушных колес, которые заключаются в:

Достаточно низком безопасном пределе скорости, не превышающей 80 км/ч;

Несовершенства ряда конструкций колес, проявляющихся в излишнем шуме и нагреве при длительной высокоскоростной эксплуатации;

Ограниченной грузоподъемности колес.

В соответствии с ГОСТ 17697-72 [4] и ОСТ 37.001.252-82 [5] характеристика радиальной или нормальной жёсткости может быть получена экспериментально в процессе сильного нагружения автомобильной шины в направлении нормали к опорной поверхности при условии совпадения плоскости нагружения и плоскости вращения колеса. Характеристика нормальной

жесткости C позволяет оценить и несущую способность автомобильной шины, используя в качестве оценочного параметра статическую жёсткость:

$$C = P / h, \quad (1)$$

где P – максимальная нагрузка на колесо;

h – статический прогиб протектора колеса.

Для расчётов характеристики безвоздушных шин методом конечных элементов были использованы характеристики механических свойств полиуретановых эластомеров разных марок.

При нормальной нагрузке $P = 4$ кН, соответствующей приходящейся на колесо легкового автомобиля, нормальный статический прогиб h безвоздушной шины из эластичного полиуретана СКУ-ПФЛ-100 составляет 20 мм. При этом статическая жесткость $C = 200$ кН/м. Для сравнения: нормальный прогиб пневматической шины БЛ-85 175/70R13 при указанной нагрузке и номинальном давлении воздуха составляет 34 мм, а статическая жёсткость $C = 117,6$ кН/м.

При той же нагрузке $P = 4$ кН статический прогиб безвоздушной шины из полиуретана СУРЭЛ ТФ-235 $h = 5,0$ мм. Её статическая жёсткость $C = 800$ кН/м, что ведёт к ухудшению плавности хода. Кроме того, жесткий и твердый протектор, как показали испытания безвоздушных шин, сильно повышает шум езде по дорогам с твердыми покрытиями.

При использовании полиуретана СУРЭЛ ТФ-228 прогиб безвоздушной шины $h = 28$ мм. Статическая жёсткость $C = 140$ кН/м. Упругие свойства и несущая способность безвоздушной шины в этом случае наиболее близки к пневматической шине легкового автомобиля.

Таким образом, моделирование различных конструкций безвоздушных шин с использованием метода конечных элементов позволяет получить приближённые решения, зависящие от размеров и числа элементов сетки, погрешности определения механических характеристик эластичных полиуретанов, размеров, форм и количества спиц и других факторов.

Выводы:

1) Рассмотрена конструкция колеса с безвоздушной шиной, состоящей из посадочного и опорного колец, соединены гибкими радиальными спицами, отличающаяся тем, что для изготовления опорных колец использован полиуретан с высоким модулем упругости, а гибкие спицы изготовлены из эластичных полиуретанов разных марок.

2) Установлено, что при использовании для изготовления спиц полиуретана марки СУРЭЛ ТФ-228 статическая жёсткость колеса с безвоздушной шиной $C = 140$ кН/м, что соответствует жёсткости колес автомобиля ВАЗ-2115, составляющей 136,9...139,8 кН/м.

Список использованных источников

1. Безвоздушные шины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtozvuk-info.ru/interesnoe/bezvozdushnye-shiny>. – Дата доступа: 15.04.2021.

2. Мазур, В.В. Технология изготовления экспериментальных автомобильных колес с безвоздушными шинами из полиуретанов / В.В. Мазур // Научно-технический вестник Брянского гос. ун-та, 2019. – № 2. – С. 231-242.

3. Мазур, В.В. Моделирование и расчет безвоздушных шин из эластичных полиуретанов / В.В. Мазур // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2020. – № 1. – С. 94-108.

4. ГОСТ 17697-72 Автомобили. Качение колес. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 24 с.

5. ГОСТ 37.001.252-82 Автотранспортные средства. Методы определения основных параметров, влияющих на плавность хода. – М.: НАМИ, 1984. – 60 с.

Получение композиционных антифрикционных материалов методами обработки материалов давлением

Студенты: гр. 10402129 Понтаплёв Н.А., Елисеев В.П., гр. 10402120 Дешко Г.Д.
Научный руководитель – Белый А.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Композиционными называют материалы, полученные из двух или более компонентов и состоящие из двух или более фаз. Один компонент (матрица) образует непрерывную фазу, другой является наполнителем. Композиционные материалы являются гетерогенными системами и могут быть разделены на три основных класса:

1. Матричные системы, состоящие из непрерывной фазы (матрицы) и дисперсной фазы (дискретных частиц).
2. Композиции с волокнистыми наполнителями.
3. Композиции, имеющие взаимопроникающую структуру двух или более непрерывных фаз.

Материалы относят к антифрикционным, если для них характерны следующие свойства: высокая теплопроводность; хорошая смачиваемость смазкой и хорошая прирабатываемость, основанная на способности материала при трении легко пластически деформироваться и увеличивать площадь фактического контакта.

В результате процесса обработки давлением можно получать металлические композиты матрицей из деформируемых металлов и сплавов, как компактной (листы, слои, фольги, прутки, трубы, проволока), так и пористой (слои, полученные методом осаждения-напыления) формы. В качестве арматуры используют как пластичные, так и хрупкие волокна. Главным преимуществом получения металлических волокнистых композиционных материалов (МВКМ) обработкой давлением является отсутствие вредного взаимодействия между волокнами и матрицей при ограниченном времени их контакта, а главным недостатком – возможность повреждения волокон, особенно хрупких или малопластичных, вследствие высоких напряжений, возникающих при больших пластических деформациях. Режимы процесса уплотнения МВКМ, например, температура, давление, степень и направление деформации, количество проходов должны быть выбраны так, чтобы совместная пластическая деформация компонентов композита не приводила к разрушению арматуры, а на границе волокно – матрица возникала прочная связь. При использовании волокон со значительным запасом пластичности применимы практически все методы уплотнения:

- прокатка;
- импульсное прессование с помощью взрыва или ударной нагрузки;
- гидроэкструзия и др.

Во многих случаях обычно горячая прокатка тугоплавких металлов и сплавов в атмосфере воздуха невозможна без применения специальных мер по защите металла от окисления и газонасыщения (плакирование, обмазка, сварные оболочки для прокатанной заготовки и т.д.). Эти металлы (Mo, Ti, Ta, Nb, W и др.), их сплавы и биметаллы из них при температуре свыше 500–600 °С интенсивно окисляются, насыщаются газами (кислородом, азотом, водородом), что ухудшает их физико-механические свойства.

Кардинальным решением является горячая прокатка в вакууме или среде инертных газов (Ar, He) [1].

Пакет пластин, выполненных из разнородных металлов или сплавов, нагревается, прокатывается и остывает в условиях вакуума. Во время прохождения свариваемых пластин сквозь очаг деформации, между ними устанавливается прочная связь, т.е. образуется соединение разнородных металлов. Для реализации метода используются вакуумные прокатные станы.

Вакуумный прокатный стан конструкции ВНИИметмаша (рисунок 1) предназначен для реверсивной горячей прокатки в вакууме (или в среде инертных газов) тугоплавких металлов и сплавов при температуре до 1700° С [1].

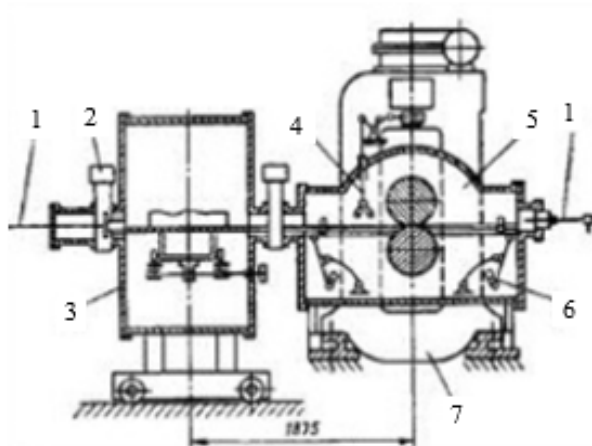


Рисунок 1 – Вакуумный стан 300:

- 1 – толкатели; 2 – вакуумные затворы; 3 – печная вакуумная камера на тележке;
4 – манипулятор; 5 – рабочая вакуумная камера; 6 – механизмы подачи металла в валки;
7 – рабочая клеть применения специальных мер по защите металла от окисления и газонасыщения (плакирование, обмазка, сварные оболочки для прокатываемой заготовки и т.п.)

Вакуумное пространство состоит из двух камер – рабочей и печной, соединенных между собой вакуумным затвором. Рабочая камера находится между станинами рабочей клетки (т.е. внутри рабочей клетки) и закреплена на общих с клетью плитовинах; бочки валков находятся внутри камеры; герметизация камеры осуществляется по шейкам валков посредством фланцев с уплотнительными кольцами из специальной резины, расположенных между торцами подушек и стенками камеры. Внутри камеры имеются рычажные устройства для подачи заготовки в валки и поворота заготовки (в горизонтальной плоскости), а также нагреватели валков [1].

Благодаря практически безокислительным условиям нагрева и отсутствию расплавления спекаемых металлов, прочность соединения слоев не уступает прочности самих металлов.

Метод позволяет получать спекаемое соединение даже таких металлов, которые традиционно считаются неспекаемыми (например, медь + молибден, алюминий + сталь и др.).

Взаимное пространственное расположение слоев из спекаемых металлов и их относительные толщины в композите могут быть практически любыми.

В качестве исходных материалов могут использоваться как традиционные виды металлопроката, так и различные дисперсные материалы – металлические порошки, стружка, высечка, а также порошковые смеси металлов с карбидами, нитридами и др. неметаллическими соединениями.

Использование данного метода позволяет значительно снизить расход дорогостоящих металлов (до 80%) [1], повысить прочность изделий, получать композиты с улучшенными характеристиками.

Список использованных источников

1. Машиностроение, механика и металлургия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mashmex.ru/metallurgi/76-obrabotka-prokata.html?start=4>. – Дата доступа: 14.03.2021.

Прокатка биметаллических материалов

Студенты гр. 10402129 Яцко А.И., Козырев Н.Г.
 Научный руководитель – Минько Д.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Биметалл – композиционный материал, состоящий из двух или более различных слоёв металлов или их сплавов [1].

Основными производственными методами получения биметаллических композитов являются следующие:

- 1) холодная и горячая прокатка;
- 2) литье;
- 3) сварка взрывом;
- 4) вакуумно-диффузионная сварка.

Кроме того, существуют еще такие методы, как прессование и волочение, пайка, наплавка, электрошлаковая сварка, холодная сварка, диффузионная сварка, ультразвуковая сварка, сварка трением, но эти способы применяются гораздо реже. Прокатку используют для производства биметаллических листов, труб, профилей, прутков. Технология горячей прокатки нескольких слоев металла включает в себя подготовку (очистка, травление, промывка, обезжиривание) и сборку компонентов пакета, предварительный нагрев и прокатку, резку, термообработку, правку и отделку.

Для предотвращения окисления прокатываемых слоев применяют различные способы – покрытия, наносимые электролитическим способом, наплавкой или напылением, слои из фольги и пирофорных веществ. В качестве восстановительных веществ используются карбонат магния, карбониды металлов, хлориды, йодиды и фториды металлов. Для прокатки 16ГС-12Х18Н10Т применяют смесь сажи с жидкими углеводородами в пропорции 1:4. Для обеспечения лучшей адгезии также используют промежуточные слои (предварительное плакирование) (рисунок 1).

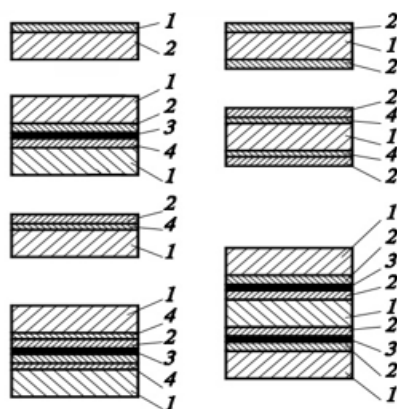


Рисунок 1 – Схема укладки биметаллов в пакеты перед совместной прокаткой:

1 – основной; 2 – плакирующий слой; 3 – разделительный подслой;

4 – соединительный подслой

Применение биметаллических листов, проволоки, многослойной ленты, двухслойной инструментальной стали дает значительную экономию меди, никеля, вольфрама и других дефицитных металлов [1].

Одним из направлений защиты и эффективного использования металла является изготовление его в виде нескольких слоев. Это позволяет снизить расход дефицитных металлов и использовать главное техническое преимущество биметаллов – возможность сочетания в одном материале различных служебных свойств. Важным свойством биметалла является теплопроводность и технологичность (способность к сварке, гибке, штамповке). Из работы [1] следует, что в качестве плакирующего слоя в отечественной и зарубежной практике нашли распространение те же коррозионностойкие стали и металлы, которые применяются в виде однородного металла для аналогичных сред. К их числу относятся: хромоникелевые стали с добавкой титана или ниобия, хромистые стали, хромоникельмолибденовые стали с титаном или медью и титаном; медные сплавы (латунь, бронза и томпак); никелевые сплавы (монель, инконель, хастеллой); чистые металлы (медь, никель, серебро, титан, алюминий) [2].

Полученные пакеты нагреваются в печах и прокатываются до нужной толщины (степень обжатия 8–15 %). Прокатка редкоземельных и тугоплавких металлов производится на вакуумных станах. Рулонная прокатка биметаллов является более производительной, чем пакетная. Процесс можно практически полностью автоматизировать (рисунок 2).

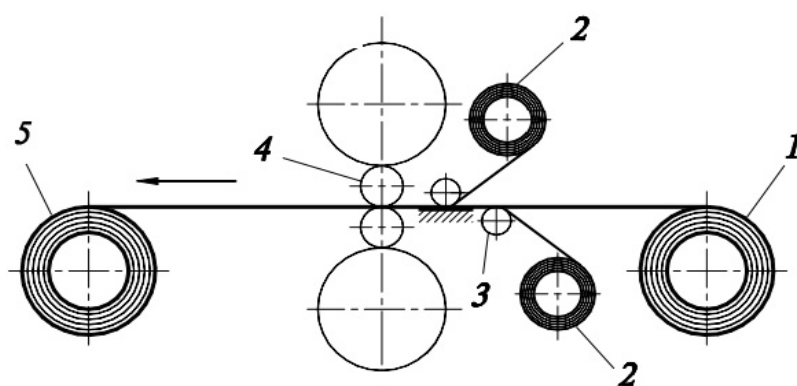


Рисунок 2 – Рулонная прокатка трёхслойного биметалла:

- 1 – размотчик с рулоном основного слоя;
 2 – размотчик с рулоном полосы плакирующего слоя; 3 – направляющие ролики;
 4 – рабочие валки прокатного стана; 5 – моталка с рулоном трёхслойной полосы

Одной из главных проблем при прокатке биметаллов является их расслоение. Для уменьшения этого явления применяется прокатка плакирующего слоя из порошка, а также прокатка в профильных валках [2].

Заключение. Из анализа литературных данных показана актуальность применения в машиностроении таких видов биметаллов, как: коррозионностойкие, антифрикционные, инструментальные, электротехнические, термобиметаллы, износостойкие. Основными потребителями биметаллов являются ведущие отрасли машиностроения: нефтехимическая (корпусы реакторов, колонн, сосудов и т.п.), атомная и энергетическая (трубные решетки и т.п.), судостроительная (переходные элементы, сосуды, танки и т.п.). Применение биметаллов позволяет добиться повышение прочности и жаростойкости конструкций, снижения их массы с целью экономии дорогостоящих и дефицитных металлов.

Список использованных источников

1. Применение биметаллических материалов в машиностроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20462> / – Дата доступа: 16.04.2021.
2. Znaytovar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://znaytovar.ru/s/Bimetally-i-sposoby-ix-poluchen.html>. – Дата доступа: 10.04.2021.

Студенты гр.10402129 Апишев В.В., Стрижак И.Б.
 Научный руководитель – Белый А.Н.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Современное машиностроение требует получения деталей высокого качества для повышения эксплуатационных свойств изделия и увеличения его долговечности, а также снижения габаритных и весовых показателей. На сегодняшний день практически во всех отраслях промышленности внедряют новые технологии получения высококачественных материалов, которые по своим свойствам превосходят более дорогостоящие аналоги. Одной из таких технологий является получение новых конструкционных металлических материалов, получаемых комбинированием порошковых материалов. Используя подобные материалы, можно добиться значительного улучшения свойств деталей, работающих при высоких температурно-силовых нагрузках и при этом экономия на дорогостоящих легирующих элементах.

В данной работе необходимо исследовать поведение двух металлических порошков, комбинированных методом продольной прокатки и смоделировать её в программе.

Для этого необходимо определиться с численно математической моделью напряженно-деформированного состояния в зоне измельчения порошка, а также разработать конечно-элементную модель напряженно-деформируемого состояния которые будут использоваться при моделировании процесса прокатки композиционного материала.

Прокатка двухслойной порошковой ленты будет производиться в открытой П-образной оболочке (рисунок 1). В данной операции прокатки будет положен подход, который основан на совместном численном рекуррентном решении условий пластичности и условий статического равновесия для металла оболочки и порошкового сердечника [1].

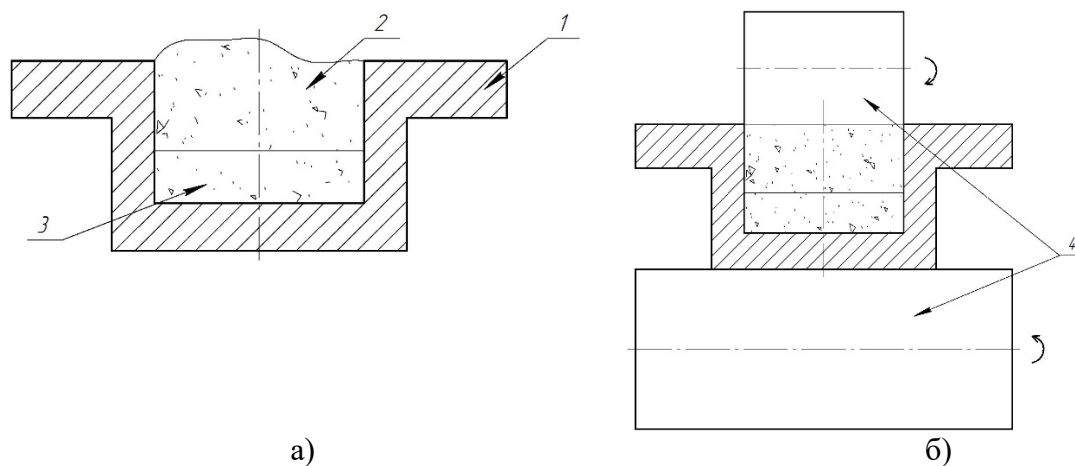


Рисунок 1 – Схема прокатки двух слоёв порошка в металлической П-образной оболочке
 а – вторичная засыпка слоя порошка; б – уплотнение порошка:

1 –металлическая оболочка; 2 – насыпной порошок;
 3 – предварительно уплотнённый порошковый слой; 3 –насыпной порошковый слой;
 4 – рабочие валки

При моделировании измельчения порошка нужно учитывать распределение удельной работы деформирования по объёму материала, охватываемому процессом прокатки. Для этого необходимо учитывать деформации в деформируемой зоне и определить распределение напряжений. Нижний слой – уплотнённый, а верхний – насыпной (это сделано условно для обозначения разных физико-механических свойств порошков) [2].

Были выполнены расчёты для железного порошка марки ПЖР3 с плотностью 0,365 и медного порошка с плотностью 0,565 прокатанных валками диаметром 260 мм со скоростью 0,03 м/с (толщина первого и второго слоя – 4 мм и 2,5 мм соответственно).

Описание физических и механических свойств необходимо для определения напряженно-деформируемого состояния в очаге деформации [3]. Моделирование методом конечных элементов было выполнено в системе AbaqusCAE. Использовалась расчётная схема показанная на рисунок 2, она включала в себя недеформируемые валки и деформируемую металлическую оболочку. Также данная схема содержит уплотнённый и насыпной материал со свойствами пористой среды. Заготовка подверглась дискретизации объёма (построение конечно-элементной сетки) на элементарные области (конечные элементы).

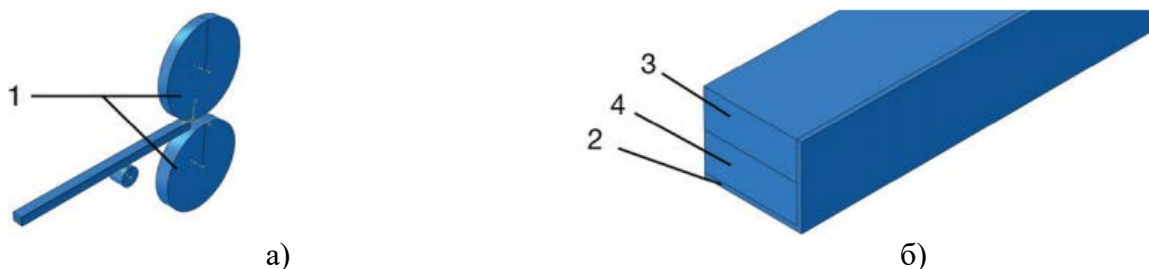


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель процесса прокатки двухслойной порошковой ленты а – расчётная схема; б – заготовка:
1 – рабочие валки; 2 – металлическая оболочка; 3 – насыпной порошковый слой;
4 – уплотнённый порошковый слой;

Контакт между валками и заготовкой вводился при помощи модели «Поверхность к поверхности» – коэффициент трения 0,2.

Анализ расчёта деформации, пористости и напряжений по сечениям слоёв прокатываемой ленты (рисунок 3) показал неравномерность распределения эквивалентных напряжений не превысила 17,7 %. Эквивалентные деформации не превышают 18,6 %. Пористость для насыпного слоя составляет 8,9%, а для уплотнённого слоя – 3,7 %.

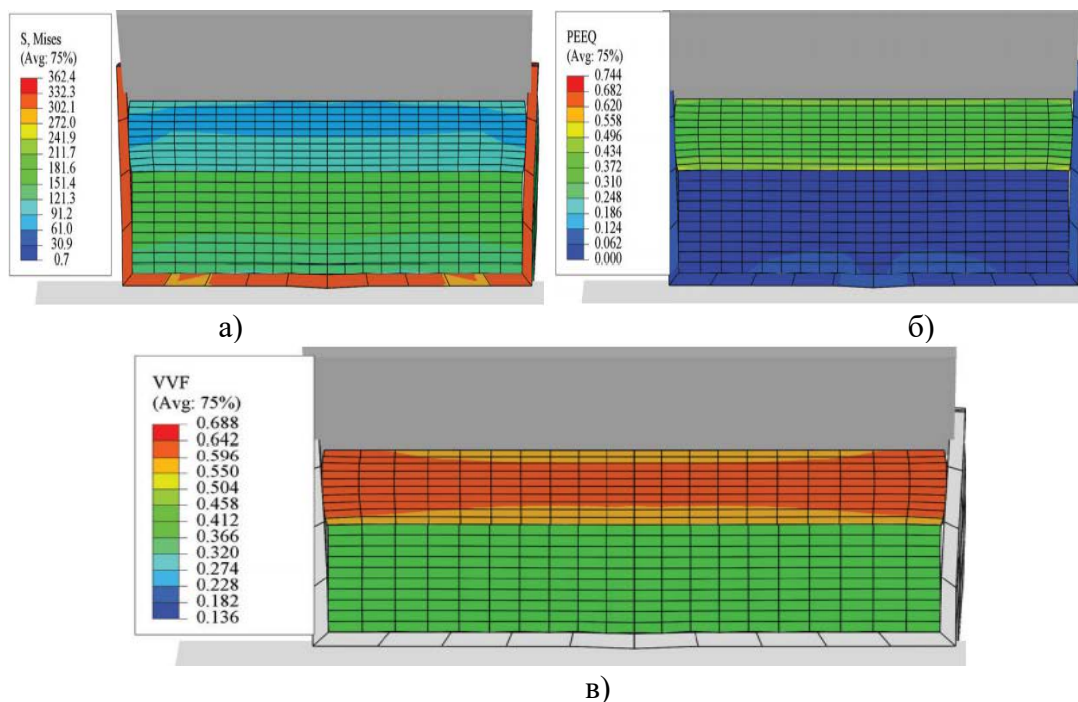


Рисунок 3 – Распределение при прокатке двухслойной порошковой ленты в металлической оболочке полей: а – эквивалентных напряжений; б – деформаций; в – пористости

Изменение деформаций и напряжений аналогичен прокатке однослойной порошковой-ленты – повышение значение наблюдалось в приконтактных областях. По боковым кромкам порошкового сердечника наблюдалась меньшая плотность. Результаты трёхмерного моделирования подтвердили допущения о равномерном распределении параметров по ширине ленты и принятой гипотезе плоских сечений. При прокатке двухслойных порошковых композиций, происходит деформация только насыпного слоя порошка, при увеличении обжатия в сечениях, близких к выходу из очага деформации, происходит деформация уплотнённого слоя.

Список использованных источников

1. Manufacturing of High-Performance Al356/SiCp Composite by CAR Process / Amirkhanlou S., Jamaati R., Niroumand B., Toroghinejad M. R. // *Materials and Manufacturing Processes*. 2011. Vol. 26, Issue 7. P. 902–907. doi: <https://doi.org/10.1080/10426914.2011.577879>.
2. Gribkov E. P., Perig A. V., Danilyuk V. A. Research into the process of producing powder tapes // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 77, Issue 5-8. P. 1087–1104. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6496-x>.
3. Zheng Z.-X., Xia W., Zhou Z. Y. Experimental and numerical modeling for powder rolling // *Review of Advanced Material Science*. 2013. Issue 33. P. 330–336. URL: http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_43313/05_433_zheng.pdf.

Поперечно-клиновья прокатка

Студенты гр. 10402118 Коваленко И.Е., Федюк Ю.Ю.
 Научный руководитель – Белявин К.Е.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Прокатка металлов – это вид обработки металлов под давлением, в ходе которого осуществляется процесс деформации металла и получение необходимой продукции (например: листы и плиты из меди, латуни, бронзы или других сплавов). В ходе такого процесса металл протягивается между сдавливающими его вращающимися валками, при этом он сжимается в вертикальном и расширяясь в поперечном направлении. Таким образом получают продукцию проката из цветных металлов и их сплавов, из стали. Форма продукции проката, ее окончательные размеры, определяются профилем отверстия между сжимающими металл валками. Сами же устройства, на которых проходит прокатка металлов, называются прокатными станами. Основные виды прокатки металла: поперечная, продольная, поперечно-винтовая, поперечно-клиновья

Поперечно-клиновья прокатка относится к высокоэффективным процессам объемной деформации металлов и сплавов и применяется для производства изделий типа вал, ось, корпус и других тел вращения. Метод поперечно-клиновья прокатки имеет ряд преимуществ перед технологиями штамповки и точения. По сравнению с точением она обеспечивает более высокий коэффициент использования материала, низкую трудоемкость производства и более высокую производительность.

При прокатке получают повышенные механические свойства изделий в сравнении с резанием. Преимущества поперечно-клиновья прокатки по сравнению со штамповкой состоят в достижении более высокой производительности, достигаемого уровня точности изделий и стойкости инструмента [1].

Схема осуществления поперечно-клиновья прокатки (ПКП) плоским инструментом [2, 3] показана на рисунке 1. Заготовка, предварительно нарубленная на прессе, укладывается поперек заходной части неподвижного клиновья инструмента. Подвижный клиновья инструмент перемещается параллельно неподвижному, внедряется в заготовку, вызывая ее вращение. Оба клиновья инструмента имеют боковые наклонные грани М, которые заставляют перемещаться избытки металла по направлению к торцам, тем самым удлиняя заготовку.

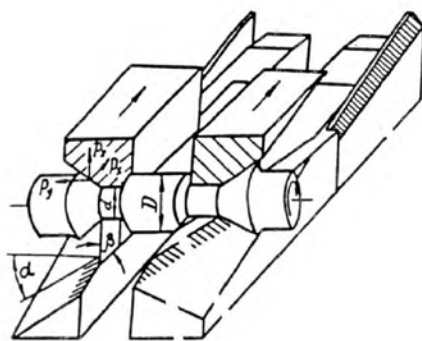


Рисунок 1 – Схема ПКП плоским инструментом

Оставшаяся часть металла профилируется калибрующими поверхностями К инструмента, приобретая их негативный профиль. Так, непрерывно перекатывая заготовку вдоль неподвижного клиновья инструмента, последовательно от центральной части к торцам

оформляют требуемый профиль детали. На заключительной стадии прокатки специальными ножами Н, установленными по обе стороны инструмента, отрезают избытки металла от окончательно спрофилированной детали. Прокатанную деталь удаляют, а подвижный инструмент возвращают в исходное положение.

Для снижения усилий прокатки и повышения пластических свойств металла заготовку нагревают до 873–1473 К. Нагрев может быть произвольным, однако наиболее часто применяется нагрев токами высокой частоты (ТВЧ), так как он обеспечивает полную автоматизацию нагрева и незначительные потери на угар металла. Основными параметрами ПКП являются: степень обжата и геометрия инструмента.

К основным ограничениям, налагаемым на процесс ПКП, относится вскрытие осевой полости. Это явление, известное как эффект Маннесмана, характерно для большинства разновидностей процесса поперечной прокатки (ПП).

ПКП в Беларуси впервые была реализована на Минском тракторном заводе, где в 1965 г. в Базовой лаборатории обработки металлов давлением В.Я. Щукиным и В.И. Махначем была сконструирована установка прокатки и разработана технология прокатки зуба бороны. С поступлением в 1969 г. сотрудников указанной лаборатории Г.В. Андреева и В.Я. Щукина в аспирантуру при Физико-техническом институте Академии наук БССР здесь под руководством Г.М. Макушка и В.М. Сегала начались научные исследования этого нового и абсолютно не исследованного на то время процесса.

Исследователи всего мира единодушно отмечают лидирующую роль в исследовании ПКП и разработке технологий прокатки белорусской школы: ФТИ НАН Беларуси и фирмы «АМТинжиниринг» и «Белтехнология и М». ФТИ принадлежит 30 % изобретений в мире в области ПКП.

Разработанные в ФТИ НАН Беларуси технологии ПКП обеспечивают [3]: коэффициент использования металла – 0,8–0,98, стойкость плоскопрокатного инструмента до его полного выхода из строя – около 1 млн штук изделий, производительность процесса в зависимости от конфигурации изделия и схемы прокатки – 300–720 шт/час, повышение эксплуатационных характеристик прокатанных изделий на 10–15 %.

За последние 50 лет сложился опыт создания и эксплуатации станов ПКП различных схем, каждой из которых присущи свои преимущества и недостатки. Станы с плоским клиновым инструментом предназначены для высокоточной прокатки, так как они обеспечивают точное перемещение инструментов, которые могут быть изготовлены в свою очередь с высокой точностью и высокой твердостью. Благодаря высокой твердости стойкость таких инструментов (с ремонтами) может превышать 25 миллионов прокатанных деталей. Инструмент изготавливается на универсальном металлорежущем оборудовании и характеризуется низкой себестоимостью. Быстрая замена инструмента (в том числе автоматическая) позволяет на одном стане производить большое количество различных типоразмеров деталей. Плоскоклиновые станы ПКП вследствие своих конструктивных особенностей априори легче и дешевле валковых [4].

Список использованных источников

1. Садко, В.И. Поперечно-клиновая прокатка: руководство по практическому применению / В.И. Садко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 176 с.
2. Щукин, В.Я. Основы поперечно-клиновой прокатки / В.Я. Щукин. – Минск: Наука и техника, 1986. – 223 с.
3. Кожевникова, Г.В. Развитие теории и технологии формообразования осесимметричных ступенчатых деталей поперечной прокаткой / Г.В. Кожевникова. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 183 с.
4. Кожевникова, Г.В. Теория и практика поперечно-клиновой прокатки / Г.В. Кожевникова. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 291 с.

Студент гр.10402118 Парагис М.Г.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Метод ультразвуковой обработки основан на применении упругих колебаний сверхзвуковой частоты (16–20 тыс. колебаний в секунду). Ультразвуковая обработка появилась из-за невозможности воздействовать на материалы непроводящего и непрозрачного типа привычным механическим методом.

Среди преимуществ данной технологии можно выделить:

1. Универсальность – подойдет для обработки любых металлов.
2. Возможность работы с хрупкими материалами, такими как стекло, гипс, камни и материалы на основе алебаstra, а также для работы с алмазами.
3. По окончании работы нет остаточного напряжения, то есть возможность появления трещин на поверхности сведена к минимуму.
4. Низкий уровень шума в процессе работы.
5. Долговечность оборудования.

На сегодняшний день используют несколько уникальных технологий, в которых ультразвук является основой технологического процесса. Так, существует технология финишной обработки металлических поверхностей.

По технологии ультразвуковой обработки можно обрабатывать не только сталь, но и чугуны, цветные металлы, сплавы (в том числе титановые). Форма заготовки не имеет значения. Обработать можно криволинейные, наружные, внутренние полости, различные выступы и канавки. Примечательно, что при использовании ультразвуковой обработки не требуется оставлять традиционный припуск под обработки. Как следствие – экономия материала. За один проход удаётся выйти на 10 класс шероховатости. Отпадает надобность во внутрицеховых передвижениях детали с одного станка на другой, существенно снижается общее время обработки детали [1, 2].

Ультразвук воздействует на поверхность микро-ударами, что упрочняет поверхность в значительной степени. Структура металла изменяется на глубине в 15–20 мм. Возникают нано структуры (размер зерна 5–10 нм). Остаточные напряжения трансформируются в сжимающие [3]. В итоге твёрдость поверхности повышается в среднем на 35 %. Микротвёрдость обработанного слоя, например, стали, увеличивается на 5–35 %, повышается усталостная прочность, увеличивается до 90 % опорная поверхность, некруглость геометрии детали после резца снижается на 25–30 %, при условии твердого точения детали в размере использование ультразвуковой обработки исключает необходимость применения шлифовальных станков. Так же возможна одновременная обработка детали резанием и ультразвуком, при этом технология освобождается от абразива, войлока и притирочных паст.

Список использованных источников

1. Зуев, А.А. Технология машиностроения / А.А. Зуев. – Изд. 2-е. – СПб.: Лань, 2003. – 496 с.
2. Материаловедение для транспортного машиностроения: учеб. пособие. / Э.Р. Галимов [и др.]. – СПб.: Лань, 2013. – 448 с.
3. Самсонова, Е. А. Ультразвуковая обработка металлов / Е.А. Самсонова // Инновационные методы в металлургии : материалы студенческой науч.-техн. конф., Санкт-Петербург. – СПб, 2015. – С. 3.

**Листовая штамповка. Оборудование листовой штамповки.
Материалы листовой штамповки**

Студенты гр. 10402118 Бельский В.Ю., Филипченко Р.О.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Технология листовой штамповки – это научное описание совокупности методов, процессов и материалов, используемых для получения изделий из листовой заготовки методами обработки давлением. Технология как наука изучает сущность производственных процессов, взаимосвязь этих процессов и закономерности их развития. Задачей изучения технологии листовой штамповки является получение знаний, позволяющих вести расчеты технологических операций и процессов, проектировать соответствующий инструмент, управлять процессами изготовления изделий из листовой заготовки для получения качественных изделий, используя оптимальные технологические процессы, разрабатывать новые прогрессивные методы и процессы.

Листовая штамповка из листа при комнатной температуре называется холодной штамповкой. Ее применяют при малых толщинах листа и в случае пластичных сплавов. Если же штампуют из толстого листа (от 5 мм) или из сплавов с малой текучестью, то для повышения пластичности лист заготовки нагревают. Листовая штамповка гарантирует получение большого количества абсолютно идентичных по форме и размерам деталей с высокой точностью [1, 2].

Холодная объемная штамповка позволяет получать высокоточные тонкостенные детали практически любой формы при себестоимости существенно ниже, чем в случае использования литья или механической обработке. Намного выше получается и коэффициент использования металла. Кроме того, холодная объемная штамповка гарантирует не только прочность, но и однородность свойств материала детали, что особенно важно в ответственных конструкциях. Как объемная, так и листовая штамповка экономически эффективна в рамках больших серий. Это объясняется большими затратами на подготовку производства [1].

Холодная листовая штамповка является на сегодня одной из самых широко распространённых технологий обработки металлов, пластмасс и некоторых других материалов. Диапазон применения технологии – от крупных конструкций в судостроении до тонкостенных деталей бытовой техники.

Оборудование для листовой штамповки

Для различных видов операций листовой штамповки применяется широкий спектр оборудования [1].

Так, для операций резки используют вибрационные, или гильотинные ножницы.

Для выполнения формообразующих операций применяют основное штамповочное оборудование – станок для листовой штамповки или пресс.

По типу они различаются:

- кривошипно-шатунные;
- гидравлические;
- радиально-ковочные;
- электромагнитные.

Самым простым в устройстве и обслуживании является пресс с кривошипно-шатунным приводом. Он пригоден для выполнения несложной листовой штамповки – тонкостенных деталей малого и среднего размера простой формы.

Гидравлические прессы позволяют развивать намного большее усилие (до 2 тысяч тонн) и точнее регулировать ход прессы. Этот тип оборудования применяют для операций гибки или объемной штамповки из листа большой толщины.

Радиально-ковочные комплексы используют для листовой штамповки деталей, имеющих форму тела вращения.

Электромагнитные прессы – достаточно новый тип оборудования. Давления на заготовку производится за счет массы электромагнитного сердечника, направляемого к пуансону электромагнитным импульсом. Импульс противоположной полярности возвращает сердечник в исходное положение. Такой привод намного проще в изготовлении и обслуживании, чем гидравлический, но пока не достигает его мощности.

Материалы для листовой штамповки

Стальной прокат. В большинстве случаев для холодной штамповки применяются низкоуглеродистые стали высокой пластичности и свариваемости с содержанием углерода 0,05–0,4 %. По качественным показателям конструкционная углеродистая сталь подразделяется на сталь обычного качества и сталь качественную. В современном листоштамповочном производстве широко используется ряд листовых сталей различных марок и методов их получения. К наиболее распространенным относятся:

- сталь углеродистая обыкновенного качества;
- сталь тонколистовая холоднокатаная низкоуглеродистая конструкционная качественная;
- сталь толстолистовая горячекатаная конструкционная качественная;
- сталь повышенной прочности;
- сталь тонколистовая конструкционная легированная высококачественная специального назначения.

Наиболее широко применяют листовой и сортовой прокат. В качестве неметаллических материалов используют слоистые и волокнистые пластики и пластмассы гомогенной структуры. Объем выпуска штампованных деталей из пластмасс непрерывно возрастает.

Листовой прокат из цветных и тугоплавких металлов и сплавов. Листовой прокат из цветных металлов и сплавов обладает высокой удельной прочностью, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, теплопроводностью, малым электрическим сопротивлением. Область применения этого вида проката чрезвычайно обширна. Особенно это касается авиационной, космической и судостроительной отраслей промышленности [2].

Листовой прокат титановых сплавов применяется для изготовления деталей и узлов, работающих в режиме сверхзвуковых скоростей и воздействия высоких температур. Каркасные и корпусные детали из этих сплавов подвергаются аэродинамическому нагреву до 500 °С

Листовой прокат из алюминия и алюминиевых сплавов, различных марок широко применяется для изготовления деталей обшивок и каркасов летательных аппаратов и судов, что объясняется относительно небольшой плотностью алюминия, высокой прочностью и коррозионной стойкостью его сплавов. Это же относится и к магниевым сплавам. Алюминиевые и титановые сплавы применяются также для изготовления товаров народного потребления.

Медь и сплавы меди – латуни марок широко применяются в электротехнической, электронной, приборостроительной и других отраслях промышленности.

Сплавы на основе молибдена используются главным образом как жаростойкие конструкционные материалы. Механические свойства сплавов молибдена зависят от состава и температуры сплава

Неметаллические материалы. По своей структуре, физическим и механическим свойствам неметаллические материалы существенно отличаются от металлов и сплавов. Большинство неметаллических материалов имеет слоистую и волокнистую структуру. Созданные в настоящее время высокомолекулярные соединения по многим физическим и механическим характеристикам приближаются к традиционным конструкционным материалам, а по некото-

рым и превосходят их. Например, удельные прочностные характеристики (прочностные характеристики, отнесенные к плотности) не ниже, а иногда и выше, чем у металлов. Так, удельная прочность текстолита – 8, а углеродистой качественной стали марки 10кп – только 4–5.

Неметаллические листовые материалы, применяемые для листовой штамповки, можно разделить на четыре основные группы:

- пластические массы, слоистые и волокнистые пластики, термопластики однородной структуры;

- материалы на основе бумаги и резины;

- материалы минерального происхождения;

- комбинированные материалы сложной композиции (металлпластмасса, металл-асбест-резина и др.).

Материалы первой группы слоистой и волокнистой структуры представляют собой композицию из искусственных смол и наполнителей органического или минерального происхождения. Такие материалы легко перерабатываются в детали и изделия и удовлетворяют самым разнообразным требованиям в машиностроении, авиационной и космической технике, судостроении и пр. К слоистым листовым пластикам относятся гетинакс, текстолит, стеклотекстолиты и др. К листовым материалам однородной структуры относятся органическое стекло, полистирол, винипласт, целлулоид и др.

К материалам второй группы относят резину, картон, эбонит, фибру, а также войлок, фетр, лакоткани и др.

Третью группу представляют асбест, слюда и материалы на их основе: параниты, миканиты и др.

К материалам четвертой группы относятся многочисленные комбинированные материалы: фольгированные слоистые пластики, асбостальные листы, листовые металлы, покрытые слоем полихлорвинилового смолы (металлопласты) и многие другие. К этой же группе относятся и композиционные материалы (композиты), применяемые для изготовления ряда деталей машин и транспортных средств, автокузовные детали, детали самолетов, планеров, ракет и судов. Это перспективные материалы, состоящие из полимеров, армированных углеродным волокном. Производство и применение этих материалов постоянно растет. Относительная жесткость таких материалов в 5–9 раз больше, чем у низкоуглеродистой стали при весьма высокой коррозионной стойкости.

Список использованных источников

1. Артюхов, С. Листовая штамповка [Электронный ресурс] / С. Артюхов. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/obrabotka-davleniem/listovaya-shtampovka.html>. – Дата доступа: 14.04.2021.

2. Бурдуковский, В.Г. Технология листовой штамповки : учебное пособие / В.Г. Бурдуковский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 224 с.

Студенты гр. 10402118 Дыдышко А.М., Жусель В.П.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ковкой называют процесс горячей обработки металлов давлением, при котором путем многократного действия универсального подкладного инструмента или бойков металл заготовки пластически деформируется, постепенно приобретая заданные форму, размеры и свойства.

В процессековки предварительно нагретая заготовка укладывается на нижний боек молота или пресса, а верхним бойком наносятся удары либо по самой заготовке, либо по подкладному инструменту. При этом металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента

Для каждого металла существует своя ковочная температура, зависящая от физических (температура плавления, кристаллизация) и химических (наличия легирующих элементов) свойств.

В качестве исходного материала дляковки поковок на молотах и в гидравлических прессах применяют слитки, прокат, обжатые заготовки (блюмы), а также заготовки, полученные методом непрерывной разливки, центробежным литьем и сварные.

Цветной металл поступает в кузнечные цеха в виде слитков, прессованных или катаных прутков. Так, алюминиевые сплавы поставляются в виде прутков диаметром до 400 мм и квадратных заготовок размером до 1500 мм; латуни и бронзы – в виде прутков диаметром до 160 мм и длиной до 3 метров [1].

Дляковки металла используют: механические, гидравлические пресса и молоты.

Механические пресса

Кривошипные горячештамповочные прессыпредназначены для изготовления поковок из черных и цветных металлов и сплавов методом горячей штамповки. Они универсальны и находят применение в различных отраслях промышленности.

Горячештамповочные кривошипные прессы двойного действия для штамповки в закрытых штампах с разъемными матрицами предназначены для горячей объемной штамповки поковок из углеродистой и легированной стали и сплавов в разъемных матрицах.

Гидравлические пресса

Гидравлические ковочные прессы с верхним расположением рабочих цилиндров предназначены для изготовления поковок методомковки из углеродистых, высокоуглеродистых сталей и сплавов, цветных металлов и их сплавов, а также для выполнения отдельных штамповочных операций, не требующих строгого направления подвижных частей.

Гидравлические прессы для горячей объемной штамповки предназначены для горячей объемной штамповки поковок из черных и цветных металлов и их сплавов. Кроме того, они могут быть использованы для листовой штамповки, осадки, правки и выполнения других операций, не требующих приложения больших эксцентрических нагрузок.

Молоты

Ковочные паровоздушные молоты двойного действия арочного типа предназначены для выполнения разнообразных кузнечных работковкой на плоских бойках. Молоты состоят из следующих основных узлов: станины, шабота, рабочего цилиндра, падающих частей, систем смазки и управления. Станина – литая, стальная, арочного типа, состоит из двух стоек коробчатого сечения, соединенных вверху подцилиндровой плитой. В стойки вмонтированы регулируемые направляющие [2].

Для нагрева материала используют пламенные печи и электронагревательные устройства.

Пламенные печи

Пламенные печи широко используют в кузнечно-штамповочном производстве. По способу загрузки их разделяют на печи с периодической и непрерывной загрузкой. Печи с непрерывной загрузкой обеспечивают определенный режим производства, более высокую производительность и лучшее использование топлива (более высокий КПД).

В крупносерийном и массовом производстве, когда за определенным агрегатом (молотом, прессом, ковочной машиной) закреплено небольшое количество однотипных заготовок, широко используют автоматизированные печи с непрерывной загрузкой. По технологическому назначению пламенные печи, используемые в кузнечно-штамповочном производстве, можно также разделить на печи для нагрева под ковку и первичную термообработку и на печи для нагрева под объемную штамповку.

Электронагревательные устройства

В кузнечно-штамповочном производстве для нагрева заготовок из различных сталей, цветных металлов и сплавов в интервале 800...1300 °С применяют электрические печи сопротивления, индукционные нагревательные установки, установки электро-контактного нагрева и ванны с расплавами сталей. Электро-нагрев по расходу энергии на тонну заготовок менее экономичен, чем нагрев в пламенных печах. Однако его широко применяют, так как он повышает производительность труда, позволяет провести полную автоматизацию и обеспечить высокую стабильность процесса, улучшить условия труда и сократить потери металла на окалинообразование. Потери металла в виде окалины при индукционном и электроконтактном нагреве составляют 0,2...0,4 % массы нагреваемого металла, что в 5–10 раз меньше, чем при нагреве в пламенных печах. Уменьшение окалины повышает качество поковок и увеличивает стойкость штампов. Технологические преимущества электронагревательных устройств особенно эффективны в серийном и массовом поточном производстве.

Список использованных источников

1. Петров, Л.Н. Ковка на молотах и гидравлических прессах / Л.Н. Петров, И.З. Этин. – Л.; Машиностроение, 2006. – 128 с.
2. Касатонов, В.Ф. Поковки стальные прессовые. Технологические процессы / В.Ф. Касатонов. – Л.: 2005. – 72 с.
3. Семенов, Т.И. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Т.И. Семенов. – М.: 2010. – 461с.

Волочение с наложением ультразвуковых колебаний

Студенты гр. 10402118 Карпей Ф.С., Кузьмич И.А.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ультразвуковое волочение - волочение с наложением ультразвуковых колебаний на протягиваемый металл, что существенно снижает его сопротивление деформированию и коэффициент трения в очаге деформации.

Технология ультразвукового волочения позволяет повысить качество изделий постоянного сечения (проволоки, прутков, труб) путем наложения колебаний ультразвуковой частоты на фильеры или волокна.

По мере прохождения через фильеры, а их количество может достигать десяти и более штук, исходный материал упрочняется, а диаметр заготовки соответственно уменьшается. При этом материал в некоторой степени теряет свою пластичность, а вследствие уменьшения диаметра заготовки снижается прочность прокатываемого изделия на разрыв. Для снятия наклепа применяют промежуточные операции отжига и удаления окислов, которые, однако, сильно усложняют технологический процесс.

На финишной стадии процесса волочения сила трения становится сравнимой с силой, необходимой для разрыва проволоки. Для снижения коэффициента трения между материалом фильеры и, например, проволокой используют различные смазки, начиная от мыльного раствора и заканчивая специально разработанными смазками и пастами.

Наложение ультразвуковых колебаний на фильеру позволяет снизить трение. Проведенные эксперименты показали, что вследствие уменьшения силы трения усилие, требуемое для протяжки проволоки, при подведении ультразвуковых колебаний уменьшается обратно пропорционально амплитуде колебательной скорости в фильере. В общем случае, усилие протяжки зависит от отношения скорости протяжки к амплитуде колебательной скорости фильеры. Чем больше скорость протяжки, тем меньше эффект снижения усилия протяжки. Например, при одной и той же колебательной скорости уменьшение скорости протяжки в два раза уменьшает усилие протяжки на 25–30 % в зависимости от материала. Частота колебаний также влияет на усилие протяжки. При одной и той же амплитуде колебательной скорости увеличение частоты колебаний уменьшает усилие протяжки. Результаты можно наблюдать на рисунках 1 и 2.

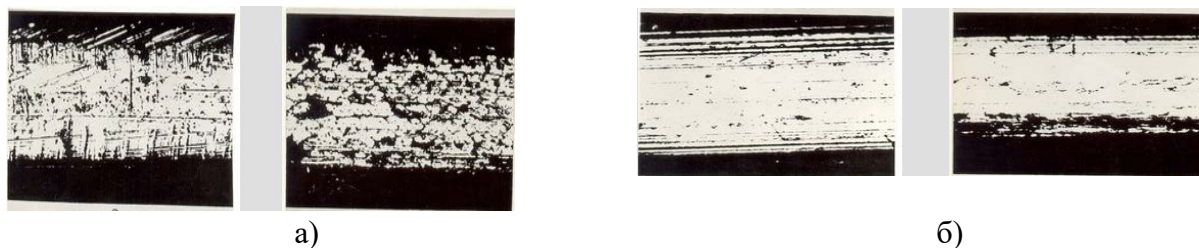


Рисунок 1 – Ультразвуковое волочение металлической проволоки под микроскопом(х40):
а – без ультразвука; б – с ультразвуком



а)



б)

Рисунок 2 – Ультразвуковое волочение металлической проволоки:
а – без ультразвука; б – с наложением ультразвуковых колебаний

Таким образом, усилие протяжки является функцией, по меньшей мере, трех параметров: скорости протяжки, амплитуды колебательной скорости и частоты колебаний, подводимых к фильере. Наложение ультразвуковых колебаний в значительной степени влияет на качество поверхности проката – чистота обработки поверхности повышается в среднем на два класса.

Волочение с наложением ультразвуковых колебаний на протягиваемый металл, что существенно снижает его сопротивление деформированию и коэффициент трения в очаге деформации. Существуют самые разнообразные схемы наложения ультразвуковых колебаний в процессе волочения – продольные колебания, перпендикулярные, радиальные, наложение колебаний на инструмент, на заготовку и т.д. Особенно эффективно применение ультразвуковых колебаний для труднодеформируемых сплавов, у которых при высоких скоростях снижается пластичность, а при нагреве происходит деформационное старение.

Студент гр. 10402128 Савчик И.А.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Магнитно-импульсная штамповка характерна тем, что давление на деформируемую металлическую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля, без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных тел. Это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности, а также деформировать заготовки, заключенные в герметическую пластмассовую оболочку.

Магнитно-импульсная обработка основана на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока, а в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, помещенной вблизи индуктора.

При взаимодействии мощного поля индуктора с индуцированным в заготовке током и его магнитным полем возникают электромеханические (пондеромоторные) силы взаимодействия, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора и вызывающие ее деформацию. Магнитный импульс длится от 10 до 20 мкс, создавая давление от 3500 до 39 000 кгс/см². Так же, как и при штамповке взрывом, длительность магнитного импульса во много раз меньше времени деформации заготовки. Поэтому импульсное магнитное поле непосредственно действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего дальнейшая деформация заготовки происходит под действием полученного ею запаса кинетической энергии.

Движущаяся заготовка с высокой скоростью (300—400 м/с) ударяется о матрицу, в результате чего возникают огромные силы соударения, деформирующие заготовку. Импульсная магнитная штамповка получила довольно большое применение в промышленности при выполнении различных операций листовой штамповки: вытяжки, вырубки, пробивки отверстий, отбортовки, развальцовки труб, запрессовки штуцеров, обжатия труб и наконечников на тросах, сборки трубчатых деталей с оправками и т.п.

Весьма оригинальной операцией, осуществляемой магнитно-импульсной штамповкой, является прессование резьбы внутри металлических трубок и тонкостенных втулок по резьбовому болту или шпильке.

Магнитно-импульсная штамповка имеет ряд преимуществ перед другими высоко-энергетическими методами:

- 1) возможность точного дозирования мощности импульсного разряда путем изменения емкости конденсатора (накопителя);
- 2) повышенная точность штампуемых деталей;
- 3) сравнительно высокая производительность процесса;
- 4) возможность автоматизации и встраивания магнитно-импульсных установок в производственный процесс;
- 5) возможность выполнения сборочных операций;
- 6) возможность деформирования заготовок за несколько разрядных импульсов, причем первые импульсы служат для разогрева заготовки и повышения ее пластичности.

В результате применения магнитно-импульсной обработки представляется возможной штамповка листовых и трубчатых заготовок толщиной до 5 мм.

Размеры заготовок (диаметр, обрабатываемая площадь) обуславливаются запасом энергии установки, толщиной обрабатываемого материала, конструктивными возможностями индуктора и технологической оснасткой.

Наиболее эффективно магнитно-импульсным методом обрабатываются заготовки из меди, алюминия, магния и их сплавов.

Заготовки из углеродистых (Ст3, Ст10) и легированных (1Х18Н9Т, 30ХГСА) сталей, а также из титановых сплавов можно обрабатывать только с применением прокладок-«спутников», изготовленных, например, из отожженной меди марки М1.

По типу применяемого инструмента и по характеру деформации обрабатываемой заготовки все операции, выполняемые на МИУ, можно разделить на три схемы: раздача, листовая формовка и обжим.

Установлено, что с использованием магнитно-импульсной обработки возможно получение биметаллических соединений, изготовление шарнирных соединений, сварка трубчатых заготовок, запрессовка труб в диски, трубных досках и т.д., соединение двух изоляционных или металлических деталей путем раздачи трубы с одновременной отбортовкой, поперечная волнистая и плоская в сечении рифтовка, формообразование выступа, продольная рифтовка, формообразование конуса, концевая раздача труб, отбортовка, пуклевка, изготовление резьбы, рифление, калибровка, пробивка отверстий, вырубка, порезка.

При использовании магнитно-импульсной обработки для листовой штамповки применяются плоские спиральные индукторы.

Технологические операции, выполняемые по схеме «листовая формовка»: сборка диска с осью, отбортовка диска, сварка двух листов металла, напрессовка втулок на оси и запрессовка вкладышей в трубах, изготовление деталей типа тарелки или днища, кольцевая заготовка, продольная и поперечная зиговка, пуклевка, неглубокая отбортовка по периферии диска, прямоугольника, круглых и прямоугольных отверстий, формовка тороидальных крышек, рельефная формовка с одновременной рихтовкой недеформируемой части заготовок, калибровка листовых заготовок, пробивка отверстий, вырубка и порезка.

С помощью магнитно-импульсной обработки по схеме «обжим» можно выполнить следующие технологические операции: соединение металлических деталей с керамикой, стеклом, пластмассой и другими неметаллическими материалами, опрессовка кабельных наконечников, соединение двух проводов соединительной трубкой, опрессовка наконечников на канаты и др., шлангов высокого давления, опрессовка труб на металлические наконечники, сварка трубчатых заготовок, поперечная волнистая, поперечная плоская в сечении и продольная рифтовка, формообразование впадины, формообразование конуса, редуцирование труб, отбортовка, пуклевка, изготовление резьбы, рифление, калибровка, пробивка отверстий и вырубка, порезка труб.

Титан в различных отраслях машиностроения

Студент гр. 10402128 Кацкель В.С., Логвинов В.Н., Повара О.В.
Научный руководитель –Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Анализ применения титана в народном хозяйстве показал, что 80 % его используется в качестве коррозионностойкого материала и только 20 % как конструкционного. Такая диспропорция сложилась не случайно, поскольку первыми потребителями титана были цветная металлургия, химия нефтехимия, целлюлозно-бумажная промышленность, гальванотехника и черная металлургия. В настоящее время титан и его сплавы находят широкое применение в машиностроении благодаря комплексу ценных физико-химических и технологических свойств.

Одним из путей повышения надежности и долговечности деталей к узлов автомобилей и двигателей является применение новых конструкционных материалов, таких как титановые сплавы, имеющие высокую прочность, выносливость при знакопеременных нагрузках, легкость и нечувствительность к надрезам. Их целесообразно использовать для изготовления особо ответственных деталей автомобилей и двигателей.

Известно, что на восстановление действующего парка машин (ремонт и межремонтное обслуживание, осмотры, проверки) ежегодно расходуются десятки миллионов рублей. Затраты на ремонт и межремонтное обслуживание в год составляют около 25 % стоимости машины. Трудоемкость капитального ремонта грузового автомобиля в 3–4 раза больше трудоемкости его изготовления. Десятки заводов заняты выпуском запасных частей. Детали из титановых сплавов надежны и долговечны и при работе в автомобилях и двигателях они позволяют сократить ремонты и межремонтное обслуживание и, следовательно, сэкономить миллионы рублей. Опыт применения титановых сплавов в СССР и за рубежом показывает, что наиболее целесообразно использовать титановые сплавы для деталей высоконагруженных двигателей, несущей конструкции и ходовой части автомобилей.

Известно, что основным тяжело нагруженным узлом в работе двигателя является шатунно-поршневая группа. Предварительными расчетами установлено, что уменьшение массы шатуна позволит уменьшить инерционные нагрузки, массу противовесов, расход горюче-смазочных материалов, увеличить число оборотов двигателя, повысив тем самым его мощность.

В Институте титана были проведены исследования по отработке технологии штамповки шатуна дизеля. При выборе сплавов для шатунов сопоставили физико-механические свойства некоторых титановых сплавов с таковыми обычно применяемых сталей и тщательно изучили поведение последних при штамповке, а также в условиях их длительной эксплуатации. Сопоставление всех результатов исследований показало, что качество материала заготовки дизельного шатуна из сплава ВТ3-1, ВТ5-1, ВТ8 удовлетворительное, макроструктура по сечению заготовки мелкозернистая, рекристаллизационная. В настоящее время на одном из дизелестроительных заводов шатуны внедрены в серийное производство и получен значительный технико-экономический эффект.

Целесообразность применения титановых сплавов в энергетике определяется экономическими и техническими соображениями. Так, имеются условия, когда применение титановых сплавов с высокой удельной прочностью абсолютно необходимо, поскольку нет пока других технических средств и металлов, например, для изготовления весьма длинных рабочих лопаток паровых турбин ($i > 1000..1200$ мм). Применение титановых сплавов для крупных рабочих лопаток длиной менее 1000 мм, изготавливаемых обычно из стали, привело бы к разгрузке напряженного ротора цилиндра низкого давления турбин и повысило надежность

конструкции в целом. Высокая коррозионно-эрозионная стойкость титановых лопаток также способствовала бы длительному сохранению высокого КПД цилиндра низкого давления турбины. Однако большая стоимость и сложность изготовления пока сдерживают здесь внедрение титановых сплавов.

Учитывая не дефицитность титановых сплавов, прекрасное сочетание прочности, коррозионной стойкости и других свойств, а также ожидаемое в ближайшее время значительное понижение стоимости изделий из них, целесообразно наметить следующие работы по использованию титановых сплавов для энергетических установок.

Для паровых турбин: продолжение работ по исследованию штампованных заготовок для крупных рабочих лопаток и изысканию рационального метода упрочнения кромок этих лопаток; изучение вопросов применения титановых демпфирующих связей для крупных лопаток; проработка вопроса о возможности изготовления турбинных дисков диаметром до 2000 мм.

Для компрессоров: продолжение работ по исследованию компрессоров высокой производительности для газотурбинных и парогазовых установок большой мощности с титановыми лопатками.

Для конденсаторов: экспериментальное опробование титановых труб для конденсаторов, работающих на морских электростанциях и на станциях с агрессивной охлаждающей водой.

Для малонапряженных деталей, работающих в агрессивных средах: выбор и опробование дешевых (вторичных) титановых сплавов для изготовления коррозионностойких малонагруженных деталей энергетических установок (маслоохладители, масляные баки).

Отличие низкотемпературной нитрокарбонизации от азотирования сталей

Студент гр. 10402128 Чертович Г.А.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Нитрокарбюризация – это термохимический диффузионный процесс. Азот, углерод и очень небольшое количество атомов кислорода диффундируют на поверхность стали или других железных сплавов. Это формирует поверхностный составной слой и диффузионный слой, когда азотирование – это еще один низкотемпературный процесс, при котором азот переносится и поглощается сталью.

Температуры этих процессов похожи: азотирование при 500–530 °С, а низкотемпературная нитрокарбонизация при 560–580 °С.

В отличие от нитроуглероживания, при азотировании переносится только азот. Процессы азотирования дают твердость поверхности и четкую микроструктуру. Однако процесс азотирования занимает больше времени, чем нитрокарбюризация, чтобы достичь такой же глубины корпуса.

Толщина слоя отличается. глубина азотированного слоя составляет около 0,025 ~ 0,8 мм. При нитрокарбонизации общая глубина нитридного слоя составляет 0,02 ~ 3 мм.

Нитрокарбонизация используется для низкоуглеродистой стали, низколегированной конструкционной стали и деталей из инструментальной стали. Азотирование используется в основном для конструкционной стали со средним углеродистым сплавом, содержащей алюминий, хром, молибден и другие легирующие элементы, а также углеродистую сталь и чугун.

Однако по назначению оба метода повысить твердость, износостойкость, усталостную прочность и коррозионную стойкость стальных деталей.

Также следует учесть, что для стали Н13 нам необходимо будет получить твердость 44-50 HRC для использования как инструменты для экструзии (Плашки, подложки, держатели, вкладыши, пустышки, стебли).

Более эффективное время процесса является основной причиной выбора нитроуглероживания вместо классического азотирования.

Студенты гр. 10402128 Кучинский Д.И., Смарцелов Д.С.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью работы было исследование влияния режимов термической обработки отливок из Cr-Ni-Mo ВЧШГ, полученных в разовых песчано-глинистых формах, на их структуру, механические и служебные свойства.

Исследования проводили на калибрующих валках мелкосортного прокатного стана (валки имели следующие «чистовые» размеры: наружный диаметр 365 мм, внутренний – 140 мм, высоту – 205 мм). В соответствии с ТУ 27.1-00190319-1291-202 валки этого класса рекомендуются изготавливать из чугуна типа СШХНМД-55.

Металл выплавляли в индукционной печи ИСТ-0,4 с кислой футеровкой. Химический состав опытных валков соответствовал составу чугуна марки СШХНМД-55 и содержал (мас.%): 3,3–3,8 С; 1,5–1,7 Si; 0,4–0,6 Mn; 0,1–0,3 Cr; 2,5–3,0 Ni; 0,3–0,5 Mo; 1,6–2,0 Cu; содержание серы не превышало 0,02 %. Модифицирование для получения ШГ выполняли в ковше «сэндвич» – методом введением модификатора ФСМГ-9 и плавикового шпата в количестве 2 и 0,5 % от массы обрабатываемого чугуна, соответственно. Детали отливали в сухие песчано-глинистые формы. Параллельно с валками были отлиты пробные заготовки. После выбивки и очистки литье подвергали искусственному старению при 520–550 °С. Механическую обработку изделий выполняли до получения «чистовых» размеров.

Следующей операцией была термическая обработка. Закалку в масле выполняли с температур нагрева 780 °С и 930 °С; температура отпуска была 250, 350, 450, 550 и 650 °С. Из пробных заготовок изготавливали образцы для изучения микроструктуры и твердости металла, а также исследования износостойкости. Металлографические образцы подготавливали стандартным методом, исследования проводили на микроскопе «Неофот-21». Твердость измеряли прибором Роквелла, отсчет по шкале С. Износостойкость определяли на машине МИ-1М при трении образцов из исследуемого материала о поверхность закаленного ролика из стали У8. Величину относительного износа, И (%), оценивали как отношение удаленной при изнашивании в течении 30 минут массы тела к ее начальному значению.

Микроструктура чугуна опытных литых заготовок представляла собой смесь ледебурита и мелкодисперсного перлита в соотношении 50/50 %. Включения глобулярного графита мелкие, расположены равномерно. По строению металлические матрицы опытные отливки имели структуру половинчатого высокопрочного чугуна. Твердость металла – 53 ед. HRC.

Отпуск при температуре 250 °С образцов закаленных с нагрева до 780 °С привел к появлению в структуре чугуна мартенсита отпуска. Соотношение структурных составляющих осталось прежним. При повышении температуры отпуска до 350 °С, наблюдали увеличение твердости до 57 ед. HRC и уменьшение относительного износа, что могло быть связано с разложением имевшегося в структуре небольшого количества остаточного аустенита.

Дальнейшее повышение температуры отпуска до 450 °С привело к появлению в структуре троостита, и как следствие – к уменьшению твердости металла до 48 ед. HRC и увеличению относительного износа.

Отпуск при температурах 550 и 650 °С имел своим результатом появление в структуре чугуна троосто-сорбитной смеси, что соответствовало снижению твердости металла до 35 ед. HRC.

Картину, отличную от описанной выше, наблюдали на образцах, закаленных с температуры 930 °С.

Отпуск при 250 °С привел к таким же результатам как и в предыдущем эксперименте.

Повышение температуры отпуска до 350 °С обеспечило дальнейший отпуск мартенсита, незначительное снижение твердости металла и повышение относительного износа. При температуре отпуска 450 °С отметили снижение количества остаточного аустенита.

Отпуск при 550 и 650 °С не привел к полному разложению остаточного аустенита и уменьшил дисперсность перлита. Это привело к снижению твердости до 36 ед. HRC и повышению относительного износа.

Таким образом, оптимальным следует признать режим окончательной термической обработки прокатных валков из Сг-№-Мо высокопрочного чугуна, отлитых в песчано-глинистые формы, включающий закалку в масле с температуры нагрева 930 °С и отпуск при 450 °С. Твердость чугуна при этом составляет 55 ед. HRC, относительный износ – 0,22 %, что в 3,6 раз меньше, чем износ чугуна эталонных деталей.

Вместе с тем представляет значительный интерес изучение роли метастабильного аустенита в процессе упрочнения исследуемого материала и повышения его служебных свойств.

Вывод: для повышения стойкости прокатных валков отлитых из Сг-№-Мо высокопрочного чугуна с шаровидным графитом рекомендуется закалка их с 930 °С в масле и отпуск при 450 °С.

Инновационный метод волочения многослойных труб

Студент гр. 10402128 Повара О.В., Кацкель В.С.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В настоящее время прогресс не стоит на месте, это относится и к металлургической промышленности. Это способствует разработке и внедрению новых технологий в эту отрасль. В данной статье представлен новый принцип получения многослойных тонкостенных труб малого диаметра.

На рисунке 1 представлена установка для получения многослойных труб. Согласно проведённым на установке экспериментам, были получены образцы с высокой частотой наружной и внутренней поверхности, а также достигнуто снижение контактных усилий за счет использования металлоплакирующей смазки, что дает основание к дальнейшему исследованию данного метода.

На рисунке представлена принципиальная схема оправочного волочения многослойных труб (рисунок 1).

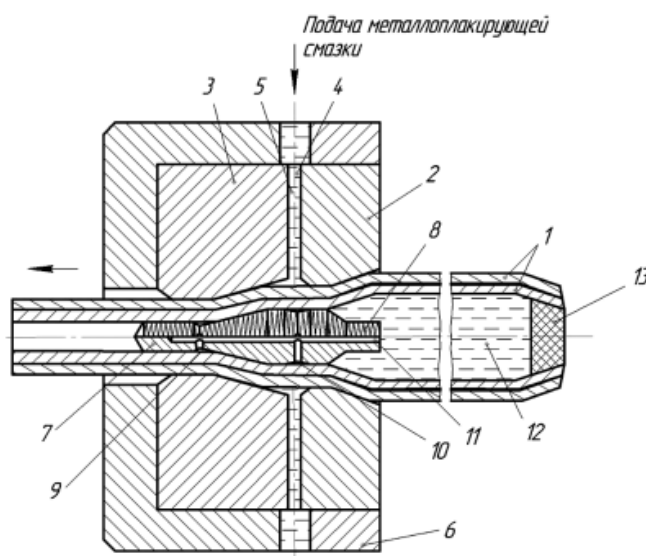


Рисунок 1 – Схема оправочного волочения многослойных труб:

- 1 – трубные заготовки; 2, 3 – фильеры; 4, 5 – пазы для подачи смазки; 6 – корпус,
 7 – «плавающая» оправка; 8 – регулярный микрорельеф; 9, 10, – карманы для смазки;
 11 – осевой канал; 12 – полость трубной заготовки; 13 – герметичная заглушка.

При этом многослойная заготовка трубы 1 представляет собой сборку с зазором или с соединением отдельных трубных элементов сваркой, клеем и т.д. Наружная поверхность заготовки 1 обрабатывается набором фильер 2, рабочие поверхности которых упрочнены регулярным микрорельефом. На торцах фильер выполнены радиальные пазы 4, 5 для подачи металлоплакирующей смазки. Фильеры 2 расположены в корпусе 6. Внутренняя поверхность трубной заготовки обрабатывается «плавающей оправкой» 7, рабочие поверхности которой также упрочнены аналогичным регулярным микрорельефом 8 и пленочным тепло- и износостойким покрытием. В «карманах» 10 «плавающей оправки» выполнены радиальные каналы, сообщающиеся с осевым каналом 11, который в свою очередь сообщается с полостью 12 труб-

ной заготовки 1, заполненной металлоплакирующей смазкой и загерметизированной заглушкой. В процессе волочения, за счет сокращения объема полости 12 и создаваемого давления, металлоплакирующая смазка по радиальным каналам и каналу 11 подается в очаги деформации и в канавки регулярного микрорельефа 8, минимизируя трение и износ за счет более благоприятного режима трения, близкого к жидкостному. Аналогично происходит обработка наружной поверхности трубной заготовки, где металлоплакирующая смазка также подается под давлением от внешнего источника.

Реализация данной схемы на производстве поможет снизить процент брака и продлить ресурс оборудования, что, несомненно, принесет экономический эффект.

Исследование процесса получения конечной продукции путем прессования композиции, состоящей из стружки алюминиевого сплава и нанопорошка нитрида титана

Студенты: гр. 10402128 Грищенко М.Л., гр. 10402117 Петрович Ю.В.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При изготовлении металлоизделий обработкой резанием (токарные, фрезерные, строгальные и др. операции) накапливается большое количество стружки, и, зачастую, обычным способом ее утилизации является переплавка. Однако, при этом потери металла вследствие окисления могут достигать до 20 – 25 %. Поэтому химический состав переплава отличается от состава исходного сплава.

В плане уменьшения таких потерь альтернативными «переплавным» являются технологии, применяемые при обработке металлов давлением, например, экструзионная переработка стружки, запатентованная еще в 1945 г. Причем, с помощью этой технологии можно получать из стружки напрямую готовую профильную продукцию, как с предварительным ее компактированием, так и без него.

При этом, по сравнению с «переплавным» способом потери металла сокращаются до 40 %, расход энергии уменьшается на 26...31 %, и на 16...60 % снижаются трудозатраты.

Однако при этом зачастую, как установлено на алюминиевом сплаве АА 2050 (3,55 % Cu; 0,4 % Mg; 1,0 % Li; 0,45 % Ag; 0,1 % Zr; 0,35 % Mn; Al – ост.), применяемого в военной и аэрокосмической отрасли, экструдированный продукт оказывается пораженным как наружными, так и внутренними трещинами.

Другим способом утилизации стружки с применением метода обработки давлением, является прессование, при котором также можно получать компактные продукты. Однако при этом существует проблема «плохой» формуемости прессовок по причине налипания сплава на поверхность формирующего инструмента, что установлено, например, при прессовании стружки (толщина 0,5...1,0 мм, ширина 1,0...5,0 мм, длина 1,0...7,0 мм) из алюминиевого деформируемого сплава Д16 (3,8 – 4,9 % Cu; 1,2–1,8 % Mg; ост. – Al). В последующих экспериментах формуемость стружки удалось улучшить в результате ее механохимической обработки с использованием высокоэнергетической шаровой планетарной мельницы в среде насыщенного водного раствора ортоборной кислоты H_3BO_3 , в отсутствие которой стружка вообще не измельчалась. Очевидно, этот эффект связан с проявлением кислотных свойств H_3BO_3 в водном растворе, связанным с образованием H^+ по реакции: $H_3BO_3 + H_2O \rightarrow [B(OH)_4]^- + H^+$, что способствует нарушению сплошности прочной пленки оксида алюминия Al_2O_3 на поверхности стружки, в результате чего компактирование происходит через «срачивание» обнажившихся внутренних объемов стружки, представляющих собой чистый алюминий.

Базируясь на основе приведенной выше информации для получения продуктов из стружки была использована разработанная нами ранее технология, которая заключалась в прессовании профилей из композиции, состоящей из стружки алюминиевого деформируемого сплава Д16 (3,8–4,9 % Cu; 1,2–1,8 % Mg; 0,3–0,9 % Mn; Al – ост.) и нанопорошка нитрида титана TiN, который был выбран, исходя из полученных нами ранее результатов положительного влияния на механические свойства сплавов в качестве нанопорошка в данной работе был выбран нанопорошок нитрида титана TiN (микротвердость 2050 кг/мм² ~20 ГПа), полученный методом плазмохимического синтеза.

Изучение экструдированных продуктов показало, что качество их поверхности не отличается от качества аналогичных продуктов, но отпрессованных из плотных заготовок, подготовленных из слитков, отлитых полунепрерывным способом. Результаты испытаний механических свойств, проведенных на вырезанных из профилей образцах, показали, что их значения не только соответствуют требованиям соответствующих ГОСТов, предъявляемым к продукции, экструдированной из слитков, но и на 5–8 % их превышают.

Влияние легирования титаном на чугун

Студенты гр. 10402128 Смарцелов Д.С., Кучинский Д.И.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Износостойкость и пластичность отливок из чугунов повышается легированием молибденом, никелем, титаном ванадием и технологическими мероприятиями. Мы рассмотрим легирование титаном как метод увеличения износостойкости чугуна. Главной сложностью при применении титановых износостойких чугунов является так же трудности выплавки и разлива высокоуглеродистых сплавов с титаном из-за взаимодействия расплава с газами атмосферы и огнеупорными материалами футеровки. После ряда проведенных экспериментов мы можем видеть таблицу 1 с данными, в которой видим статистическую разницу между нелегированным и легированным титаном белых чугунов. Так же видим график с износостойкости чугуна и график прочности чугуна, который подвергся легированию.

Таблица 1 – Экспериментальные данные

| Тип белого чугуна | Химический состав, % | | | | Механические свойства | Коэффициент износостойкости, K_n , % |
|-------------------------|----------------------|------|------|------|---------------------------------|--|
| | C | Si | Mn | Ti | σ_B , кг/мм ² | |
| Нелегированный | 2,17 | 1,27 | 0,89 | – | 41,7 | 3,38 |
| | 2,68 | 1,3 | 0,96 | – | 27,5 | 5 |
| | 3,3 | 1,28 | 1,07 | – | 28 | 4,05 |
| Легированный титаном | 2,25 | 1,31 | 0,95 | 0,32 | 45,2 | 6,2 |
| | 2,37 | 1,4 | 0,99 | 0,63 | 44,4 | 11,54 |
| | 2,26 | 1,03 | 1,01 | 0,94 | 38,8 | 9,57 |
| | 2,21 | 1,53 | 0,95 | 1,69 | 30,0 | 9,44 |
| | 2,4 | 1,16 | 1,14 | 2,1 | 31,1 | 10,8 |
| | 2,68 | 1,08 | 0,6 | 0,37 | 28,4 | 8,19 |
| | 2,69 | 0,93 | 1,07 | 0,75 | 27,4 | 9,7 |
| | 2,53 | 1,5 | 1,02 | 1,26 | 36,2 | 21,27 |
| | 2,73 | 1,1 | 1,21 | 2,94 | 27,9 | 9,7 |
| | 3,13 | 1,6 | 0,78 | 0,28 | 20,1 | 8,26 |
| | 3,34 | 1,4 | 1,1 | 0,73 | 24,5 | 11,07 |
| | 3,24 | 1,4 | 0,98 | 1,54 | 33,9 | 9,19 |
| | 3,34 | 1,72 | 0,98 | 2,5 | 17,8 | 8,07 |

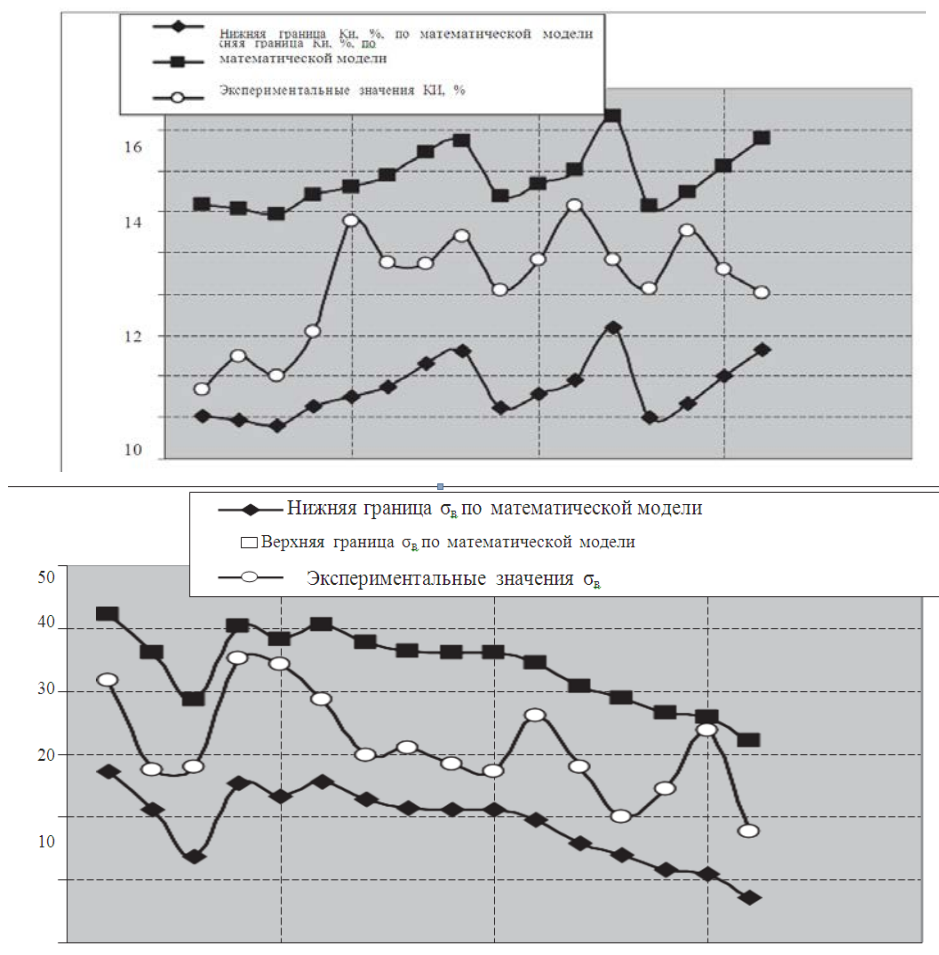


Рисунок 1 – Математическая модель

Из рисунка 1 следует, что полученная математическая модель достаточно точно описывает влияние исследованных факторов на износостойкость чугуна в выбранной области планирования.

На основании модели (9) могут быть сделаны следующие выводы: увеличение углеродного эквивалента приводит к снижению износостойкости чугуна, а увеличение содержания титана к его увеличению; сила влияния титана на величину износостойкости примерно в 4 раза больше, чем сила влияния углеродного эквивалента, что выражается в отношении величин оценок коэффициентов при входных переменных.

На основании модели (11) могут быть сделаны следующие выводы: увеличение и углеродного эквивалента, и содержания титана приводит к снижению износостойкости чугуна; сила влияния углеродного эквивалента на величину предела прочности чугуна примерно в 6 раз больше, чем сила влияния содержания титана.

Также на в нижней части рисунок 1 мы можем видеть, что полученная математическая модель достаточно точно описывает влияние исследованных факторов на предел прочности чугуна в выбранной области планирования.

Таким образом, математические модели (11) и (12) могут быть использованы для синтеза химического состава чугуна, обеспечивающего заданные показатели, как износостойкости, так и предела прочности.

Вывод:

1. Увеличение углеродного эквивалента приводит к снижению износостойкости чугуна, а увеличение содержания титана – к его увеличению; сила влияния титана на величину износостойкости примерно в 4 раза больше, чем сила влияния углеродного эквивалента.

2. Увеличение и углеродного эквивалента, и содержания титана приводит к снижению износостойкости чугуна; сила влияния углеродного эквивалента на величину предела прочности чугуна примерно в 6 раз больше, чем сила влияния содержания титана.

3. Полученные математические модели могут быть использованы для синтеза химического состава чугуна и определения областей существования химических составов чугуна.

**Анализ существующих конструкций механизма наклона
дуговой сталеплавильной печи вместимостью сто тонн, а также
подбор гидравлической жидкости для его гидросистемы**

Студент гр.10402128 Барановский М.А.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью настоящей работы является выявление преимуществ гидравлического привода механизма наклона ДСП-100, в сравнении с электромеханическим. Сравнение характеристик гидравлических жидкостей в условиях сталеплавильного производства.

Механизм наклона служит для поворота печи на угол тридцать восемь градусов для слива металла в ковш и на угол двенадцать градусов в сторону шлакового окна для удаления шлака.

Основными недостатками электромеханического привода являются:

- сложность применения в пожароопасных зонах и взрывоопасных средах, а также при большой влажности. Этот недостаток частично может быть устранен применением специального типа двигателя с высокой степенью защиты;
- высокая стоимость;
- при длительной непрерывной работе возможен перегрев двигателя, износ трущихся частей;
- электромагнитное поле может создавать помехи в сетях управления, помехи в проходящих рядом других сетях.

Достоинства гидравлического привода:

- способность развивать очень большое усилие при компактных параметрах. Гидропривод производит силу в 25 раз выше, чем электромеханический привод аналогичного размера;
- гидроприводы могут быть удалены от насосной станции на большое расстояние, но с некоторой потерей мощности (максимальное расстояние 300 м);
- малое время для развития значительного усилия и плавное его регулирование;
- широкий диапазон рабочей температуры;
- достаточно высокий КПД.

Все печи, используемые ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК» имеют гидравлический привод механизма наклона, так они соответствуют важным требованиям:

- обеспечить плавный наклон с регулируемой скоростью;
- защитить от попадания брызг металла и шлака;
- обеспечить наклон печи в случае прорыва металлом подины.

В качестве рабочих жидкостей для гидравлических систем применяют минеральные масла они получили большое распространение в различных отраслях промышленности вследствие их высокого технического качества и невысокой стоимости. Однако, применение минеральных масел в условиях сталеплавильного производства создает серьезную пожароопасность.

Для обеспечения безопасности при эксплуатации механизма наклона, следует применять огнестойкие водно-гликолиевые гидравлические жидкости, например: Бреокс НФ 46/2180 и НФ 46/2181.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика гидравлической жидкости БРЕОКС и минеральных масел.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика гидравлической жидкости БРЕОКС и минеральных масел

| Показатель | Бреокс | | Масло ВМГЗ | Масло И-20 А |
|--|--------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------|
| | НФ 46/2180 | НФ 46/2181 | | |
| Внешний вид | бесцветная однородная жидкость | | светло-коричневая жидкость | |
| Запах | специфический, незначительный | | специфический, незначительный | |
| Плотность при 20 °С, г/см ³ | 1,06–1,1 | 1,05–1,08 | 0,865 | 0,890 |
| Кинематическая вязкость (мм ² /с) в пределах: | | | | |
| | 50 °С | 34 | 34 | 10 |
| -20°С | 1175 | – | – | – |
| Значение Р _н при 25 °С | 9,3–9,7 | 9,3–9,7 | – | – |
| Температура вспышки не ниже, °С | отсутствует | отсутствует | 135 | 180 |

Успешно проведены испытания жидкости Бреокс на Новокузнецком комбинате, Волжском трубном заводе, заводе АвтоВАЗ и Белорусском металлургическом заводе.

Необходимость нагрева рабочего инструмента перед деформацией титановых сплавов

Студент гр. 10402128 Индрилюнас В. Б.

Научный руководитель –ТомилоВ.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Целью работы является изучение необходимости предварительного нагрева рабочего инструмента перед операциями деформации сплавов титана

В процессе деформации в местах контакта деформируемого металла с инструментом образуется охлажденный слой с пониженной пластичностью по сравнению с более удаленными от контактных поверхностей слоями, т. к. температура инструмента, как правило, ниже температуры деформируемой заготовки. Это вызывает неравномерность деформации, т. е. течение металла идет в основном внутри деформируемого объема. Исходя из информации, представленной выше, можно сделать вывод о необходимости нагрева деформирующего инструмента. Чем меньше разность температур поверхности инструмента и деформируемого металла, тем в более благоприятных условиях будет протекать формообразование при горячей деформации.

При остывании нагретых заготовок в процессе деформации разность температур поверхности и сердцевины титановых сплавов больше, чем у стали и алюминиевых сплавов. Следовательно, нагрев рабочей поверхности инструмента может значительно улучшить условия формообразования.

Нагрев инструмента существенно повышает степень возникшей деформации и улучшает заполнение рельефа металлом. В процессе проведения экспериментов было выявлено, что при нагреве инструмента (штампа) до 300 °С при осадке на подогретом инструменте по сравнению с осадкой на неподогретых штампах степень деформации повышается для титановых сплавов примерно на 24 %.

Применения электролитной обработки полосы в ОМД

Студент гр.10402128 Короткевич И.А., Мельников В.А.

Научный руководитель – Томилов В.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Электролитная обработка (ЭО) основана на протекании и комплексном воздействии на поверхность и саму заготовку электрохимических, диффузионных и термодиффузионных процессов. Она производится в водных растворах электролитов солей, слабощелочных и слабокислотных растворах с разнообразными добавками и заключается в формировании электрических разрядов между анодом и катодом (обрабатываемая деталь) через слой электролита и газо-паровую подушку, окружающую заготовку, в условиях наложения на электроды повышенного напряжения постоянного тока. Состав рабочей среды, электрические, гидродинамические и тепловые режимы, конструкция узла ЭО определяют цель и технологическое назначение процесса.

Очистка полосы обеспечивает: чистоту поверхности полосы до $0,00-0,05 \text{ г/м}^2$; позволяет отказаться от стандартных способов очистки - химического, механического, электролитического; позволяет вести поверхностное легирование стали; возможность управлять доменной структурой металла; повышение коррозионной стойкости полосы.

Очистка поверхности металлов и сплавов в электролите с использованием повышенных напряжений.

Загрязнения на поверхности бывают:

а) твердые окисные и солевые образования (окалина, ржавчина, продукты травления и т. д.);

б) масляные, жировые и эмульсионные пленки, наносимые специально при прокатке и штамповке в качестве смазки; в) твердые и жидкие загрязнения случайного характера (пыль, металлические частицы и т. д.).

Важную роль в процессах очистки играет состав стали и состояние ее поверхности. Содержащиеся в стали легирующие элементы и примеси сильно влияют на состав и структуру окисных пленок, образующихся на поверхности.

Загрязнение поверхности приводит к необходимости выполнять различные операции очистки. За каждой химической операцией должна следовать промывка поверхности.

При погружении загрязненного металла в щелочной раствор наблюдается разрыв масляной пленки и собирание ее в капли. При поляризации металла прилипание масляной пленки к металлической поверхности уменьшается. Газовые пузырьки, отрываясь от электрода около капли масла, задерживаются на ней. По мере увеличения их размеров масляные капли вытягиваются, силы сцепления их с поверхностью металла уменьшаются, и они отрываются от поверхности.

Наиболее простым методом удаления с поверхности загрязнений является обезжиривающий отжиг. Для предотвращения возникновения на поверхности слоя окислов его проводят в защитной атмосфере. Это усложняет конструкцию агрегатов и повышает стоимость технологической операции. Поэтому его применяют, когда наряду с обезжириванием требуется термическая обработка.

Чтобы удалить с поверхности окислы, обычно используют химическое и электрохимическое травление. При химическом травлении на поверхности протекают сложные физические и химические процессы: смачивание окислы растворами кислот, проникновение их в поры, сопровождающееся началом химического взаимодействия. При этом методе происходит наибольшая скорость процесса.

Применение электрохимического травления позволяет интенсифицировать процесс удаления окислов. В качестве электролитов применяют растворы кислот, щелочей, солей, а также их смеси. Стальные изделия могут быть катодом или анодом.

При катодном травлении в растворах кислот выделяется водород, который имеет хорошую восстановительную способность. Выделение водорода приводит к разрыхлению и отрыву окалины. При анодном травлении - удаление окислов происходит с образованием пассивной пленки, которая препятствует растворению основного металла.

Электролитная очистка поверхности металлов от масляных и жировых загрязнений. ЭО способствовала повышению пластичности, выразившейся в снижении давления на валки при прокатке полос и уменьшении содержания в стали углерода и азота. Произошло сглаживание микрорельефа поверхности.

Проверка проведена для лент шириной 50 мм с использованием струйной подачи электролита (9...13 %-ный раствор Na_2CO_3) и шириной 260 мм методом опускания полосы в ванны с использованием частично погруженного в электролит ролика. Оптимальной в данных работах признана температура электролита 40...50 °С, а концентрация $\text{Ca}_2 \text{CO}_3$ – выше 6 %. Рекомендуемое напряжение зависит от скорости движения полосы: 90...120 В при скорости 0,5 м/с и 140...190 В при скорости 2 м/с и более. Добились удаления 98 % загрязнений.

Наиболее приемлемым сортаментом для ее использования являются проволока и прутки, имеющие круглое сечение. При их обработке отсутствует необходимость принятия специальных мер для защиты кромок, что иногда имеет место при обработке полос, особенно тонких. Кроме того, для них легче создать одно из необходимых условий для электролитной обработки: площадь вспомогательного электрода должна быть больше площади активного электрода (обрабатываемого участка поверхности).

В целом можно отметить, что наиболее технологически отработанной и подготовленной к внедрению следует считать очистку поверхности полосы от технологических смазок, механических частиц и других загрязнений после холодной прокатки. Малая продолжительность обработки дает возможность проводить качественную подготовку поверхности в узлах малой протяженности. Это позволяет вводить узлы очистки в состав действующих агрегатов при их реконструкции и увеличить их производительность в том случае, если лимитирующим параметром является скорость подготовки поверхности.

Как правило, агрегаты непрерывной обработки, на которые рулоны полосы поступают после холодной прокатки, имеют комплекс устройств, где осуществляется многоступенчатая очистка поверхности (химическое обезжиривание, щеточно-моющая обработка, низковольтная электрохимическая или ультразвуковая очистка). Узел электролитного обезжиривания может быть установлен вместо любой ванны, где выполняются вышеуказанные операции, а освободившиеся площади можно использовать для установки дополнительного технологического оборудования, обеспечивающего повышение скорости последующей обработки.

Применение электролитной очистки поверхности полос после холодной прокатки может сократить количество углерода, перешедшего из прокатной смазки, оставшейся на поверхности, в металл в процессе отжига.

Список использованных источников

1. Абрикосов, А.А. Основы теории металлов: учеб. руководство / А.А. Абрикосов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 520с.
2. Марукович, Е.И. Металлургия в машиностроении Беларуси: итоги и перспективы научного обеспечения // Е.И.Марукович, А.А.Шипко. – Минск: Беларуская навука, 2016. – 372 с.

Связанная модель спекания порошков системы Ti-TiAl₃

Студент гр. 10402128 Логвинов В.Н., Кацкель В.С.
Научный руководитель –Томилов А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Целью работы является ознакомление с моделью спекания порошков системы Ti-TiAl₃.

Спеченные порошковые сплавы Ti-TiAl₃ используются в качестве мишеней (катодов) в технологиях нанесения ионноплазменных покрытий, что является перспективным и современным направлением. Из-за отсутствия достаточно доступной и высокопроизводительной технологии производства катодов с однородной структурой и приемлемой пористостью порошковые катоды Ti-TiAl₃ до настоящего времени не нашли широкого применения.

Уменьшить пористость порошковых катодов можно спеканием под давлением или в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с приложением давления. Однако эти методы являются низкопроизводительными и дорогостоящими, вследствие чего увеличивается стоимость конечного изделия. При спекании порошковых смесей Ti-TiAl₃ возможно одновременно достичь приемлемых характеристик пористости спеченных образцов и себестоимости их изготовления в условиях опытно-промышленного производства. Предложена и исследована математическая модель спекания порошков Ti-TiAl₃ в условиях однородного регулируемого нагрева.

Учитывается, что химические превращения происходят с изменением объема и сопровождаются появлением механических напряжений и деформаций дополнительно к напряжениям и деформациям вследствие высоких градиентов температуры. Учтено, что объемные изменения оказывают влияние на тепловые и химические процессы. Исследована эволюция температуры, концентраций элементов и соединений, относительного изменения объема образца и объемных деформаций во времени. Однако для целенаправленного использования технологических режимов спекания (с получением минимальной пористости) необходимо теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств материала при спекании.

Существуют многочисленные математические модели спекания порошковых смесей и синтеза в твердой фазе, основанные на совместном описании тепловых и кинетических явлений. На данный момент ни в одной из известных моделей явно не учитывается, что спекание порошковых смесей часто сопровождается объемными изменениями, связанными, в основном, с различием свойств реагентов и продуктов. По мнению различных исследователей, объемные изменения, различные в разных условиях синтеза и спекания, могут приводить к изменению кинетических закономерностей, а также состава и структуры готового изделия. Поэтому при моделировании подобных процессов стоит учитывать этот факт

Для данной системы и для выбранной области изменения технологических параметров учет связанного характера процессов (когда коэффициент в уравнении теплопроводности отличен от нуля) приводит к понижению температуры в процессе синтеза. Дополнительные энергозатраты на объемные деформации в образце ведут к появлению плато на температурной кривой, не связанного с фазовым переходом. Локальный максимум на температурных кривых связан, как правило, с выделением тепла в первой химической реакции, для связанной модели локальный максимум появляется на кинетической кривой. Исходя из исследований понижение температуры химических реакций в объеме происходит медленнее.

Исследование процесса получения строительных изделий из промышленных отходов методом прессования

Студент гр. 10402128 Астапович А.В.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Технология гиперпрессования позволяет существенно упростить процесс получения строительных материалов, так как позволяет обходить такой трудоёмкий процесс как автоклавирование уже сформированных изделий. Это достигается за счёт склонности дробленых веществ высокой степени дисперсности снижать свою высокую поверхностную энергию путем объединения в конгломераты, что достигается за счёт прессования и образования водостойких соединений без видимого химического взаимодействия веществ, входящих в состав смесей. Безавтоклавная технология получения строительных изделий методом прессования, позволяет значительно снизить стоимость производства изделий и повысить их физико-механические свойства.

Как известно, при добыче гранита, образуется значительное количество отхода в виде отсева, который в настоящий момент не нашёл применения и является промышленным отходом. Тем не менее, ввиду того, что свойства гранитного отсева позволяют использовать его в качестве основного компонента при производстве прессованных строительных изделий (плитка, кирпич, блок), это позволяет эффективно перерабатывать отходы и получать готовую продукцию в виде строительных изделий без стадии автоклавирования.

Цель проводимой работы, является исследование процесса прессования композиции гранитного отсева и извести с целью получения строительных изделий, минуя стадию автоклавной обработки, а также изучение физико-механических свойств полученных образцов.

Методика исследования процесса получения строительных материалов из композиции гранитного отсева и извести методом прессования основывается на использовании композиции гранитный отсев – известь, при различном соотношении присутствия двух компонентов, с целью установления оптимальных физико-механических свойств, удовлетворяющих использованию строительных изделий.

Для получения прессованных изделий на основе композиции гранитный отсев – известь, была задействована универсальная испытательная машина ГРМ-1.

В качестве инструмента использовалась следующая оснастка:

- матрица, с цилиндрическим отверстием Ø 50 мм.
- пуансон с цилиндрической рабочей частью Ø 49,96 мм.

Методика прессования композиции основывалась на использовании полусухой смеси (в смесь дополнительно добавлялось 7% воды для улучшения формуемости).

Впоследствии, получаемые заготовки пропаривались в ёмкости с водой, при температуре в 95 градусов Цельсия, с целью активации спрессованного состава, и подвергались сушке в течение 24 часов для удаления оставшейся влаги

Полученные изделия впоследствии подвергались разрушению, с целью определения предела их прочности. Испытания проводились на универсальной испытательной машине ГРМ-1.

Смеси различных составов подвергались прессованию при различных давлениях, близких к тем, которые используются на предприятиях по изготовлению строительных материалов – 50 и 100 кН (таблица 1).

Таблица 1 – Составы и прочностные свойства прессованного известково-гранитного вяжущего после пропаривания при 95 °С в течение 6 часов, влажность материалов при прессовании 7 %

| Группа | Состав вяжущего, % | | Усилие прессования, кН | Предел прочности на сжатие, МПа |
|--------|--------------------|--------------|------------------------|---------------------------------|
| | гранитный отсев | известь(СаО) | | |
| I | 94 | 6 | 50 | 12 |
| | 94 | 6 | 100 | 18 |
| II | 92 | 8 | 50 | 23,5 |
| | 92 | 8 | 100 | 29 |
| III | 90 | 10 | 50 | 24 |
| | 90 | 10 | 100 | 30 |

Полученные образцы изделий являются сравнимыми по прочности со строительным силикатным кирпичом марок М125 и М175 (I группа), марок М200 и М250 (II группа) и марки М300 (III группа) В рамках проводимых исследований был выявлен и развит механохимический эффект, который наблюдается при дроблении кристаллических природных веществ. Было также установлено, что при механоактивации протекают два параллельных процесса, способствующих повышению реакционной активности материалов – увеличение реакционной поверхности твердого тела и изменения физико-химических и энергетических параметров поверхности частиц материала.

Студент гр.10402128 Ботвич А.Н.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Асимметричная прокатка - привлекательный процесс обработки металла благодаря своей простоте, низкой стоимости и возможности создавать уникальные характеристики материалов. Асимметрия, которой способствует процесс, приводит к формированию большого набора текстуры различной структуры, которая способна улучшить механические свойства металлических материалов.

В настоящее время большой спрос на более легкие и надежные конструкции, низкую стоимость, возможность вторичной переработки, и экологически чистое производство. Прокатка листового металла – отличный вариант удовлетворить все упомянутые цели.

Основа асимметричной прокатки заключается в обеспечении разницы скоростей между верхним и нижним валком [1]. Достигается несколькими способами: различной скоростью вращения валков; использованием валков разного диаметра; разными коэффициентами трения между поверхностями.

Улучшение микроструктуры материала, в процессе асимметричной прокатки, связано с измельчением зерен, за счет их дефрагментации под действием сил сжатия и сдвига. Размер зерна оказывает большое влияние на механические свойства металлов и сплавов. Уменьшение величины зерна приводит к повышению характеристик пластичности с одновременным ростом прочностных характеристик [4]. Как правило, увеличение эквивалентной деформации, вносимой прокаткой, увеличивает плотность дислокаций, что способствует образованию дислокационных ячеек. При более высоких значениях деформации они превращаются в субзерна. Это превращение имеет промежуточные фазы, в которых удлиненные зерна или дислокационные стенки могут сосуществовать с равноосными ячейками, прежде чем образуют новые субзерна. Первоначальные исследования показали, что измельчение зерна требует большей деформации, что приводит к появлению новых, равноосных, мелких зерен размером менее 2 мкм [3].

На рис.6 показано изменение размера зерен сплава алюминия и магния, обработанного методом асимметричной прокатки, с общей толщиной обжатия 85%. Исходный материал имеет средний размер зерна около 25 мкм (рисунок 1 (a)), а после видны прокатанные мелкие зерна размером около 0,5 мкм (рисунок 1 (b)). Процесс чувствителен к свойствам материала и условиям прокатки.

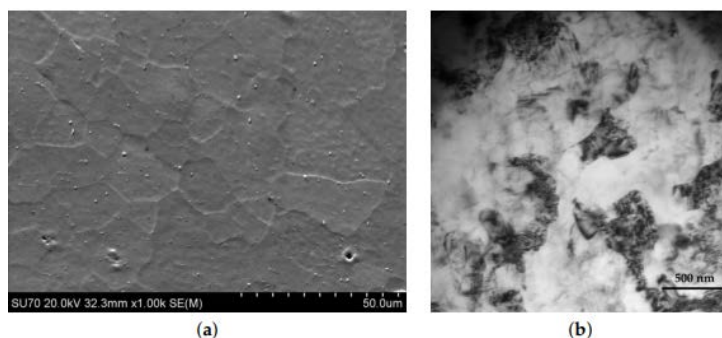


Рисунок 1 – Изменение размера зерна в результате асимметричной прокатки: (a) исходные зерна AA5182 перед прокаткой, наблюдаемая с помощью СЭМ (сканирующая электронная микроскопия), и (b) новые мелкие зерна после прокатки (85% уменьшение толщины), наблюдаемое с помощью просвечивающей электронной микроскопии

Исследования Вронски и Бакруа [2] показывают, что деление зерен сильно зависит от деформации сдвига, вызванной асимметрией процесса. Они оценили эффект асимметрии, вызванный изменением скорости валков при прокатке алюминиевых сплавов в один проход с обжатием на 36 %, и пришел к выводу, что минимальное наличие асимметрии составляет всего 1.05 (где 1 соответствует симметрии) приводит к изменению микроструктуры, и одного прохода достаточно, чтобы произвести значительное измельчение зерна. Конечно, изменения микроструктуры более выражены при большей асимметрии. То же исследование показывает, что низкая асимметрия изменяет материал только в среднем слое толщины. Это может быть полезно для контроля неоднородности листа. Ассиметричная прокатка с большим уменьшением толщины приводит к однородной структуре по всей толщине. Малое и среднее уменьшение приводит к неоднородности между поверхностями и центром листа [2]. Размер зерна после измельчения, полученного ассиметричной прокаткой в алюминиевых сплавах и сталях, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменения размеров зерен при ассиметричной прокатке

| Материал | Число ходов | Обжатие, % | Отношение асимметрии | Размер зерен при ассиметричной прокатке | Размер зерен при симметричной прокатке |
|---------------------------------------|-------------|------------|----------------------|---|--|
| АА1050 | 5 | 93,7 | 1,36 | 2 мкм | 2 мкм |
| АА6061 | 1 | 36 | 1,5 | 4 мкм | 9 мкм |
| Низко-углеродистая легированная сталь | 4 | 50 | 1,2 | 0,92 мкм (поверхность) | 1,02 мкм (поверхность) |
| | 1 | | | 1,09 мкм (центр) | 1,44 мкм (центр) |
| Ультра низкоуглеродистая сталь | 3 | 60 | 1,15 | 50 мкм | 80 мкм |
| Ультра низкоуглеродистая сталь | 1 | 36,8 | 1,45 | 8,7 мкм | 14,1 мкм |

Дополнительные параметры, доступные при ассиметричной прокатке (такие как температура материала, направление проката, параметры валков и т.п.), обеспечивают расширенный контроль структуры материала и текстуры, то есть можно получить материалы с желаемой однородностью размером зерна и текстуры. Механические свойства ассиметрично прокатанных алюминиевых сплавов и сталей улучшаются за счет изменения текстуры, размера и морфологии зерен.

Список использованных источников

1. Грудеев, А.П. Теория прокатки / А.П. Грудеев. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
2. Wronski, S. Microstructure evolution and grain refinement in asymmetrically rolled aluminum / S. Wronski, B. Bacroix // Acta Mater. 2014. – №76. – p. 404–412.
3. Vincze, G. Asymmetrical Rolling of Aluminum Alloys and Steels: A Review / G. Vincze, F.J.P. Simões, M.C. Butuc // Metals. – 2020. – №10. – 1126. – P.1–24.
4. Полухин, П.И. Физические основы пластической деформации / П.И. Полухин, С.С. Горелик, В.К. Воронцов. – М: Металлургия, 1982 – 509 с.

Преимущества применения высокоскоростного деформирования для титановых сплавов

Студент гр.10402128 Чаботар И.С.
Научный руководитель – Томило В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Деформирование титановых сплавов в холодном состоянии связано с большими трудностями, главные из которых – необходимость применения мощного оборудования из-за большого сопротивления сплавов деформированию, значительное пружинение, как следствие низкого модуля и высокой прочности и, наконец, сравнительно малая пластичность, особенно высокопрочных сплавов.

Значительные преимущества для титановых сплавов имеет применение высокоскоростного горячего объемного деформирования на высокоскоростных молотах или пневматических штамповочных машинах. Титановые сплавы обладают очень хорошей пластичностью при высоких температурах, однако нагрев и обычное деформирование в области β -фазы приводят к резкому снижению пластичности готовых поковок, к образованию β -хрупкости, обусловленной быстрым ростом β -зерна и развитием микроструктурной неоднородности.

Серьезные недостатки обычной горячей деформации - окисление титановых сплавов с поверхности и образование хрупких газонасыщенных поверхностных слоев и окалины, ухудшающих качество поверхности. Перечисленные трудности в значительной степени устраняются при скоростной деформации. Кроме хорошего заполнения ручьев штампа, малых штамповочных уклонов и радиусов штамповок при высокоскоростной горячей штамповке, возможно заполнение штампа за один ход пуансона при точном соблюдении заданной температуры деформации.

Осуществляя скоростные методы нагрева заготовок (высокочастотный нагрев в индукторах) и применяя скоростную деформацию за один ход молота, можно свести к минимуму окисление поверхности.

Сравнение механических свойств и усталостной прочности образцов, полученных обычной и высокоскоростной штамповкой, показало, что при высокоскоростной штамповке свойства не хуже, а по некоторым показателям даже лучше, чем при обычной штамповке.

Специфика работы высокоскоростных молотов – большая скорость при высокой степени деформации – обеспечивает получение более мелкого зерна и тонких структур. Кроме этого, улучшение структуры происходит при быстром остывании заготовок после деформации, которые подавляют неблагоприятные диффузионные процессы, развивающиеся при медленном охлаждении. При высокоскоростном горячем деформировании проще использование различных видов улучшающих обработок, закалка штамповок сразу после деформации.

Список использованных источников

1. Обработка титановых сплавов давлением. Г.Е. Мажарова [и др.]. – М.: Металлургия, 1977. – 96 с.

Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали X12MФ

Студенты гр. 10402128 Мельников В.А., Недосекин В.И.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Для изготовления рабочих частей штампов горячей штамповки применяются стали 5ХНМ, 5ХНВ, 7Х3, 8Х3 и др. Их главным недостатком является низкая твердость и малая износостойкость. Одним из перспективных видов упрочнения сталей является термоциклическая обработка (ТЦО). Важной особенностью ТЦО, отличающей ее от других видов термической обработки, является то, что структурные и фазовые превращения совершаются многократно при изменяющемся температурном режиме «нагрев – охлаждение». Изучив и проанализировав существующие технологии термоциклической обработки,

была разработана технология окончательной упрочняющей термической обработки, режим которой представлен на рисунке 1. Выполнение окончательной термической обработки позволяет при сохранении высокой твердости и прочности повысить ударную вязкость деталей штампа. Это происходит благодаря циклическому чередованию процессов взаимного «растворения – выделения» между ферритокарбидной смесью и аустенитом. Такой режим способствует получению благоприятного структурного состояния стали и возможности протекания процессов измельчения зерна, коагуляции и сфероидизации карбидной фазы.

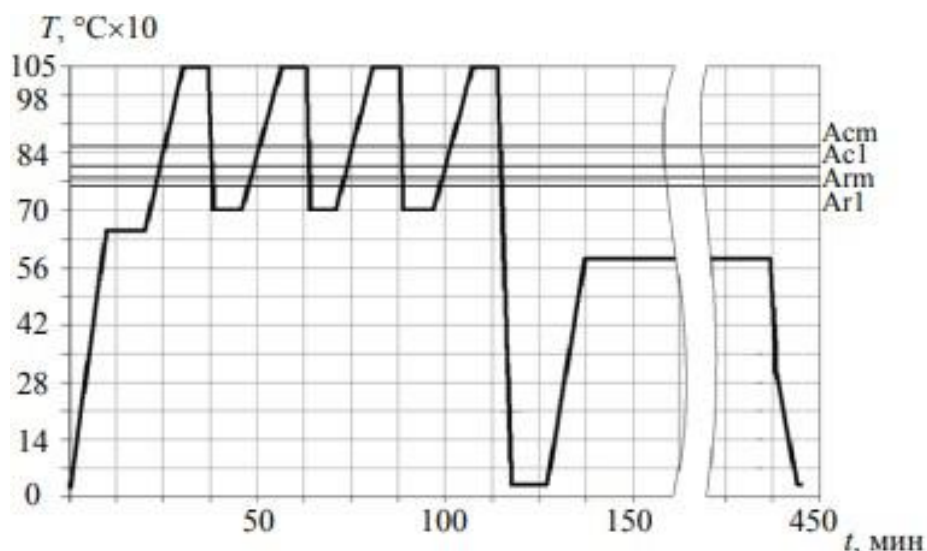


Рисунок 1 – Режим окончательной упрочняющей термообработки

Для установления работоспособности разработанной технологии был проведен эксперимент. Обработки были подвергнуты образцы из инструментальной стали X12MФ сечением 10x10 мм и высотой 40 мм. Для сравнения один из образцов был подвергнут традиционной термической обработке, состоящей из отжига, последующего нагрева под закалку до 1000 °С, охлаждение до 30 °С, отпуск при 550 °С с выдержкой в течение 1,5 ч и охлаждение до комнатной температуры на воздухе.

Суть эксперимента заключалась в исследовании микроструктуры стали после определенного количества термоциклов. На рисунке 2 представлены фотографии микроструктуры

образцов после обработки. Структура образца № 1 (прошедшего один термоцикл) представляет собой зернистый перлит, аустенит остаточный до 10 %, первичный и вторичный карбиды, феррит, мартенсит отпуска. Образец № 2 (прошедший два термоцикла), содержит меньше остаточного аустенита, первичный и вторичный карбиды, феррит, мартенсит отпуска. Наличие мартенсита отпуска в образцах № 1 и № 2 связано с присутствием в составе стали кремния, хрома и ванадия. Структура образца № 3 – зернистый перлит (сорбит отпуска, троостосорбит), образца № 4 – зернистый перлит (троостосорбит).

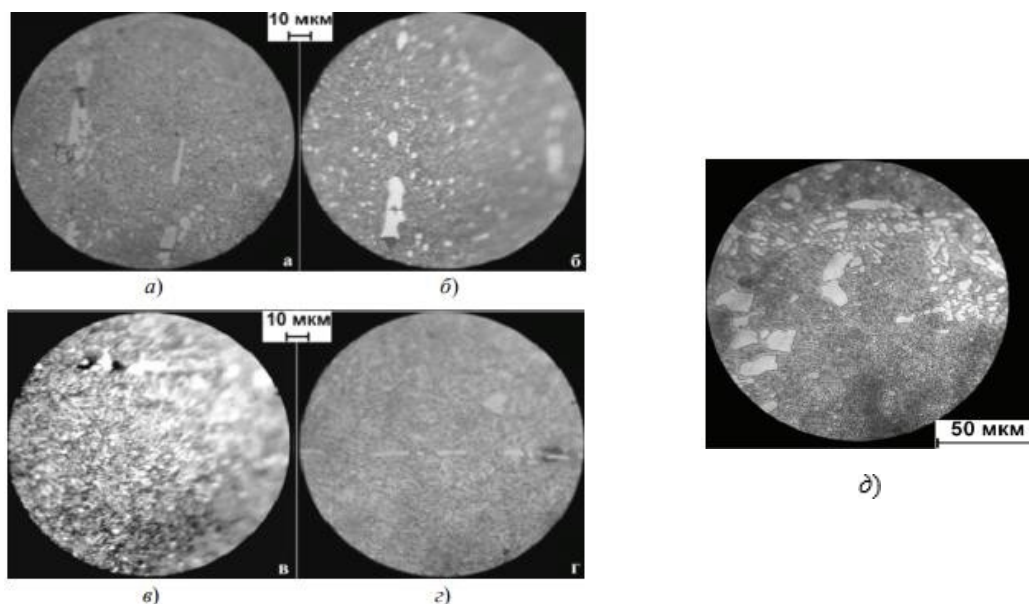


Рисунок 2 – Микроструктура образцов стали X12MФ после закалки и отпуска в зависимости от числа термоциклов:

а – одного (образец №1); б – двух (образец №2); в – трех (образец №3); г – четырех (образец №4); д – после традиционной термической обработки

Эксперимент показал, что с увеличением числа циклов происходит измельчение зерна, разделение мелких карбидов и их выделение в направлении первичных мартенситных игл. На фотографиях структуры образцов (рисунок 2) они имеют вид светлых точек и коротких стерженьков, ориентированных в направлении первичных мартенситных игл.

На основе анализа микроструктур стали X12MФ после различных режимов термообработки доказано:

- в результате ТЦО образуются изолированные дисперсные карбиды глобулярной формы, располагающиеся по границам и внутри аустенитных зерна;

- выделяющиеся карбиды препятствуют росту зерна при нагреве до температуры закалки, что в сочетании с последующей закалкой и отпуском позволяет получить материал с повышенными эксплуатационными свойствами;

- при увеличении числа циклов при термоциклической обработке за счет растворения мелких карбидов в аустените растет концентрация карбидной фазы в феррито-карбидной смеси, а после закалки и высокого отпуска карбиды укрупняются и ориентируются в направлении первичных мартенситных игл.

Результаты производственных испытаний штампа из стали X12MФ, работающего в условиях горячего деформирования и нагревающегося до температуры 500 °С, показали, что стойкость деталей штампа, подвергнутых термоциклической обработке, в 2 раза выше стойкости деталей после обычной закалки и отпуска.

Совершенствование трансмиссии электротранспортных средств с использованием полимерных материалов

Студенты гр. 10402129 Заико П.Г., Гардилковский А.Н.
Научный руководитель – Зеленин В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При выборе транспортного средства потребители все чаще обращают внимание на персональные электрические транспортные средства (ЭТС). В то же время для их развития требуется постоянное совершенствование конструкций узлов и технологий изготовления. Так, в связи с введением новых правил регистрации электротранспорта с мощностью электродвигателей выше 300 Вт, прогнозируется повышенный спрос на электросамокаты с мощностью до 250 Вт.

Снижение мощности требует введения в конструкцию привода понижающей зубчатой передачи, обеспечивающей необходимую величину крутящего момента на приводном колесе.

Цель работы – анализ свойств композиционных полимерных материалов (КПМ) и приемлемых технологий изготовления зубчатых колес (ЗК) для трансмиссий легких ЭТС, обеспечивающих высокую точность геометрических размеров колес и высокую износостойкость при рабочих температурах от 0 °С до 50 °С.

Основными задачами работы являются:

- выбор матриц и армирующих наполнителей КПМ для изготовления ЗК.
- анализ преимуществ изготовления зубчатых колес методами литья под давлением и прессования.
- анализ методов изготовления формообразующих матриц ЗК.

В настоящее время на базе 15 разновидностей базовых ПМ конструкционного назначения выпускается несколько тысяч марок КПМ. Для изготовления ЗК применяются, в основном термопласты инженерно-технического назначения, а также теплостойкие и высокопрочные пластики. Основными тенденциями в разработке и применении КПМ являются:

- преимущественное использование материалов, наполненных стекло- или углеволокнами в комбинации с другими функциональными добавками;
- определение оптимальных, с точки зрения прочности и износостойкости, размеров волокна, его концентрации, ориентации и распределения в матрице.

Вопросы конструирования, расчета геометрии, прочности, износостойкости и автоматизации проектирования ЗК обобщены в монографии [1]. Выбор КПМ, особенности технологии производства и методы расчета формообразующих элементов приведены в [2], этапы и перспективы развития ЗП с колесами из ПКМ и их применение в технике в монографии [3]. Однако сведений материаловедческого и технологического характера в этих публикациях очень мало, а рекомендации, касающиеся непосредственно изготовления ЗК, представлены лишь в [4].

В [4] показано, что при литье под давлением наблюдается существенное различие в величине и характере усадки полимеров: она различна в направлении вдоль и поперек течения расплава. По-разному влияют на усадку дисперсные и волокнистые наполнители, Усадка зависит от многих технологических и конструктивных факторов-температуры расплава и литьевой формы, скорости впрыска, давления и времени выдержки под давлением, толщины стенки изделия, расположения впускных каналов и др.

Для компенсации отклонений размеров и формы зубьев, обусловленных усадкой, проводят корректировку размеров формообразующей матрицы по результатам измерения опытной партии ЗК.

Радиальное биение ЗК, изготавливаемого методом литья под давлением, зависит от конструкции литейной формы. Рекомендуется использовать одноместные формы с расположенной матрицей, формирующей зубчатый венец, и центральный знак, формирующий посадочное отверстие, в одной полуформе. Допуски на радиальное биение посадочных мест матрицы и центрального знака назначают по 3–5 квалитетам точности по ГОСТ 25346-88. В зависимости от сочетания посадок «отверстие – вал» размерной цепи «центральный знак матрица зубчатого венца колеса» точность отливов зубчатых колес может колебаться от 7-й до 11-й степени точности по ГОСТ 1643-Н1.

В [5] установлено, что при росте изгибной усталостной прочности наполнение полиоксиметилена (ПОМ) стекловолокном (СВ) вызывает снижение износостойкости зубчатых колес ($m=2$ мм: и1/2-25/45) (таблица 1).

Таблица 1– Влияние наполнения ПОМ стекловолокном на показатели зубчатых колес (PV – 10 МПа м/о, удельный износ при N10' циклов)

| Материал шестерни | Условный предел изгибной усталостной прочности, МПа | Удельный износ, 10^{-8} , Мм ³ /мм/мм |
|-------------------|---|--|
| ПОМ | 25 | 1,2 |
| ПОМ+25% СВ | 30 | 9 |
| ПОМ+40% СВ | 42 | 19 |

Повышение точности ЗК достигается применением специальных технологических приемов, позволяющих уменьшить величину и разброс показателей усушки, а именно, сверхвысокого (2 100 МПа) давления литья; впрыска расплава полимера вне полностью сомкнутую форму и окончательного оформления изделия в процессе ее смыкания; подпитки оформляющей полости формы из дополнительных полостей после затвердевания расплава в литниковых каналах; использования оснастки с изменяющимся объемом оформляющей полости и дополнительным сжатием расплава материала на стадиях впрыска и охлаждения. Исследования, проведенные на зубчатых колесах ($m=3$ мм, и 27; $p=12^\circ$) материал стеклонаполненный полиамид ПА-6), показали, что разброс усушки при литье термопласта снизился по окружности вершин зубьев – по показателю длины общей нормали – на 48 %.

ЗК требуют не только высоких прочностных характеристик (контактной усталостной прочности, прочности на срез, микротвердости и ударной вязкости), повышающих их износостойкость, но и обеспечения высокого качества воспроизведения эвольвентной поверхности зубьев. В связи с этим альтернативой технологии литья ЗК является их твердофазная объемная штамповка, позволяющая снизить усушку и повысить точность профиля поверхностей зубьев.

Современные полимерные материалы являются сложными содержащими модификаторы, выбор которых определяется условиями эксплуатации изделий. В частности, для повышения прочностных характеристик ЭК в полимерные композиты целесообразно введение до 1–2 мас, % углеродных наноматериалов с размером частиц 40–100 нм.

Для снижения их влагосодержания до 0,05 % при подготовке полимерных композитов, полученных методами литья или экструзии, проводят конвективную сушку заготовок при температуре на 10–15 °С ниже температуры их плавления. Однако при прессовании мелко модульных ЗК необходимо повысить текучесть (структурную подвижность) композиционного материала в областях, прилегающих к поверхностям пресс-формы. С той целью в техпроцессе изготовления ЗК добавляется операция поверхностного увлажнения заготовок, проводимая при температуре 70 °С. относительной влажности 96 % в течение 5 мин. При этом происходит пластификация только поверхностных слоев заготовок из композиционных материалов с гидрофильными

полимерными матрицами и снижается температура их стеклования.

На рисунке 1 представлена схема пресс-формы для объёмной штамповки зубчатого колеса из полимерных композиционных наноматериалов на основе полиэтилена высокой плотности, сверхвысокомолекулярного полиэтилена и др. полимеров.

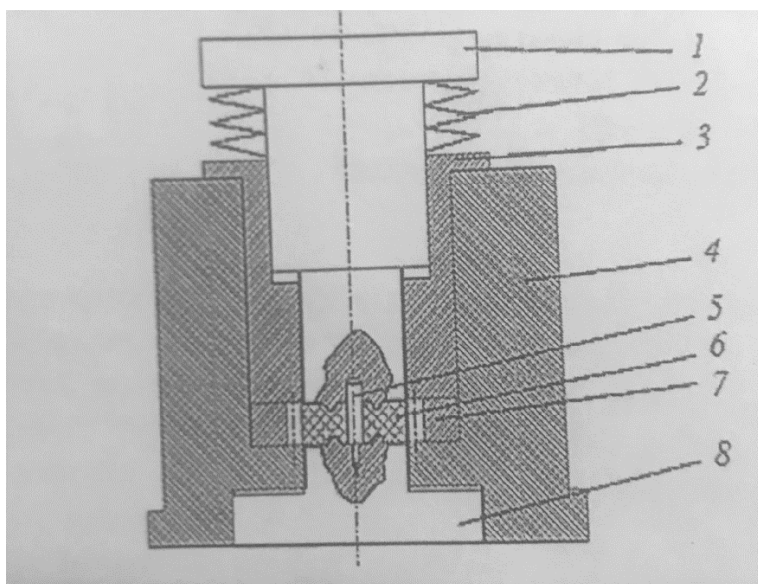


Рисунок 1– Пресс-форма для штамповки зубчатых колёс из композиционных термопластов

1 – пуансон верхний; 2 – пружина тарельчатая; 3 – стакан;
4 – обойма; 5 – знак; 6 - ЗК; 7 – матрица; 8 – пуансон нижний;

Перспективными являются аддитивные технологии изготовления зубчатых колес из композитов на основе термопластов. Эти технологии позволяют реализовать САD модели для 3D-печати зубчатых колес с градиентным распределением механических свойств материала в объеме изделия, оптимизированным по критериям прочности, износостойкости и т.д.

Список использованных источников

1. Элементы приводов приборов. Расчет, конструирование, технологии / В.Е. Старжинский [и др.]. / под общ. ред. Ю. М. Плескачевского. Минск: Беларускаянавука, 2012. – 769 с.
2. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: учебное пособие Антонюк В. Е. [и др.] / под общ. ред. В. Е. Старжинского и М. М. Кане. СПб.: Профессия, 2007. – 232 с.
3. Зубчатые передачи и трансмиссии в Беларуси: проектирование, технология, оценка свойств / под общ. ред. В. Б. Альгина и В. Е. Старжинского. – Минск: Беларускаянавука, 2017. – 406 с
4. Фишер, Дж. Усадка и коробление отливок из термопластов: справочник: пер. с англ. СПб. / Дж.Фишер. – Профессия, 2009. – 424 с.
5. Ревяко, М.М. Расчет и конструирование пластмассовых изделий и форм: учеб. / М.. Ревяко, О.М. Касперович. – Минск: БГТУ, 2012. – 432 с.

Исследование свойств композиционных металлов на основе гранитных отсеков, получаемых ударным прессованием

Студенты гр.10402119 Галимская П.В., Головин П.В.
Научный руководитель – Костюченко Ю.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Промышленные отходы, в том числе и побочные промышленные продукты, негативно влияют на факторы окружающей среды и экологическую составляющую. Сосредоточенные в отвалах и шлаконакопителях, они загрязняют поверхностный сток в районах размещения промышленных предприятий. Сброс промышленных отходов приводит в конечном счёте к загрязнению вод, которое вызывает резкое снижение его биологической продуктивности и отрицательно влияет на климат планеты.

Эффективное решение проблемы промышленных отходов – внедрение безотходных технологий. При комплексном использовании сырьевых материалов, промышленные отходы или побочные продукты одних производств являются исходными материалами других. Из отраслей-потребителей промышленных отходов, являющимися побочными продуктами различных производств, наиболее потребляющей является производство строительных материалов. Учитывая, что затраты на материальные ресурсы в сметной стоимости строительства составляют более 55 %, то, справедливо отметить, что применение побочных промышленных продуктов – это один из путей повышения эффективности производства строительных материалов.

Гранитный отсев получают в результате измельчения и последующего просеивания монолитной породы. Также он может представлять себе также как побочный продукт при производстве щебенки. Отсев имеет фракции 0–5 мм. Материал с более крупными зёрнами относится к щебню.

Гиперпрессование представляет собой способ формования изделия из увлажнённой смеси минеральных сыпучих материалов при сверхвысоком давлении. Прессующее воздействие приводит к столь сильному взаимному трению частиц, что между ними происходит не просто слипание, а сцепление на молекулярном уровне, т.е. когезия – притяжение, которое при нормальных условиях существует между молекулами внутри вещества, но никак не между молекулами разных веществ.

Частицы, по сути, свариваются друг с другом, и происходит это без применения высоких температур, как при обжиге глиняного кирпича или сварке металлов. Поэтому полусухогиперпрессование называют также холодной сваркой. В результате получается искусственный материал максимально близкий по текстуре, прочности, морозо- и влагостойкости к натуральному камню.

В рамках проводимых исследований было изучено влияние ударного прессования на прочностные характеристики образцов, для чего, композиция гранитный отсев – известь в соотношении 90 % гранитный отсев и 10 % известь, подвергалась ударному прессованию с энергией удара 588 Дж. Были проведены три эксперимента, с целью обеспечения чистоты исследований.

В результате ударного прессования, наблюдается высокая когезия, что позволило значительно повысить плотность образцов, в результате чего значительно повысилась и прочность готовых изделий.

В таблице 1 приведены данные, демонстрирующие зависимость предела прочности на сжатие от энергии ударного прессования.

Таблица 1 – Зависимость предела прочности на сжатие от энергии ударного прессования

| Номер эксперимента | Энергия удара, Дж | Прочность образца на сжатие, кгс/см ² |
|--------------------|-------------------|--|
| 1 | 588 | 455 |
| 2 | | 460 |
| 3 | | 465 |

После проверки полученных образцов на предел прочности на сжатие, были проведены электронно-микроскопические исследования, которые позволили изучить структуру.

На рисунке 1 представлена структура одного из образцов, полученных методом ударного прессования.

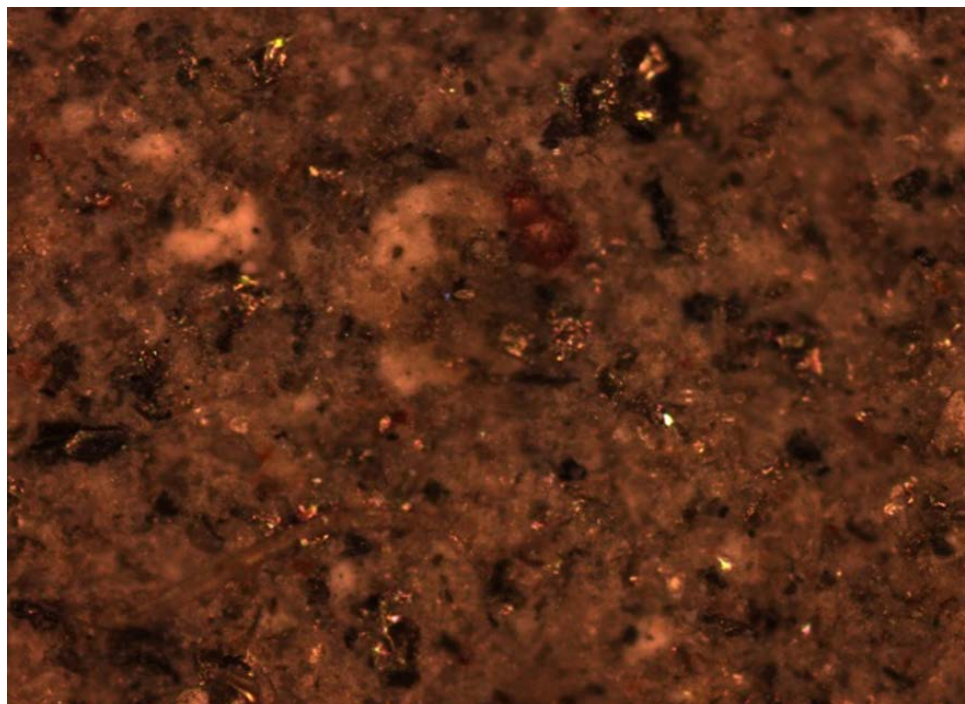


Рисунок 5 – Структура одного из образцов, полученных методом ударного прессования

Изученная структура позволяет утверждать о равномерном распределении компонентов состава известь – гранитная крошка по всему объёму полученных образцов, а также утверждать об отсутствии макротрещин в полученных образцах. В результате ударного прессования, рост кристаллов ускоряется, что позволяет получать готовые прессованные изделия, при этом, значительно повышается плотность, в результате чего обеспечиваются высокие качества готовых изделий получаемых подобным методом.

Формоизменение при холодной объемной штамповке

Студенты гр. 10402119 Хованский А.А., Снетько А.В.
Научный руководитель – Белявин К.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Формоизменение при холодной объемной штамповке происходит в основном за счет реализации процессов с осевой симметрией течения металла.

Наиболее полную характеристику формоизменяющих операций холодной объемной штамповки дает их классификация по кинематике относительного движения металла и инструмента, согласно которой все эти операции делят на простые и комбинированные.

К простым операциям относят т.е, в которых металл может двигаться относительно инструмента только в одном направлении.

При комбинированных операциях металл имеет два или несколько возможных направлений движения. Комбинированные операции могут быть последовательные и совмещенные. При последовательных операциях на первом этапе сначала реализуется одно число движений, а затем другое. При этом чаще всего на первом этапе реализуется движение в одном направлении, затем оно прекращается и металл движется в другом направлении, т. е. Процесс состоит из нескольких простых операций, осуществляемых последовательно по времени. Совмещенная операция является частным случаем комбинированной, при которой движение металла в двух или нескольких направлениях протекает одновременно. Общее преимущество всех комбинированных операций заключается в уменьшении числа штамповочных операций, а соответственно в сокращении технологического цикла, уменьшении номенклатуры штамповой оснастки, и, как правило, в увеличении точности размеров получаемых изделий.

Все простые формоизменяющие операции иногда делят на открытые и закрытые. При открытых операциях перемещение металла в направлении, перпендикулярном движению деформирующего инструмента, не ограничено боковыми стенками инструмента, а форма изделия в плане не задана инструментом, и в основном определяется анизотропией металла, условиями трения, правильностью геометрической формы заготовки. При закрытой операции перемещение металла в поперечном, относительно действия инструмента направлении, ограничено боковыми стенками инструмента. Обычно процесс состоит из открытого этапа, который постепенно переходит в закрытый, так как по мере движения инструмента возникает и увеличивается контакт металла с боковыми стенками штампа.

К основным формоизменяющим операциям холодной объемной штамповки относят: предварительное деформирование заготовок, осадку, высадку, выдавливание.

Предварительное деформирование обеспечивает обжатие рубленой заготовки в матрице для придания ей требуемой формы. Предварительное деформирование позволяет устранять дефекты после рубки и получать точные по форме и размерам заготовки, что создает благоприятные условия для дальнейшей штамповки и повышает стойкость штампов.

Осадка

Усилие предварительного деформирования можно рассчитывать по формуле усилия осадки.

Осадка - это операция холодной объемной штамповки, при которой формообразование полуфабриката происходит за счет уменьшения высоты заготовки с одновременным увеличением ее поперечного размера.

Различают открытую и закрытую осадку. При открытой осадке сжатие металла между элементами штампа сопровождается свободным радиальным течением.

Действие сил трения между заготовкой и инструментом приводит к возникновению следующих особенностей процесса:

- неравномерному движению частиц по контактными поверхностям с образованием зон прилипания;
- переходу боковой поверхности на поверхность контакта;
- образованию бочкообразной боковой поверхности;
- разделению объема деформируемой заготовки на зоны (по аналогии с осадкой при ковке).

Открытую осадку применяют для калибровки по высоте с получением параллельности торцов заготовки.

В процессе закрытой осадки выделяют две стадии. На первой стадии до соприкосновения боковой поверхности заготовки со стенками инструмента идет открытая осадка, а после этого начинается вторая стадия, которая заключается в радиальном течении металла в клиновую щель, возникающую между инструментом и заготовкой.

Закрытую осадку применяют для калибровки по высоте и диаметру (поперечному сечению), получения параллельных торцов, перпендикулярных основной оси заготовки, уменьшения отношения высоты заготовки к ее диаметру, производства заготовок для выдавливания полости, роликов подшипников и других деталей ответственного назначения.

К осадке можно также отнести деформирование по схеме осадки с образованием облоя и без облоя с получением деталей сложной конфигурации.

Высадка

Высадка - это осадка части заготовки. Особенно широко эту операцию применяют для высадки головок болтов, винтов, заклепок на холодновысадочных прессах-автоматах. Это оборудование характеризуется очень высокой производительностью, достигающей нескольких сотен деталей в минуту.

Высадка при холодной объемной штамповке может быть открытой и закрытой.

Открытую высадку сплошного стержня осуществляют с защемлением одного и обоих концов заготовки. Характер течения металла при открытой высадке и открытой осадке практически одинаков.

Открытую высадку применяют для калибровки заготовок, образования местных утолщений на одном конце, обоих концах и в средней части заготовки, набора металла для последующей штамповки при производстве заготовок крепежных и других ступенчатых деталей.

Процесс закрытой высадки сплошного стержня можно условно разбить на этапы. Первый этап начинается открытой осадкой, затем следует пластический изгиб до соприкосновения выпуклых частей заготовки со стенками инструмента. Только после этого происходит собственно закрытая осадка. Оформление боковой поверхности по всей длине высаживаемой части сопровождается образованием заусенца по месту разъема инструмента и резким ростом давления. Для того чтобы избежать образования заусенца, штамповку ведут с облоем полости штампа или при заданном давлении излишек металла направляют прямым выдавливанием в компенсатор.

Выдавливание

Выдавливание – это вытеснение металла под действием пуансона в отверстие пуансона или в зазор между пуансоном и матрицей. Различают следующие основные виды выдавливания: прямое, обратное и поперечное.

При прямом выдавливании сплошного стержня из сплошной заготовки течение металла заготовки относительно боковых стенок матрицы происходит в направлении движения пуансона.

На первой стадии, называемой распрессовкой, происходит заполнение всех зазоров между инструментом и заготовкой, и заготовка полностью по всему контуру принимает форму рабочего инструмента. В конце распрессовки заканчивается формирование очага деформации, а усилие по окончании первой стадии достигает максимального значения. На второй стадии процесса, называемой установившейся, усилие выдавливания несколько уменьшается, что связано в основном с уменьшением высоты оставшейся в матрице заготовки, а, следовательно,

и с уменьшением усилия, затрачиваемого на преодоление трения. При дальнейшем движении пуансона начинается третья заключительная стадия, называемая нестационарной, которая сопровождается резким увеличением относительных скоростей перемещения металла в центральной зоне с образованием центральной и боковой утяжин. Поэтому процесс выдавливания останавливают до момента образования утяжин.

Редуцирование

Редуцирование – представляет собой операцию, при которой происходит уменьшение поперечного сечения заготовки. В отличие от выдавливания при редуцировании сплошного стержня между заготовкой и боковыми стенками полости матрицы имеется зазор, который исключает трение между заготовкой и боковыми стенками матрицы.

Главное условие возможности осуществления редуцирования заключается в том, чтобы свободная часть заготовки, через которую передается усилие штамповки, не осаживалась. Редуцирование обеспечивает, по сравнению с прямым и другими видами выдавливания, наибольшую точность размеров, наименьшую шероховатость поверхности изделия при значительно большей стойкости инструмента. Процесс редуцирования характеризуется следующими особенностями. При редуцировании, особенно с пониженной деформацией за переход, неравномерность деформации по сечению больше, чем при прямом выдавливании. Соответственно поверхностный слой упрочняется сильнее, чем сердцевина. Эти явления усиливаются при двух и более последовательных редуцированиях, что может привести к появлению как поверхностных, так и внутренних трещин и даже к отслаиванию внешнего слоя от сердцевины. Неравномерность деформации уменьшают подбором более рациональных значений углов конуса матрицы и деформации, уменьшением трения, а также улучшением структуры штампуемого металла.

При редуцировании сплошного стержня, в отличие от прямого выдавливания, выбор высоты заготовки не ограничен условиями трения о боковые стенки матрицы, а выбор большей деформации ограничен условиями продольной устойчивости свободной части заготовки, зависящими от качества торцов, продольной кривизны и состояния заготовки. Редуцирование применяют при изготовлении заготовок ступенчатых валов, шестерен, деталей со шлицами и канавками. Прямое выдавливание применяют также для получения полых деталей, используя как сплошные, так и полые заготовки.

Список использованных источников

1. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / А.М. Дальский [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. – 448с.
2. Оборудование машиностроительных предприятий / А.Г. Схиртладзе [и др.]. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 128 с.
3. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2006 – 423 с.

Способыковки. Кузнечные операции

Студенты гр. 10402119 Чижик И.И., Цыпенков А.А.
Научный руководитель – Белявин Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ковка является одним из способов обработки металлов давлением. Процессковки обычно состоит из ряда чередующихся операций, при которых формоизменение исходной заготовки происходит в результате свободного течения металла в стороны, перпендикулярные движению деформирующего инструмента (по этой причине ковку часто называют свободной ковкой). В качестве инструмента применяют плоские или фигурные (вырезные бойки), а также различный прикладной инструмент.

Ковкой получают заготовки, называемые поковками, для последующей механической обработки при единичном и мелкосерийном производстве [1].

При относительно низком коэффициенте использования металла и невысокой по сравнению со штамповкой производительностью труда свободная ковка имеет следующие достоинства:

- высокое качество металла поковок по сравнению с отливками;
- возможность получать крупные поковки, изготовление которых другими способами невозможно или не целесообразно;
- для изготовления поковок используются прессы и молоты сравнительно небольшой мощности, т. к. поковки куются по частям;
- использование универсального оборудования и инструмента позволяет получать поковки с минимальными затратами, что в единичном и мелкосерийном производстве является экономически выгодным.

Ковка имеет также недостатки:

- Низкая производительность по сравнению со штамповкой.

Большие напуски и припуски на поковках приводят к большому расходу металла и высокой трудоемкости последующей механической обработки.

Осадка

Осадка металла – операция обработки металлов давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок. Осадку применяют для получения формы поковки, с целью уменьшения глубины прошивки, для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали (при изготовлении шестерней обеспечивается повышенная прочность зубьев в результате радиального расположения волокон), как контрольную операцию (из-за значительной деформации по периметру на боковой поверхности вскрываются дефекты).

При выполнении осадки требуется, чтобы инструмент перекрывал заготовку. Вследствие трения боковая поверхность осаживаемой заготовки приобретает бочкообразную форму, это характеризует неравномерность деформации. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям [1].

Протяжка

Протяжка – кузнечная операция, при которой удлиняется заготовка, за счет уменьшения ее площади поперечного сечения. Заключается в последовательной осадке участков заготовки.

Основные способы протяжки:

- протяжка на универсальных широких бойках;
- протяжка на протяжных узких бойках;

- протяжка на вырезных бойках;
- протяжка на комбинированных бойках;
- протяжка на оправке;
- раскатка на оправке.

При протяжке в плоских бойках в центральной части заготовки из-за наличия сил трения на поверхности бойков возникают растягивающие напряжения. Величина этих напряжений возрастает от поверхности к центру заготовки. Наличие этих напряжений приводит к возникновению рыхлой структуры в центре и образованию в ней трещин.

Во избежание этого: протяжку заготовок, особенно круглого сечения, выполняют не в плоских, а в вырезных бойках [1].

Прошивка

Прошивка металла – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла. Инструментом для прошивки служат прошивки сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра (400...900 мм).

При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца. Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца. Диаметр прошивки выбирают не более половины наружного диаметра заготовки, при большем диаметре прошивки заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается отходом [2].

Отрубка

Отрубка – это кузнечная операция, в результате которой происходит полное отделение части заготовки путем внедрения в нее деформирующего инструмента (топора, зубила). Отрубку применяют для разделения прутков и болванок на мерные заготовки, удаления концевых излишков на поковках, прибыльной и донной частей слитка. Отрубку под молотами и прессами осуществляют только в горячем состоянии заготовок по одному из нижеследующих способов [2].

Отрубку с двух сторон применяют для крупных заготовок, которые не удастся разделить первым способом. Вначале заготовку, уложенную на нижний боек, надрубляют на половину высоты, затем кантуют на 180° и, установив топор против надрубленного места, производят окончательную отрубку; при этом на торце заготовки образуется заусенец. Двустороннюю отрубку без заусенца осуществляют с оставлением перемычки, которую затем удаляют топором, повернутым обухом вниз.

Список использованных источников

1. Свободная ковка. Основные операции и технологии [Электронный доступ]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/205/77205/58299>. – Дата доступа: 22.05.2021.
2. Ковка и объемная штамповка стали. [Электронный доступ]. – Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/files/file/14197>. – Дата доступа: 22.05.2021.

**Повышение пластичности металлов в условиях импульсного
электромеханического воздействия**

Студенты гр.10402119 Корнилов М.С., Красовкий Н.А.
Научный руководитель – Минько Д.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Металлы деформируются за счет рождения и перемещения дислокации или подвижных линейных дефектов кристаллической решетки. Изменяя состояние электронной подсистемы металла путем воздействия на него электромагнитным полем во время пластической деформации, можно активно влиять на условие движения дислокации, тем самым, представляется возможность менять служебные характеристики материала, такие как пластичность, прочность, электропроводность и т.д. Использование тока высокой плотности и магнитного поля в зоне деформации технически важных электропроводящих материалов позволяет интенсифицировать процесс обработки их давлением, исключая промежуточные технологические операции. В настоящее время достаточно широко изучены и внедрены в производство процессы электропластической деформации для волочения медной и стальной проволоки, штамповки, плющения,ковки, прокатки.

Быстрое изменение механических свойств металлов под действием импульсов высокоэнергетического электромагнитного поля (ЭМП) и связанного с ним электрического тока (ЭТ) представляет большой интерес при изучении процессов высокоскоростного деформирования металлов при обработке давлением. С одной стороны, за счет диссипации энергии ЭМП происходит разупрочнение металла, а с другой стороны, – его высокоскоростное упрочнение. Для надежного описания такого рода процессов требуется определение зависимостей механических свойств деформируемых материалов от скорости деформации и плотности вводимой в деформируемый объем энергии ЭМП. Непростая задача построения динамических диаграмм деформирования осложняется как условием сохранения постоянства скорости деформации, так и зависимостью электродинамических параметров нагружаемого образца от изменения его геометрии и структуры и свойств образца в процессе нагружения.

Таблица 1 – Связь электрофизических свойств металлических материалов с процессами и результатами обработки током высокой плотности.

| Характеристики материала или электрофизической технологии после обработки электрическим током | Показатель материала или электрофизической технологии | Вид электрофизической технологии |
|--|--|---|
| Пластичность, прочность (приращение временного сопротивления при растяжении и относительного удлинения), предельная удельная энергия деформации металлов | Показатель Джоулевой составляющей электрического тока (удельное электросопротивление, теплоемкость и плотность), магнитная восприимчивость | Электропластическая деформация компактных металлов |
| Механизм электроспекания порошков (твердо- или жидкофазный) | Электропроводность порошковых материалов | Электропрокатка металлических порошков в вальцах - электродах |

| | | |
|---|---|--|
| Стационарность процесса формования порошка с током | Диэлектрическая проницаемость порошковой системы | |
| Прочность, твердость, содержание не формирующейся фазы в порошковых композиционных материалах | Показатель Джоулевой составляющей электрического тока (удельное электросопротивление, теплоемкость и плотность) | Электропрокатка и электроспекание металлических порошковых композиционных материалов |
| Стабильность значений твердости и временного сопротивления при растяжении | Относительная магнитная проницаемость, коэрцитивная сила. Показатель Джоулевой составляющей электрического тока (удельное электросопротивление, теплоемкость и плотность) | Электротермическая обработка сталей |

Экспериментальные исследования показали, что одновременное наложение электрических и магнитных полей в условиях их ортогональности в процессе пластической деформации существенно интенсифицирует пластическую деформацию, не обуславливая тепловыми факторами и другими физическими эффектами. Принципиальным отличием предложенной технологии электропластического деформирования является значительное уменьшение энергетического воздействия. Плотность пластифицирующего импульса уменьшается на один два порядка, чем при обычном ЭПД за счет дополнительного наложения магнитного поля. Этот эффект открывает возможность технического применения обработки металлов давлением при ортогональном наложении магнитных и электрических полей, что важно для деталей больших поперечных сечений и трудно деформируемых металлов и сплавов.

Электроимпульсная интенсификация технологических операций листовой штамповки тонкостенных деталей обшивки планера летательных аппаратов может осуществляться в ортогональных электромагнитных полях. Расположение векторов $\vec{j} \rightarrow E \rightarrow$ и $\vec{H} \text{ вн} \rightarrow$ показано на рисунке 1 применительно к специфической операции для авиационного производства подсечки угловых профилей. При обычной электропластической штамповке максимальная степень 70 деформации, определяемая отношением высоты подсечки h к длине ее сбегу L превышает соответствующие показатели, полученные без тока в 2-3 раза. В ортогональных полях $E \rightarrow$ и $\vec{H} \text{ вн} \rightarrow$ осуществляется дальнейшая интенсификация штамповки и точность изготовления подсечек будет в один прием соответствовать точности изготовления штампа.

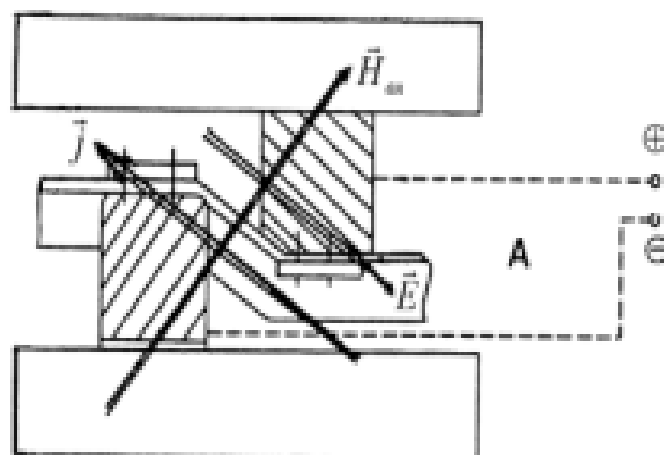


Рисунок 1 – Электроимпульсная интенсификация подсечки профиля в ортогональных полях

Первый рабочий импульс тока можно вводить в момент достижения механическими деформациями значений $\varepsilon_i = (0,25-0,7)$, где $\varepsilon_{пр}$ – предельная степень деформации при штамповке без тока, соответствующая моменту разрушения заготовки или потере ею устойчивости. Последующие импульсы вводятся по мере нарастания деформации до величины ε_i . Последний импульс (либо серия импульсов) вводится при величине деформации, меньшей $\varepsilon_{пр}$ на величину ε_i , что позволяет на заключительном этапе штамповки получать за счет деформационного упрочнения равнопрочные детали, вместе с тем снять остаточные напряжения и устранить пружинение заготовки. При наложении на зону электропластической деформации металла ортогональных электромагнитных полей в соответствии с принципом суперпозиции полей может усиливаться также пинч-действие импульсного тока и вызванная им активная вибрация металла заготовки, что создает дополнительный механизм и независимый канал пластификации металла.

Список использованных источников

1. Савенко, В.С. Повышение электропластичности металла в скрещенных электромагнитных полях / В.С. Савенко, О.А. Троицкий // Тяжелое машиностроение. 2003. – №6. – С. 8–11.
2. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю.В. Баранов [и др.]. // М: риц МГПИУ, 2001. – 844с.
3. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю.В. Баранов [и др.]. – М.: МГИУ, 2001. – 844 с.
4. Мальцев, И.М. Электрофизические процессы металлургии: учеб.пособие / И.М. Мальцев; Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2003. – 59 с.
5. Мальцев, И.М. Эффекты в металлических материалах во время электрофизической обработки/ И.М. Мальцев // Материаловедение и металлургия: межвуз. сб. ст. / НГТУ. – Н. Новгород, 2005. Т. 50. – С. 148–151.

Волочение с использованием ультразвуковых колебаний

Студенты гр.10402119 Кудрявцев Е.А., Кузьмин К.О.
Научный руководитель – Томило А.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Способ волочения, целью которого является снижение усилия волочения путем повышения эффективности использования ультразвуковой энергии, известен в области обработки металлов давлением.

Указанная цель достигается за счет того, что радиальные и продольные ультразвуковые колебания возникают на волоке асинхронно: сначала радиальные, а затем продольные, при этом фазы колебаний согласуют так, чтобы при сжатии волоки под действием радиальных колебаний ее перемещение вдоль оси волочения под действием продольных колебаний совпадало с направлением движения металла, причем продольные колебания накладываются с амплитудой, выше амплитуды радиальных колебаний, которая больше высоты микронеровностей деформируемого металла [1].

Сущность способа в том, что фильера под действием продольных и радиальных ультразвуковых колебаний в один из полупериодов своих сложных колебаний, а именно при сжатии под действием радиальных колебаний, захватывает металл и передвигает его в направлении волочения, вследствие чего максимально уменьшает усилие волочения.

Для интенсификации процесса волочения также применяют способ, который состоит в том, что металл проходит одновременно через две установленные соосно фильеры, которым в направлении волочения сообщают колебания, противоположные по фазе.

В процессе волочения металл обжимается на некоторую оптимальную величину в первой волоке, а затем поступает во вторую волоку, где также подвергается оптимальному обжатию. Обжатие металла за один проход равно суммарному обжатию первой и второй волок.

Благодаря вибрации фильер в противоположных фазах волочение во второй волоке происходит при наличии вибрирующего противонапряжения, которое создается первой волокой, что благоприятно влияет на процесс волочения и, способствует более полной циклической разгрузке очага деформации второй волоки, увеличивает эффект от вибраций [2].

Данный способ волочения с применением ультразвуковых колебаний, несмотря на имеющиеся различия в конструкции установок, способе наложения колебаний и других отличий, способствуют оптимизации процесса волочения и повышению качества выпускаемой продукции.

Список использованных источников

1. Клубович, В.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей / В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко. – Минск: Белорусская наука, 2012. – 293 с.
2. Царенко, Ю.В. Применение ультразвука для повышения служебных характеристик жаростойких кабелей / Ю.В. Царенко, В.В. Рубаник // XXI Петербургские чтения по проблемам прочности. К 100-летию со дня рождения Л.М. Качанова и Ю.Н. Работнова. Санкт-Петербург, 15-17 апреля 2014 г.: сборник материалов. – СПб.: Соло, 2014. С. 227–229.

Математическое моделирование процессов прессования композиционных материалов на основе граничных отсеков

Студенты гр.10402119 Гаворовский А.П., Биленко Ю.Э.
Научный руководитель – Костюченко Ю.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Прессование композиционных материалов заключается в пластической деформации материала при одновременном воздействии на него тепла и давления и в последующей фиксации формы изделия. Прессование композитов проводится, как правило, в пресс-формах, конфигурация полости которых соответствует конфигурации будущего изделия.

Пресс-формы устанавливаются на прессах, назначение которых – создание необходимого давления прессования. Помещенный в пресс-форму холодный или предварительно подогретый материал разогревается до температуры прессования и, подвергаясь под давлением прессования деформации одномерного течения, заполняет полость формы и одновременно уплотняется.

Фиксация формы изделия происходит в результате отверждения реактопластов или охлаждения термопластов, либо охлаждения под давлением до температуры ниже температуры стеклования (для термопластов).

Параметры процесса прессования композиционных материалов: начальная температура композиционного материала и пресс-формы, удельное давление и скорость его приложения, время выдержки в пресс-форме, температура извлечения изделия из пресс-формы, давление прессования 0,01–250 Мпа. При переработке реактопластов решающее влияние на режимы оказывает скорость отверждения, а при прессовании термопластов – скорость охлаждения сформованного изделия.

Метод прессования применяется: для получения изделий сложной формы, разнообразных размеров и толщин из композитных материалов с порошкообразными, волокнистыми, листовыми волокнистыми наполнителями на основе термопластичных и реактивных связующих.

Метод прессования композитов имеет разновидности:

- прямое прессование (горячее или компрессорное);
- литьевое прессование (трансферное);
- профильное прессование (штранг-прессование).

Прямое прессование композиционных материалов: пресс-материал в виде порошка, таблеток, таблеток либо заготовок из листовых или волокнистых полуфабрикатов загружают в открытую полость пресс-формы или между обогреваемыми плитами пресса и подвергают воздействию тепла и давления. Параметры процесса определяются типом ПКМ, конфигурацией и габаритными размерами изделия. Оборудование: прессы.

Применяется для переработки:

- термореактивных и термопластичных композиционных материалов, изготовления толстых листов, блоков, толстостенных изделий сложной формы и переменного сечения;
- заготовок простой формы, подвергающихся дальнейшей механической обработке;
- изделий из композитов, содержащих большое количество абразивных частиц.

Литьевое прессование композиционных материалов: предварительно размягченный (пластифицированный) материал впрыскивается перемещающимся в осевом направлении поршнем из загрузочной камеры через литниковые каналы в предварительно замкнутую пресс-форму. Параметры процесса литьевого прессования композиционных материалов: удельное давления впрыска 150–200 Мпа, давление в пресс-форме 50–65 Мпа. Оборудование для литьевого прессования: специальные трансферные гидравлические прессы с двумя (верхним и нижним) рабочими плунжерами или универсальные прессы с

одним верхним плунжером. Литьевое прессование применяется: главным образом для переработки композиционным материалов на основе быстротвердеющих реактопластов и высоковязких термопластов.

Профильное прессование композиционных материалов: пресс-материал продавливается через профильную фильеру с открытыми входными и выходными отверстиями или специальную головку. В процессе продавливания происходит формование и получение данного профиля, а в случае реактопластов – их отверждение. Процесс с периодически повторяющимся циклом, обеспечивающий непрерывное производство профилей благодаря тому, что за один цикл выдавливается не вся порция композиционного материала, а оставшийся подогретый ПКМ сваривается с вновь поступившей порцией.

Метод занимает промежуточное положение между прессованием и экструзией. Параметры процесса профильного прессования ПКМ: давление прессования 250–400 МПа для реактопластов и 40–50 МПа для термопластов. Оборудование для профильного прессования ПКМ: специальные горизонтальные прессы, поршень которых медленно совершает рабочий ход и быстро возвращается в исходное положение, пресс-форма со сменной матрицей. Профильное прессование применяется (наряду с экструзией) для получения труб, стержней и других профильных изделий большой длины.

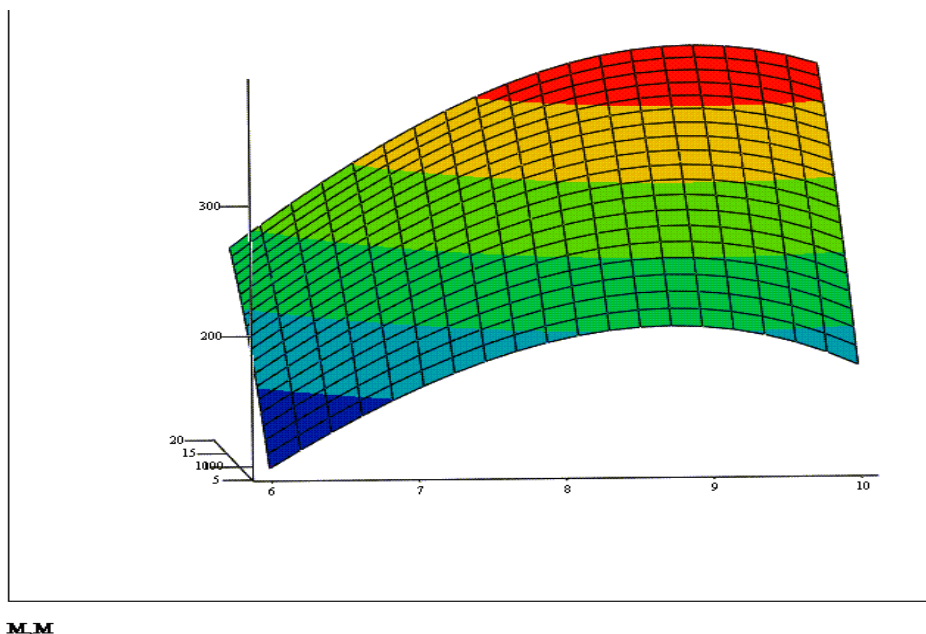
Экспериментально полученные зависимости предела прочности на сжатие от процентного содержания гранитной крошки и извести, а также усилия прессования приведены в таблице 1, по которой видно, что количество экспериментальных точек равно 7, а количество параллельных исследований составляет 4. Ошибка измерения у испытательной машины, при помощи которой проводили исследования предела прочности на сжатие, составляла $\pm 5\%$ (при доверительной вероятности 95 %).

Таблица 1 – Сводные данные эксперимента

| Параметр | | Обозначение | Номер эксперимента | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Содержание, % | Гранитный отсев | | 94 | 94 | 94 | 92 | 92 | 90 | 90 |
| | Известь | X1 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 |
| Усилие прессования, т | | X2 | 10 | 15 | 20 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| Предел прочности на сжатие, Мпа | 1 | Y1 | 162 | 194 | 235 | 195 | 270 | 184 | 258 |
| | 2 | Y2 | 155 | 198 | 238 | 201 | 257 | 186 | 260 |
| | 3 | Y3 | 158 | 202 | 243 | 198 | 272 | 183 | 258 |
| | 4 | Y4 | 163 | 205 | 244 | 204 | 272 | 188 | 262 |

Статистические модели строятся на основе собранные статистически обработанных экспериментальных данных и очень часто описываются полиномами той или иной степени. Область применения такой модели ограничивается ближайшей окрестностью рабочих точек.

В рамках исследований была построена математическая модель технологического процесса прессования композиции гранитная крошка – известь, проведена проверка ее на адекватность, вычислены оптимальные параметры процесса, а также построена графическая зависимость предела прочности на сжатие от процентного содержания гранитной крошки и извести, а также усилия прессования (рисунок 1).



М.М

Рисунок 1 – Поверхность, отображающая зависимость предела прочности на сжатие от содержания извести в композиции гранитная крошка – известь и усилия прессования:

$$Y = -301,37 + 8,09 \cdot x_2 + 1,03 \cdot x_1 \cdot x_2 + 17,28 \cdot x_1^2 - 0,2 \cdot x_2^2 - 1,34 \cdot x_1^3$$

В целях проверки математической модели на адекватность на основании полученных данных было проведено натурное моделирование.

Натурное моделирование предусматривало проведение эксперимента с прессованием состава композиции известь – гранитная крошка при оптимальных условиях получения прессованных образцов. В этих целях был приготовлен состав композиции, включающий 10 % извести и 90 % гранитного отсева, который прессовался с усилием 60 кН.

Полученные прессованные образцы подвергались запарке и последующей сушке на воздухе в нормальных условиях, после чего подвергались испытанию прочности на сжатие. Условия получения образцов и их показатели прочности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы и прочностные свойства прессованного известково-гранитного вяжущего

| № образца | Состав вяжущего, % | | Усилие прессования, кН | Предел прочности, кгс/см ² |
|-----------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------------|
| | известь | гранитный отсев | | |
| 1 | 10 | 90 | 60 | 210 |
| 2 | | | | 204 |
| 3 | | | | 207 |
| 4 | | | | 202 |

Полученные в результате проведения натурального моделирования результаты позволяют утверждать, что созданная на основе экспериментальных данных физико-химическая модель технологического процесса получения прессованных строительных изделий из композиции известь – гранитный отсев, при заданных условиях, является адекватной. Сходимость полученной модели и натуральных испытаний составляет 95–99 %.

Студент гр. 10402119 Губар П.Г.

Научный руководитель – Белявин К.Е.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ультразвуковые колебания широко используют в различных технологических процессах. Их применяют для очистки поверхностей от загрязнений, сварки пластмасс и мягких металлов, пайки, интенсификации обработки резанием и пластическим деформированием, химических и электрохимических процессов, при нанесении покрытий, поверхностном упрочнении, получении порошковых материалов и графена, перемешивании различных жидкостей и эмульсий. Кроме того, ультразвуковые методы широко используются для неразрушающего контроля (выявление дефектов, трещин и пор, определение уровня внутренних и остаточных напряжений, измерение толщины покрытий и др.). Ультразвуковая обработка имеет несколько разновидностей:

1. Ультразвуковая обработка в абразивных суспензиях (УОАС).

2. Ультразвуковая обработка инструментом с абразивным рабочим слоем (закрепленным абразивом), которую, в соответствии, с базовыми схемами механической обработки можно классифицировать как:

- ультразвуковое фрезерование;
- ультразвуковое шлифование;
- ультразвуковое сверление;
- ультразвуковое полирование.

3. Традиционные процессы механической обработки, выполняемые с наложением ультразвуковых колебаний различной направленности.

Ультразвуковую обработку применяют для выполнения самых разных операций: разрезания заготовок на пластины, вырезание из пластин деталей различной формы и размеров, изготовление отверстий, щелей, полостей, шлифование, фрезерование, точение, нарезание резьбы, гравирование и клеймение. Некоторые из этих операций показаны на рисунке 1.

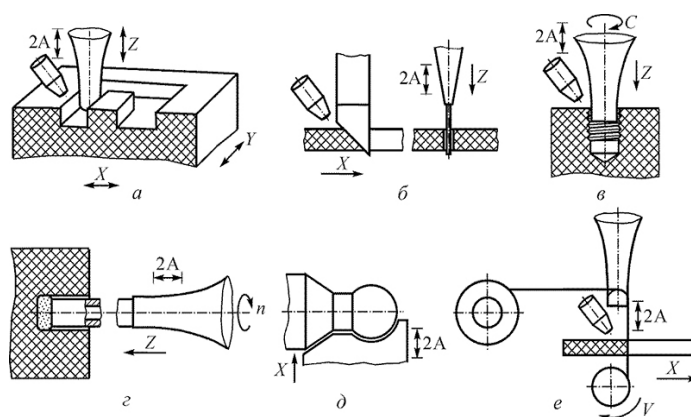


Рисунок 1 – Некоторые операции ультразвуковой обработки:

а – фрезерование; б – резка; в – нарезание резьбы; г – прошивка глубокого отверстия;

д – точение; е – резка (вырезка) проволочным инструментом

Ультразвуковое разрезание может производиться ножевидным инструментом с толщиной режущей части 0,08...0,5 мм или стальной проволокой. Стальную проволоку используют для вырезки сложнопрофильных изделий из листа толщиной до 10 мм и обработки узких щелей. Для обработки деталей, имеющих поверхности вращения, используют схему, показанную

на УЗРО является практически единственным способом нарезания резьбы в твердых керамических материалах. Инструмент вместе с ультразвуковой головкой подается в осевом направлении посредством винта, имеющего шаг нарезаемой резьбы, или устройством ЧПУ (винтовая интерполяция). Резьба получается тем точнее, чем меньше абразивные зерна и амплитуда колебаний. Изготовление сквозных и глухих отверстий – наиболее распространенная операция УЗРО. Размеры отверстий, обрабатываемых ультразвуковым методом, находятся в пределах 0,1...120 мм. Точность обработки отверстий соответствует 7...10 квалитетам. Обработку вращающимся инструментом с закрепленным абразивом используют для прошивки отверстий, в том числе и глубоких до 300 мм.

Ультразвуковая обработка в абразивных суспензиях основана на удалении материала свободными абразивными зернами при наложении ультразвуковых колебаний на деталь или инструмент. С ее применением хорошо обрабатываются хрупкие материалы (стекло, твердые сплавы и др.), частицы которых скалываются ударами зерен абразива. Вязкие материалы (незакаленная сталь, латунь) обрабатываются этим способом редко.

Она позволяет существенно упростить и ускорить процесс изготовления фасонных деталей из керамик. Появляется возможность выполнять в них отверстия и углубления сложной формы, получать и доводить точные элементы матриц, пуансонов, фильер и множества других деталей из твердых сплавов, керамик и сверхтвердых материалов.

Профиль обработанной поверхности с высокой точностью (~0,01 мм) повторяет форму инструмента. Точность зависит от размеров и износа инструмента, жесткости технологической системы, размера зерен абразива и технологических режимов обработки. Производительность увеличивается с ростом амплитуды, однако при больших амплитудах возрастает ударная нагрузка на абразивные зерна, что приводит к их разрушению и снижению скорости обработки.

Производительность увеличивается с ростом частоты колебаний. Одновременно снижается стойкость инструмента. Следует отметить также, что производительность УОАС снижается с увеличением вязкости и твердости обрабатываемого материала. Она растет с увеличением твердости материала абразива.

В таблице 1 приведены сведения по обрабатываемости УОАС различных материалов, а в таблице 2 – о достигаемой точности обработки.

Таблица 1 – Сведения по обрабатываемости УОАС различных материалов

| Обрабатываемый материал | Относительная обрабатываемость |
|-------------------------|--------------------------------|
| Стекло | 1 |
| Ферриты | 0,8 |
| Минералокерамика | 0,2 |
| Керамика | 0,4 |
| Твердые сплавы | 0,02...0,08 |
| Кварц | 0,5 |

Таблица 2 – Сведения о достигаемой точности обработки

| Размер зерен основной фракции, мкм | Величина разбивания, ΔD, мкм | Конусность, мм | Достижимая точность обработки |
|------------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 125...100 | 200...300 | 0,03...0,04 | ± 0,04 |
| 80...63 | 100...150 | 0,02...0,03 | ± 0,03 |
| 50...40 | 80...63 | 0,01...0,02 | ± 0,02 |
| 28...20 | 80...63 | 0,01 | ± 0,01 |
| 10 ... 7 | 80...63 | 0,005 | ± 0,005 |

Следует отметить, что использование ультразвуковой размерной обработки неуклонно увеличивается, что связано с расширяющимся применением новых композиционных материалов, керамокомпозитов, технических керамик из нитрида кремния, оксидов алюминия и циркония, нитрида алюминия и др., а также керамических покрытий.

Список использованных источников

1. Агапов, С.И. Интенсификация процесса обработки труднообрабатываемых материалов при введении ультразвуковых колебаний в зону резания / С.И. Агапов. – Волгоград, 2009. – 78 с.
2. Артёмьев, В.В. Ультразвуковые виброударные процессы / В.В. Артёмьев. – Минск: БНТУ, 2005. – 258 с.

Прокатка

Студенты гр.10402119 Силивоник Д.С, Маркевич А.В.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Прокатка – способ обработки, при котором металл пластически деформируется вращающимися валками [1].

Инструментом прокатки являются валки, которые выполняют основную операцию – обжатие металла и придание ему требуемых размеров и формы поперечного сечения. В процессе деформации металла они воспринимают усилия, возникающие при прокатке. Валок состоит из трех основных элементов: рабочей части – бочки валка – диаметром D и длиной L , которая при прокатке непосредственно соприкасается с деформируемым металлом; опорной части – шеек диаметром $d_{ш}$ и длиной $l_{ш}$, расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипники валка; приводного конца валка.

Валки сортовых станов имеют углубления, соответствующие профилю прокатываемого металла, которые называются ручьями. Ручьи двух валков с зазором между ними образуют калибры.

При всех схемах прокатки металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперед как бы перемещается по прокатываемому металлу. В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Площадь поперечного сечения заготовки F в результате прокатки всегда становится меньше первоначальной F_0 .

Отношение полученной длины l к первоначальной l_0 называется вытяжкой μ :

$$\mu = \frac{l}{l_0} = \frac{F_0}{F},$$

Эта величина является одной из основных количественных характеристик деформации при прокатке и составляет обычно 1,1–1,6 за проход. Для прокатки обязательным является наличие контактного трения между валками и деформируемым металлом. В частности, на начальной стадии должно быть выполнено так называемое условие захвата металла валками. Заготовка подается в валки с некоторой начальной силой P , которая вызывает со стороны валков нормальные реакции N и силу трения T . Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками: $N \sin \alpha < T \cos \alpha$. Угол α называется углом захвата. Выразив силу трения через $T = f_N$ (f – коэффициент трения) и подставив это выражение в условие захвата, получим $\sin \alpha < f \cos \alpha$ или $f > \tan \alpha$ [2].

Скорость выхода прокатанного металла из валков всегда больше, чем скорость входа заготовки в валки. Это необходимо учитывать при прокатке заготовки последовательно несколькими парами валков.

Исходной заготовкой при прокатке являются слитки: стальные массой до 60 т, из цветных металлов и их сплавов обычно массой до 10 т. При производстве сортовых профилей стальные слитки массой до 12 т в горячем состоянии прокатывают на крупных обжимных дустанах – блюмингах. Получающиеся заготовки, чаще квадратного сечения, называются блюмами и являются полуфабрикатом для дальнейшей прокатки [1].

Продукцию в зависимости от формы поперечного сечения разделяют на четыре основные группы: листовой прокат, сортовой прокат, трубы, специальные (в том числе периодические) профили [2].

В свою очередь, листовой прокат по толщине подразделяют на толстолистовой (4 мм и выше) и тонколистовой (менее 4 мм). В зависимости от способа прокатки тонколистовую сталь делят на горяче- и холоднокатаную. Листы тоньше 2 мм в горячем состоянии прокатывать сложно из-за быстрого остывания, и, как правило, их получают холодной прокаткой. Чаще всего ее ведут рулонным способом. После прокатки материал проходит отделочные операции: отжиг в защитных газах, обрезку кромок, разрезку на мерные листы, полирование и др.

Список использованных источников

1. Основы теории обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/12503>. – Дата доступа: 14.04.2021.
2. Теоретические основы обработки металлов давлением. (Теория пластичности) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/12563>. – Дата доступа: 14.04.2021.

Поперечно-винтовая прокатка

Студенты гр. 10402129 Ващенко Е.Г., Бондаренко А.Н.

Научный руководитель – Липницкий А.С.

Белорусский Национальный технический университет
г. Минск

Процесс поперечно-винтовой прокатки осуществляют на двух или трех валках, вращающихся в одну сторону. Оси валков – пересекающиеся или скрещивающиеся прямые [1].

Процессы поперечно-винтовой прокатки реализованы на станах: винтовой прокатки в винтовых калибрах; винтовой прокатки с меняющимся положением осей рабочих валков; продольной прокатки тел вращения (колец, дисков).

На станах винтовой прокатки осуществляется деформация исходного круглого прутка путем его ввинчивания в межвалковое пространство, образованное двумя или тремя валками с винтовыми калибрами, вращающимися в одну сторону. Вращательное и поступательное движение заготовки достигаются вращением валков и соответствующим их наклоном к оси прутка. Деформация прутка при этом происходит вследствие изменения формы витков на валках, постепенно приближающейся к требуемой конфигурации и размерам готового изделия (рисунок 1). Этот процесс весьма эффективен для прокатки червяков, крупных винтов, оребренных труб.

На станах для поперечно-винтовой прокатки осуществляют и процесс прошивки сплошной заготовки. Исходные заготовки имеют постоянное по длине сечение. Их получают непрерывным литьем (слитки) и прокаткой (прокат). Слитки имеют форму цилиндра или правильной многогранной призмы, подкат – форм сплошного или полого цилиндра. Прокатку проводят, как правило, в горячем состоянии. В процессе прошивки исходной заготовки на косорасположенных валках (оси валков скрещиваются) получают толстостенную гильзу – заготовку для получения бесшовных трубчатых заготовок (рисунок 2).

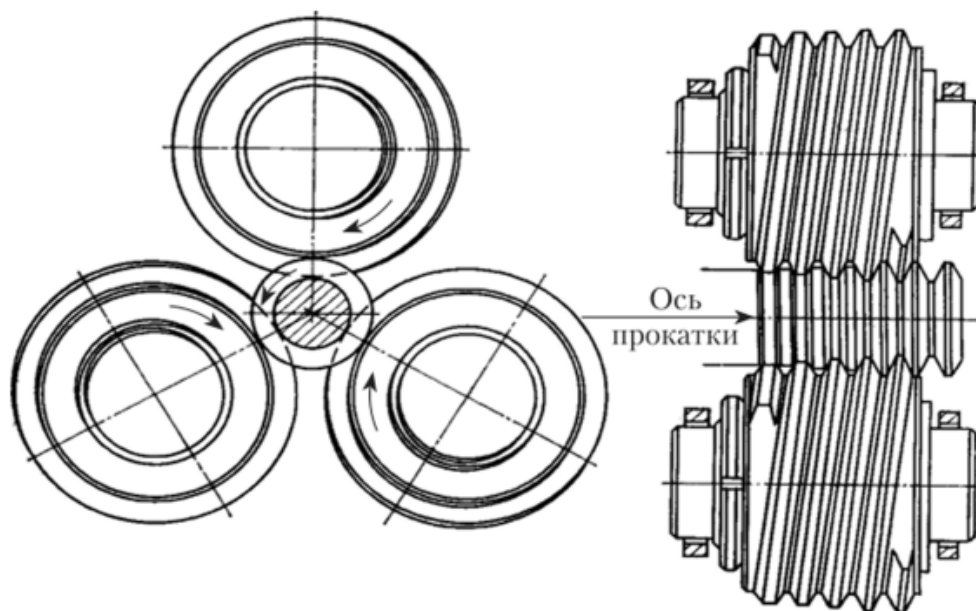


Рисунок 1 – Схема непрерывного накатывания резьбы на винтах неограниченной длины [1]

Гильза – толстостенная относительно небольшой длины труба. Служит заготовкой для раскатки труб заданных размеров продольной и поперечно-винтовой прокаткой.

Параметры прокатки (соотношение диаметров валков и заготовки, угол между осями валков, и заготовки, и наклона конической части валка) подобраны так, чтобы из-за неравномерности деформации в центральной части заготовки создавались растягивающие

радиальные напряжения (рисунок 2 (а)). Под действием этих напряжений металл в центральной зоне заготовки разрыхляется, и образуется полость. Чтобы предупредить образование трещин на поверхности полости и получить заготовку трубы заданных размеров, устанавливают коническую оправку 4 (прошивень). Оправку устанавливают с опережением момента самопроизвольного образования полости на 2...3 мм. Оправку закрепляют на стержне, конец которого установлен во вращающейся опоре. После окончания прокатки гильзу снимают со стержня и направляют на трубопрокатные станы для ее дальнейшей раскатки в трубу.

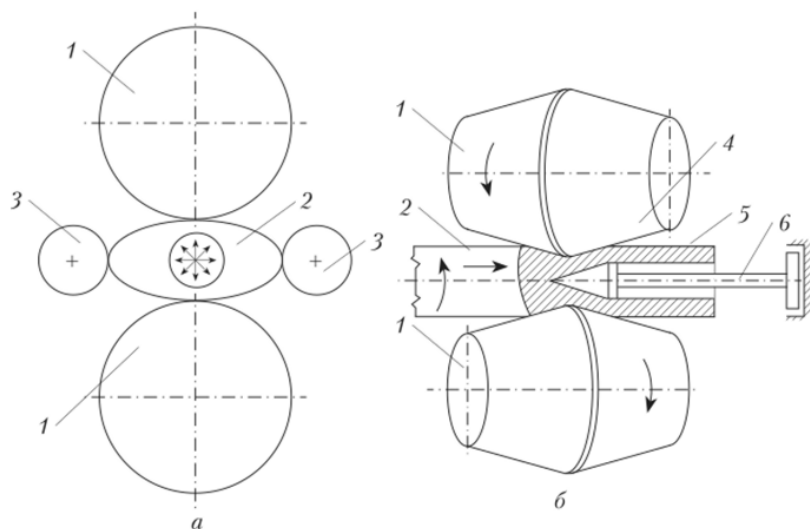


Рисунок 2 – Поперечно-винтовая прокатка заготовки трубы (гильзы) [1]:

а – схема создания растягивающих напряжений в центральной части заготовки; б – схема прокатки;

1 – валок; 2 – заготовка; 3 – направляющий хвостовик;

4 – оправка (прошивень); 5 – гильза; 6 – стержень

Станы винтовой прокатки с меняющимся положением осей прокатных валков применяют для производства ступенчатых валов и осей большой длины (при соотношении длины к диаметру более 10...20). К таким изделиям относят полуоси автомобилей, торсионные валы, вагонные оси, периодический прокат и др.

Периодический прокат – прокат, поперечное сечение которого периодически изменяется вдоль оси прокатываемой заготовки. Прокат с переменным по длине сечением используют в виде фасонной заготовки при горячей штамповке, что позволяет применить более простые штампы, увеличить производительность при штамповке, снизить отходы и улучшить качество продукции. На станах поперечно-винтовой прокатки получают не только периодические профили, но и заготовки шаров, роликов подшипников качения (рисунок 3) [2].

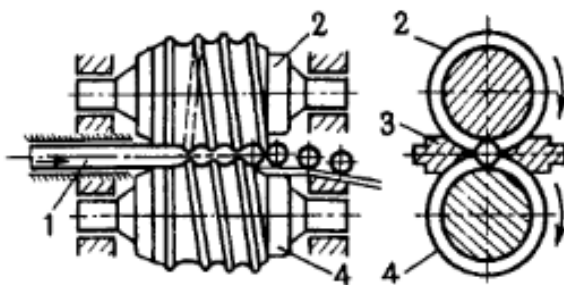


Рисунок 3 – Схема прокатки шаров в стане поперечно-винтовой прокатки [2]

Валки 2 и 4 вращаются в одну сторону. Ручьи валков соответствующей формы сделаны по винтовой линии. Заготовка 1 при прокатке получает вращательное и поступательное движения; от вылета из валков она предохраняется центрирующими упорами 3.

Список использованных источников

1. Черепяхин, А.А. Технология машиностроения. Обработка ответственных деталей: учебное пособие для среднего профессионального образования / А.А. Черепяхин, В.В. Клепиков, В.Ф. Солдатов. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – С. 65–68.
2. Дольский, А.М. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. 6-е изд., испр. и доп. / А.М. Дольский [и др.]. М.: Машиностроение, 2005. – 74 с.

Технология полугорячей штамповки элемента муфты гидравлической «Корпус левый»

Студенты гр.10402129 Жогло А.Г., Апишев В.В.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

На сегодняшний день глобальной тенденцией в развитии промышленности производства деталей машиностроения является усовершенствование технологии. Такой подход позволяет рациональнее использовать производственные ресурсы путём внедрения в производство более производительного оборудования и замены на более новое или же усовершенствованное технологического процесса изготовления продукции. Например, для снижения трудоёмкости изготовления детали стремятся уменьшить количество операций, это снизит трудоёмкость технологического процесса и сведёт к минимуму потери металла со снятием стружки при обработке резанием. Уменьшить потерю металла можно изменив форму заготовки перед обработкой резанием [1].

В работе приведен пример получения детали «Корпус левый» (рисунок 1(а)) (сталь 45 ГОСТ 1050-2013 [2]). Годовая программа детали достигает 420000 штук в год, что говорит об массовом производстве. Эта деталь быстроразъёмной гидравлической муфты, предназначенной для быстрого соединения и разъединения гибких трубопроводов гидросистем, работающих при давлении до 20 МПа. На сегодняшний день муфты прошли испытания на ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Лидагропроммаш», ОАО ТК «Волгоградский тракторный завод» и ОАО «Минский тракторный завод» для комплектации трактора «Беларус» и другой сельскохозяйственной техники с прицепными агрегатами [3].

Уменьшить потери металла путем сокращения трудоёмкости обработки резанием, за счет получения поковки методом полугорячей штамповки. При формировании поковки будет сформировано большинство поверхностей детали, в следствии чего механическая обработка будет значительно уменьшена [1].

В соответствии с ГОСТ 7505-89 [4] необходимо произвести расчет поковки. Он включает в себя определение группы стали, класса точности, степени точности и исходного индекса детали. Далее можно приступить к выбору припусков на механическую обработку и допусков на размеры (рисунок 1(б)).

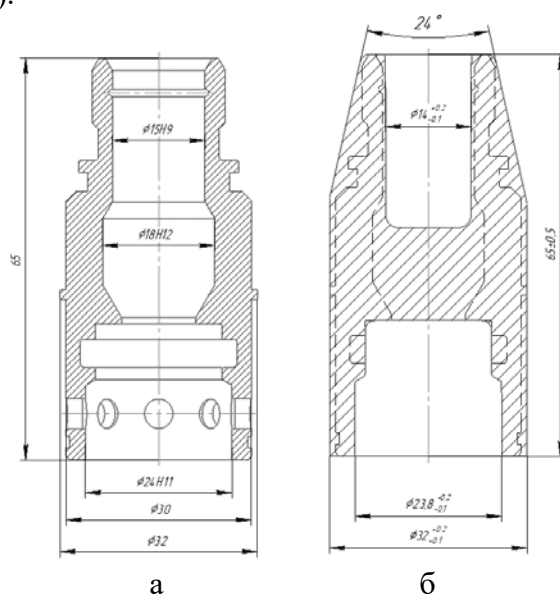


Рисунок 1 – Эскиз детали гидромуфты «Корпус левый»:

а – деталь; б – поковка

Корпус имеет сложный наружный и внутренний цилиндрический профиль. Масса детали 160 г., в случае ее производства из прутка $\varnothing 35$, масса заготовки составит 408 г., то $K_{им} = 39,2 \%$, в случае получения поковки с последующей обработкой, требуется заготовка $\varnothing 32 \times 65$, массой 266 г., $K_{им} = 60,3 \%$.

Для определения усилия воспользуемся САЕ-системой, в основу которого входит конечно-элементная модель напряженно-деформируемого состояния. Требуемое усилие для данной операции составит не более 800 кН (80 тонн) (рисунок 2). Для данной задачи подойдет механический пресс КД2130 с усилием 1000 кН (100 т) по ГОСТ 10026-87 [5]. Однако размеры рабочего окна пресса не позволяют установить штамп необходимых габаритов, поэтому принимаем пресс КД2132 на 1600 кН (160 тонн).

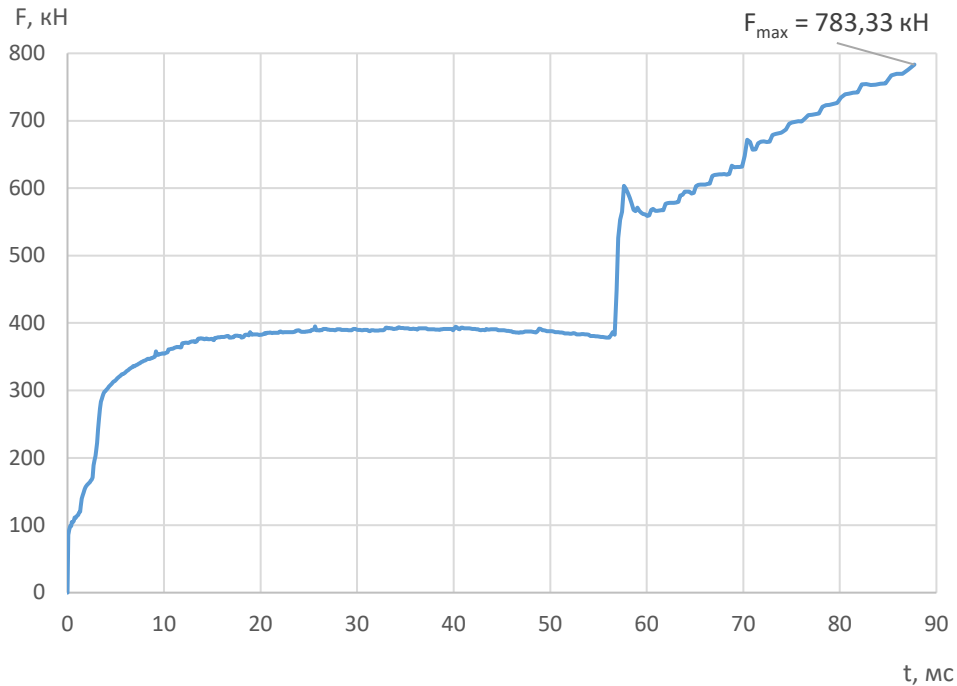


Рисунок 2 – График изменения усилия штамповки

Заготовка перед штамповкой нагревается до 740–760 °С. Так как в данных условиях материал будет находиться в фазе аустенит + феррит (в области, лежащей между линиями $A_1 - A_3$ в соответствии диаграммой железо-углерод). Нагрев до таких температур позволяет снизить усилия при деформировании при этом практически не образуется окалины [6].

В результате снижения трудоемкости металлорежущего оборудования, уменьшению размера заготовки на 41,4 %, подбору оборудования для полугорячей штамповки исходя из промоделированной операции выдавливания, полученного в ней графика усилия обработки заготовки, будет достигнута ежегодная экономия металла 59 тонн.

Список использованных источников

1. Брюханов, А.Н. Ковка и объемная штамповка: учеб. пособие / А.Н. Брюханов. – М.: МАШГИЗ, 1960 – 368 с.
2. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. – Введ: 03.12.2013 – Москва: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2013. – 36 с.
3. ОАО «БЗСП» [электронный ресурс]. – режим доступа: <https://bzsp-by.com> – Дата доступа: 02.03.2020.

4. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. – Введ:01.07.1990 – Москва: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 2011. – 36 с.

5. Прессы однокривошипные простого действия закрытые. Параметры и размеры: ГОСТ 10026-87. – Введ:01.01.1989 – Москва: Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, 1992. – 8 с.

6. Гуляев, А.П. Металловедение: учеб. пособие / А.П. Гуляев,. – М.: Металлургия, 1986 – 542 с.

Технология полугорячей штамповки элемента муфты гидравлической «Клапан»

Студенты гр.10402129 Апишев В.В., Жогло А.Г.
 Научный руководитель – Томило В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г.Минск

Усовершенствование технологии производства деталей машиностроения является глобальной тенденцией в развитии промышленности, этому способствует рациональное использование производственных ресурсов, усовершенствование технологического процесса изготовления продукции, вовлечение в производство более производительного оборудования и замена старого оборудования на более новое. Не маловажным показателем улучшения производства является уменьшение количества операций на изготовления деталей, что снизит трудоёмкость технологического процесса и минимизирует потери металла со снятием стружки при обработке резанием.

Уменьшить потери металла можно, исключая часть операций обработки резанием путём получения поковки методом полугорячей штамповки с формированием внутренней ступенчатой полости и обеспечением минимальной механической обработки большинства поверхностей. Благодаря этому повышаются механические свойства получаемого изделия [1].

Деталь «Клапан» (материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-2013[2]) является элементом быстроразъёмной гидравлической муфты, предназначенной для быстрого соединения и разъединения гибких трубопроводов гидросистем, работающих при давлении до 20 МПа[3]. Муфты быстроразъёмные применяются в гидроприводах для быстрого соединения или разъединения гидрролиний без использования инструмента или специальных устройств [4,5] на гидромолотах, дорожно-строительной, сельскохозяйственной, лесной технике, в судостроении, пищевой промышленности, при добыче нефти и газа, а также в других гидравлических системах, где требуется оперативная смена подвесного оборудования [6]. Эскиз детали приведён на рисунке 1.

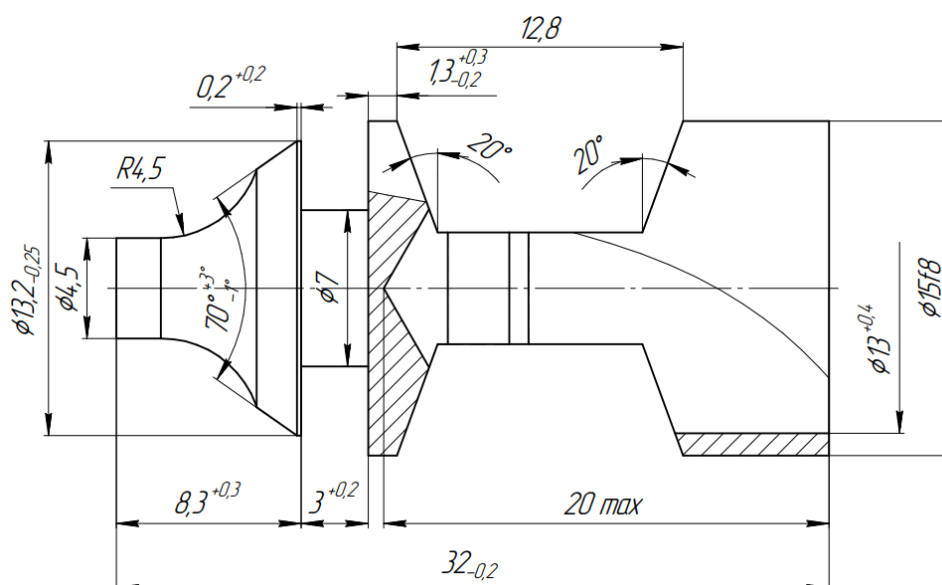


Рисунок 1 – Эскиз детали «Клапан»

Деталь имеет сложный цилиндрический профиль с размером $\text{Ø}15 \times 32$ мм, глухое ступенчатое отверстие, которое занимает больший объём детали и два паза. Деталь получается методами обработки резанием с большим снятием металла из цилиндрической заготовки $\text{Ø}16 \times 33$

мм. Коэффициент использования материала составил 21,6 %, 78,4 % металла идёт в стружку, соответственно.

Годовая программа потребления при массе детали 11,2 грамм, составляет 780000 шт., что соответствует массовому типу производства [6,7]. Геометрия изделия, возможно, получить только на металлорежущем оборудовании, остальные же поверхности: глухое ступенчатое отверстие и хвостовик со скруглением и фаской получим методом полугорячей объёмной штамповки.

Следующим шагом является расчёт поковки, который следует производить по ГОСТ 7507-89 [8]. Определив группу стали, класс точности, степень сложности и исходный индекс детали, назначают припуски, допуски и напуски, создаётся чертёж поковки (двухмерная модель в САПР) модели матрицы и пуансона.

Программное обеспечение САЕ-системы, в основу которого входит конечно-элементная модель напряжённо-деформируемого состояния, позволяет рассчитать требуемое усилие деформации, показывает очаги деформации и напряжения, предоставляет важную информацию о распределении температур во время деформирования, наглядно демонстрирует течение металла в полости штампа и многое другое.

Для того чтобы выбрать оборудование, на котором будет получена поковка «Клапан», необходимо выяснить максимальное усилие деформации, действующее на заготовку. Для этого проведено моделирование процесса обработки, из которого были получены: распределения температур, главные действующие напряжения, график зависимости усилия деформации от времени (рисунок 2).

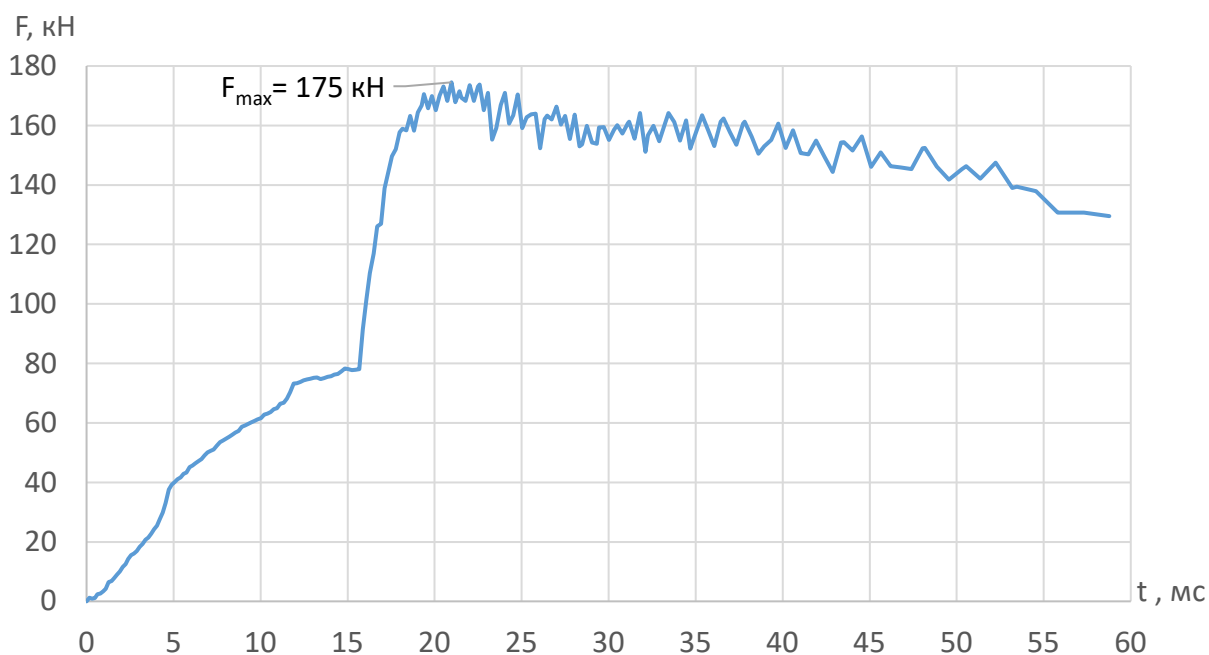


Рисунок 2 – График зависимости усилия деформации от времени

График показывает, что максимальное усилие, развиваемое механическим прессом для деформирования детали, составляет 175 кН (17,5 т. с.).

Для формирования необходимой геометрии подойдёт механический пресс КП2126 с усилием 400кН (40 тонн), оборудование подобрано в соответствии с ГОСТ 9408-89 [9].

Коэффициент использования материала после замены исходной заготовки $\varnothing 16 \times 33$ мм на $\varnothing 16 \times 15$ мм, составил 45,1%, что в два раза больше изначального – 21,6%. Это способствует снижению расхода металла, который уходит в стружку на 23,5%, что в массовом производстве приведёт к значительному снижению материала.

Благодаря снижению трудоёмкости металлорежущего оборудования, уменьшению размера заготовки на 54,5%, подбору оборудования для полугорячей объёмной штамповки исходя из проведённого моделирования операции выдавливания и полученного графика усилия обработки заготовки, будет достигнута ежегодная экономия металла в 22 тонны.

Список используемых источников

1. Брюханов, А.Н. Ковка и объёмная штамповка: учеб. пособие / А.Н. Брюханов. – М.: МАШГИЗ, 1960 – 368 с.
2. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. – Введ, 01.03.2016 – Москва: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 42 с.
3. ОАО «БЗСП» [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://bzsp-by.com>. – Дата доступа: 14.03.2021.
4. Гидропривод объёмный. Муфты быстроразъёмные. Присоединительные размеры и технические требования: ГОСТ Р 50191-92.–Введ, 01.07.1993 – Москва: Постановление Госстандарта России, 1992. – 7 с.
5. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Муфты быстроразъёмные гидравлические общего назначения: ISO 5675 – 2019.–Введ, 01.03.2021 – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2021. – 8 с.
6. Hydravia [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://hydravia.by>. – Дата доступа: 14.03.2021.
7. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы: ГОСТ 3.1119-83.–Введ, 01.01.1985 – Минск: Госстандарта Республики Беларусь, 1985. – 20 с.
8. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. – Введ. 01.07.1990 – Москва: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 2011. – 36 с.
9. Прессы однокривошипные простого действия открытые. Параметры и размеры. Нормы точности: ГОСТ 9408-89.–Введ, 01.07.1990 – Минск: Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, 1990. – 18 с.

Материаловедение в машиностроении

Исследование металлических элементов токоведущих жил в зонах аварийных режимов в пожарно-технической экспертизе

Студент гр. 10405516 Миковоз М.В.,
Главный эксперт УСЭ УГКСЭ по Минской области Черковский А.В.
Научный руководитель – Константинов В.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В современном мире наблюдается тенденция к поэтапному отказу от ископаемого топлива, являющегося частью перехода на возобновляемые источники энергии. Основной альтернативой ископаемому топливу является электрификация.

Широкое потребление электроэнергии в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и быта требует постоянного внимания к повышению пожаробезопасности электроустановок. За рубежом появляется все больше сообщений и статистических отчетов, свидетельствующих об их пожарной опасности. Отмечается, что в большинстве промышленно развитых странах из-за неисправности и неправильной эксплуатации электротехнических устройств ежегодно происходит около 20-25 % пожаров, причем тенденция роста числа таких пожаров весьма устойчива.

Изучение материалов по пожарам, в ходе проведения пожарно-технических экспертиз, а также заключений экспертов по ним указывают на то, что вывод о технической причине, когда на месте происшествия обнаруживают провода со следами оплавлений, очень часто делается без данных об условиях допожарной обстановки образования этих оплавлений. В тоже время известно, что оплавления могли образоваться не только вследствие короткого замыкания, но и от воздействия высоких температур пожара в различных условиях. Кроме этого, характерные следы (оплавления) могли возникнуть на проводах и оборудовании от короткого замыкания, явившегося следствием пожара. Оплавления под воздействием температуры пожара могли видоизменить свою структуру, потерять устойчивые дифференцирующие признаки их появления. Поэтому выводы о причине пожара зачастую надуманы и не имеют доказательной основы.

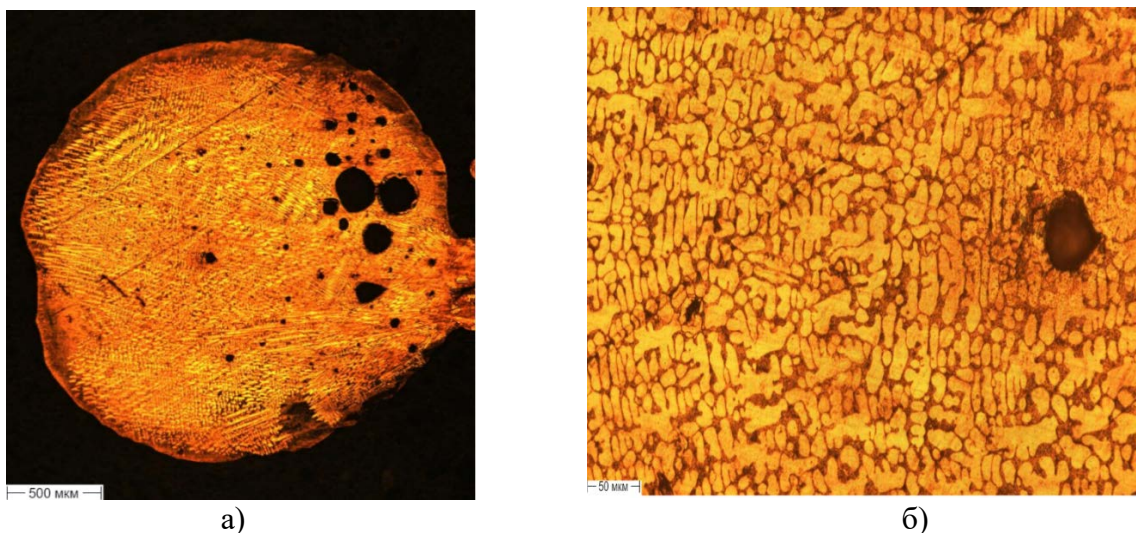
При выполнении эксперимента и проведении исследований сделана попытка дать решение частной практической задачи по проведению экспертиз, связанных с установлением причастности короткого замыкания электропроводок к возникновению пожара. Был разработан, изложен и проведен эксперимент по исследованию условий образования оплавлений медных проводников, образованных токами короткого замыкания, их видоизменение под воздействием теплового воздействия окислительной атмосферы.

Для получения оплавлений медных проводников в различных условиях и видоизменения их микроструктуры (сохранение/уничтожения дифференцирующих признаков) при воздействии высокой температуры (при температурах пожара), а также анализа их микроструктуры проводился эксперимент на базе кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» и научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ.

Для созданий оплавлений, характерных для образования в результате аварийного режима работы – короткого замыкания использовался электросварочный аппарат, задавались различные условия получения дуговых оплавлений медных проводников – в среде насыщенной кислородом воздуха (в условиях отсутствия газов-восстановителей) и др.

Для моделирования воздействия высокой температуры (температур пожара), оплавления выдерживались при различных температурах в камерной печи.

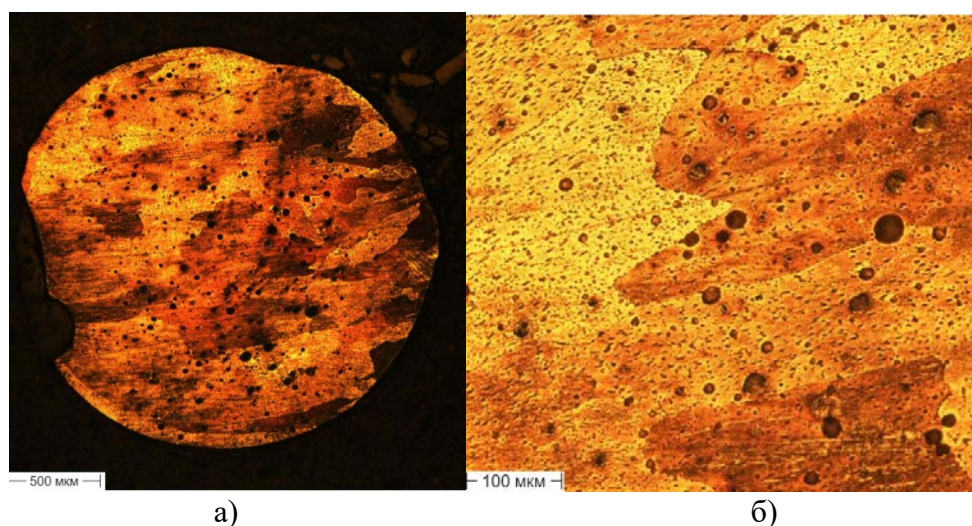
Проведенным металлографическим исследованием установлено, что в результате образования оплавления медного проводника токами короткого замыкания, образована микроструктура, характерная для первичного короткого замыкания (до возникновения пожара).



а) увеличение микроскопа x50; б) увеличение микроскопа x200
 Рисунок 1 – Вид микроструктуры оплавленного медного проводника токами КЗ

Основу сплава составляет медь (Cu) со значительными участками эвтектики (Cu + Cu₂O) по границам зерен. Светлая основа – медь; темные участки – эвтектическая смесь меди и оксида меди. Поры и раковины практически отсутствуют (имеется небольшое количество макропор). Зерна меди имеют дендритное строение. Микроструктура оплавления, согласно литературным источникам, характерна для оплавления, образованного при коротком замыкании в среде, насыщенной кислородом воздуха (признак первичного короткого замыкания).

При отжиге в печи при 900 °С в течении 45 минут, дальнейшим металлографическим исследованием было установлено, что устойчивые дифференцирующие признаки были практически уничтожены.



а) увеличение микроскопа x50; б) увеличение микроскопа x200
 Рисунок 2 – Вид микроструктуры оплавленного медного проводника токами КЗ и подверженного отжигу при 900 °С в течении 45 минут

Основу сплава составляет медь (Cu) с равномерно распределенной по всему объему закисью меди (Cu + Cu₂O). Имеется небольшое количество микропор. Зерна меди крупные, имеют равноосное строение.

Согласно [1], дендритное строение сохраняется при длительных высокотемпературных отжигах (800-1000 °С), а также при различных режимах охлаждения. Лишь при длительном нагреве при температурах свыше 1000 °С может происходить частичное видоизменение формы дендритов.

Таким образом, мнение, высказанное в литературном источнике [1] о сохранении устойчивых дифференцирующих признаков оплавлений, образованных токами короткого замыкания, не подтвердилось.

Исходя из вышеизложенного, следует сделать вывод о том, что необходимы дополнительные исследования по изучению условий видоизменения оплавлений, образованных токами короткого замыкания, а также более детальный анализ других особенностей микроструктуры, характерных для аварийного режима работы, необходимых для дачи объективного заключения при проведении пожарно-технической экспертизы.

Список используемых источников

1. Чешко, И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / И.Д. Чешко / под науч. ред. канд. юр. наук Н. А. Андреева. – 2-е изд., стереотип. – СПб.: СПБИПБ МВД России, 1997. – 562 с.

Исследование характера разрушения стальных деталей транспортных средств с использованием твердотельного моделирования

Студент гр. 10405528 Игнатенко Р.В.
Научный руководитель – Позняк И.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Важнейшая роль в установлении причины разрушения конструкций и деталей машин принадлежит анализу эксплуатационных изломов.

Причинами эксплуатационных разрушений могут быть, например, малое сечение детали, наличие концентраторов напряжения, неправильный монтаж, неправильная эксплуатация (превышение допустимых нагрузок, низкие температуры эксплуатации, активная вредная среда), низкое качество или не соответствие материала, наличие в материале опасных для эксплуатации дефектов (микротрещин, волосовины).

Визуальный осмотр при малом увеличении (макрофрактография) важен для идентификации областей, нуждающихся в дальнейшем исследовании при более высоком увеличении (микрофрактография).

Анализ изломов материалов позволяет получить важную информацию о нагружении образца или элемента конструкции. Это дает возможность устанавливать обратную связь между действительными и расчетными характеристиками материала, необходимую при диагностике аварийных случаев разрушения конструкций и выяснении причин, вызвавших поломку.

Повышение эксплуатационной надежности и долговечности конструкций и деталей машин связано с технической диагностикой причин разрушения.

Для диагностики разрушения конструкций и деталей машин необходимо знать структуру и свойства металлических материалов, строение изломов, механизмы разрушения, методы изучения изломов, методы механических испытаний, методы количественной оценки параметров разрушения, методики расчетов конструкций с трещиной на прочность. Изучение механизмов разрушений металлических материалов позволяет использовать полученные результаты для прогнозирования поведения материала в конкретных условиях эксплуатации и расчета конструкции на прочность.

Связь физических и металловедческих аспектов разрушения с критериями механики разрушения представляет особую актуальность и дает представление о природе процессов зарождения и распространения трещин при различных условиях нагружения, позволяет более корректно описывать поведение материала на различных стадиях разрушения [1].

В течение последних лет актуальным направлением фрактографических исследований является разработка автоматизированных методов количественного описания рельефа поверхности разрушения материалов [2-3]. Задача объективного количественного описания рельефа излома может сводиться к корректному измерению его рельефа и получению массива данных, содержащих трехмерные координаты каждой точки его поверхности. В частности, требуется оценить рельеф поверхности разрушения, поскольку существует корреляция между энергией, затраченной на образование новой поверхности, и площадью данной поверхности. При этом объективность результатов измерения во многом зависит от эффективности программно-аппаратного комплекса, применяемого для получения и анализа изображения поверхности излома.

Для трехмерной оцифровки поверхности исследуемых объектов использовался портативный 3D-сканер метрологической точности Artec Space Spider, который отличается способностью передавать в «3D» самую сложную геометрию поверхности (например, заостренность

и кривизну) объектов с максимальным разрешением полигональной сетки до 0,1 мм. На рабочем расстоянии 0,2-0,3 м точность сканирования достигает величины 0,05 мм. Сканер оборудован текстурной камерой с разрешением 1,3 Мп, которая оптимально подходит для сканирования объектов с размерами в плане от 40x70 до 180x250 мм. Универсальность сканера заключается в возможности его использования в полевых условиях, которая может быть обеспечена автономной работой от аккумулятора 12V.

Наиболее важными функциональными особенностями сканера Artec Space Spider являются способ его позиционирования и область съемки в зависимости от расстояния до объекта. При работе с Artec Spider следует учитывать специфику позиционирования самого сканера. Позиционирование сканера осуществляет программа, которая сравнивает каждый полученный кадр с предыдущим и сопоставляет их по рельефу и текстуре. Поэтому для корректного сопоставления кадров у сканируемых объектов должны быть четко выражены рельеф и текстура. Сканирование объекта или его части должно осуществляться непрерывно за один прием. В случае потери позиционной связи лучше начинать сканирование заново, так как сложно определить предыдущее положение и продолжить сканирование.

В рамках экспериментального исследования провели сканирование и анализ разрушенной шаровой опоры рулевой тяги автомобиля. Для трехмерной оцифровки поверхности исследуемых объектов использовали портативный 3D-сканер метрологической точности Artec Space Spider. Эксперименты проводили путем последовательного сканирования в режиме гибридного позиционирования (*геометрия + текстура*) с опцией «*Сканирование с использованием автосборки*». Как показывает практика, это наиболее оптимальный алгоритм для 3D-сканеров с текстурной камерой, поскольку наряду с геометрической информацией объекта алгоритмом используются текстурные детали со снимков, полученных с текстурной камеры. Использование указанного режима позволяет успешно сканировать плоские или бестекстурные объекты. Единственно возможный недостаток алгоритма сводится к большему по сравнению с другими алгоритмами потреблению ресурсов процессора, в связи с этим возможно падение скорости сканирования на маломощных компьютерах.

Сканирование каждого из двух фрагментов разрушенного шарового пальца производилось при постепенном вращении подложки на 360°. Сканирование выполняли под углом 45° к поверхности объекта, а затем с максимальным приближением к вертикальной оси под углом до 80°. Рабочее расстояние составляло 200-300 мм. По завершении полного оборота подложки сканер на несколько секунд устанавливался вертикально над фрагментом для позиционирования поверхности излома. После завершения сканирования поверхности излома каждый фрагмент переворачивался отсканированной поверхностью вниз, и процесс повторялся. Все кадры, имеющие отклонение более 0,1 мм, удалялись. Из оставшихся кадров были созданы полигональные модели фрагментов разрушенного шарового пальца с разрешением величиной 0,1 мм.

Виртуальная 3D-модель поверхности излома, полученная в результате сканирования, позволяет всесторонне изучить рельеф (строение) поверхности излома и его характерные признаки (рисунок 1, а). Виртуальные 3D-модели отдельных фрагментов, очищенных от посторонних шумов и подложки, можно совмещать по общей линии разделения в одну цельную модель шарового пальца (рисунок 1, б). Использование трехмерных изображений, иллюстрирующих исследовательскую часть, позволяет значительно повысить ее информативность.



а

б

Рисунок 1 – Виртуальные 3D-модели двух частей разрушенной детали «шаровой палец» (а); создание изображения 3D-модели детали «шаровой палец» путем виртуальной реконструкции разделенных частей (б)

Математическая формализация трасологических признаков, в сочетании с презентательностью 3D-моделирования, а также возможность использования анимации, позволяет наглядно представить сложные процессы, что важно на стадии проведения экспертных исследований.

Сканированные модели можно представлять в файлах форматов – obj, wrl, stl. Указанные форматы файлов широко распространены для сохранения данных 3D-геометрии и могут быть открыты в большинстве приложений с программами, работающими с трехмерными полигональными моделями (Geomagic Design X, DeziignWorks for SolidWorks и др.). По сканированной модели, представленной файлом формата stl, возможно создание 3D копий деталей на 3D принтере. На рисунке 2, в качестве примера, представлена твердотельная модель шаровой части разрушенного шарового шарнира рулевой тяги автомобиля, созданная по 3D-технологии.



Рисунок 2 – Полученная твердотельная модель шаровой части разрушенного шарового шарнира рулевой тяги автомобиля

Список использованных источников

1. Особенности разрушения конструкционных материалов при различных условиях нагружения [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.А. Фролова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 91 с.
2. Феллоуз, Д. Фрактография. Металлы и сплавы: справ. изд./под ред. Дж. Феллоуза: пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 489 с.
3. Кудря, А. В. и др. Оценка строения изломов и структур в конструкционных сталях с использованием компьютеризированных процедур // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №. 4 (34). – С.44-52.

Студент гр. 10401119 Шматова А.А.
Научный руководитель – Девойно О.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время большое внимание уделяется развитию технологий с использованием природных углеродных наноматериалов на основе сажи, торфа, угля, целлюлозы, графита. Сам графит, благодаря невысокой стоимости, экологической чистоте, фракционной однородности, коррозионной и антифрикционной стойкости, хорошей тепло- и электропроводности, имеет множество применений в строительстве, быту и технике. При диспергировании материалов их свойства усиливаются. Поэтому использование нанодиспергированного графита позволит получать покрытия и материалы многофункционального назначения с повышенными свойствами.

Известны различные способы нанодиспергирования графита: 1) метод механического измельчения графита путем помола графита в вибромельницах с использованием вакуума, водных сред или высоких температур, 2) метод лазерного испарения графита при 4000 °К с последующей конденсацией и фильтрацией углеродного пара до образования наночастиц размером 10-50 нм, 3) метод ультразвукового диспергирования графита путем мощной (0,1-0,5 Вт/см³) ультразвуковой обработки графитовой суспензии с поверхностно-активными веществами, 4) метод низкотемпературного газофазного или жидкофазного фторирования графита, продукт которого разлагают при температуре 100-550 °С с образованием пухообразного нанографита, 5) лазерный метод диспергирования графита.

Нанографит представляет тонкую стопку графеновых плоскостей, которые имеют гексагональную структуру атомов углерода. Он хорошо проводит электрический ток. Нанографит, как и графит, обладает низкой твердостью (1 по шкале Мооса), имеет темно-серый цвет и металлический блеск. После воздействия высоких температур нанографит становится немного более твердым и очень хрупким. Нанографит имеет плотность 2,08-2,23 г/см³, которая ниже чем у природного графита (2,5 г/см³). Температура плавления нанографита варьируется в пределах 3845-3890 °С и немного выше, чем у природного графита (3500 °С). Нанографит вступает в химическую реакцию со многими веществами (щелочными металлами, солями) и образует соединения. Он также реагирует при высокой температуре с кислородом, сгорая до углекислого газа. У нанографита появляются новые оптические, магнитные и электронные свойства. Если этот углеродный наноматериал начинает люминесцировать, его покрывают слоем полиэтиленгликоля.

Нанографиты находят широкое применение в медицине, промышленности, быту. Благодаря малой плотности и высоким показателям химической инертности, электро- и теплопроводности, адсорбционной активности и триботехническим свойствам, нанографиты используются в качестве перевязочного материала, твердых антифрикционных смазок, в качестве компонентов топливных элементов, в виде наполнителей полимерных композиций, лаков и красок, керамических и резиновых изделий, в качестве адсорбентов газов и жидкостей. Относительно дешевые, химически и физически стабильные при комнатной температуре нанографиты можно использовать для изготовления супермалых конденсаторов и неметаллических магнитов. Нанографиты могут также найти применение при создании наноконструкций, в телекоммуникациях, электронике, электрохимии, хроматографии и других областях.

Студент гр. 10401119 Козловский А.В.
Научный руководитель – Астрейко Л.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В данное время, в связи с ухудшением экологической ситуации во всем мире, особенно остро стоит вопрос разработки так называемых «зеленых» технологий, не наносящих вред окружающей среде с использованием экологичных природных и искусственных материалов. К настоящему времени разработано большое количество методов и способов получения наноматериалов. Это обусловлено разнообразием состава и свойств наноматериалов с одной стороны, а с другой – позволяет расширить ассортимент данного класса веществ, создавать новые и уникальные образцы. Наибольший интерес представляют природные углеродные материалы, благодаря их невысокой стоимости, экологичности, фракционной однородности, коррозионной и антифрикционной стойкости, хорошей тепло- и электропроводности. Однако синтезированные углеродные материалы, несмотря на их дороговизну, обладают уникальными свойствами: сверхтвердостью, сверхпрочностью и др. Использование углеродных наноматериалов на основе графита, угля, алмаза и др. позволит получать покрытия и материалы многофункционального назначения с более высокими эксплуатационными свойствами. В настоящей работе рассматривается возможность осаждения на инструменты износостойкого покрытия с применением синтезированных наноматериалов на основе сажи.

Выделяют три метода получения наноматериалов на основе сажи.

Первый метод – плазмохимический синтез фуллереновой сажи при разложении мазута под воздействием импульсного тлеющего разряда. Плазмохимический синтез наноразмерной сажи происходит на установке, в которой на верхний графитовый электрод и нижний электрод в виде медной емкости с жидким углеводородом (мазутой) подают импульсное напряжение около 12 кВ с частотой 80 кГц, создаваемое генератором мощностью 300 Вт. При этом достигается диссоциация молекул электронами, произведенными во время импульса, без образования дугового разряда. В разрядной камере находится воздух при атмосферном давлении.

Второй метод – получение нанодиспергированной сажи с помощью энергии низкотемпературной плазмы. Способ основан на термическом разложении и испарении угля (графита) с помощью энергии низкотемпературной плазмы и последующем быстрым охлаждением (конденсацией) газообразной фазы. При этом уголь нагревают в камере совмещенного плазменного реактора в потоке высококонцентрированной низкотемпературной плазмы с созданием вращающейся электрической дуги в поперечном сечении реактора, в котором создается температура в пределах от 2800 до 4500 °С. Затем проводят совмещенный процесс газификации и активирования угля в камере совмещенного плазменного реактора, где образуется мелкодисперсная сажа, содержащая углеродные наноматериалы.

Третий способ – метод электрогидравлического воздействия на бензол. В основе этого метода лежит явление резкого увеличения в жидкости гидравлического и гидродинамического воздействия вместе с амплитудой ударного воздействия электрического (до 50 кВ) разряда при условии минимального укорочения длительности самого импульса (до 100 мс.). В итоге на вещество комплексно воздействует высоковольтный короткоимпульсный электрогидравлический разряд, сочетающий в себе одновременное воздействие сильного механического сжатия, мощного ультразвука, жесткого рентгеновского, УФ- и ИК-излучений. Образующиеся в процессе разряда электромагнитные поля также оказывают сильное влияние, как на сам разряд, так и на процессы, протекающие в окружающей его жидкости.

При выполнении метода бензол объемом 100 мл помещают в рабочую ячейку установки, где подвергают действию 800 импульсов электрического разряда с напряжением 20 кВ.

В результате получают непрозрачный коллоидный раствор черного цвета, который не расслаивается в течение двух недель. Этот факт свидетельствует о мелкодисперсности частиц сажи. Затем эта водная суспензия выпаривается на водяной бане при температуре 80 °С. Получаемые частицы сажи имеют сферическую форму диаметром 20 нм.

В состав сажи, которую получают при неполном сгорании или термическом разложении органических веществ, входит углерод (до 99,0 мас. %), водород, кислород, сера, минеральные вещества. Кристаллическая решетка сажи более деформирована, чем решетка графита. Установлено, что сажа может состоять из нано- и микроразмерных частиц, образующих разветвленные цепочки. Наноразмерные частицы сажи имеют сферическую форму размером 20 ± 5 нм с шероховатой поверхностью. Нанодисперсия графитовой сажи имеет повышенную кислотность на уровне pH 5-6 и в ней отсутствует углерод, химически связанный с кислородом. В результате исследования наноразмерной мазутной сажи методом масс-спектрометрии (MALDI), установлен широкий ряд соединений с формулой C_n+C_{2m} , где $n > 50$, $m = 1-300$. Используя плазму, можно получать шихту из наносажи, а с помощью химической обработки можно выделить из нее углеродные нанотрубки и фуллерены.

Наноразмерная сажа играет большую роль в промышленности. Там ее используют в производстве полиэтилена (при введении в него 2-4 % наносажи сопротивление растрескиванию повышается более 20 раз), производстве резин (наносажа, введенная в резину, улучшает прочность на разрыв, относительное удлинение при предельной нагрузке и др.); в производстве лаков, красок (их насыщенность и чернота увеличиваются с уменьшением размера частиц сажи); в электротехнике для экранов электромагнитного излучения (ведение наносажи в полимерные матрицы приводит к увеличению поглощающей способности экранов); в биотехнологии для создания электропроводящих биоконструкций, применяемых в биотопливных элементах, в том числе и потенциально имплантируемых в организм человека; в производстве смазок (введение в смазку наносажи снижает коэффициент трения изделий) и т.д. А графитированная наносажа применяется в физико-химических исследованиях поверхностных явлений, адсорбции, хроматографии, электрохимии.

Анализ и графическое представление экспериментальных данных с помощью пакетов Excel, Statistica 10, OriginPro

Студент: гр. 10401118 Гладинов А.Д., гр. 10405118 Семенюк А.И.,
гр. 10405118 Салтыков Н.И.

Научный руководитель – Мельниченко В.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

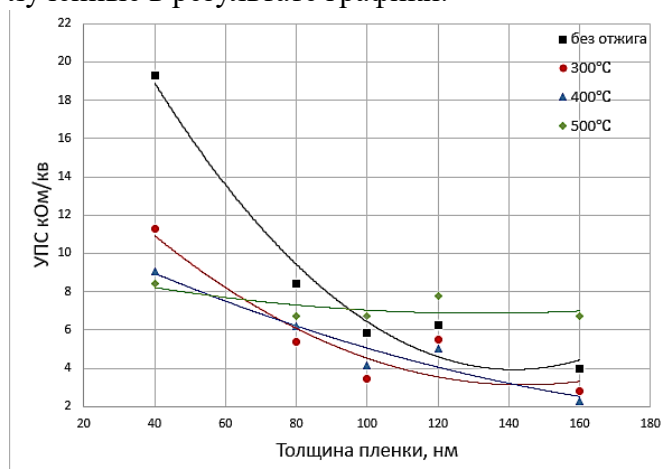
Важной частью проведения и анализа результатов экспериментов является статистическая обработка полученных данных и их графическое представление. Одним из самых распространенных приемов является аппроксимация. Рассмотрим методику обработки экспериментальных данных с помощью пакетов Excel, Statistica 10, OriginPro. В качестве анализируемых данных выбран результат ионно-лучевого распыления мишени, следующего химического состава, в мас. %: Co – 19,1, Cr – 6,0, La – 7,9 и Si – 67,0 [1]. Введение La позволило снизить температуру плавления сплава системы Co-Cr-Si и тем самым предотвратило растрескивание заготовок мишеней при их изготовлении методом литья.

Толщина нанесенных на ситалловые подложки при распылении мишени резистивных пленок составляла 40, 80, 100, 120 и 160 нм. В результате отжига в интервале температур 300-500 °С, получены следующие данные по величине удельного поверхностного сопротивления (УПС) пленок (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по величине удельного поверхностного сопротивления пленок

| Температура отжига T_0 , °С | Толщина пленки, нм | | | | |
|-------------------------------|--------------------|------|------|------|------|
| | 40 | 80 | 100 | 120 | 160 |
| без отжига | 19,3 | 8,43 | 5,83 | 6,27 | 3,95 |
| 300 | 11,3 | 5,35 | 3,44 | 5,5 | 2,8 |
| 400 | 9,07 | 6,2 | 4,17 | 5,05 | 2,3 |
| 500 | 8,44 | 6,75 | 6,72 | 7,8 | 6,73 |

Для анализа данных во всех трех программах была выбрана аппроксимация с полиномиальной подгонкой второй степени. Рассмотрим выполнение ее в каждой из программ и полученные в результате графики.



В пакете Excel строим точечную диаграмму по полученным экспериментальным данным. Для этого заносим наши данные в рабочую область программы и на панели Вставка → Диаграммы выбираем Точечная. Для выполнения аппроксимации воспользуемся функцией Линия тренда. Для этого наводим курсор на график и выбираем «+». Далее Линия тренда → Дополнительные параметры. В появившемся окне Формат линии тренда – выбираем Полиномиальная

Рисунок

6

и задаем степень 2.

В том же окне дополнительно выбираем *Показывать уравнение на диаграмме* и *Поместить на диаграмму величину достоверности (R)*. В результате получим следующий график, приведенный на рисунке 1.

Так же по полученным кривым получаем следующие зависимости:

$$y = 0,0015x^2 - 0,4112x + 33,016 \text{ и } R^2 = 0,9696, \text{ (без отжига);}$$

$$y = 0,0007x^2 - 0,2074x + 18,063 \text{ и } R^2 = 0,8681, \text{ (} T_0 = 300 \text{ °C);}$$

$$y = 0,0002x^2 - 0,0919x + 12,328 \text{ и } R^2 = 0,9279, \text{ (} T_0 = 400 \text{ °C);}$$

$$y = 0,0002x^2 - 0,0419x + 9,638 \text{ и } R^2 = 0,4653, \text{ (} T_0 = 500 \text{ °C).}$$

Как видим для анализа данных, полученных при отжиге при 500 °C не совсем подходит полиномиальная функция второй степени, так как имеет место малый коэффициент достоверности. Повысим для нее степени до третьей. Получаем следующее уравнение

$$y = -1E-05x^3 + 0,004x^2 - 0,38x + 18,143 \text{ и } R^2 = 0,9353.$$

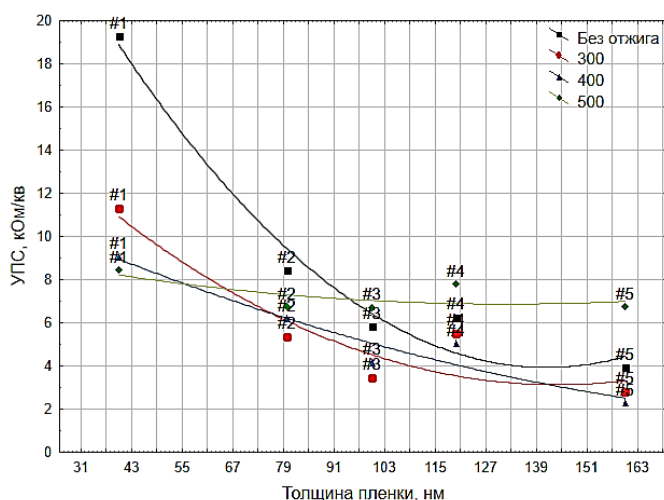


Рисунок 2

Построение графика в пакете Statistica 10. Заносим наши данные в рабочую область, после на главной панели выбираем *Графика* → *2М Диаграмма рассеивания*. В полученном окне выбираем тип графика – *простой*. В этом же окне, на вкладке *Дополнительно*, выбираем в графе *Подгонка* – *Полиномиальная*. В результате получим следующий график рисунке 2.

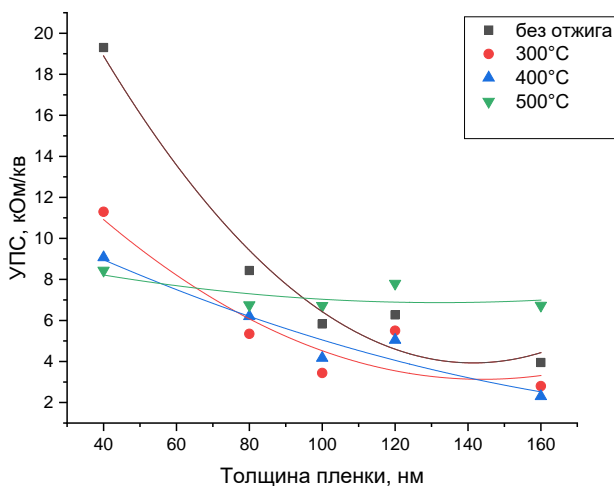


Рисунок 3

Построение графика в пакете OriginPro. Заносим наши данные в рабочую область, после на вкладке снизу выбираем *Scatter* → *Scatter*. Получаем диаграмму рассеивания точек. Для выполнения аппроксимации в верхней части рабочего окна выбираем *Analysis* → *Fitting* → *Polynomial fit*. В *Polynomial fit* задаем *Polynomial Order 2*. В результате получаем график, представленный на рисунке 3. И следующие окно с полученными значениями уравнений рисунок 4.

| Equation | $y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$ | | | |
|-----------------------|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Plot | B | C | D | E |
| Weight | No Weighting | | | |
| Intercept | $33,016 \pm 3,89384$ | $18,063 \pm 4,46098$ | $12,328 \pm 2,47479$ | $9,638 \pm 2,12143$ |
| B1 | $-0,41118 \pm 0,08377$ | $-0,20736 \pm 0,09597$ | $-0,09186 \pm 0,05324$ | $-0,04187 \pm 0,04564$ |
| B2 | $0,00145 \pm 4,10338E$ | $7,1994E-4 \pm 4,70104E$ | $1,91071E-4 \pm 2,60796E$ | $1,58333E-4 \pm 2,23559E$ |
| Residual Sum of Squar | 4,52597 | 5,94041 | 1,82823 | 1,34343 |
| R-Square (COD) | 0,96965 | 0,8681 | 0,92787 | 0,46534 |
| Adj. R-Square | 0,9393 | 0,7362 | 0,85574 | -0,06932 |

Рисунок 4 – Полученные значения уравнений

Построим также в пакете OriginPro зависимость изменения удельного поверхностного сопротивления от температуры отжига. Для этого заносим наши данные в рабочую область, после на вкладке снизу выбираем *Line + Symbol* → *Line + Symbol*. В результате получаем график, представленный на рисунок 5.

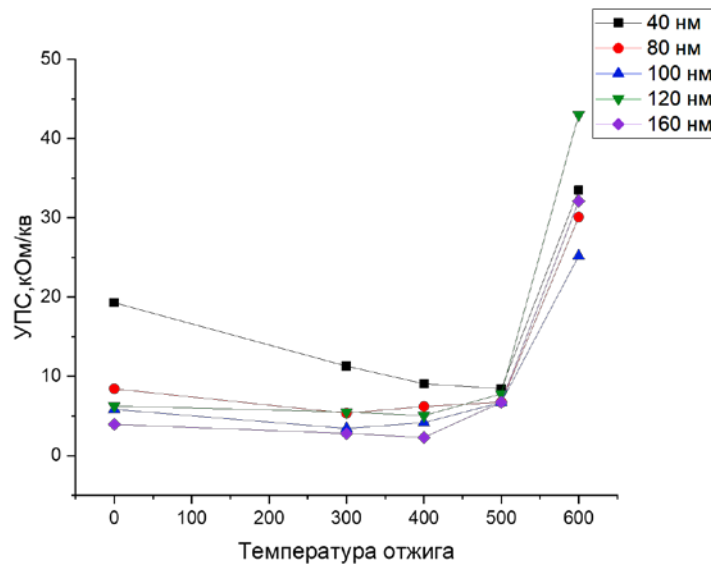


Рисунок 5 – Зависимость изменения удельного поверхностного сопротивления от температуры отжига

Заключение. Рассмотрено построение графиков и выполнение полиномиальной аппроксимации в пакетах Excel, Statistica 10, OriginPro. По общему виду рабочего окна – программы схожи, и представляют собой набор строк и столбцов. Пакет Excel позволяет выполнять полиномиальную подгонку до 6 степени включительно, Statistica 10 до 5 степени, а OriginPro до 9 степени. В силу этого, наиболее приемлемыми оболочками обработки предполагаем Statistica и Origin Pro.

Список использованных источников

1. Гладинов, А.Д. Расчет температур плавления резистивных сплавов систем Co–Cr–Si и Co–Cr–La–Si / А.Д. Гладинов; науч. рук. В.А. Зеленин// Литьё и металлургия 2020 [Электронный ресурс]: сборник. научн. работ III Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов, 18–19 ноября 2020 г/ ред.: А.П. Бежок, И.А. Иванов, – Минск: БНТУ, 2020. – С. 85-87.

Студенты группы 10405517 Мышкевич П.С., Чернявская Е.С.
 Научный руководитель – Астрейко Л.А.
 Белорусский Национальный Технический Университет
 г. Минск

Пружинная сталь – это низколегированный сплав. Обычно это среднеуглеродистые или высокоуглеродистые стали. Благодаря своей эластичности и гибкости пружинные материалы являются наиболее популярными при изготовлении пружинящих деталей необходимой формы. При получении пружинной проволоки или ленты зачастую также пользуются таким способом упрочнения как улучшение, включающее в себя закалку на пересыщенный твердый раствор и пластическую деформацию с последующим отпуском [1].

В настоящее время наиболее распространенными марками рессорно-пружинных сталей являются следующие: 65Г, 60Г, 50ХГ, 70Г2, 60С2.

Марганцевая сталь 65Г (таблица 1), по сравнению с другими сталями обладает некоторыми особенностями. Например, это получение менее шероховатой поверхности при горячей обработке, меньшая склонность к обезуглероживанию. Она соответствует требованиям к технологическим и механическим свойствам материалов для изготовления пружинных изделий. Отличается сталь 65Г тем, что имеет повышенную прочность, вязкость, сопротивляемость к изнашиванию, стойкость, а также высокое сопротивление небольшим пластическим деформациям, обладает высокой прокаливаемостью.

Таблица 1– Химический состав стали 65Г

| C, % | Mn, % | Si, % | P, % | S, % | Cu, % |
|----------|----------|-----------|--------|--------|-------|
| 0,62-0,7 | ≤0,9-1,2 | 0,17-0,37 | ≤0,035 | ≤0,035 | ≤0,2 |

Качество и экономичность в настоящее время является одним из активно развивающихся направлений. Микролегирование – один из современных способов снижения материалоемкости изделия при сохранении или улучшении свойств. Бор – один из активно применяемых элементов. Он положительно влияет на прокаливаемость и закаливаемость конструкционных сталей, измельчает структуру при ускоренном охлаждении, что происходит за счёт влияния микродобавок бора (0,0008-0,0050%) на структуру в твердом состоянии. Микродобавки бора способствуют экономить такие дефицитные легирующие элементы как хром и молибден, не понижая качество стали. Направление активно развивается в области металлургии [4].

Например, сталь 30MnB5 (таблице 2) активно используют в сельскохозяйственном машиностроении для замены таких сталей как 38ХС, 45ХН, 50Г, 50ХГА, 65Г и др. Из нее производят лопасти, гусеничные цепи, износостойкие накладки, плуги и многое другое [2].

Таблица 2– Химический состав стали 30MnB5

| C, % | Mn, % | Si, % | P, % | S, % | Cu, % | B, % |
|-----------|-----------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| 0,27-0,33 | 1,15-1,45 | ≤0,40 | ≤0,025 | ≤0,035 | ≤0,40 | 0,0008-0,0050 |

Преимущества сталей, микролегированных бором:

- высокая прочность в закаленном состоянии;

- формуемость – простота изготовления сложных конструкций и деталей в горячекатаном состоянии;
- пластичность и хорошая обрабатываемость резанием в горячекатаном состоянии;
- износостойкость – закаленная деталь прослужит дольше;
- вязкость и устойчивость к трещинам;
- хорошее сопротивление механическим нагрузкам.

Анализ химического состава стали, при условии определенной обработки, позволил установить возможность повышения её механических характеристик, что хорошо для конечного изделия. После закалки и отпуска сталь улучшает такие характеристики как ударная вязкость и твёрдость [3]. Такая термическая обработка повышает в несколько раз износостойкость выполненным из неё деталей, как показано в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства стали 65Г и 30MnB5, при различных видах термической обработки

| Вид термической обработки | Материал | $\sigma_{0,2}$, МПа | σ_B , МПа |
|--|----------|----------------------|------------------|
| Отжиг | 65Г | 468 | 769 |
| | 30MnB5 | 620 | 815 |
| Нормализация | 65Г | 614 | 830 |
| | 30MnB5 | 827 | 1150 |
| ТЦО*, три цикла | 65Г | 620 | 871 |
| | 30MnB5 | 1197 | 1695 |
| ТЦО*, шесть циклов | 65Г | 622 | 872 |
| | 30MnB5 | 1200 | 1700 |
| *ТЦО - многократное повторение нагрева и охлаждения при термической обработке. | | | |

Таким образом, определена эффективность использования процесса микролегирования при производстве пружинных сталей. Это позволит увеличить ресурс работы деталей при оптимальной цене материала в несколько раз. Установлено, что сталь 30MnB5 обладает большей пластичностью и лучше подвергается резке и холодному формоизменению по сравнению со сталью 65Г.

Список использованных источников

1. Улучшение механических свойств пружин стали 65Г изотермической закалкой. / Салыньских В. М., Щербакова Е.Е., Арефьева Л.П. – «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, 2018 г. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-mehhanicheskikh-svoystv-pruzhin-iz-stali-65g-izotermicheskoy-zakalkoy/viewer>

2. О повышении эффективности и качества термической обработки стали 30MnB5 при индукционном нагреве. / М.Е. Микитюк, А.В. Ишков, В.В. Иванайский и др. – Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, 2018 г. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41259298>

3. Выбор материала и метода повышения износостойкости элементов строительных машин. / А.П. Щербаков – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-

строительный университет», г. Санкт-Петербург, 2020 г. URL: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/1117/657>

4. Исследование процессов микролегирования стали бором с целью совершенствования технологии производства борсодержащей стали. / Потапов А.И., г. Москва, 2013 г. URL: <https://lim.bntu.by/jour/article/viewFile/1459/1455>

Студент гр. 10401117 Приходченко Е. О.

Научный руководитель – Пацеко Е. К.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Идея пластиковых дорог возникла из проблемы глобального масштаба – переработки и утилизации пластиковых отходов. С каждым годом количество пластика растет, а перерабатывается только 8-9%, потому что в пластмассе есть другие соединения, которые не поддаются переработке или становятся токсичными. Остальной пластик скапливают на свалках, сжигают и наносят вред природе.

Есть и другая проблема: асфальтированные дороги обходятся дорого, быстро разрушаются и требуют постоянного ремонта. Это особенно актуально для стран с холодным климатом, как Россия и Беларусь. Чтобы дороги были устойчивы к морозам и слякоти, нужны дополнительные слои основания дорог. Например, в России высота основания дороги 150 см, в Китае – 90 см, а в США – 62,5 см. Чтобы снизить затраты на строительство дорог, сейчас постепенно, частично или полностью асфальт меняют на пластиковое покрытие.

Сначала в Индии в 2002 году разработали и запатентовали технологию предотвращения пластикового мусора в дорожное покрытие. Отходы пластика измельчают и добавляют в нагретый битум – основной компонент асфальта – затем смесь выливают на камни. Такой метод сокращает количество необходимого битума на 8-10%.

В 2015 году филиал голландской фирмы VolkerWessels, приступил к созданию дорог из переработанного пластика. Первые проекты реализовали в 2018 году: два велотрека по 30 метров из пластиковых модулей, которые укладываются на подготовленный ровный песок и крепятся между собой замками. Полости в плитах дополнительно можно использовать для прокладки коммуникаций, например, провести обогрев дороги (рисунок 1) [1-3].

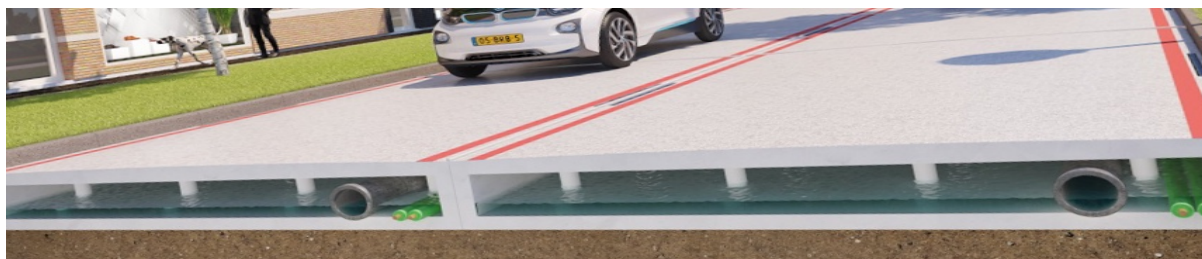


Рисунок 1 – Пример дороги из полых пластиковых плит

Сейчас в строительстве дорог используют местные материалы и отходы промышленности. Рассмотрим один из вариантов модификатора дорожного покрытия – активный резиновый порошок с микро- и наномозаичной структурой (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модификатор – активный резиновый порошок с микро- и наномозаичной структурой

Использованные автомобильные покрышки измельчают и перерабатывают методом, разработанным в Институте химической физики им. Н.Н.Семенова РАН, а затем добавляют в битум (рисунок 3).

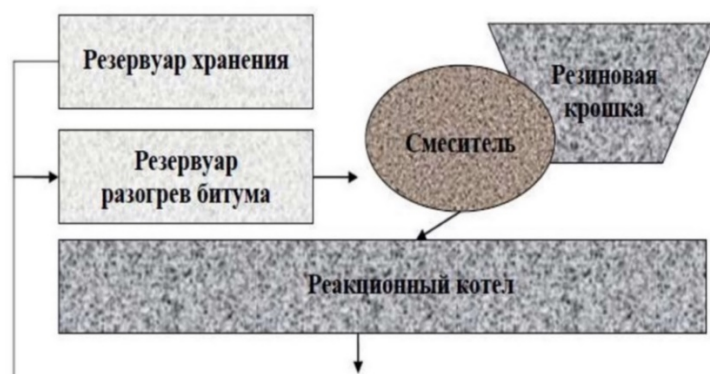


Рисунок 3 – Технология производства асфальта с резиновой добавкой

Также в качестве модификаторов дорожного покрытия используют:

- Фибробетон – полиакрилонитрильную и углеродную фибру, измельченную для микро-дисперсного армирования цементной матрицы бетона;
- Стабилизацию грунтов – технологию, основанную на ускорении процесса затвердения грунта за счет добавления в него специальных катализаторов;
- Полимерную пропитку асфальтобетонного покрытия, которая быстро высыхает и уменьшает водонасыщение и пористость.

Все эти модификаторы добавляют новые качественные свойства дорожному покрытию и усиливают преимущества.

Преимущества пластиковых дорог:

- Продолжительный срок эксплуатации. В то время как эксплуатация обычной асфальтовой дороги – от 4 до 8 лет в зависимости от категории и интенсивности движения;
- Снижение частоты ремонтных работ на 30-50%;
- Повышенная прочность, можно использовать при температурах от - 40 до + 80 °С;
- Водостойкость повышается до 50%;
- Устойчивость к растяжению выше на 20-40%;

- Минимальное образование трещин за счет пластичности материала;
- Стойкость к соли, кислотам, щелочам, бензинам и маслам;
- Вероятность образования колеи снижается в 2 раза;
- Хорошее сцепление с колесами автомобиля.

Для крупных городов – отдельные преимущества:

- Снижение расходов на содержание городских дорог на 40%;
- Минимальные затраты на модернизацию производств асфальта;
- Снижение стоимости строительства автодорог на 15-20%;
- Снижение затрат на утилизацию мусора на полигонах.

Таким образом, автомобильные дороги из асфальта с использованием пластиковых бутылок и других пластиковых отходов улучшает социально-экономический статус города.

Недостатки пластиковых дорог:

- В целом пластиковое покрытие дороже обычного асфальтобетонного, но всего на 3%;
- Нет нормативной базы для внедрения нового вида дорог;
- Возможность распада элементов пластика на микропластик и дальнейшее попадание в почву и водоемы [4-5].

Сейчас проектные организации и строители постепенно внедряют новые технологии и делают тестовые дороги. Притом, что модернизация заводов под новое производство не требует больших расходов, нужно учитывать, что для приготовления асфальтовой смеси нужно огромное количество полимерных отходов.

Поэтому запустить инновационную технологию без внедрения массовой разделительной системы сбора и утилизации отходов не получится. Но это направление настолько актуально и перспективно, что его обязательно будут развивать и поддерживать во всем мире.

Список использованной источников

1. Ярлыкова А. Пластиковые дороги: как их строят в мире и появится ли в Украине асфальт из вторсырья: [Электронный ресурс] / Рубрика. – Режим доступа: <https://rubryka.com/ru/article/plastic-roads/> – Дата доступа: 04.04.2021.

2. Солнечные батареи, пластик и никакого шума: какими будут дороги будущего [Электронный ресурс] / Стартапы, бизнес технологии. – Режим доступа: <https://vc.ru/future/64358-solnechnye-batarei-plastik-i-nikakogo-shuma-kakimi-budut-dorogi-budushchego> – Дата доступа: 04.04.2021.

3. Асфальт из пластиковых бутылок: дороги будущего [Электронный ресурс] / Лабораторное оборудование для дорожного строительства InfraTest. – Режим доступа: <https://www.infratest.ru/stati/411-asfalt-iz-plastikovykh-butylk-dorogi-budushchego> – Дата доступа: 04.04.2021.

4. Исследование технологии строительства автомобильной дороги с использованием местных материалов и отходов промышленности в Республике Казахстан [Электронный ресурс] / Ppt-online – Режим доступа: <https://ppt-online.org/486408> – Дата доступа: 14.04.2021.

5. Медведев, В. С. Дорожное покрытие из пластика / В.С. Медведев [и др.] // Проблемы науки. – 2019. – №4(42) – С.6–8

Способы оцифровки диаграмм состояния

Студент гр. 10405118 Литвин Д.В.
 Научный руководитель – Мельниченко В. В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В современном мире цифровые источники информации становятся более популярными и востребованными, чем классические физические источники. Отсюда появляется проблема: как перенести информацию из бумажного вида в цифровой. Как восстановить данные с минимальной потерей точности результатов «Оцифровка» – решение данной проблемы.

Оцифровка – процесс преобразования информации физического носителя в цифровой вид с использованием современных специальных технических средств.

Перенести данные можно вручную с помощью графических редакторов или при помощи таких специальных программ, как *GetDataGraphDigitizer2.26* или *Wolfram Mathematica*. Целью нашей работы являлась оцифровка данных термокинетического процесса.

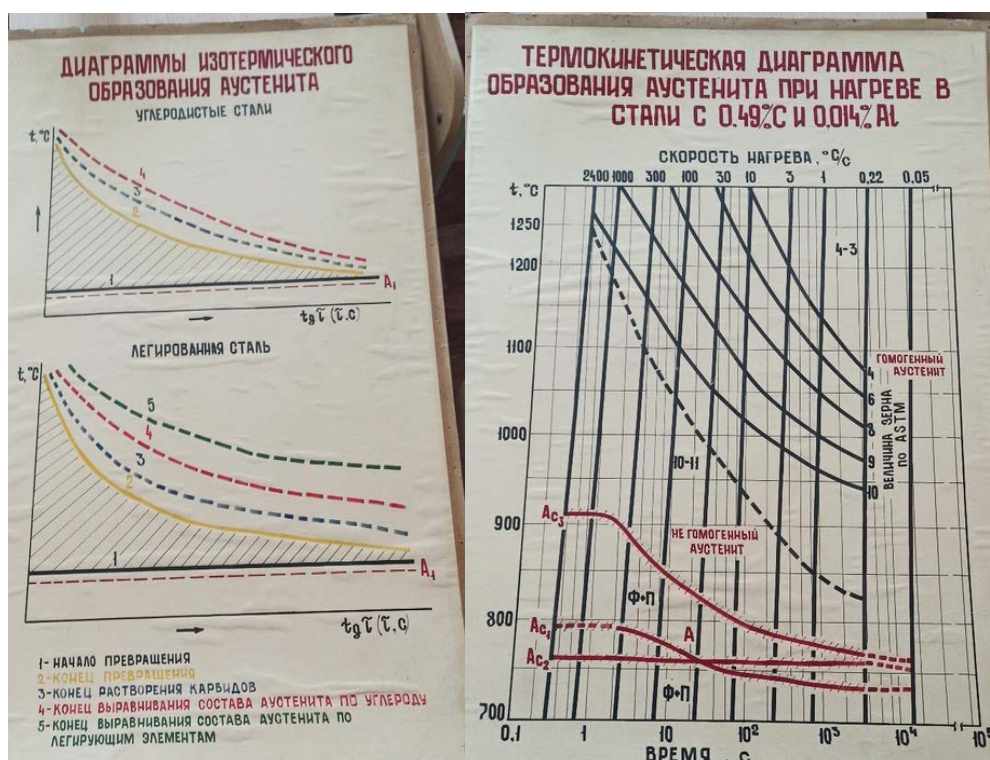


Рисунок 1 – Исходное изображение

Оцифровка графика. Для оцифровки графика в данной работе будет использована программа *GetData Graph Digitizer* версии 2.26.

Для получения цифровой копии графика данные необходимо экспортировать путем сохранения в файл формата *.xlsx* или сохранением в буфер обмена. Экспорт можно выполнить при помощи «Файл» – «Экспорт данных». В появившемся окне можно выбрать формат и имя файла.

В полученном файле мы имеем два столбика данных с координатами $A(x)$, $B(y)$ на основе которых строим график. В данном случае использовалась точечная диаграмма. При помощи внутреннего редактора MS Excel настраиваем стиль графика, подписи и название.

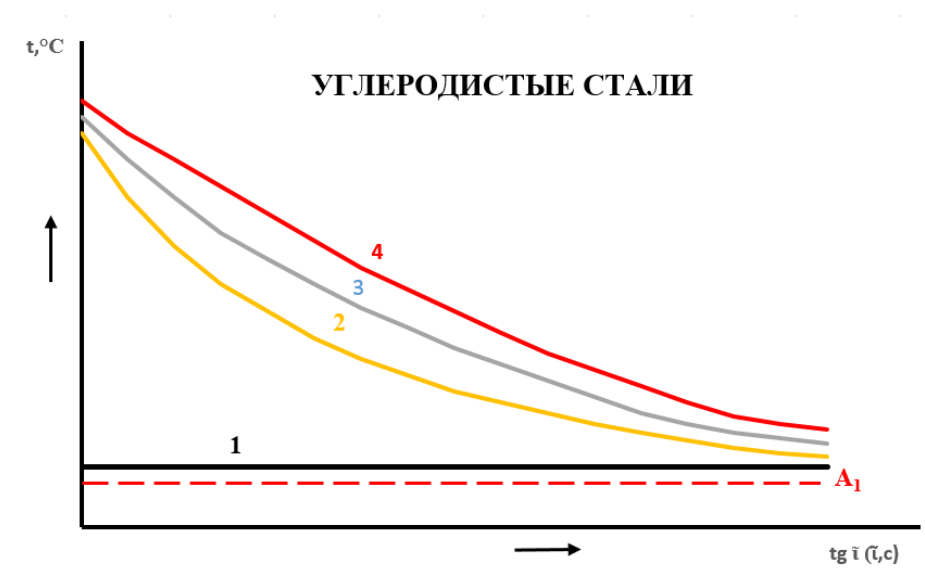


Рисунок 2 – Диаграмма изотермического образования аустенита в углеродистых сталях

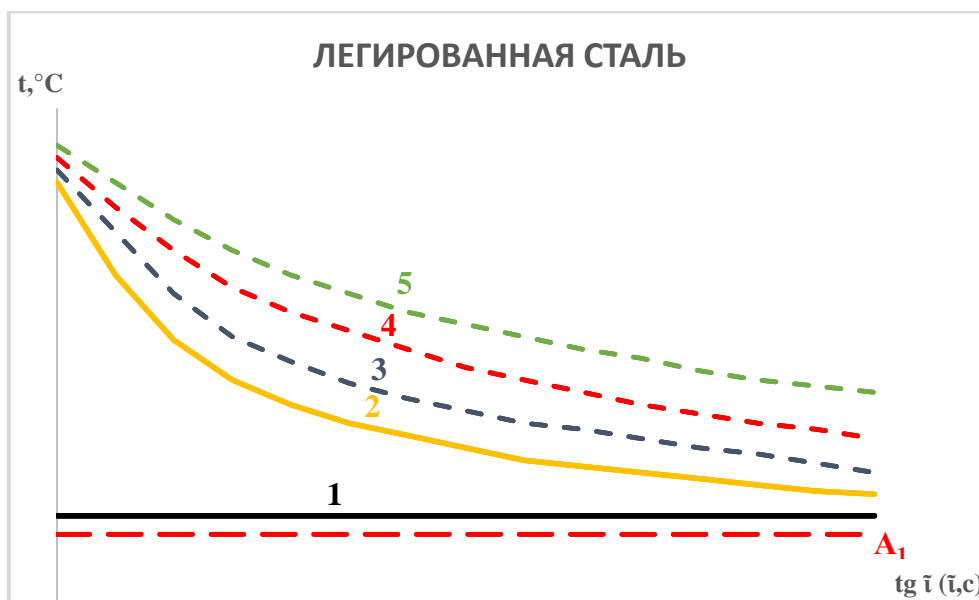


Рисунок 3 – Диаграмма изотермического образования аустенита в легированных сталях

На рисунках 2 и 3 показаны результаты оцифровки графиков, где:

- 1) Начало превращения
- 2) Конец превращения
- 3) Конец растворения карбидов
- 4) Конец выравнивания состава аустенита по углероду
- 5) Конец выравнивания состава аустенита по легирующим элементам.

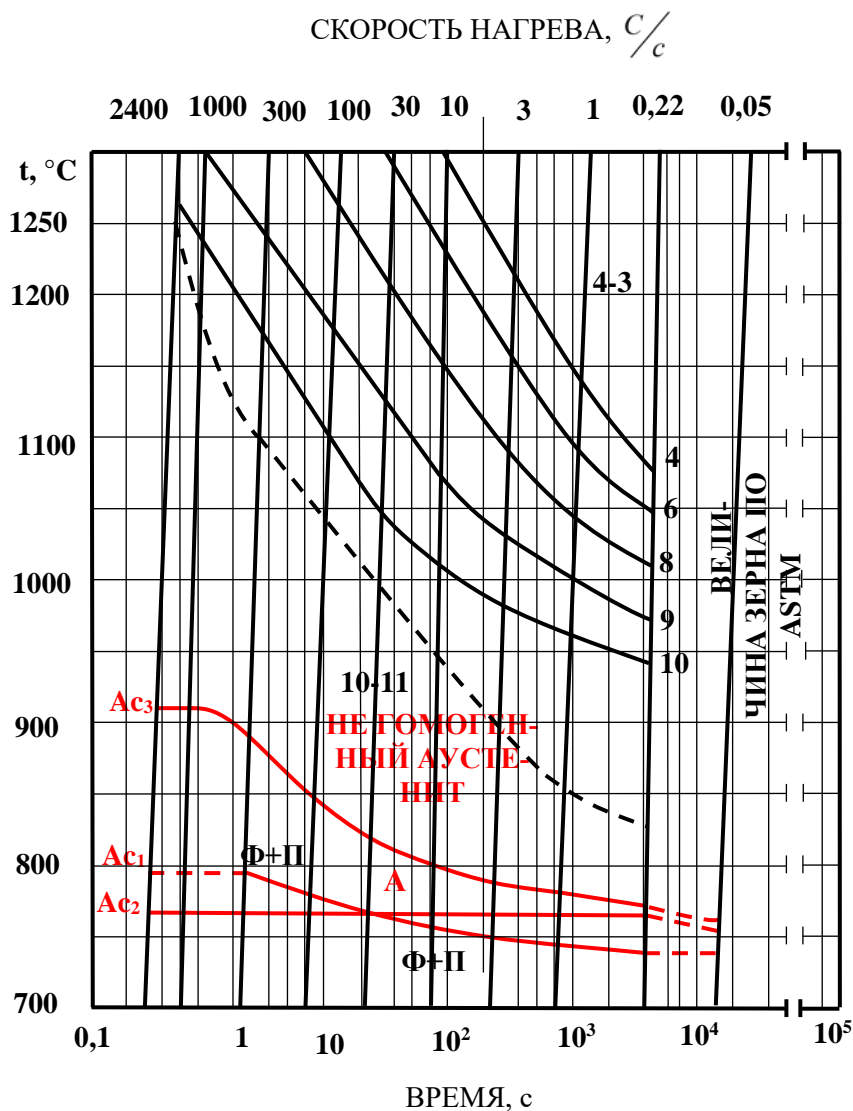


Рисунок 7 – Термокинетическая диаграмма образования аустенита при нагреве

На рисунке 4 изображены результаты оцифровки термокинетической диаграммы образования аустенита при нагреве в стали с 0,49% C и 0,014% Al. *GetData Graph Digitizer* наглядно продемонстрировал свои возможности:

- 1) Высокая точность результатов;
- 2) Простота в использовании;
- 3) Возможность оцифровки как ручной, так и автоматической.

Используемая в данной работе специальная программа показала, что возможно получить цифровую копию графика с минимальной потерей информации. Полученные данные можно использовать в учебных целях.

Способы оцифровки диаграмм изотермического распада переохлажденного аустенита

Студенты гр. 10405118 Кулаковская Я.С., Матюков И. М.
Научный руководитель – Мельниченко В. В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время в мире проблема переноса документов с традиционных носителей в электронный вид становится всё более и более актуальной. Для обработки результатов измерений или получения данных зачастую приходится сталкиваться с необходимостью в использовании графиков из различных справочников, учебных пособий и другой научно-технической литературы. Часто исходные данные, а также промежуточные значения, которые использовались при построении кривых, представляются в виде графиков. Отсюда встает вопрос о получении координат, по которым построены кривые.

Оцифровка документа – процесс перевода документов из традиционной (бумажной) формы в электронный (цифровой) вид с помощью специальных технических средств.

Для этих целей созданы специальные программы, одна из которых *GetDataGraphDigitizer*.

GetDataGraphDigitizer2.26 – программа, которая позволяет проводить оцифровку графических зависимостей и диаграмм, а также экспорт оцифрованных данных в текстовые форматы: TXT, XLS (MS Excel), XML, DXF (AutoCAD) и EPS (PostScript).

Большой объем графических данных, выполненных при исследовании сталей различных типов, представлен в виде картинок в монографиях по материаловедению. Рассмотрим в качестве примера графики, взятые из справочника Попова А.А., Поповой Л.Е. «Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита» и оцифруем их.

Для оцифровки координат в данной работе была использована программа *GetDataGraphDigitizer* версии 2.26

Оцифровка графика

Для начала работы по оцифровке нужно сфотографировать исходное изображение.

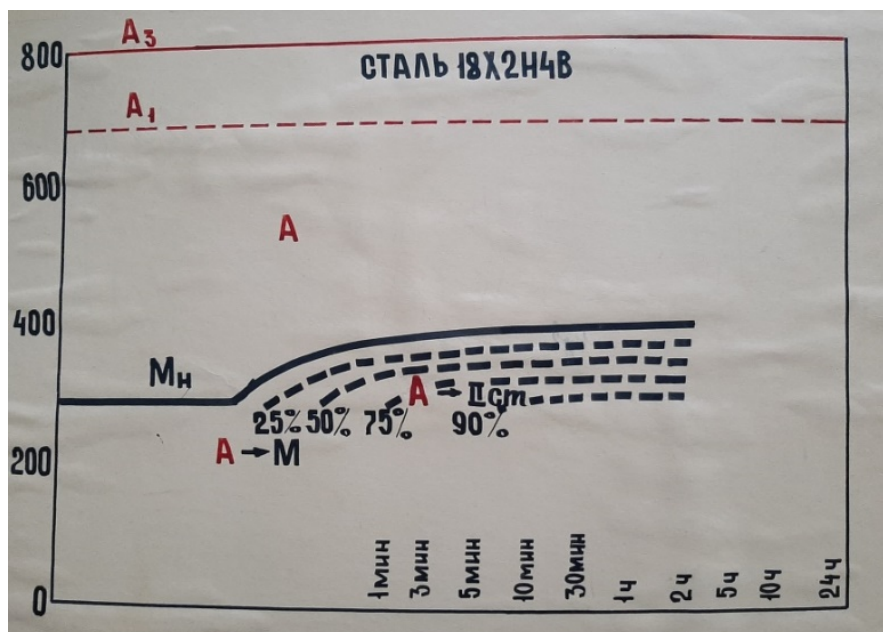


Рисунок 1 – Исходное изображение графика

После запуска программы открываем наше изображение «Файл – Открыть изображение». После открытия перед нами предстанет рабочее пространство.

Затем мы устанавливаем систему координат. Для этого переходим «Команды – Установить систему координат». В появившемся окне вводим значение начала координат (X_{\min}). Точно так же устанавливаем X_{\max} , Y_{\min} и Y_{\max} . После установки данных точек отобразятся линии осей и откроется окно «Параметры – Системы координат» в котором можно переназначить значения опорных точек или установить логарифмический масштаб оси.

Далее идет процесс установки точек. Для этого перейдем в режим установки точек. В данном режиме ЛКМ устанавливаем новую точку. Для отображения таблицы координат выбранных точек необходимо перейти «Вид – Окно информации». Для удаления точек используется ластик точек данных «Команды – Ластик точек данных».

Если на графике присутствует больше чем 1 кривая или семейство кривых, то после установки точек на первой нужно добавить новую линию «Команды – Добавить линию». После чего можно будет выставить точки на второй кривой и т.д.

Построение графика по полученным данным

Для дальнейшей обработки полученных данных необходимо экспортировать координаты точек в .txt файл или в MS Excel. В программе *GetDataGraphDigitizer* экспорт выполняется вызовом команды «Файл – Экспорт данных». После нажатия в открывшемся окне предлагается задать путь сохранения и имя файла.

В финале мы выполняем аппроксимацию полученных данных и строим график, где отображаем на нем исходные точки. При помощи стандартного синтаксиса настраиваем стиль графика, добавляем подписи к осям и его название.

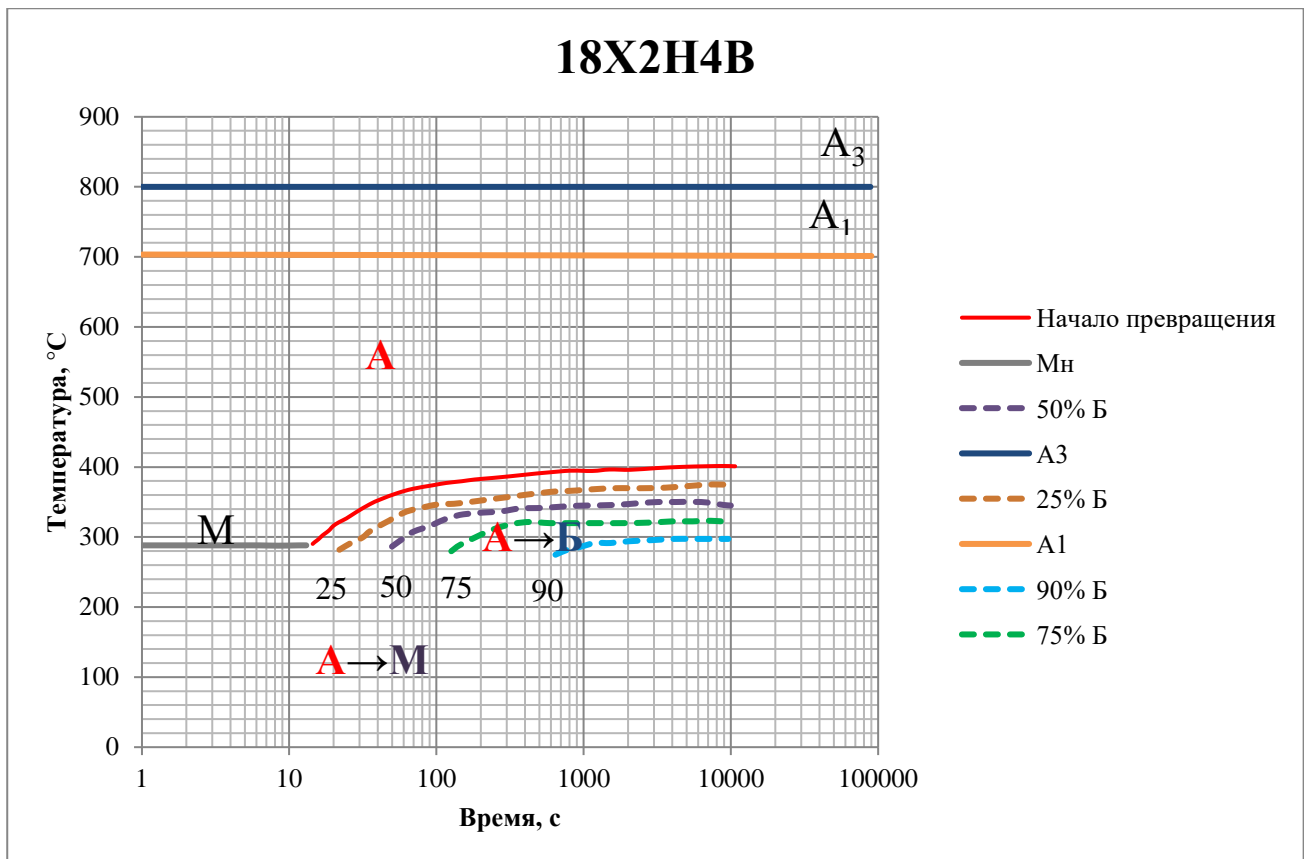


Рисунок 2 – Итоговый график

Заключение

В итоге мы изучили возможности применения *GetDataGraphDigitizer* для оцифровки кривых и графиков. В процессе работы были оцифрованы диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита сталей 30X13, 18X2H4B, У9, 40X, эвтектоидной и доэвтектоидной сталей.

После оцифровки эти данные могут быть использованы студентами и преподавателями в учебном процессе, а также для дальнейших научных исследований.

Способ оцифровки диаграмм состояния сплавов систем Cu-Be, Cu-Sn и Al-Mg

Студент гр. 10405118 Салтыков Н. И.
 Научный руководитель – Мельниченко В.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

В 21 веке возникает необходимость в оцифровке данных из учебных пособий и другой научной литературы, представленных в виде различного рода диаграмм, графиков и кривых, созданных в то время, когда еще не существовало цифровых носителей, или реальные данные, по которым созданы графики, были утеряны.

Для решения такого рода задач существуют специальные программы, такие как GetDataGraphDigitizer, FindGraph, ChartReader и др.

В данной работе была использована программа GetDataGraphDigitizer, которая позволяет оцифровывать графики и диаграммы.

Достоинства GetDataGraphDigitizer:

- достаточно удобный режим ручной оцифровки;
- присутствует опция, позволяющая изменять порядок точек в линии;
- программа поддерживает графические форматы TIFF, JPEG, BMP и PCX;
- при необходимости можно скопировать оцифрованные данные в буфер обмена;
- экспорт в текстовые форматы: TXT (текстовый файл), XLS (MS Excel), XML, DXF (AutoCAD) и EPS (PostScript).

Недостатки программы:

- прямоугольная область оцифровки, реализованная в программе, приводит к захвату соседних кривых при выборе этого инструмента;
- интерфейс предназначен для ручного режима работы;
- достаточно большая погрешность вычислительных данных.

Для оцифровки были взяты диаграммы состояния сплавов систем Cu-Be, Cu-Sn и Al-Mg из учебной литературы.

Пошаговая оцифровка изображения

1) Открыть файл с изображением (Файл=>Открыть изображение).

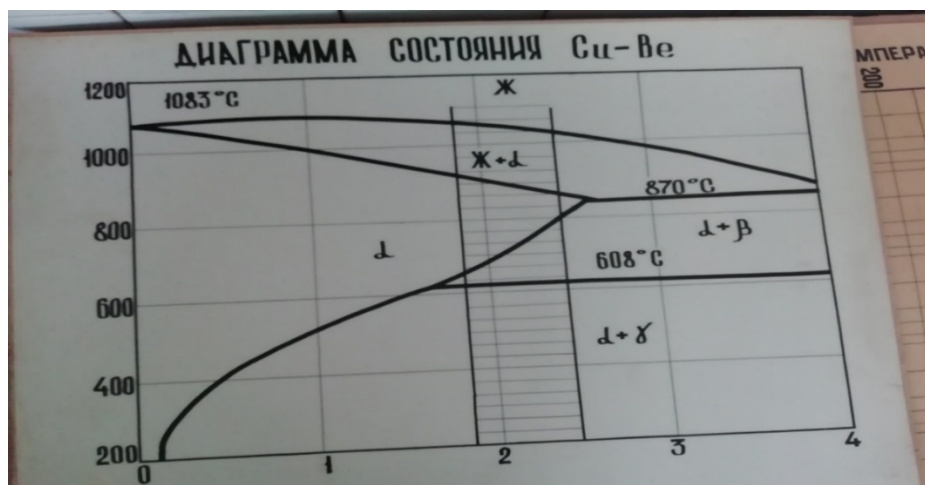


Рисунок 8 – Исходное изображение

2) Установка масштаба

Чтобы установить масштаб, т.е. установить четыре точки X_{\min} , X_{\max} , Y_{\min} и Y_{\max} и приписать им логические координаты ("значение X_{\min} " и т.д.), используется меню Команды=>Выбрать систему координат или контекстное меню.

3) Оцифровка графика.

Автоматически оцифровать можно используя один из двух методов.

1. Команды=>Авто трассировка линий. Выберите начальную точку, для этого нажмите левую кнопку мышки, или правую кнопку, чтобы дополнительно выбрать направления для трассировки. То же можно сделать с помощью контекстного меню (пункт "Авто трассировка линии").

2. Команды=>Оцифровка области. Сначала выберите тип сетки, расстояние между линиями сетки и другие параметры. Затем при нажатой левой кнопке мышки выберите область для оцифровки (в случае прямоугольной области держите нажатым Shift, чтобы поворачивать сетку). При нажатом Ctrl сетку можно передвигать.

Оцифровать вручную, используя режим установки точек (Команды=>Режим установки точек). В этом режиме можно передвигать уже установленные точки, для чего сначала следует выбрать точку с помощью правой кнопки мышки, а затем переставить в новое положение левой кнопкой. Для удаления точек удобно использовать ластик (Команды=>Ластик точек данных).

4) Экспорт данных

Копировать полученные данные можно в буфер обмена (Файл=>Копировать данные в буфер или Ctrl+Alt+C) или экспортировать в один из форматов: TXT, XLS, XML, DXF или EPS (Файл=>Экспорт данных). Возможно также копировать данные прямо из окна Информация (Ctrl+C или Ctrl+INS).

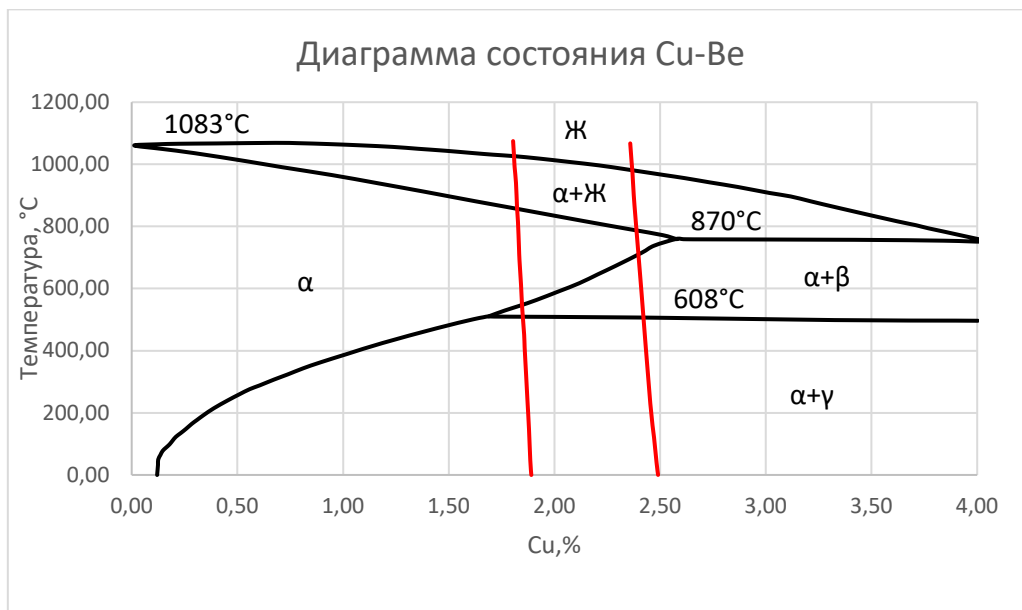


Рисунок 2 – Оцифрованный график

Заключение

В результате проведенной работы были оцифрованы диаграммы состояния сплавов систем Cu-Be, Cu-Sn и Al-Mg, что позволит в будущем использовать полученные данные для дальнейшей работы с ними и их изучения студентами.

Влияние ионного и газового азотирования на особенности структуры, твёрдость и хрупкость поверхностных слоев конструкционных сталей 40X и 40XMФА

Магистрант Курилович М.Н.
Научный руководитель – Ситкевич М.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В работе представлены результаты исследований структуры и свойств поверхностных слоев сталей 40X и 40XMФА после ионного и газового азотирования в условиях ОАО «БЕ-ЛАЗ». На данном предприятии преимущественно используют два режима азотирования: ионное при температуре 540°C в течении 27 часов и газовое азотирование при 520 °C в течении 36 часов. Качество азотированного слоя контролируется по следующим параметрам: твердости диффузионного слоя с поверхности и на глубине 0,2 мм, толщине зон азотированного слоя.

Измерение толщины зоны ϵ и γ' фаз показало, что при газовом азотировании толщина зоны данных фаз в азотированном слое больше, чем при ионном насыщении и составляет: при газовом азотировании для стали 40X – 16 мкм, 40XMФА – 18 мкм; при ионном для стали 40X – 15 мкм, 40XMФА – 13 мкм (рисунок 1).

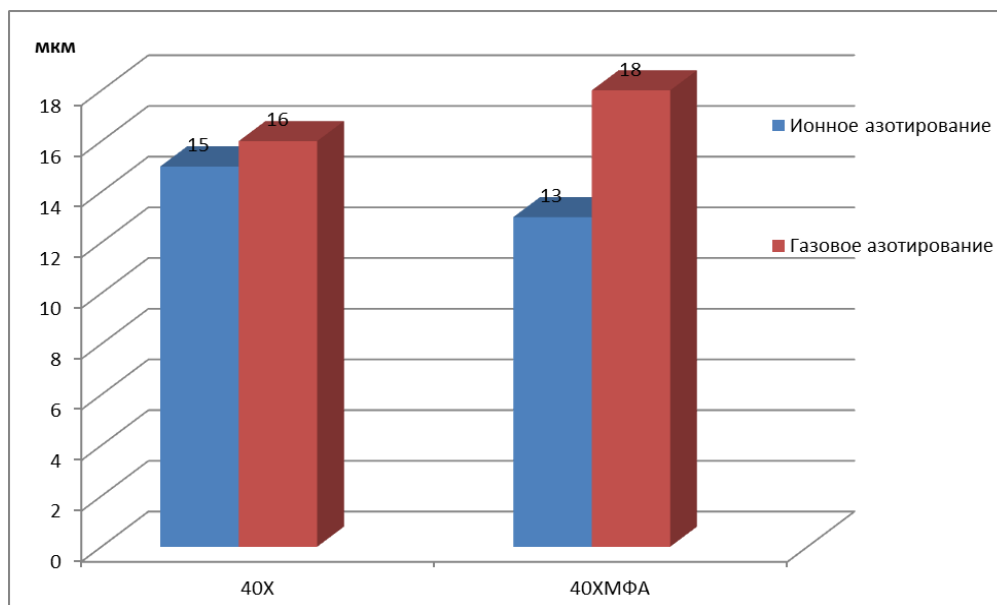


Рисунок 1 – Толщина зоны ϵ и γ' фаз после газового и ионного азотирования

Исследования поверхностной твердости (рисунок 2) показало, что при ионном азотировании твердость азотированного слоя выше на 25-50 HV по сравнению с газовым азотированием и составляет: для ионного азотирования для стали 40X – 660 HV, 40XMФА – 680 HV.

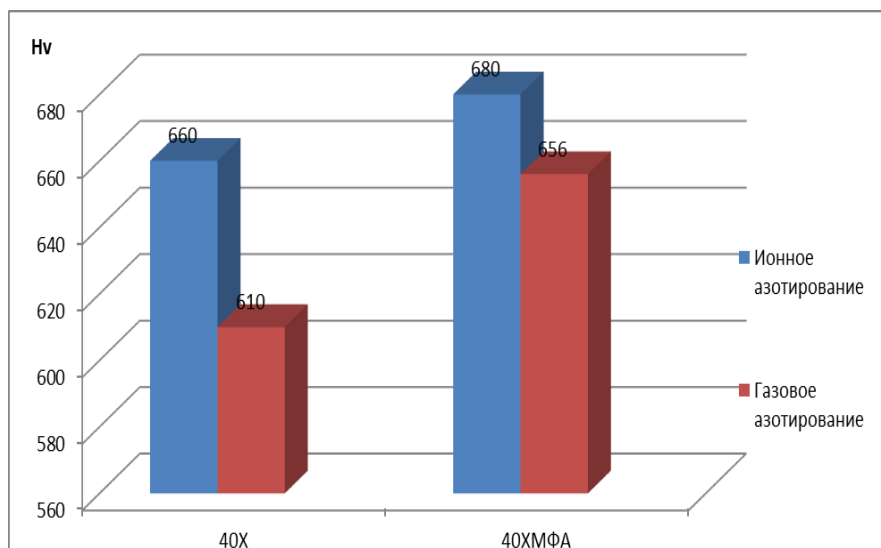


Рисунок 2 – Поверхностная твердость (по Виккерсу) азотированных слоев после газового и ионного азотирования

Исследование характера распределения микротвердости по толщине азотированного слоя показало, что твердость плавно снижается по мере удаления от поверхности вглубь азотированного слоя как для, стали 40X, так и 40XMФА. При этом толщина упрочненного слоя (расстояние от поверхности до твердости 400HV) составляет: для стали 40X – 0,3-0,4 мм, 40XMФА – 0,3-0,35 мм в зависимости от вида азотирования.

Определение хрупкости азотированного слоя производится по виду отпечатка алмазной пирамиды, полученной при измерении твердости на приборе Виккерса. На рисунке 3 представлена шкала хрупкости диффузионного слоя в зависимости от характера отпечатка пирамиды прибора Виккерса [1].





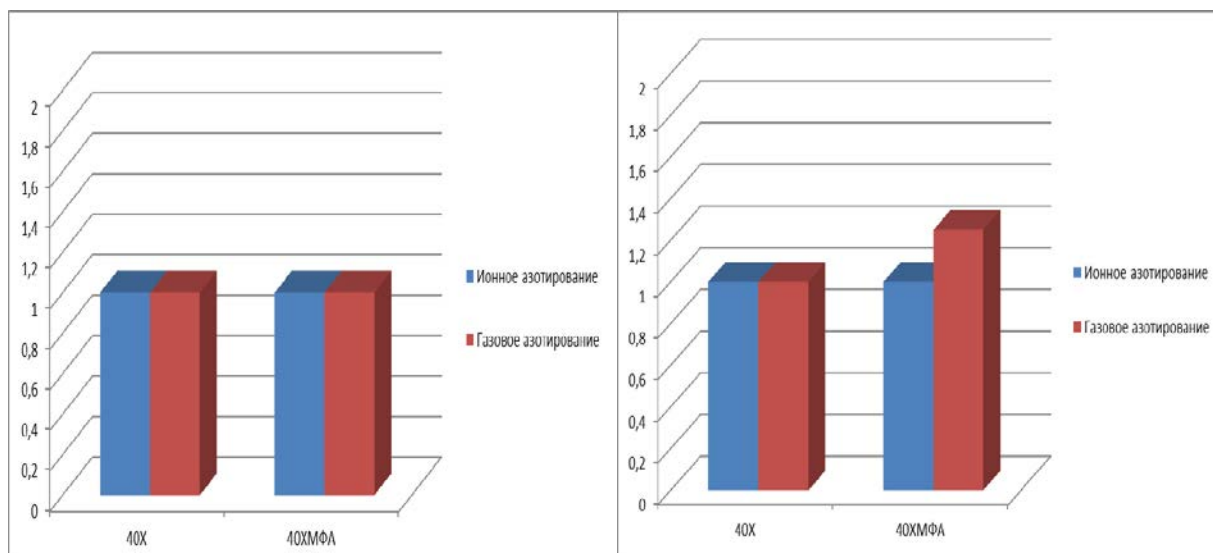
| Группа | Вид отпечатков по Виккерсу | Определение | Примечание |
|--------|---|----------------|---|
| I |  | Нехрупкие | Во всех случаях допустимы |
| II |  | Слегка хрупкие | |
| III |  | Хрупкие | Недопустимы на шлифованных поверхностях |
| IV |  | Очень хрупкие | Во всех случаях недопустимы |

Рисунок 3 – Шкала хрупкости азотированного слоя

Установление группы хрупкости азотированного слоя проводились при нагрузке 10 и 30 кг (рисунок 4). При нагрузке 10 кг (рисунок 4а), азотированные слои на сталях 40X, 40XMФА имеют группу хрупкости 1 как при газовом, так при ионном азотировании, то есть азотированные слои являются не хрупкими.



а)

б)

Рисунок 4 – Хрупкость азотированного слоя при нагрузке 10кг (а) и 30кг (б)

Увеличение нагрузки при определении группы хрупкости до 30 кг (рисунок 4б) позволяет отметить, что азотированный слой на стали 40X имеет группу хрупкости 1 как при ионном, так и при газовом азотировании. В то же время исследования показывают, что при нагрузке 30 кг на стали 40ХМФА при газовом азотировании слой более хрупкий, чем при ионном азотировании.

Список используемых источников

1. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов/ С. А. Герасимов, Л. И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 518 с.

Охрана труда и промышленная безопасность

Безопасное использование и обслуживание электрооборудования в различных условиях внешней среды

Студент гр. 10603217 **Данилюк О.**

Научный руководитель – Абметко О.В.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

Многие электрические машины и аппараты эксплуатируют в неблагоприятных условиях окружающей среды. В обеспечении безопасной и надежной работы электрооборудования не последнюю роль играет правильный подбор электротехнических изделий в зависимости от места установки, климатических и других условий. Исполнение такого электрооборудования имеет здесь большое значение. Электрооборудование может быть классифицировано по способам защиты от поражения электрическим током. Использование защитных мер предосторожности в нескольких классах электрооборудования приведено в ГОСТ ИЕС 61140. В связи с этим электротехнический персонал, выполняющий монтаж или ремонт оборудования, обязан четко знать маркировку и степени защиты электротехнических изделий.

Маркировка степени защиты электрооборудования, выполняется на корпусе и обозначается латинскими буквами *IP* (буквы кода «международная защита»), двузначным числом, первая цифра которого обозначает степень защиты токопроводящих частей от механических предметов, вторая – стойкость к воздействию влаги (проникновению воды), а также дополнительными (*A, B, C, D*) и вспомогательными (*H, M, S, W*) буквами.

При отсутствии необходимости нормирования характеристической цифрой ее заменяют на *X* или, если опущены две цифры, – *XX*. Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям. Применяется только когда действительная защита от доступа к опасным частям выше защиты, указанной первой характеристической цифрой. В таких случаях вместо первой характеристической цифры может стоять *X*. Вспомогательная буква обозначает дополнительные процедуры, которые выполнялись при испытаниях оборудования на определение соответствия степени защиты.

Условные обозначения степени защиты представлены в таблицах 1, 2, 3.

ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» устанавливает пять классов электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током: 0; 0I; I; II; III (таблица 1).

Таблица 1 – Классы электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током

| Класса защиты | Характеристика изделия |
|---------------|--|
| 0 | Изделия, имеющие рабочую изоляцию, обеспечивающую их нормальную работу при номинальных напряжениях и допустимых отклонениях напряжения, и не имеющие элементов для заземления. |
| 0I | Изделия класса 0, имеющие элемент для заземления корпуса изделия отдельным проводом. |
| I | Изделия, имеющие рабочую изоляцию, провод для присоединения к источнику питания с заземляющей жилой и вилку с заземляющим контактом. |
| II | Изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления |

| | |
|-----|---|
| III | Изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении (не более 42 В), не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении |
|-----|---|

Изделия, получающие питание от внешнего источника, могут быть отнесены к классу III только в том случае, если они присоединены непосредственно к источнику питания, преобразующему более высокое напряжение, что осуществляется посредством разделительного трансформатора или преобразователя с отдельными обмотками.

При использовании в качестве источника питания разделительного трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не должны быть электрически связаны и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

Таблица 2 – Защита токопроводящих частей от механических предметов

| Степень защиты | Критерий | Допустимое применение для оборудования | Значение для защиты людей |
|----------------|--|---|---|
| 0 | Защита от механических предметов отсутствует | В корпусах оборудования | Нет защиты |
| 1 | Защита от твердых частиц размером от 50 мм | В закрытых помещениях с правом доступа только электротехнического персонала | Защита от касания тыльной стороной руки |
| 2 | Защита от твердых частиц размером от 12 мм | В обычных помещениях | Защита от касания пальцем |
| 3 | Защита от твердых частиц размером от 2,5 мм | В обычных (нормальных) помещениях | Защита от касания инструментом |
| 4 | Защита от твердых частиц размером от 1 мм | В обычных (нормальных) помещениях | Защита от касания проволокой |
| 5 | Частичная защита от пыли | В изредка пыльных помещениях | Защита от касания проволокой |
| 6 | Полная защита от пыли | В постоянно пыльных (технологическая пыль) помещениях | Защита от касания проволокой |

Таблица 3 – Стойкость к воздействию влаги (проникновению воды)

| Степень защиты | Критерий | Допустимое применение |
|----------------|--|---|
| 0 | Защиты нет | Сухие помещения (относительная влажность не более 60 %) |
| 1 | Защита от вертикально падающих капель | Сухие помещения (относительная влажность не более 60 %) |
| 2 | Защита от капель, падающих под углом 15° | Во влажных помещениях |
| 3 | Защита от наклонно падающих брызг под углом до 60° | В местах, подвергающихся дождю, но не струям снизу |
| 4 | Защита от брызг | В местах, подвергающихся дождю и струям снизу |
| 5 | Защита от водной струи | В местах, подвергающихся мойке струями средней мощности |

| | | |
|---|--|--|
| 6 | Защита от мощных струй | В местах, подвергающихся мойке мощными струями |
| 7 | Защита от временного погружения в воду | Во временно затопляемых местах |
| 8 | Защита от продолжительного погружения в воду | В затопляемых местах |

Электротехнические изделия, выпускаемые промышленностью, предназначены для использования в определенном климатическом районе в зависимости от их исполнения. Они имеют следующее климатическое исполнение (таблица 4).

Таблица 4 – Маркировка на корпусе электротехнических изделий по климатическому исполнению

| Обозначение | Типы климатических исполнений |
|-------------|--|
| У | Умеренный климат (+40/–45 °С) |
| ХЛ | Холодный климат (+40/–60 °С) |
| УХЛ | Умеренный и холодный климат (+40/–60 °С) |
| Т | Тропический климат (+40/+1 °С); |
| М | Морской умеренно-холодный климат (+40/–40 °С) |
| О | Общеклиматическое исполнение (кроме морского) (+50/–60 °С) |
| ОМ | Общеклиматическое морское исполнение (+45/–40 °С) |
| В | Все климатическое исполнение (+50/–60 °С) |

Правильный выбор климатического исполнения и степени пылевлагозащиты металлического корпуса влияет на безаварийную работу установленного в нем электротехнического оборудования и гарантирует защиту окружающих от поражения электрическим током.

Выбор и установка оборудования во взрыво-, и пожароопасных зонах должен и учитывать степень защищенности установок. Взрывозащищенное электрооборудование подразделяется по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам. По уровням выделяют «электрооборудование повышенной надежности против взрыва», «взрывобезопасное электрооборудование» и «особовзрывобезопасное электрооборудование», которые обозначаются соответственно знаком 2, 1 и 0.

При размещении электрооборудования в помещениях, в пределах которых постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в которых они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях, выполняется исходя из классификации этих помещения по пожароопасности, приведённой в таблице 5.

Таблица 5 – Классификация пожароопасных зон

| Класс пожароопасной зоны | Характеристика пожароопасной зоны |
|--------------------------|---|
| П-I | Пространство в помещениях, в которых обращаются ГЖ (горючие жидкости) с температурой вспышки выше 61 °С |
| П-II | Пространство в помещениях, в которых имеется горючая пыль или волокна с нижним концентрационным пределом распространения пламени более 65 г/м ³ к объему воздуха |
| П-IIa | Пространство в помещениях, в которых обращаются твердые или волокнистые, не переходящие во взвешенное состояние, горючие вещества, материалы |

| | |
|-------|---|
| П-III | Пространство вне помещений, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые, в том числе и волокнистые, горючие материалы |
|-------|---|

Определение класса взрыво-, и пожароопасной зоны следует выполнять квалифицированными специалистами и учитывать особенности технологических процессов.

Студенты гр. 10801219 Лящук А.О, Попруго Д.А.
Научный руководитель – Абметко О.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Люди ежедневно подвергаются ионизирующему облучению. Радиация поступает из многих источников, включая более 60 естественных радиоактивных: материалы, обнаруженные в почве, воде и воздухе; радон, газ природного происхождения, выделяется из камней и почвы и является основным источником естественной радиации. Каждый день человек вдыхает и проглатывает радионуклиды из воздуха, пищи и воды. Люди также подвергаются естественному излучению космических лучей, особенно на большой высоте. В среднем 80% годовой дозы, которую человек получает от фонового излучения, связано с естественным земным и космическим излучением. Уровни фоновой радиации различаются из-за геологических различий. Контакт в некоторых областях может быть более чем в 200 раз выше среднемирового.

Воздействие радиации на человека также происходит из различных источников антропогенного происхождения: от производства ядерной энергии до медицинского применения радиационной диагностики или лечения.

Сегодня наиболее распространенными источниками ионизирующего излучения, созданными человеком, являются рентгеновские лучи и другое медицинское оборудование.

Человечество, как и весь живой мир в целом, ранее не испытывало воздействия высоких доз ионизирующего излучения, поэтому в процессе эволюции не сформировались специфических рецепторных структур и клетки не приспособились к его повреждающему эффекту и, как следствие, не приобрели сильных индивидуальных защитных механизмов.

Ионизирующее излучение не имеет ни цвета, ни запаха, ни вкуса; его воздействие в высоких дозах настолько значительно, что может вызвать серьезные нарушения жизнедеятельности.

Последствия высоких доз радиации, следующие:

1. Это может вызвать внутреннее кровотечение и разрыв кровеносных сосудов, которые проявляются на коже в виде красных пятен.

2. Хрусталик глаза очень чувствителен к излучению. При радиационном воздействии клетки хрусталика глаза отмирают, он становится непрозрачным, образуя катаракту, что приводит к ухудшению зрения.

3. Высокие дозы радиации также вызывают лучевую болезнь с симптомами рвоты, кровоточивости десен и, в тяжелых случаях, даже язв во рту.

4. Тошнота и рвота часто начинаются через несколько часов после воздействия. Инфекция кишечной стенки может убить несколько недель после воздействия.

5. Если женщина подвергается воздействию высоких доз радиации на ранних сроках беременности, существует вероятность повреждения мозга или умственной отсталости будущего ребенка, поскольку это влияет на центральную нервную систему ребенка.

6. Острое повреждение яичников у женщин и яичек у мужчин может сделать их бесплодными.

7. Высокая доза радиации вызывает повреждение костного мозга. В следствие чего снижается способность организма бороться с инфекциями. Наносится огромный вред белым кровяным тельцам – лейкоцитам.

8. Кратковременное воздействие высоких доз может вызвать утомляемость при анемии, заболеваниях крови, почек и печени, покраснение кожи, изменение цвета пигмента и преждевременное старение.

9. Высокая доза радиации вызывает кровотечение и, в конечном итоге, смерть жертвы. Хроническая доза (длительная доза низкого уровня):

Доза хрома – это относительно небольшая доза радиации, полученная в течение длительного периода времени. Организм лучше приспособлен к тому, чтобы переносить хроническую дозу, чем острую дозу, потому что у тела есть время для восстановления повреждений, так как небольшой процент клеток нуждается в ремонте в любой момент времени. У тела также есть время для регенерации новых клеток и замены нефункционирующих, поврежденных или мертвых клеток этими новыми и здоровыми клетками. Обычно это доза, полученная в результате профессионального облучения.

При длительном воздействии радиации, как в случае шахтеров, радиологов или людей, занимающихся исследованиями радиации или радиоактивных материалов, продолжительность жизни может сократиться пропорционально количеству полученной радиации.

Соматические эффекты радиации проявляются у облученного человека и включают изменения в клетках тела, которые не передаются будущим поколениям. Эти эффекты можно разделить на два класса в зависимости от скорости получения дозы, это: быстрые соматические эффекты; отсроченные соматические эффекты.

Быстрые соматические эффекты – это эффекты, которые возникают вскоре после острой дозы (обычно 10 рад или более для всего тела за короткий период времени). Одним из примеров быстрого эффекта является временное выпадение волос, которое происходит примерно через 3 недели после введения дозы 400 рад на кожу головы. Новые волосы могут вырасти в течение двух месяцев после приема дозы, но цвет и текстура волос могут измениться из-за радиации.

Отсроченные соматические эффекты – это эффекты, которые могут проявиться спустя годы после получения доз радиации. Отсроченные эффекты радиации повышают вероятность развития рака и катаракты. Поскольку некоторые формы рака относятся к числу наиболее вероятных отсроченных эффектов, установленные пределы доз были сформулированы с учетом этого риска.

Сюда входят рак щитовидной железы (50%), рак крови (30%) и рак других органов тела (20%).

При отсроченном воздействии у жертвы снижается жизненный тонус, и она умирает от анемии, рака крови и кровотечения. При отсроченных эффектах пациент может прожить месяцы или годы. Отсроченные эффекты радиации обычно включают катаракту глаз, лейкоз, злокачественные опухоли, сердечно-сосудистые заболевания, преждевременное старение и сокращение продолжительности жизни.

Мало того, диагностическое рентгеновское облучение беременной женщины может увеличить риск рака у ее ребенка. Радиационная чувствительность также меняется с возрастом. т.е. плод и младенцы более восприимчивы к радиационному облучению.

Хронические соматические эффекты включают изменения щитовидной железы, деформации костей, некроз костей и саркому костей. Также поражаются легкие, вызывая фиброз и рак легких. Другие соматические эффекты включают карциному, при которой происходит неконтролируемый рост раковых клеток в лейкоцитах в крови.

Генетические эффекты:

Как естественные, так и антропогенные источники излучения вызывают некоторые генетические эффекты. Генетические или наследственные эффекты радиации проявляются в будущих поколениях облученного человека из-за повреждения репродуктивных клеток. Это аномалии, которые могут возникнуть у будущих поколений жертв радиационного облучения. Они были широко изучены на растениях и животных, но риски генетических эффектов у людей сравнительно низки, чем риски соматических эффектов.

Радиация вызывает повреждение репродуктивных или половых клеток двумя способами:

- 1) Летальные мутации
- 2) Не смертельные мутации

Смертельные мутации убивают клетки, а не смертельные мутации могут вызвать рак или ненормальный рост клеток. Острые дозы радиации влияют на репродуктивные органы, поэтому полученные гаметы содержат вредные генные мутации, которые передаются нерожденным потомкам. Радиация вызывает разрушение или дезинтеграцию гамет, так что генетический механизм хромосом нарушается. Ионизирующие излучения могут вызывать аномалии в растущих клетках, так что их способность делиться и расти прекращается.

Иногда клетки могут продолжать расти, пока не станут гигантскими клетками и в конечном итоге не погибнут. Это происходит потому, что они становятся неэффективными из-за нерегулярных больших размеров. Неупорядоченные генетические эффекты могут привести к гибели эмбрионов, младенцев или могут вызвать уродства у ребенка. Исследования, проведенные над выжившими в Хиросиме и Нагасаки, показали, что даже спустя более шести десятилетий генетические эффекты радиации наблюдаются у их детей и даже у внуков.

Таким образом, воздействие ИИ на человека характеризуется следующими особенностями:

1. ИИ способно глубоко проникать в облучаемую ткань и оказывать суммарное кумулятивное действие.
2. Поражающий эффект возникает при малых количествах поглощенной энергии ИИ.
3. ИИ способно вызвать отдаленные последствия:
 - а) злокачественные опухоли,
 - б) сокращение длительности жизни,
 - в) снижение иммунитета.

Профессиональный отбор персонала для работ с повышенной опасностью

Студенты гр. 10801219 Макаревич А.А., Орловский Р.С.
Научный руководитель – Абметко О.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Допуск к работам повышенной опасности состоит из нескольких этапов, первый из которых – профессиональный отбор.

Основная цель профессионального отбора – привлечение работников с нужной квалификацией и необходимыми личностными качествами, способных решать максимально эффективно поставленные перед ними задачи. Следует отметить, что в широком смысле под эффективностью деятельности сотрудника понимается мера достижения не только производственных целей, но и социально-личностных, включая сохранение здоровья работника и его развития как личности [3].

В профессиональном отборе работников выделяют три компонента:

- медицинский;
- образовательный;
- психофизиологический.

Для обеспечения безопасности труда и предупреждения профессиональных заболеваний, а также в целях охраны здоровья работающие, занятые на работах, где в соответствии с законодательством есть необходимость в профессиональном отборе, проходят медицинские осмотры [1]. Медицинский профессиональный отбор в Республике Беларусь регулируется постановлением Министерства здравоохранения. Под образовательным отбором подразумевают выявление у претендентов на должность определенных знаний, навыков, без которых невозможно дальнейшее обучение и работа на должности.

Психофизиологический профессиональный отбор – это психофизиологическое освидетельствование с целью выделения из числа кандидатов на работу, лиц, обладающих необходимой структурой и степенью выраженности психологических и психофизиологических качеств, существенных для овладения конкретной профессией и для дальнейшего поддержания профессиональной работоспособности на должном уровне. Следует также отметить, что психофизиологический отбор подразумевает разработку определенного ряда взаимодействующих процедур. Например, изучение опасной, т.е. определение профессиональных рисков из-за человеческих качеств; выбор метода, разработка методики отбора, которая позволит произвести оценку качества оператора; проведение на основании методики оценку оператора; оценка на основании определенных критериев оператора для данного вида работ.

Согласно данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и Департамента государственной инспекции труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь в каждой из определенных причин несчастных случаев можно рассмотреть личностные характеристики, повлекшие травматизм [2]. Кроме этого статистика свидетельствует и о том, что в 70-90% случаях причиной аварийности и травматизма является человеческий фактор, что обусловлено следующим:

- низкий уровень подготовки по вопросам безопасности;
- недостаточное воспитание;
- слабой установкой на соблюдение безопасности;
- допуск к опасным видам работ лиц с повышенным риском травмирования;
- пребывание людей в состоянии утомления или других психических состояниях, снижающих надежность и безопасность деятельности специалиста.

В числе причин возникновения опасных ситуаций и производственных травм, связанных с человеческим фактором:

– общества (недостаточная информированность о профессиональных рисках и последствия от них, изъяны в стратегии организации безопасного труда в отрасли).

Психофизиологический отбор, позволит при приеме на работу или назначении на должность учитывать, психофизические особенности человека, т.е. соответствие кандидатуры профессиональным требованиям, способности к принятию решений, обучаемости, устойчивость к напряженному психическому труду и сопровождающему его стрессу и т.д., тем самым ведет к снижению вероятности возникновения потенциально опасных ситуаций, которые как известно приводят к травматизму, т.е повреждение здоровья работников как физического, так и психологического, и материальным потерям на предприятии.

Список используемых источников

1. Об охране труда: Закон Республики Беларусь от 23.06.2008 г., №356-З (с изм. и доп. от 18 декабря 2019 г. № 274-З). – Минск: Нац. центр правовой информации Республики Беларусь, 2019.– 30

2. Сечко, Л.К. Производственная безопасность на основе организации работ / Л.К. Сечко. – Охрана труда , № 2 – 2012. – с.58-63.

3. Ефимова, Н.С. Основы психологической безопасности/ Н.С. Ефимова. – Москва ИД «Форум» - Инфра-М. – 2010. – 192 с.

Анализ влияния психологии безопасности труда на производственный травматизм

Студенты гр. 10801219 Макаревич А.А., Орловский Р.С.
Научный руководитель – Абметко О.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Психология безопасности труда – это отрасль психологической науки, которая изучает психологические причины несчастных случаев, возникающих в процессе работы или другой деятельности, и разрабатывает психологические методы повышения безопасности.

Депрессия и посттравматическое стрессовое расстройство часто возникают в результате несчастных случаев на производстве. На сегодняшний день исследования в основном сосредоточены на работниках с высоким риском, таких как полицейские или пожарные, и редко рассматриваются лица, производственная среда которых связана с риском серьезных, но не обязательно опасных для жизни травм. Таким образом, настоящее исследование было направлено на оценку психологических последствий несчастных случаев, происходящих в нескольких профессиональных условиях (например, на строительстве и в промышленности).

Несчастные случаи на производстве происходят довольно часто. По данным Белстата, с 2008 по 2020 год в РБ произошло около 24,231 тысяч несчастных случаев на производстве (включая потерпевших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на один рабочий день и более и со смертельным исходом, и потерпевших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом). На сегодняшний день исследователи в основном рассматривали влияние условий труда или организационных и социальных факторов на возникновение несчастных случаев на производстве. Некоторые оценивали роль индивидуальных характеристик или личностных факторов в повышении риска несчастных случаев на производстве. Другие сосредоточились на физическом и социальном ущербе или на юридических последствиях.

Однако эти систематические оценки редко включают оценку психологических последствий несчастных случаев на производстве. Это несколько удивительно, учитывая, что у травмированных рабочих выше уровень депрессии, тревожности и расстройств, связанных с общими недомоганиями. Более того, жертвы несчастных случаев на производстве сообщают о боли, нарушениях сна, навязчивых воспоминаниях о несчастных случаях, нарушениях памяти и эмоциональных расстройствах, таких как тревога, депрессия и раздражительность.

Большинство исследований, в которых оценивались психологические последствия несчастных случаев на производстве, были сосредоточены на конкретных категориях должностей, где постоянный рабочий стресс и травмирующие события являются обычным явлением, например, сотрудники полиции, пожарные, сотрудники служб экстренной помощи. В нескольких исследованиях оценивались психологические последствия несчастных случаев, происходящих среди работающих групп, для которых травматические события могут быть менее ожидаемыми и частыми, но все же возможными, например, у фабричных рабочих. После несчастного случая у этих рабочих проявляется более высокий уровень депрессивных и тревожных симптомов, нарушений сна, соматических жалоб, клинического или субклинического посттравматического стрессового расстройства и более слабые навыки совладания с ними по сравнению с рабочими, которые не пережили несчастных случаев. В самом деле, неудивительно, что несчастный случай на производстве, произошедшие с такими работниками, также может привести к развитию посттравматического стрессового расстройства. Для этих категорий должностей несчастный случай на работе может представлять собой неожиданное и внезапное событие, которое может повлечь за собой серьезную травму, угрозу жизни, смерть коллеги

или угрозу физической неприкосновенности личности или других лиц. Более того, высокий уровень депрессии и гнева, а также плохие навыки совладания с ними, замеченные у жертв несчастных случаев на производстве, могут выступать в качестве факторов уязвимости для развития и поддержания посттравматического стрессового расстройства.

Главная мысль этой работы заключается в том, что люди, страдающие посттравматическим стрессовым расстройством, как правило, более подвержены риску остаться без работы или неполной занятости. Травмы, полученные в результате несчастных случаев на производстве, могут негативно повлиять на мотивацию к работе также и на удовлетворенность работой.

Для того чтобы предотвратить случаи травматизма нужно начинать переработку с «головы» компании: начальство должно больше наблюдать за своими сотрудниками, предоставлять комфортные и безопасные условия работы, уменьшить частоту проверки рабочих мест, и, самое главное, слушать и слышать своих сотрудников. В некоторых ситуациях приглашать на предприятия психолога и проводить работу с группами рабочих. Рабочие, в свою очередь, также должны информировать начальство о своих недомоганиях и не бояться высказывать свои претензии. В заключение, психологический климат на предприятии и психологическое состояние самих сотрудников значительно сократит случаи травматизма.

Требования охраны труда к кабинетам лучевой диагностики при эксплуатации магниторезонансных томографов

Студенты гр.11307117 Дикая В. Ю., Корень А.А.
Научный руководитель – Автушко Г.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В связи со сложившейся эпидемиологической обстановкой, вопрос выявления и диагностики COVID-19 как никогда актуален. В условиях, когда первичные ПЦР-исследования показывают ложноотрицательные результаты или же при отсутствии классических признаков пневмонии – компьютерная томография становится самым информативным способом диагностики.

Компьютерная томография (КТ) – это высокочувствительный метод исследований, основанный на лучевой визуализации различных анатомических структур. Данный метод позволяет получить контрастное трехмерное изображение исследуемой области с помощью послойной диагностики, основанной на рентгеновском излучении. Таким образом, дается оценка состоянию костных и мягких тканей, обнаруживаются изменения контуров, размеров и структуры органов, а также определяется наличие свободного газа или жидкости. Данное исследование неинвазивно, абсолютно безболезненно и проводится за небольшой промежуток времени.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – это такая методика исследования, которая основывается на физическом явлении магнитного резонанса. МРТ применяется в первую очередь для диагностики патологий в мягких тканях. Но, кроме того, с высоким качеством, недоступном для КТ, ультразвука, рентгенологического исследования этот метод позволяет визуализировать различные внутренние органы, а также спинной и головной мозг. В тканях и органах человека присутствуют ядра атомов водорода. Именно они откликаются на сочетание постоянного магнитного поля и электромагнитных волн, источник которых – специальный сканер аппарата МРТ. Таким образом, эти отклики фиксируются и упорядочиваются, формируя качественное четкое изображение.

Наряду со всеми достоинствами КТ, в сложившейся ситуации остро встает проблема высокой частоты проведения данной процедуры. Медики говорят о том, что в условиях пандемии может случиться вспышка онкозаболеваний. Это может быть спровоцировано увеличением дозы получаемой радиации при КТ. К опасным последствиям также относят рост случаев поражения отдельных органов и нарушений в работе иммунной системы.

До сих пор проводятся исследования по вопросу влияния компьютерной томографии на развитие онкологических заболеваний и порой они весьма противоречивы. Тем не менее, Международная электротехническая комиссия разработала меры безопасности как для пациентов, так и для медицинских работников.

При эксплуатации МРТ на медицинский персонал воздействуют следующие опасные и вредные производственные факторы:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека;
- тепловое воздействие;
- лазерное излучение;
- радиочастотное воздействие;
- воздействие электромагнитного поля;
- высокий уровень ионизирующего излучения в рабочем помещении;
- пожароопасность;

- биологический фактор при обслуживании больных пациентов.

Поэтому, работа с электромагнитным оборудованием предъявляет высокие требования к обслуживаемому его персоналу. Так, лица, допускаемые к работе с томографом, во-первых, должны быть старше 18 лет, а во-вторых, обязательно пройти ежегодный медицинский осмотр. Важным моментом является то, что к работе допускаются только те лица, кто не имеет противопоказаний и прошли вводный и первичный инструктажи по охране труда на рабочем месте. Помимо людей с противопоказаниями, в условиях воздействия постоянного магнитного поля (ПМП) от томографа и электромагнитного поля, к работе не допускаются женщины в состоянии беременности и кормления ребенка грудью. К важным аспектам так же относится знание безопасных методов и приемов ведения работ. Оборудование для МРТ и КТ весьма дорогостоящее и сложное, именно поэтому работникам необходимо знать и соблюдать общие требования безопасности. В первую очередь, персоналу и пациентам не разрешается пользоваться мобильными телефонами, различными передатчиками и другими аппаратами подобного назначения. Перед началом процедуры специалист проводит краткий инструктаж по необходимости соблюдения требований и правил по охране труда для пациента и только после этого приступает к процедуре. Инструктаж проводят для всех лиц, находящихся в кабинете, в том числе и для работников технико-эксплуатационных служб. Работник кабинета перед началом работы аппарата проводит осмотр оборудования. К осмотру не допускаются посторонние лица. При проверке работник обращает внимание на удаление из отверстия магнита неиспользуемых вспомогательных устройств или неподключенных радиочастотных катушек. В процессе работы составляется специальный план-график сервисного обслуживания, по которому проводится регулировка аппаратов МРТ.

Во время работы для кабинетов МРТ устанавливают оптимальные гигиенические параметры:

- температуру воздуха в помещении для работы с магнитом устанавливают в диапазоне от 22 до 26 °С. При этом относительная влажность воздуха составляет примерно 40-60%, (в соответствии с Санитарными нормами и правилами «Требования к микроклимату рабочих мест в производственные и офисные помещения» и гигиеническим нормативом «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений», утверждённому постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013г. № 33);
- уровень шума в помещении не превышает 50 дБА (что соответствует I –ой категории – «Врачебная деятельность. Приём больных в здравпунктах» согласно Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам "Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки", утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.11.2011г. № 115);
- система вентиляции выполнена в строгом соответствии с СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, т.к. существует опасность высокой запыленности и загазованности воздуха в рабочем помещении, а также повышенной концентрации токсических компонентов, исходящих от защитных материалов.

Также, опасность представляет высокое напряжение в электрических силовых цепях и, как следствие, пожароопасность. К работе с томографом допускаются только те сотрудники, которые имеют группу по электробезопасности не ниже II. Эксплуатация аппарата запрещается при наличии оголенных проводов, открытых защитных средств, вроде кожухов или крышек. Специалист не может отключать встроенные защитные приспособления и устройства, системы блокировки и сигнализации, предусмотренные организацией-изготовителем. Так же систематически проверяются провода и кабели. Используются только те, что разрешены согласно инструкции организации-изготовителя томографа. Кабель электропитания

магнита прокладывают так, чтобы не допускался изгиб на 180 градусов, то есть по максимально прямолинейной траектории. Сотрудник ежедневно внимательно осматривает используемые провода на предмет повреждения защитной оболочки. Если в течении рабочего дня были выявлены недостатки при работе аппарата, влияющие на безопасность, то перед уходом он сообщает это заведующему кабинетом МРТ.

Магнитно-резонансные томографы и компьютерные томографы относятся к отделению лучевой диагностики и всегда требуют правильной установки и эксплуатации.

Во-первых, рентгеновское отделение (кабинет) не размещают жилых зданиях и детских учреждениях.

Во-вторых, кабинеты не располагают под помещениями, где возможна протечка воды через перекрытие. К таковым относят уборные, душевые, бассейны и т.п.

В-третьих, такие кабинеты не граничат с помещениями для беременных и детей.

В наше время разработаны стандарты, касающиеся состава и площади помещений кабинета рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Обычно они задаются организацией-изготовителем компьютерного томографа в форме проектного предложения. Однако, следует учитывать, что этот стандарт принимается во внимание, но не заменяет полностью проект. Приведём стандартные значения площади рабочих помещений в кабинетах МРТ и КТ:

| | | | |
|--------------------|------------|------------------------------------|----------|
| Помещение | – 22 кв.м. | Комната для обработки исследований | – 8 кв.м |
| Процедурная | – 8 кв.м. | Просмотровая | – 9 кв.м |
| Компьютерная | – 8 кв.м | Кабинет врача | – 4 кв.м |
| Комната управления | – 8 кв.м | Кабинет для раздевания | – 6 кв.м |

Помимо площади помещений, существует определенный диапазон стандартных значений, применяемый для дверных проемов процедурного кабинета МРТ и РКТ. Ширина такого проема составляет не меньше 1,2 м при высоте 2,0 м. Для остальных дверных проемов допускается размер 0,9 x 1,8 м.

Из соображений пожарной безопасности, дверь из процедурной комнаты и комнаты управления открывается в коридор "на выход" (по ходу эвакуации), согласно СН 2.02.05-2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений, в то время как для комнаты управления в процедурную допускается открытие в сторону процедурной.

Вопрос экранирования решается за счет клетки Фарадея. Она рассчитывается, учитывая мощность томографа. За норму подавление электромагнитных помех принимают значения на уровне не менее 80-100 дБ в диапазоне частот 6,0-6,4 МГц. Сам же экран делают из медной фольги.

Таким образом, все конструкции в помещении процедурной комнаты обеспечивают снижение уровней электромагнитного поля в прилегающих помещениях согласно допустимым значениям.

Рассчитывая акустическое влияние оборудования, решают вопрос звукоизоляции технического помещения (в частности стен, потолка, пола, дверей и окон). Так обеспечивают гигиенические требования по шуму в смежных помещениях.

Для нормальной работы МРТ следует избегать наличия поблизости от магнитной системы линий электропередачи большой мощности и больших металлических конструкций.

Если в кабинете размещают несколько аппаратов МРТ, то они располагаются в соответствии с рисунком 1.

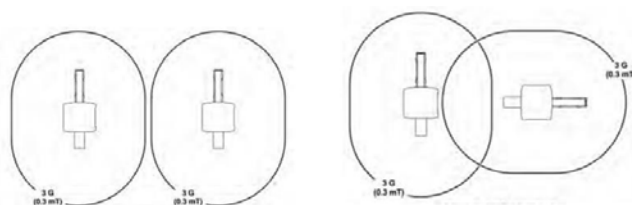


Рисунок 1 – Расположение двух аппаратов МРТ

Важным моментом, влияющим на безопасное использование МРТ является продолжительность процедуры, которая зависит от типа процедур. Данные временные промежутки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость типа выполняемого исследования от времени ее проведения

| Тип выполняемого исследования МРТ | Время процедуры, мин |
|-----------------------------------|----------------------|
| Головного мозга | 20-45 |
| Орбит | 20-35 |
| Мягких тканей шеи | 25-35 |
| Шейного отдела позвоночника | 20-35 |
| Грудного отдела позвоночника | 25-45 |
| Поясничного | 20-35 |
| Верхней конечности | 20-45 |
| Брюшной полости | 25-45 |
| Таза и нижних конечностей | 25-45 |
| Суставных полостей | 30-60 |

Таким образом, аппараты МРТ в среднем могут просканировать от 10 до 20 пациентов, при условии, что рабочий день врача с восьми утра до шести вечера.

Аппараты МРТ и КТ стали неотъемлемой частью медицинской практики. К тому же магнитно-резонансная томография считается весьма безопасным методом исследований. Наука не стоит на месте и каждый день передовые инженеры нашего мира думают, как получить более точные данные, более четкую картинку, более детальный анализ, как повысить надежность и безопасность работы такого аппарата и минимизировать негативные воздействия. Тем не менее, не стоит забывать об предъявляемых требованиях к охране труда, безопасности работы персонала и пациентов, которые строго регламентированы.

Требования охраны труда при проведении ультразвуковых исследований в медицинских лабораториях

Студент гр.11307117 Капустина С.Г.

Научный руководитель – Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На сегодняшний день, в связи с появлением пандемии COVID-19, люди стали ещё больше следить за своим здоровьем, проходить профилактические исследования и анализы. Одним из самых показательных исследований внутренних органов человека является ультразвуковое исследование (УЗИ) – неинвазивное исследование организма человека с помощью ультразвуковых волн. Пьезоэлектрический эффект – физическая основа УЗИ. Под воздействием ультразвуковых волн происходит деформация монокристаллов таких химических соединений как титанат бария, кварц и др. и, как следствие, возникает прямой пьезоэлектрический эффект, т.е. на поверхности этих кристаллов появляются противоположные по знаку электрические заряды. Подача переменного электрического заряда стимулирует появление в кристаллах механических колебаний с излучением УЗ-волн.

Мы рассмотрим требования охраны труда при проведении ультразвуковых исследований в медицинских кабинетах (лабораториях).

В первую очередь при использовании ультразвукового оборудования предъявляются строгие требования к персоналу: подбор кадров с высшим медицинским образованием, личное собеседование с каждым кандидатом, обязательный инструктаж по технике безопасности. Медицинский работник выполняет работу, обусловленную трудовым договором, сотрудничает с нанимателем в деле обеспечения здоровых и безопасных условий труда, немедленно извещает своего непосредственного руководителя или иное должностное лицо о неисправности оборудования, инструмента, приспособлений, средств защиты, об ухудшении своего здоровья.

Для работы на аппаратах работник обучается безопасным методам и приемам выполнения работ, с ним проводится вводный инструктаж по охране труда и инструктаж по охране труда на рабочем месте; персонал проходит стажировку на рабочем месте и проверку знаний по охране труда. Повторный инструктаж по охране труда проводится не реже одного раза в полгода.

Работники соблюдают режим труда и отдыха, установленный законодательством Республики Беларусь; правила внутреннего трудового распорядка организации; трудовую дисциплину, правила личной гигиены; соблюдают правила по охране труда, в т.ч. выполняют требования пожарной безопасности, знают порядок действий при пожаре, умеют применять первичные средства пожаротушения; курят только в установленных для курения местах; знают приемы оказания первой помощи при несчастных случаях, а также правила поведения на территории учреждения, в производственных, вспомогательных и бытовых помещениях; поддерживают порядок на своем рабочем месте; проходят, в установленном законодательством порядке, медицинские осмотры, подготовку (обучение), переподготовку, повышение квалификации и проверку знаний по вопросам охраны труда; внимательно выполняют свои служебные обязанности; используют оборудование и инструменты строго в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей.

При выполнении работ с аппаратами УЗИ на медицинских работников возможно действие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- биологический фактор при обслуживании больных;
- контактный и воздушный ультразвук;
- электромагнитные излучения радиочастотного диапазона;
- электрические и магнитные поля;

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- электростатические поля, неионизирующие излучения;
- оптическое излучение в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне;
- аэроионный состав воздуха;
- ответственность за функциональное качество конечного результата;
- ответственность за безопасность других лиц.

К работе с электрическим медицинским аппаратом, каким является аппарат УЗИ, допускается работник, имеющий 1-ую группу по электробезопасности.

Все медицинские электроаппараты в кабинете имеют технический паспорт; оборудованы заземлением; находятся в исправном состоянии. В ином случае работник в обязательном порядке сообщает о неисправностях заведующему отделением и прекращает пользоваться аппаратом до его полной починки. Подключение медицинских аппаратов в электрическую сеть выполняется при помощи трехполюсной вилки с нулевым проводом. Трехполюсная вилка сетевого кабеля подключена к соответствующей розетке с надежным заземлением. Персонал предупрежден о невозможности использовать для подключения к сети переходник или двухполюсную розетку. При эксплуатации аппаратов используются прилагаемые сетевые кабели, которые подключают только к заземленным розеткам.

Женщина-сотрудник в период беременности и кормления грудью не привлекается к выполнению работ в зоне действия электромагнитных излучений, ультразвука и электростатических полей.

К работе сотрудник приступает в чистой специализированной медицинской одежде, в которую он переодевается непосредственно на рабочем месте перед началом смены. То же самое касается обуви. Длинные волосы закалываются заколкой или резинкой, в определенных случаях одевается шапочка.

Перед каждым новым пациентом происходит обработка рук в раковине с мылом, после чего насухо вытираются полотенцем (которое меняется 3 раза в неделю) либо, особенно в период пандемии, одноразовыми бумажными полотенцами и одеваются одноразовые медицинские перчатки. Также, в процессе процедуры руки могут дезинфицироваться спиртосодержащим обеззараживающим средством.

Для профилактики короновирусной инфекции специалист работает в защитной маске, которая меняется каждые 2 часа. Также, при желании, используются защитные пластиковые экраны для лица.

В каждом кабинете висит график профилактического проветривания. Они проводятся раз в час. В сложившееся время проветривание рекомендуется осуществлять после каждого пациента.

Для обеспечения оптимальных параметров микроклимата проводятся ежедневная влажная уборка помещений. Периодически (не реже одного раза в месяц) проводится генеральная уборка с мытьем стен, полов, дверей, подоконников, внутренней стороны окон.

В медицинских учреждениях предъявляются требования и к пациентам.

Пациент заходит в кабинет только в одноразовых бахилах, без верхней одежды и в маске в строго оговоренное время. Для проведения обследования на кушетку стелится одно- или многоразовая пеленка.

После каждого пациента кушетка и аппарат обрабатываются дезинфицирующим средством.

Для процедуры ультразвукового исследования необходим специальный медицинский гель, который служит проводником для ультразвуковых волн. Сотрудники следят за его наличием, использованием и сроками хранения.

Важное место при работе уделяется эргономике – планировке оборудования в медицинских кабинетах.

Аппараты размещаются на защищенном от света и отопительных приборов месте, с постоянной температурой и влажностью воздуха, работающей вентиляцией, вдали от пыли, химикатов, источников попадания воды. При работе в кабинетах УЗИ с установленными медицинскими аппаратами обеспечен доступ работников к первичным средствам пожаротушения, аптечкам первой медицинской помощи. Работник знает перечень медикаментов, входящих в аптечку первой медицинской помощи, знает ее местонахождение, умеет пользоваться первичными средствами пожаротушения.

Преимущества данного исследования (УЗИ) очень велики, т.к. оно убирает опасные факторы (не требует вскрытия), не требует от пациента долгого лежания в одном положении без движения (в отличии от КТ, МРТ), не издаёт неприятных звуков, которые могут отпугнуть пациента. В клиниках и больницах Беларуси доступно 2Д и 3Д УЗИ. Таким образом, можно в точности разглядеть органы, ткани, их поражения; можно следить за протеканием беременности и формированием плода. Так же УЗИ аппараты присутствуют в операционных блоках. Неукоснительное требование выполнения правил по охране труда – залог сохранения здоровья как пациентов медицинских учреждений, так и их сотрудников.

Требования по охране труда при работе в оптической лаборатории

Студенты гр. 11311117 Мандик Н.С., Богданович Д.А.
Научный руководитель – Автушко Г.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Требования охраны труда к физическим лабораториям (производственная санитарии, техника безопасности и пожарная и взрывная безопасность) определяются, в первую очередь, выполняемой в них работой и типом используемого оборудования. Ко всем финишным операциям, таким как контроль оптических деталей, их склейка, выполнение сеток, нанесение физическим и химическим способами покрытий предъявляются требования высокой технологической гигиены.

На сегодняшний день оптико-электронные приборы получили огромное распространение во многих сферах: научной, медицинской, измерительной, военной, космической и т.д. Каждый оптико-электронный прибор в обязательном порядке содержит оптические компоненты, требования к свойствам, которых неустанно повышаются в связи с быстрым развитием современных технологий. Для придания оптическим компонентам требуемых характеристик, на них наносят различные интерференционные покрытия: просветляющие, зеркальные, фильтры и т.п. Качество нанесения покрытий зависит не только от технического и материального оснащения лаборатории, но и от соблюдения специалистами различных требований.

Перечислим основные из них.

Во-первых, требования к планировке и размещению оборудования в лаборатории. Работа с оптическими деталями требует отсутствия препятствий при перемещении с дорогостоящими и хрупкими компонентами, поэтому минимальная ширина прохода между технологическим оборудованием – не меньше одного метра. Также важно учесть, что оптические лаборатории не размещают в подвальных этажах строения.

Для безопасной работы в лаборатории находятся одновременно минимум двое рабочих, каждый из которых оснащен специальными электроизоляционными халатом, шапочкой и бахилами

В оптических лабораториях в обязательном порядке поддерживается абсолютная чистота. Для минимизации возникновения пожара в конце рабочего дня персонал производит уборку помещений от бумажных и других легковоспламеняющихся предметов. На случай пожара имеются первичные средства пожаротушения согласно «Нормам оснащения первичными средствами пожаротушения помещений производственных и складских зданий, зданий сельскохозяйственного назначения и иных помещений, категорируемых по взрывопожарной опасности», утвержденные постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 18 мая 2018 № 35, которые находятся на видном месте и проверяются не реже одного раза в полгода.

Также, должное внимание стоит уделить системе вентиляции. Вентиляция взаимодействует с различными факторами, от которых зависит жизнь и здоровье человека, поэтому, очень важно, чтобы данная система работала корректно. Комнаты, предназначенные для химических процессов, оборудованы приточной и вытяжной вентиляцией с естественным и механическим движением воздуха, причем учитывается его подогрев, очистка и увлажнение. При появлении каких-либо отклонений от стабильности процесса воздухообмена, работоспособность оператора будет ухудшаться. В случае, если лаборатория предназначена для работы с химическими веществами, вентиляция просто жизненно необходима.

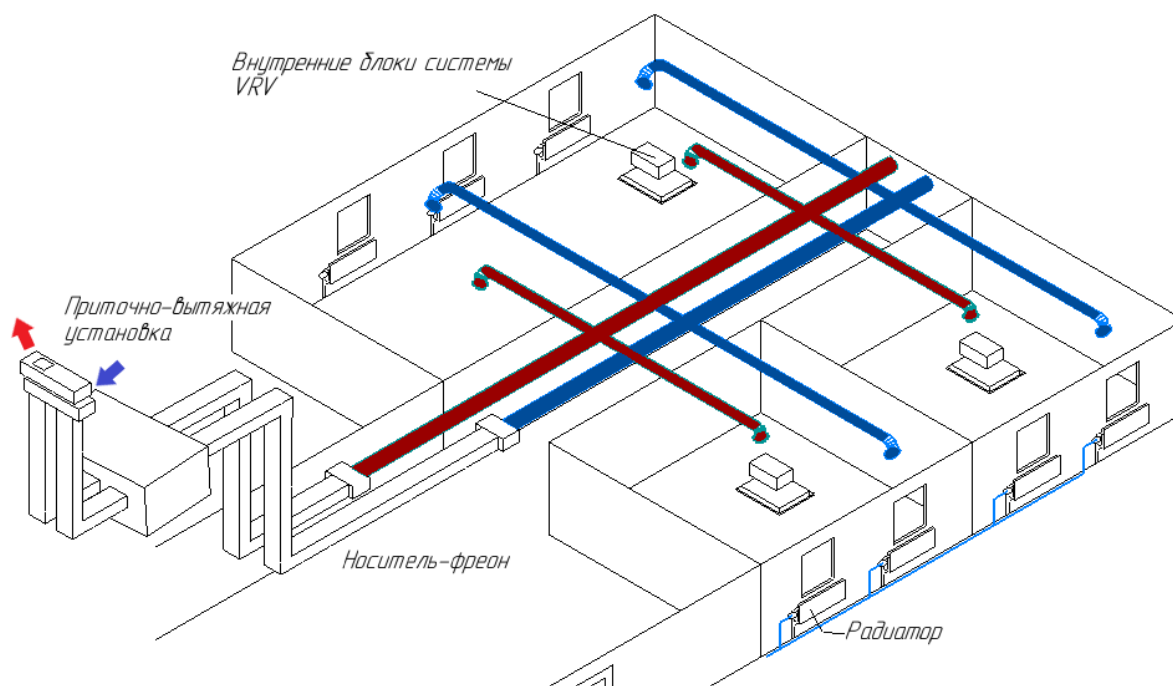


Рисунок 1 – Схема приточно-вытяжной вентиляции с рециркуляцией

Согласно действующим санитарным нормативам (Санитарные нормы и правила «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», гигиенический норматив «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 11.10.2017 № 92 и СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха») лаборатории химического профиля оборудованы, как минимум, двумя вытяжными шкафами, так как в процессе работы выделяются пары, аэрозоли, различные испарения, запахи от кислот и щелочей и многое другое, что отрицательно влияет на здоровье человека. Все вытяжные шкафы оборудованы верхним и нижним отсосами, которые способствует удалению использованного воздуха. Также, кроме вытяжных шкафов, операторы имеют при себе средства индивидуальной защиты - резиновые перчатки и респиратор.

В каждом помещении отрегулированы фрамуги на окнах, чтобы обеспечить приток свежего воздуха. 80-90% от всего объема воздуха, который удаляется через вентиляционную и местную вытяжную системы, будет поступать обратно в помещение лаборатории, остальные же 10-20% – в коридоры и холл.

Для минимизации влияния различного рода бактерий, а также частиц, находящихся как в воздухе, так и на поверхностях деталей и приборов, на персонал и на оптические поверхности, в лаборатории оборудована так называемая «чистая зона». Данная зона включает в себя металлический каркас с опорами, стены в данном помещении закрыты антистатическими полотнами, систему управления, которая контролирует режимы работы специального модульного потока с группой фильтров для тонкой и глубокой очистки воздуха и УФ лампы, специальные шторки, которые выступают барьером для проникновения загрязнений из внешнего пространства.

По санитарно-гигиеническим нормам, приспособления для процесса воздухообмена необходимы в каждом чистом помещении. Благодаря этой системе решается ряд задач:

- технологический процесс высокого качества, вне зависимости от сферы деятельности;
- оптимальные условия труда, т.е. комфорт во время нахождения в данном помещении в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и Санитарными

нормами и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственные и офисные помещения» и гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013г. № 33, что очень важно при проведении различных операций;

- правильное использование всех ресурсов.

Высококачественные воздухораспределительные системы образуют, так называемый «зонтик» из потока очищенного воздуха, часто его называют ламинарным потоком. Благодаря этому потоку, в помещении или в его отдельном участке образуются оптимальные для технологического процесса температура и относительная влажность, что, безусловно, необходимо на предприятиях точного приборостроения.

**Охрана труда при эксплуатации и обслуживании вакуумной камеры
и прилегающих систем для процессов азотирования**

Студент гр.10904117 Серко А.В.
Научный руководитель – Автушко Г.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При эксплуатации, ремонте и обслуживании вакуумной камеры для химико-термических обработки (ХТО), предъявляются высокие требования по гигиене, безопасности труда, пожарной безопасности, как к производственному помещению, так и к обслуживающему персоналу. Рассмотрим некоторые из них.

При использовании вакуумной камеры персоналом, на него воздействуют вредные производственные факторы, которые могут нанести ущерб здоровью, или представлять опасность для жизни:

- 1) возможность поражения электрическим током;
- 2) опасность травмирования движущимися частями оборудования;
- 3) опасность термических ожогов;
- 4) опасность получения травм при проведении погрузочно-разгрузочных работ;
- 5) пожароопасность.

Предъявляются требования к освещению, микроклимату, чистоте, вентиляции воздуха рабочей зоны. Уделяется серьёзное внимание эргономике – планировке и размещению используемого оборудования.

Ремонтные и наладочные работы на оборудовании проводит бригада, состоящая не менее чем из двух человек, имеющих IV группу по электробезопасности, с разрешения начальника участка, обеспечивающего все организационные и технические мероприятия, гарантирующие безопасность работы.

Помещение, в котором эксплуатируется установка, оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией, для очистки воздуха от различных вредных веществ, которые могут производиться в ходе ХТО. Атмосферный воздух в помещении в целом, не взрывоопасный, не содержит металлическую и токопроводящую пыль, едких паров и газов в концентрациях, разрушающих изоляцию и антикоррозионные покрытия.

Производственное освещение – совмещённое не менее 1000 лк.

Уровень звукового давления на рабочем месте оператора определяется работой насосов и не превышает 80 дБА.

Персонал строго соблюдает требования техники безопасности.

Во избежание поражения электрическим током в цехе применены следующие меры защиты. Перечислим основные из них: все блоки оборудования имеют надёжное заземление. Камера и шкаф управления заземляются стальной полосой сечением 24 мм² при толщине полосы 3 мм. Трансформатор силовой заземлён проводом сечением 16 мм². Агрегат вакуумный АВЗ-20Д, насос вакуумный НВД-200, насос циркуляционный NGA 1B-PRO заземлены проводом сечением 2,5 мм². Возле зажимов заземления быть нанесен знак заземления. Сопротивление между болтом заземления и металлическими нетоковедущими частями электрооборудования не превышает 0,1 Ом. Сопротивление изоляции между всеми проводами силовой и связанных с ними других цепей с одной стороны и заземлением с другой стороны более 1 МОм. На элементах защитной оболочки, закрывающих доступ к высоковольтным цепям, нанесен знак высокого напряжения.

Источниками травм от движущихся частей оборудования являются вентиляторы охлаждения, агрегат вакуумный и насос водяной циркуляционный.

Вентиляторы охлаждения размещены таким образом, что не доступны при закрытых дверях и обшивках шкафа. Правила техники безопасности при работах с вакуумными насосами, насосом водяным циркуляционным и другими агрегатами регламентированы документацией на эти изделия. Лица, допускаемые к работе с вакуумной камерой в обязательном порядке, проходят инструктажи вводный и первичный на рабочем месте, знакомятся с технической документацией, обучаются безопасным приемам и методам работы и сдают экзамен по проверке знаний требований охраны труда. В дальнейшем персонал проходит повторные инструктажи по охране труда в течении всей своей трудовой деятельности (не реже одного раза в 6 месяцев) и периодический медицинский осмотр в установленном порядке.

Источником опасности в виде термических ожогов являются горячие детали садки.

Обеспечение термобезопасности и минимизации опасности при проведении погрузочно-разгрузочных работ выражается в следующем:

- после химико-термической обработки деталей возможно проявление эффекта «приваривания» их друг с другом и при выгрузке деталей верхнего ряда может увлечься деталь нижнего ряда с высокой вероятностью последующего отрыва и падения. Для избегания этого в случае «приваривания» деталей нужно постукиванием по верхней детали устранить её приварку и произвести выгрузку;
- в случае единовременной обработки большого количества деталей ручную загрузку и выгрузку верхних рядов деталей нужно производить со специального пьедестала, высота которого обеспечивает безопасную работу с садкой;
- при ручной выгрузке обработанных деталей, после съема колпака камеры, их в обязательном порядке охлаждают до температуры ниже сорока пяти градусов. При разгрузке пользуются только плотными перчатками из хлопчатобумажного материала.

Для безопасного съема и установки колпака камеры с помощью цеховой кран-балки персонал выполняет следующие правила:

- перемещение колпака камеры с помощью кран-балки осуществляют без раскачивания колпака, также внимательно следят, чтобы в зоне движения колпака не находились люди и посторонние предметы;
- перед опусканием колпака на пол цеха оператор убеждается в отсутствии помех для проведения этого маневра, поверхность уплотняющего вакуумного шнура должна быть чистой и свободной от посторонних предметов, опускание колпака осуществляет плавно и без рывков, в момент касания колпака с полом скорость опускания колпака снижает до минимально возможной;
- только убедившись, что подъём колпака на высоту выше длинного ловителя основания подводят колпак к основанию камеры.

Также, опасность получения термических травм исходит от мощных резисторов, радиаторов охлаждения и цилиндра в системе осушки водорода при проведении регенерации силикагеля. Доступ к резисторам, радиаторам и цилиндру осушки становится невозможным при закрытых дверях.

На вакуумном участке огромное внимание уделено пожарной безопасности. Участок обеспечен проверенными средствами пожаротушения - порошковыми или углекислотными огнетушителями. В случае возгорания оператор немедленно отключает питание оборудования кнопкой «СТОП» и выключателем QF1. На видном месте вывешен план эвакуации с инструкцией действий в случае пожара.

Возможность эвакуации в случае пожара обеспечивается незагороженными дверями, также, имеются запасные выходы, на случай, если основной будет загорожен автомобилем, привозящим различную технику.

В помещении уделяется серьезное внимание эргономике с целью оптимизации производительности труда, минимизации чрезвычайных ситуаций.

При работе с вакуумными системами персонал полностью осознаёт всю степень возможной опасности и не допускает произвольных действий в отношении техники, которая может представлять угрозу жизни. Помимо основных требований охраны труда, имеются различная документация, которая отображает все необходимые данные, для работы с конкретным типом оборудования, систем. В данном случае, когда идёт речь о вакуумных системах, то там, вне зависимости от степени вакуума в камере, предъявляются в целом одинаковые требования. Прежде всего, это требования к термобезопасности, недопуск к работе до 18 лет, наличие III-IV группы у рабочих по электробезопасности. На предприятии, разрабатывающем с нуля и испытывающем вакуумные системы и камеры осознаётся вся степень опасности на стадии проектирования установок. Как правило, имеются алгоритмы, по которым действуют, в случае какой-либо неисправности установки, так как отклонение от этих алгоритмов может представлять угрозу всего персонала. Потому, после изготовления чертежей, технической документации – в обязательном порядке прописываются в документации все возможные требования к охране труда при эксплуатации данной установки.

Студент гр.11403214 Денисова К.

Научный руководитель – Батяновская И.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В многих отраслях народного хозяйства производится выполнение работ на высоте. Особенно это касается строительства. Перечень видов таких работ в строительной отрасли довольно большой: каменные, монтажные, железобетонные, отделочные, теплоизоляционные.

Работы на высоте – это работы, при которых работающий находится на расстоянии менее 2 м от не огражденных перепадов по высоте 1,3 м и более. И одной из основных опасностей, воздействующей на работника в процессе производства работ, является то, что рабочее место расположено выше поверхности земли (пола или настила) или над пространством, находящемся ниже поверхности земли, и связанное с этим возможное падение работника или падение предметов на работника.

По статистике падение с высоты составляет около 30% от общего количества несчастных случаев со смертельным исходом. Причин падения работников с высоты много – это отсутствие или неисправность ограждений опасных зон, отсутствие предохранительных поясов, недостаточная прочность и устойчивость лесов, настилов, лестниц, несоблюдение технологии ведения работ, некомпетентность самого работника. К одной из основных причин несчастных случаев относится отсутствие или неисправность ограждений опасных зон, что является следствием неудовлетворительной организации работ и самого рабочего места.

Для обеспечения безопасного выполнения работ на высоте должны быть соблюдены все требования по охране труда, установленные в следующих документах:

- Правила по охране труда при выполнении строительных работ, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь 31.05.2019 № 24/33;
- Правила охраны труда при работе на высоте, утвержденные постановлением Министерства труда Республики Беларусь от 28.04.2001 № 52.

Места вблизи не огражденных перепадов по высоте 1,3 м и более являются опасными зонами, и для обеспечения безопасности работающих и предотвращения падения с высоты на границах этих зон устанавливаются ограждения. На границах зон, постоянно действующих опасных производственных факторов, устанавливаются защитные ограждения, а на границах зон потенциально опасных производственных факторов – сигнальные ограждения и знаки безопасности. Рабочие места и проходы к ним, расположенные на высоте 1,3 м и более и на расстоянии менее 2 м от границы перепада по высоте, ограждаются инвентарными предохранительными ограждениями, удовлетворяющими требованиям по охране труда. Вопросы по их установке решаются в проектах производства работ. Рабочие места и проходы к ним, расположенные на перекрытиях, покрытиях на высоте 1,3 м и более и на расстоянии 2 м от границы перепада по высоте, ограждаются предохранительными или страховочными защитными ограждениями, а при расстоянии более 2 м – сигнальными ограждениями.

Ограждения должны соответствовать требованиям вышеуказанных Правил и ГОСТ 12.4.059-89 «Система стандартов безопасности труда. Строительство. Ограждения предохранительные инвентарные. Общие технические условия».

Инвентарными предохранительными ограждениями называются ограждения рабочих мест на высоте и проходов к ним, конструкции которых расположены в вертикальной плоскости, служащие для предотвращения падения человека.

Определены следующие виды инвентарных ограждений:

- ограждение внутреннее – предохранительное ограждение, устанавливаемое в пределах рабочего места до границы перепада по высоте;
- ограждение защитное – предохранительное ограждение, служащее для предотвращения непреднамеренного доступа человека к границе перепада по высоте;
- ограждение навесное – предохранительное ограждение, не имеющее несущей конструкции и навешиваемое непосредственно на строительные конструкции;
- ограждение наружное – предохранительное ограждение, устанавливаемое за пределами рабочего места вблизи границы перепада по высоте;
- ограждение опорное – предохранительное ограждение, имеющее элемент несущей конструкции (опору, раму и тому подобное), используемый для навески элемента ограждения;
- ограждение сигнальное – предохранительное ограждение, предназначенное для обозначения опасной зоны, в пределах которой имеется опасность падения с высоты.
- ограждение страховочное – предохранительное ограждение, обеспечивающее удержание человека при потере им устойчивости вблизи границы перепада по высоте.

Кроме того, инвентарные предохранительные ограждения классифицируются по функциональному назначению, по месту установки относительно границы рабочего места вблизи перепада по высоте, по способу крепления ограждения к элементам здания (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация инвентарных предохранительных ограждений

| Характеризуемое свойство | Наименование типа ограждения по характеризующему свойству | Обозначение типа ограждения по характеризующему свойству |
|---|---|--|
| Функциональное назначение | Защитное | Зщ |
| | Страховочное | Ст |
| | Сигнальное | Сг |
| Место установки относительно границы рабочего места вблизи перепада по высоте | Внутреннее | Вн |
| | Наружное | Нж |
| Способ крепления ограждения к элементам здания | Опорное | Оп |
| | Навесное | Нв |

Ограждения рассчитывают на прочность и устойчивость по отношению к действующим нагрузкам. Нагрузки могут быть горизонтальными и вертикальными, равномерно распределенными и сосредоточенными. Защитные ограждения рассчитывают на прочность и устойчивость к поочередному действию как горизонтальной, так и вертикальной равномерно распределенных нормативных нагрузок 400 Н/м (40 кгс/м), приложенных на поручень. Страховочные ограждения рассчитывают на прочность и устойчивость к действию горизонтальной сосредоточенной нагрузки не менее 700 Н (70 кгс), приложенной в любой точке по высоте ограждения в середине пролета, а страховочные наружные, кроме того, на прочность к действию груза массой 100 кг, падающего с высоты 1 м от уровня рабочего места в середине пролета. Сигнальные ограждения практически не несут никакой нагрузки, выполняются в виде каната, прикрепленного к стойкам или устойчивым конструкциям здания. На канат навешиваются соответственно оформленные знаки безопасности (правильный треугольник желтого цвета с черной каймой со стороной не менее 100 мм).

К высоте ограждений также предъявляются определенные требования. Высота защитных и страховочных ограждений (расстояние от уровня рабочего места до самой низкой точки

верхнего горизонтального элемента) должна быть не менее 1,1 м, сигнальных – от 0,8 до 1,1 м.

В свою очередь, к эксплуатации ограждений тоже предъявляется ряд требований:

- в организации приказом из числа линейных руководителей (начальники участков, производители работ, мастера) необходимо назначить ответственное лицо, осуществляющее контроль за исправным состоянием и правильным применением ограждений;
- монтаж и демонтаж ограждений следует производить специально обученными работниками;
- границы ограждаемой зоны должны быть определены в технологических картах;
- устанавливать и снимать ограждения надлежит только под непосредственным контролем руководителя работ;
- металлические ограждения рабочих мест сразу после их установки (до начала работ) должны быть заземлены (занулены);
- огневые работы должны производиться на расстоянии не менее 1,5 м от синтетических сеток.

Руководитель работ должен постоянно производить проверку (визуально) исправности сборочных единиц и элементов ограждения. В случае обнаружения неисправности, должна быть осуществлена замена или ремонт элемента ограждения.

Таким образом, соблюдение всех требований безопасности при эксплуатации ограждений, их правильное использование и должный контроль играют немаловажную роль в обеспечении безопасных условий труда при выполнении работ на высоте, а работникам позволяет чувствовать себя уверенно на рабочем месте и качественно выполнять свою работу.

Студент гр. 11208117 Дёмин А.С.
Научный руководитель – Вершеня Е.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вибрация представляет собой механические колебания, оказывающие ощутимое влияние на организм человека.

Вибрация возникает при работе машин и механизмов, имеющих неуравновешенные и несбалансированные вращающиеся органы с движениями возвратно-поступательного и ударного характера. К такому оборудованию относятся металлообрабатывающие станки, ковочные и штамповочные молоты, электрические и пневматические перфораторы, механизированный инструмент, а также приводы, вентиляторы, насосные установки, компрессоры. С физической точки зрения между шумом и вибрацией принципиальных различий нет. Разница заключается в восприятии: вибрация воспринимается вестибулярным аппаратом и средствами осязания, а шум органами слуха. Колебания механических тел с частотой менее 20 Гц воспринимаются как вибрация, более 20 Гц – как вибрация и звук.

Следует отметить, что в определенных условиях вибрация оказывает благоприятное действие на организм человека и применяется в медицине для улучшения функционального состояния нервной системы, ускорения заживления ран, улучшения кровообращения, лечения радикулитов и т.п. Однако во многих случаях в производственных условиях под воздействием вибрации в организме человека наблюдается изменение сердечной деятельности, нервной системы, спазм сосудов, изменения в суставах, приводящие к ограничению их подвижности. Длительное воздействие вибраций приводит к профессиональному заболеванию – вибрационной болезни. Она выражается в нарушении многих физиологических функций человека. Эффективное лечение возможно только на ранней стадии заболевания. Среди профессиональных заболеваний вибрационная болезнь занимает одно из ведущих мест. Этиологическим фактором развития заболевания является производственная вибрация. Такие сопутствующие факторы, как статико-динамические нагрузки, охлаждение и смачивание рук, шум, вынужденная рабочая поза, уменьшают сроки развития заболевания и обуславливают некоторые особенности клинической картины заболевания. Наиболее высокая заболеваемость вибрационной болезнью регистрируется на предприятиях тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения, горнорудной промышленности и составляет 9,8 случая на 100 тысяч работающих.

Вибрация рассматривается как сильный стресс-фактор, оказывающий отрицательное влияние на психомоторную работоспособность, эмоциональную сферу и умственную деятельность человека, и повышающий вероятность возникновения несчастных случаев. Вибрация, воздействующая на человека, нормируется для каждого направления в каждой октавной полосе. Важное значение имеет частота вибраций. Частоты порядка 35-250 Гц наиболее характерные при работе с ручным инструментом, могут вызвать вибрационную болезнь со спазмой сосудов. Частоты ниже 35 Гц вызывают изменения в нервно-мышечной системе и суставах. Наиболее опасны производственные вибрации равные или близкие к частоте колебания человеческого организма или отдельных органов и равные 6-10 Гц (собственная частота колебаний рук и ног 2-8 Гц, живота 2-3 Гц, груди 1-12 Гц). Колебания с такой частотой влияют на психологическое состояние человека. Особенно опасны вибрации с большой амплитудой, которые оказывают в основном неблагоприятное действие на костно-суставный аппарат. При малой интенсивности и кратковременном воздействии вибрация оказывает даже благоприятное влияние. При высокой интенсивности и продолжительном действии вибрация может привести к развитию профессиональной вибрационной болезни, которая при известных условиях может

перейти в «церебральную» форму (поражение центральной нервной системы), практически неизлечимую.

Борьба с вибрацией в источнике её возникновения предполагает конструирование и проектирование таких машин и технологических процессов, в которых исключены или снижены неуравновешенные силы, отсутствует ударное взаимодействие деталей, вместо подшипников качения используются подшипники скольжения. Применение специальных видов зацепления и чистоты поверхности шестерен позволяют снизить уровень вибрации на 3-4 дБ. Устранение дисбаланса вращающихся масс достигается балансировкой.

Вибродемпфирование – это снижение вибрации объекта путем превращения ее энергии в другие виды (в конечном счете, в тепловую). Увеличения потерь энергии можно достичь разными приемами: использованием материалов с большим внутренним трением; использованием пластмасс, дерева, резины; нанесением слоя упруго вязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение (рубероид, фольга, мастики, пластические материалы и др.). Толщина покрытий берется равной 2-3 толщине демпфируемого элемента конструкции. Хорошо демпфируют колебания смазочные масла.

Виброгашение – это способ снижения вибрации путем введения в систему дополнительных реактивных сопротивлений. Чаще всего для этого вибрирующие агрегаты устанавливают на массивные фундаменты. Одним из способов увеличения сопротивления является установка виброгасителей. Наибольшее распространение получили динамические гасители. Другим видом гасителей являются буферные емкости, служащие для превращения пульсирующего потока газа в равномерный. Возможно применение комбинированных защитных устройств. В этом случае говорят о динамических виброгасителях с трением.

Вибропоглощение – метод снижения вибрации путем усиления в конструкции процессов внутреннего трения, рассеивающих виброэнергию в результате необратимого преобразования ее в теплоту при деформациях, возникающих в материалах, из которых изготовлена конструкция, и в местах соединения ее элементов (заклепочных, резьбовых, прессовых и др.). В настоящее время вибропоглощение осуществляется преимущественно путем применения конструкционных материалов с повышенным значением коэффициента потерь и вибропоглощающих покрытий. Перспективным в вибропоглощении является нанесение на колеблющиеся поверхности элементов конструкции высокоэффективных вибропоглощающих материалов. Они могут изготавливаться на основе меди, свинца, олова, битума и других материалов. Большое распространение получила многокомпонентная система на основе полимера, способного рассеивать механическую энергию в большом количестве при основных деформациях: растяжении, изгибе, сдвиге. Из других компонентов полимерной системы главными являются пластификаторы и наполнители. Пластификаторы придают полимеру требуемое сочетание свойств эластичности и пластичности. Наполнители (сажа, графит, слюда и др.) сообщают материалу необходимые эксплуатационные свойства; они могут, например, повысить его прочность, облегчить обработку. Вибропоглощающий материал выпускается промышленностью в отвержденном виде листов и мастичных состояниях. Листовой приклеивается к вибрирующей поверхности; мастику наносят методом штапелирования или напыления.

Виброизоляция – это способ уменьшения вибрации защищенного объекта посредством введения в систему упругой связи, препятствующей передаче вибрации от источника. Между источником вибрации и человеком, являющимся одновременно объектом защиты, устанавливают устройство – виброизолятор. В качестве виброизоляторов используют металлические пружины, резину, пробку, войлок. Выбор того или иного материала обычно определяется величиной требуемого прогиба и условиями, в которых виброизолятор будет работать. Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму, и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы. Металлические пружины применяют обычно тогда, когда рабочие условия делают невозможным применение резины. Конструктивно пружинные виброизоляторы можно выполнить для работы практически

на любой частоте. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что, будучи спроектированы на низкую частоту, они пропускают более высокие частоты. Пробку используют при нагрузке 50–150 кПа, отвечающей рекомендованному диапазону упругости. Обычно установку сначала устанавливают на бетонные блоки и уже последние отделяют от фундамента с помощью нескольких слоев пробковой плитки толщиной 2–15 см. Увеличение толщины будет понижать частоту, выше которой виброизоляция эффективна, но при большой толщине возникает проблема устойчивости. Поэтому пробку не применяют в области низких частот. С течением времени от нагрузки пробка сжимается. Войлок толщиной 1–2,5 см, занимающий площадь 5% площади основания машины, – весьма распространенный изолирующий материал. Он имеет относительно большой коэффициент потерь и поэтому эффективен на резонансных частотах. Обычно войлок применяют в частотном диапазоне свыше 40 Гц. Примером виброзащиты могут служить гибкие вставки в воздуховодах, «плавающие полы», виброизолирующие опоры (для изоляции машин с вертикальной возмущающей силой).

Для защиты работника от вибрации применяются следующие средства индивидуальной защиты:

Для защиты ног используют специальную виброизолирующую обувь (в соответствии с ГОСТ 12.4.024). Обычно это бывают сапоги, полусапоги или ботинки, выпускающиеся как женских, так и мужских моделей. Обувь этого вида производится из синтетических, текстильных и комбинированных материалов, а также из кожи. Помимо прочего подобная обувь обеспечивает защиту работника от ударов энергией до 50 Дж и нетоксичной пыли. Гашение вибрации происходит благодаря наличию специальных вкладышей, стелек или подошв, сделанных из упругодемпфирующих материалов.

Для защиты рук современная промышленность предлагает виброзащитные рукавицы и перчатки (требования ГОСТ 12.4.002; ГОСТ 12.4.20). Их основное отличие от других специальных средств защиты заключается в использовании упругодемпфирующих элементов. Обычно они закрепляются или на ладонной поверхности, или в накладке. Также выпускаются специальные прокладки и пластины, снабженные креплениями к руке и предназначенные для обхвата вибрирующих деталей механизма (например, рукояток).

Студент гр. 10205116 Пашкевич А.А.
 Научный руководитель – Журавков Н.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Молния – высокоэнергетический разряд атмосферного электричества между облаками либо между облаками и землей. Наиболее часто молния возникает в кучево-дождевых облаках, тогда они называются грозовыми. Сильная облачность является следствием значительной неустойчивости атмосферы. Для грозы характерен сильный смерч, часто интенсивный дождь, иногда с градом. Перед грозой за час атмосферное давление начинает быстро падать вплоть до усиления вихревой бури, а затем повышается.

Существуют несколько типов разрядов молний. Порядка 90 % грозовых разрядов, возникающих между небом и землей, представляют собой отрицательные разряды «облако – земля». Молнии могут иметь разветвленный или представлять собой единый столб в форме: веревки, жгута, ленты, палки, цилиндра. Редкой формой является шаровая молния. Напряжение между двумя облаками, а также между облаками и землей достигает до десятков миллионов вольт. В результате возникает искра – молния, длина которой достигает несколько километров, а длина ее канала составляет метр и больше. Сила тока в канале огромна: от 1-2 до 200 кА. Однако, длительность разряда мала: она составляет тысячные доли секунды. Поэтому общий заряд, протекающий при одной вспышке молнии, не превосходит десятка или сотни кулонов. Разряд облака на землю имеет вид линейной молнии и начинается в большинстве случаев при высокой концентрации в нем зарядов и напряженности $E = 20-30$ кВ/см у его выступающих частей. Наибольшую опасность представляет нисходящая отрицательная молния между облаком и землей (объектом) в виде линейной молнии. С ними связано подавляющее большинство пожаров и повреждений зданий, сооружений, линий электропередач, подстанций.

Линейные молнии относятся к так называемым безэлектродным разрядам, так как они начинаются в скоплениях заряженных частиц. Наиболее изучен процесс развития молнии в грозовых облаках, при этом молнии могут проходить в самих облаках – внутри облачные молнии, а могут ударять в землю – наземные молнии. В молнии электрическая энергия облака превращается в тепловую, световую и звуковую, и самым опасным продуктом молнии являются рентгеновские и гамма-излучения. Различают электронные лавины, переходящие в нити электроразрядов – стримеры, которые сливаясь, дают начало яркому термоионизированному каналу с высокой проводимостью – ступенчатому лидеру молнии и скоростного движения ступеней к земле ~ 50000 км/сек.

Электрическими характеристиками молнии являются:

- амплитуда тока I (наибольшее значение тока главного разряда первой компоненты);
- крутизна тока, α ;
- длина фронта волны тока, τ_f ;
- длина волны тока, τ_b .

Это важные параметры при расчете различных воздействий тока.

Удары молнии исключительно опасны. Молния может разрушить здание, опору электропередачи, заводскую трубу, вызвать пожар и т.д. Особенно опасна молния для человека. Согласно оценкам, частота ударов молнии на земле составляет 100 раз в секунду (или 1,4 миллиарда раз в год).

В организме пострадавших отмечаются те же изменения, что и при электроударе. При поражении молнией медицинская помощь должна быть неотложной, так как она эффективна только в первые минуты после удара. Экстренная госпитализация необходима во всех случаях.

Разряды молнии представляют большую опасность для электрического и электронного оборудования. При прямом попадании молнии в провода в линии возникает перенапряжение, вызывающее разрушение изоляции электрооборудования, а большие токи обуславливают термические проводников. Для защиты от грозовых перенапряжений электрический подстанции и распределительные сети оборудуются различными видами защитного оборудования, такими как разрядниками, нелинейными ограничителями перенапряжения, длинноискровым разрядниками. Для защиты от прямого попадания молнии используются молниеотводы и грозозащитные тросы. Для электронных устройств представляют опасность также и электромагнитный импульс, создаваемый молнией.

Существуют два основных типа молнии: нисходящие молнии, инициированные нисходящим лидером разряда молнии из облака на землю; восходящие молнии, инициированные восходящим лидером разряда молнии от заземленной строительной конструкции до облака.

В отношении более высоких сооружений доминируют восходящие молнии. Так молнии состоят из одного или более различных ударов: короткие удары продолжительностью менее 2 мс; длительные удары продолжительностью более 2 мс.

Соотношение полярности разрядов молнии зависит от географического положения местности. В отсутствие местных данных принимают соотношение равным 10 % для разрядов с положительным током и 90 % для разрядов с отрицательными токами.

Удар молнии в систему энергоснабжения здания может привести к следующим последствиям:

- пожару или взрыву, вызванных искрами, вследствие перенапряжения или воздействия токов молнии, проходящих через системы энергоснабжения;
- причинением вреда здоровью из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения внутри здания, вызванными токами молнии, передаваемыми через подсоединенные системы энергоснабжения;
- повреждению или выходу из строя внутренних систем вследствие перенапряжений, индуцированных на подсоединенных линиях электропередачи и передаваемых на здание.

Удар молнии вблизи систем энергоснабжения здания может привести к повреждению или выходу из строя внутренних систем вследствие перенапряжений, индуцированных на подсоединенных линиях и передаваемых на здание.

Удар молнии в систему энергоснабжения может являться причиной разрушений самих физических средств (линий или труб), используемых для обеспечения работы системы, а также подсоединенного электрического или электронного оборудования.

Основные характеристики систем энергоснабжения, определяющие степень воздействия молнии, включают:

- конструкцию (линия: воздушная, подземная, экранированная, неэкранированная, оптоволоконная; трубопровод: наземный, заглубленный, металлический, пластмассовый);
- функциональные наладчики (телекоммуникационная линия, линия электроснабжения, трубопровод);
- содержимое конструкции (здание, находящееся внутри него оборудование, расположение);
- существующие или обеспечивающие меры защиты (экранированная проводка, ограничитель перенапряжения, системы хранения жидкостей, генераторные установки, источники бесперебойного питания).

Удар молнии в систему энергоснабжения здания может привести к следующим последствиям:

- плавлению металлических проводов и экранов кабелей вследствие попадания тока молнии в систему энергоснабжения (в результате резистивного нагрева);
- разрушению изоляции линий и подсоединенного к ним оборудования (вследствие резистивной связи);

- пробую неметаллических прокладок во фланцах труб, а также прокладок в изолирующих муфтах;
- мгновенному механическому повреждению металлических проводов или трубопроводов вследствие электродинамического воздействия, или нагрева, вызванного током молнии или вследствие теплового воздействия плазменной дуги молнии;
- мгновенному электромеханическому повреждению линий (разрушению изоляции) и подсоединенного к ним оборудования;
- пробую тонких наземных металлических труб во фланцах, приводящему к пожару и взрыву в зависимости от характера передаваемых жидкостей;
- повреждению изоляции линий и подсоединенного к ним оборудования вследствие индуктивной связи.

Каждый тип повреждения, связанный с действием молнии, как по отдельности, так и в комбинации с другими типами, может приводить к различным косвенным типам ущерба защищаемого объекта.

Необходимость применения молниезащиты объекта с целью уменьшения ущерба, наносимого общественным ценностям, обосновывается на основе оценки риска.

Принимают во внимание следующие риски, соответствующие типам ущерба:

R_1 – угроза для жизни людей;

R_2 – недопустимое нарушение коммунального обслуживания;

R_3 – потеря культурных ценностей;

R_4 – потеря экономических ценностей.

Молниезащита необходима в том случае, если суммарный риск превышает допустимый уровень R_t $R(R_1 \div R_3)$

$$R > R_t. (1)$$

В этом случае защитные меры разрабатывают для того, чтобы снизить риск R ($R_1 - R_3$) для приемлемого риска R_t :

$$R \leq R_t. (2)$$

Кроме необходимости молниезащиты целесообразно оценивание экономических преимуществ в обеспечении мер защиты.

При выборе мер молниезащиты выполняются следующие действия:

- идентификация защищаемого объекта и его характеристики;
- идентификация всех видов ущерба в объекте и связанного с ним риска ($R_1 \div R_4$);
- оценка риска R для каждого вида ущерба $R_1 \div R_4$;
- оценка необходимости молниезащиты путем сравнения риска R_1, R_2, R_3 для здания (R_2 – для системы энергоснабжения) с допустимым риском;
- оценка экономической эффективности молниезащиты путем сравнения общего ущерба с мерами и без мер защиты.

Для оценки риска рассматривают следующее:

- само здание;
- установка в здании;
- оборудование, находящееся в здании;
- присутствие людей, находящихся в здании или в зоне на расстоянии 3 м от здания;
- окружающую среду, на которую влияет повреждение здания.

Защита не включает соединенные с ней системы энергоснабжения за пределами здания.

Меры молниезащиты направлены на уменьшение риска в соответствии с типом повреждения. В системе менеджмента рисков меры молниезащиты рассматриваются как эффективные, если они соответствуют требованиям:

- по защите людей отражения и от повреждения здания;
- по защите от повреждения внутренних систем.

Студент гр. 10114117 Закревский Д.С.

Научный руководитель – Кот Т.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Метрополитен в XXI веке является неотъемлемой частью городского пассажирского транспорта крупных городов с численностью населения не менее миллиона человек, конкурирующего по объему перевозок с наземным. Так, услугами Минского метрополитена в 2020 году воспользовались 219 млн. 290 тыс. человек, а ежедневный пассажирооборот составил 600 тыс. человек. Учитывая специфику процесса перевозки, а также большое скопление людей, метрополитен является зоной повышенной опасности как для пассажиров, так и для самих работников. Это, в свою очередь, требует обеспечения и поддержания должных систем безопасности для всех участников транспортного процесса.

С точки зрения условий труда, метрополитен, вследствие наличия большого количества инженерных сооружений, имеет почти все вредные и опасные производственные факторы. Каждый из них может оказать негативное влияние на здоровье работников и привести к формированию профессиональных заболеваний. В качестве первоочередного элемента, представляющего возможную опасность в метрополитене выступает сам человек, а затем – техническая и материальная составляющие: инженерные сооружения, контактные рельсы, подвижной состав, используемая энергия и др.

Одной из профессий работников метрополитена, которая наиболее подвержена воздействию вредных и опасных производственных факторов, является профессия машиниста электропоезда. К наиболее неблагоприятным факторам его деятельности можно отнести:

- наличие повышенного уровня шума, вибрации;
- яркий свет от поезда при движении в тоннелях;
- отсутствие естественного освещения;
- монотонность работы;
- укачивание;
- постоянное нервно-эмоциональное напряжение: необходимость концентрации внимания (особенно при подъезде к перронам, а также посадке-высадке пассажиров), дефицит времени на принятие решения, ответственность за безопасность пассажиров;
- необходимость приёма множества сигналов от светофоров, диспетчера;
- вынужденная рабочая поза.

Главной особенностью работы является отсутствие естественного освещения, заменяемого лишь искусственным. У машинистов выделяются три рабочие зоны по условиям освещения:

- кабина электропоезда (рабочее место машиниста);
- пассажирские станции;
- тоннели.

В течение рабочей смены машинисты электропоездов многократно перемещаются в различные рабочие зоны, существенно отличающиеся разными уровнями освещения. В кабинах на горизонтальной панели освещенность обеспечивается в 5-7 Лк, при включении светящейся панели, встроенной сзади над головой машиниста, – 12-14 Лк, при выезде на пассажирские станции освещенность в кабине машиниста повышается до 36-41 Лк. Машинист постоянно находится в состоянии полутемновой адаптации, вследствие этого вероятно нарушение

зрительной функций. Кроме того, отсутствие естественного освещения замедляет процесс выработки витамина Д в организме, что является причиной развития остеопороза, остеопении и др.

Рабочее место машиниста практически во всех рабочих зонах характеризуется неблагоприятным состоянием воздушной среды из-за наличия повышенных концентраций пыли и токсичных газов. Концентрация пыли в среднем в 1,5 раза превышает ПДК. Содержание токсичных веществ может до трех раз превышать показатели ПДК. Особенно высока концентрация аэрозольных органических растворителей – ацетона, ксилола, толуола, бензола, и также пыли железа и марганца, частиц свинца. Все это отягощается нехваткой кислорода и повышенным содержанием углекислого газа. Ещё одной особенностью метрополитена, выступает пропитка шпал из древесины специальным веществом – креозотом, сырьём для изготовления которого является деготь – каменноугольный или древесный. Вследствие такой обработки происходит выделение специфического и своеобразного запаха, который может стать причиной развития аллергической реакции и возникновения хронической обструктивной болезни легких, для которой характерно частично необратимое ограничение воздушного потока в дыхательных путях [1].

Повышенный уровень шума также негативно отражается на здоровье машинистов метрополитена. Наиболее высокий его уровень (до 105-108 дБА) регистрируется в кабине при движении поезда, при допустимом значении 80 дБА. Уровни звукового давления в основном превышают ПДУ на средних и высоких частотах.

Наиболее частое встречающееся заболевание у машинистов метрополитена – вибрационная болезнь, вызванная воздействием вибрации. Высокие уровни вибрации регистрируются в кабине при движении поезда, на 14-20 дБ превышающие ПДУ [2].

Существенное влияние на здоровье и работоспособность машиниста оказывают также такие вредные производственные факторы, как длительная вынужденная поза и повышенные психоэмоциональные нагрузки. Находясь в течение всей рабочей смены в кабине, машинист обязан максимально концентрировать внимание: внимательно следить за состоянием путей, сигналами светофоров, пассажирами на станциях.

Воздействие вредных и опасных производственных факторов на машинистов метрополитена приводит к развитию множества профессиональных заболеваний: вызывает ухудшения в работе слухового аппарата, мышечную слабость, а также слабость конечностей, возможно развитие варикозных вен, проблемы с сердечно-сосудистой системой и кровообращением, увеличение кровяного давления, нарушение сна, появление раздражительности, инсульта и др. Из-за сидячей рабочей позы могут возникать нарушения центральной и периферической нервной системы [1].

Проведенные Самарской Н.А. в 2020 году клинические исследования выявили, что среди заболеваний машинистов метрополитена основными в порядке ранжирования являются следующие:

1. болезни нервной системы (75,7% от общего числа машинистов основной группы),
2. болезни сердечно-сосудистой системы (61,7%),
3. болезни органов пищеварения (33,9%),
4. болезни опорно-двигательной системы (9,6%),
5. болезни органов зрения (8,7%);
6. болезни дыхательной системы (7,8%) [1].

Подводя итог, следует отметить, что трудовая деятельность машинистов метрополитена характеризуется как тяжёлая и напряжённая, поэтому требует эффективных санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических и других мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и охрану здоровья.

Список использованных источников

1. Самарская Н.А. Анализ особенностей условий труда и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работников метрополитена // Экономика труда. – 2019. – Том 6. – № 3. – С. 1271-1284.

2. Самарская Н.А., Ильин С.М. Исследование условий труда и разработка предложений по регламентации требований безопасности при проведении работ в метрополитене: монография / Самарская Н.А., Ильин С.М. – М.: ПЕРВОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО, 2020. – 288 с.

Студент гр.10504218 Кореневская Е.П.

Научный руководитель – Кот Т.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В каждой организации должна эффективно функционировать система управления охраной труда. Она должна предупреждать потенциальные нежелательные ситуации при выполнении работниками трудовых обязанностей и иметь ориентацию на улучшение условий труда.

Работодатели при управлении охраной труда должны обеспечить выполнение ряда последовательных процедур:

- идентификацию опасностей;
- оценку уровней профессиональных рисков, связанных с производственным травматизмом и заболеваемостью работников;
- разработку мер по управлению рисками.

Эффективная оценка рисков – один из важнейших этапов, который определяет направление процесса управления и выбор профилактических мер.

Оценка и профилактика рисков постоянно совершенствуются. Правильно принятые меры по предупреждению профессиональных рисков позволяют создать безопасные условия на рабочих местах, сократить затраты из-за заболеваний и несчастных случаев, повысить мотивацию работников, что приводит к повышению конкурентоспособности на рынке.

На сегодняшний день нет единого подхода к оценке профессиональных рисков. Внедрение оценки риска достаточно длительный процесс. Законодательное оформление профессионального риска в странах ЕС произошло только в 1989 г., после этого шел процесс разработки процедур, методов оценки рисков [1].

Чтобы оценить профессиональный риск на предприятии (в организации), сначала выбирается метод его оценки. Среди методов выявления потенциальных опасностей для работников, связанных с профессиональными рисками, можно выделить:

- 1) прямые;
- 2) косвенные.

Прямые методы – это данные, основанные на статистике. Может встречаться только там, где эта статистика уже существует. Этот метод имеет большой недостаток: факт того, что несчастный случай еще не произошел, не отрицает, что в будущем это может случиться.

Косвенные методы имеют в своем арсенале такие способы оценки риска, как:

- опрос работников, интервью;
- аудит безопасности рабочих мест;
- собственную ответственность работников за свою трудоспособность.

Можно выделить метод оценки профессиональных рисков по вероятности возникновения опасности и серьезных последствий воздействия [2]. Вероятность возникновения риска оценивается зависимостью:

$$R = P * S,$$

где R – риск,

P – возможность появления опасности;

S – значимость последствий воздействия опасности.

По уровню значимости риски можно разделить на:

- 1) низкие ($R < 6$);

- 2) умеренные ($R = 6-12$);
- 3) существенные ($R > 12$).

Низкие риски являются ожидаемыми при выполнении ежедневной работы и приемлемыми, если существуют меры по их предупреждению.

Умеренные риски – это угроза здоровью сотрудников. Этот вид рисков требует постоянного процесса рассмотрения и контроля.

Существенные риски являются неприемлемыми, рассматриваются как нанесение крупного ущерба состоянию организации и здоровью работников. К таким рискам обязательно составляются мероприятия по их управлению.

Метод оценки профессиональных рисков по вероятности возникновения опасности и серьезных последствий воздействия также имеет недостаток: субъективное мнение того, кто оценивает риск.

Один из самых доступных методов оценки профессиональных рисков – метод «вероятность – ущерб». В основе метода составление матрицы рисков, по которой их оценивают, определяя вероятность и ущерб. Каждый работник оценивает вероятность наступления неприятной ситуации и ее потенциальное влияние на организацию и ущерб. По окончании анализа составляется матрица рисков: белые клетки подразумевают приемлемость рисков, серые – высокий профессиональный риск, черные ячейки означают неприемлемый риск (рисунок 1) [3].

| | | ВЕРЯТНОСТЬ ОПАСНОГО СОБЫТИЯ | | | | |
|---------------------|---|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|
| | | А | В | С | Д | Е |
| ТЯЖЕСТЬ ПОСЛЕДСТВИЙ | 1 | Черная | Черная | Черная | Черная | Серая |
| | 2 | Черная | Черная | Черная | Черная | Серая |
| | 3 | Черная | Черная | Черная | Серая | Белая |
| | 4 | Черная | Черная | Серая | Белая | Белая |
| | 5 | Черная | Серая | Белая | Белая | Белая |

Рисунок 1 – Матрица оценки профессиональных рисков

Данный метод также имеет свои недостатки в виде низкой объективности, но имеет все шансы на ее повышение, если привлекать экспертов сторонних организаций.

Существует множество различных методик оценки профессиональных рисков, имеющих свои недостатки и потенциалы развития. Лучшим способом достоверно определить направление развития организации в сфере охране труда является комплексное использование этих методов и привлечение высоко квалифицированных специалистов.

Риск-ориентированный подход организаций (предприятий) повышает уровень ответственности нанимателей перед работниками, уменьшает ежегодные экономические потери из-за профессиональных заболеваний, травматизма.

Список использованных источников

1. Профессиональные риски в системе управления охраной труда организации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.espot.by/izdaniya/espot/professionalnye-riski-v-sisteme-upravlen/> (дата обращения: 14.03.2021).
2. Методы оценки профессионального риска и их практическое применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://otb.by/articles/metody-otsenki-professionalnogo-riska-i-ikh-prakticheskoe-primenenie/> (дата обращения: 14.03.2021).

3. Методы оценки профессиональных рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pgc-expert.ru/metody-ocenki-professionalnyh-riskov/>(дата обращения: 14.03.2021).

Исследование влияния относительной влажности на аэроионный состав воздушной среды

Студенты гр.10502118 Метельская А.П., гр.10305219 Кот Е.В.

Научный руководитель – Кот Т.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В компьютерных классах образовательных учреждений создаются специфические условия окружающей среды. Пониженная относительная влажность воздуха и недостаточный уровень аэроионизации являются существенными недостатками таких помещений.

Для нормализации параметров воздушной среды эффективным средством является применение увлажнителей воздуха. Вместе с тем увлажнение оказывает существенное влияние на концентрацию аэроионов. Размеры положительных и отрицательных аэроионов и подвижность отрицательных аэроионов напрямую зависят от относительной влажности воздуха. Повышение влажности может привести к снижению подвижности ионов и уменьшению их количества, в первую очередь, легких (отрицательных).

В ходе исследований проводился анализ аэроионного состава воздуха при применении наиболее распространенных типов увлажнителей (парового и ультразвукового). Измерения проводились в компьютерном классе, рассчитанном на 20 рабочих мест объемом 134,5 м³.

Первоначально (до увлажнения) оценивалось содержание отрицательных (ρ^- , шт./см³) и положительных (ρ^+ , шт./см³) аэроионов в компьютерном классе после 4 часов работы ПК на разных расстояниях от мониторов (рисунок 1).

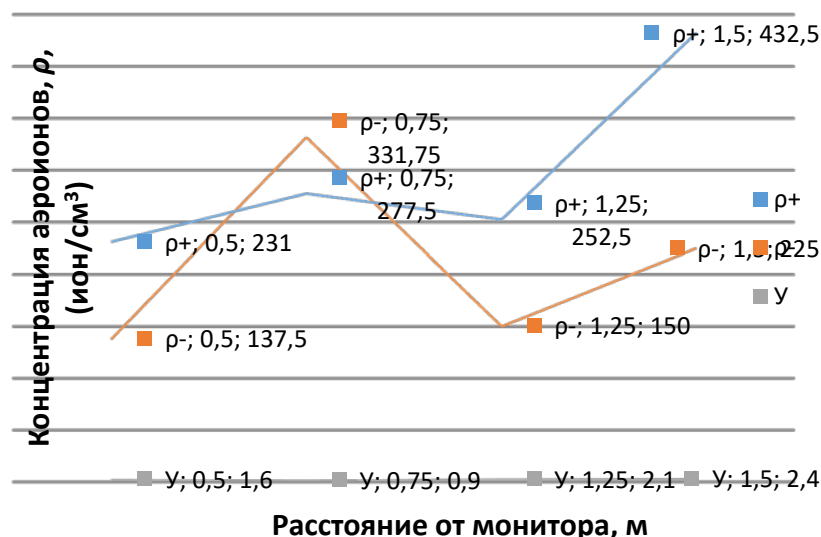


Рисунок 1 – Результаты исследований содержания количества положительных (ρ^+), отрицательных (ρ^-) аэроионов в воздухе, коэффициента униполярности (γ) после 6 часов работы ПК в компьютерном классе

На расстоянии 1,5 м количество положительных аэроионов достигло минимально допустимого (400 ион/см³) [1].

Четкой зависимости изменения концентрации отрицательных аэроионов по мере удаления от монитора не прослеживалось. Во всех измерениях концентрация отрицательных аэроионов была менее минимально допустимого значения (600 ион/см^3) [1].

Соотношение положительных и отрицательных аэроионов (коэффициент униполярности) при относительной влажности воздуха 32,4% составляло в среднем $\rho^+/\rho^- = 1,53$.

На втором этапе исследований оценка аэроионного состава воздуха проводилась с использованием ультразвукового увлажнителя воздуха WWCf-UH-80-0,8L-A. При использовании ультразвукового увлажнителя с увеличением относительной влажности отмечалось появление значительного количества как отрицательно, так и положительно заряженных частиц. Отрицательные аэроионы при влажности воздуха 46,8% были зафиксированы в концентрации 810-890 шт./см³, а положительные – 640-730 шт./см³. При влажности воздуха 53,6% количество отрицательных аэроионов увеличилось в среднем до 2317 шт./см³, а положительных – до 1467 шт./см³. Коэффициент униполярности составил 0,63.

Для проведения исследований на третьем этапе был задействован паровой увлажнитель Boneco Air-O-Swiss S200. При его использовании при увеличении влажности до 46,8% соотношение ρ^+/ρ^- составило $212/202 = 1,05$. Количество аэроионов обеих полярностей резко снизилось.

Все измерения проводились в 8-кратной повторности с выбраковкой случайных величин.

На основе проведенных исследований можно предположить, что в случае с использованием ультразвукового увлажнителя можно влиять на изменение влажности, создавая и сохраняя при этом необходимый уровень аэроионизации воздушной среды.

Список использованных источников

1. Об утверждении санитарных норм и правил «Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами»: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 28 июня 2013 г., № 59 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 14.02.2021.

Современные принципы управления охраной труда

Студенты гр. 10504118 Рудинский М.С., Гришкевич В.Д.
Научный руководитель – Кот Т.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В Республике Беларусь в организациях и на предприятиях для устранения или минимизации рисков для работающих обязательным условием является разработка, внедрение и обеспечение эффективного функционирования систем управления охраной труда (СУОТ). С 1 мая 2020 года в Республике Беларусь вступил в силу стандарт СТБ ISO 45001-2020 «Системы менеджмента здоровья и безопасности при профессиональной деятельности. Требования и руководство по применению» [1]. Перед организациями и предприятиями стоит задача привести СУОТ в соответствие требованиям нового стандарта, что позволит обеспечить дальнейшее развитие существующих систем управления охраной труда, осуществлять непрерывное совершенствование процесса создания безопасных и здоровых условий труда.

Одной из причин перехода на новый стандарт стало отсутствие разработанных и учитываемых показателей, характеризующих состояние условий и охраны труда в организациях и отсутствие четкого направления совершенствования систем управления охраной труда.

В перспективе предполагается выстраивать системы управления охраной труда (системы менеджмента здоровья и безопасности) на основе цикла непрерывного совершенствования (цикл Шухарта-Деминга), с использованием системного и процессного подходов, основанных на менеджменте качества.

Модель цикла Шухарта-Деминга (цикл PDCA: «Планируй» – «Делай» – «Проверяй» – «Действуй») состоит из четырех последовательных этапов:

- планирование;
- внедрение (применение);
- изучение и контроль;
- воздействие и совершенствование [2].

Этап «Планирование» включает основные элементы: постановка цели для дальнейших изменений; определение причин негативного состояния системы; разработка критериев для измерения действующего процесса; определение методов для решения проблем; составление плана с конкретными действиями.

Второй этап «Внедрение» создает условия для реализации планирования. Данный этап включает реализацию изменений, внесение изменений в систему, анализ происходящих процессов, как ожидаемых, так и непредвиденных.

Третий этап «Изучение и контроль» предусматривает проверку полученных результатов и их исследование. Тщательное изучение гарантирует отсутствие ошибок в будущем, а также ускоряет процедуру внедрения изменений. Основные составляющие данного этапа: анализ данных и их сравнение с заранее подготовленными прогнозами, оценка полученных результатов, реализация намеченных мероприятий, если результаты оказались положительными, или возврат к первой фазе цикла «Планирование» для их исправления.

Последний этап цикла «Воздействие». Данный этап включает стандартизацию полученных результатов, установление важных для мониторинга элементов, контроль над происходящими изменениями.

Процесс управления основывается на постоянном, многократном повторении использования цикла.

При использовании и идентификации модели с последовательными этапами, данный процесс называют «процессным подходом», использующим доступные средства для образования выходов и входов.

В процессе трудовых отношений и их развития, повышения уровня важности безопасности и здоровья персонала основной группой потребителей СУОТ (системы менеджмента здоровья и безопасности) являются работники предприятия. При этом основные данные входной информации – это риски и опасности на производстве, профессиональные заболевания и несчастные случаи на производстве, а данные выходной информации – условия труда без рисков для здоровья.

Для достижения желаемых результатов и минимизации затрат выявляются принципы взаимодействия производственных процессов. Для этого используют системный подход к управлению охраной труда.

Системный подход помогает концентрировать усилия в наиболее важных местах процесса и производить модернизацию системы с помощью проверки и оценки с последующими улучшениями.

Основой системного подхода в управлении охраной труда являются:

- лидерство, приверженность, ответственность и подотчетность высшего руководства;
- создание, руководство и развитие со стороны высшего руководства организации культуры, которая обеспечивает поддержку получения намеченных системой результатов;
- вовлечение персонала: коммуникация, консультации с работниками и участие работников, а также консультации с представителями работников и их участие в процессе управления;
- разработка политики, согласующейся с общими стратегическими целями и направлением развития организации, выделение ресурсов, необходимых для обеспечения работоспособности системы;
- подход с позиции процесса: результативные процессы выявления опасностей, управления рисками и реализация преимуществ, предоставляемых возможностями в области охраны здоровья и обеспечения безопасности труда;
- принятие решений на основе фактов: постоянная оценка показателей деятельности и мониторинг СУОТ (системы менеджмента охраны здоровья и обеспечения безопасности труда);
- непрерывное совершенствование;
- взаимовыгодное сотрудничество с заинтересованными сторонами.

Системный и процессный подходы в управлении охраной труда предоставляют руководству организации возможность значительно повысить продуктивность управления, улучшить систему использования уже имеющихся ресурсов, существенно оптимизировать систему управления охраной труда и интегрировать с менеджментом качества.

Список использованных источников

1. СТБ ISO 45001-2020 Системы менеджмента здоровья и безопасности при профессиональной деятельности. Требования и руководство по применению. – Введ. 2020-01-05. – Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2020. – 44 с.

2. Цикл Шухарта-Деминга [Электронный ресурс]: <https://www.gd.ru/articles/11720-tsikl-shuharta-deminga/> (дата обращения: 15.03.2021).

Оценка условий труда плавильщиков, обслуживающих индукционные печи

Студенты гр. 10405319 Руленков А.Д., Ерошенко П.А.
Научный руководитель – Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Условия труда на рабочих местах плавильщиков, обслуживающих индукционные печи при выплавке чугуна и стали определяются комплексом факторов производственной среды: шум, загазованность, запыленность, температура воздуха, интенсивность теплового излучения, электромагнитные излучения.

Исследования были проведены на плавильном участке литейного цеха оснащенных плавильными печами ИТП FS 60. Технологические операции, выполняемые на участке, характеризуются значительным выделением вредных веществ в виде пыли и газов (оксид углерода, оксид азота, железа оксид, пыль с содержанием диоксида кремния). Большое количество пыли выделяется при навеске и загрузке шихты, выбивке и ремонте футеровки индукционных печей и разливочных ковшей. Концентрации вредных веществ и пыли превышают предельно допустимые в 1,5-2,1 раза.

В литейном цехе предусмотрены мероприятия по снижению содержания вредных веществ и пыли:

- плавильный участок размещен в наиболее высоких пролетах с подветренной стороны здания, для предупреждения попадания газов и нагретого воздуха на другие участки цеха;
- использована высокоэффективная очистка от пыли и вредных веществ отходящих от печей газов (рукавные фильтры);
- предусмотрена механизация и автоматизация отдельных технологических операций, исключающих выделение пыли и вредных веществ.

Метеорологические условия на рабочем месте определяются температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха и интенсивностью теплового облучения. Категория выполняемых работ (по энергозатратам) на участке – средней тяжести Пб. Отмечается превышение допустимых температур воздушной среды на рабочих местах плавильщика металла на 4-7 °С, а интенсивности тепловых излучений – в 3,3-8,9 раза (в зависимости от технологической операции – загрузка шихты, плавка металла, слив жидкого металла в разливочные ковши и др.).

Защита от интенсивных тепловых излучений обеспечивается теплоизоляцией нагретых поверхностей, экранированием источников тепловых излучений, воздушным душированием, использованием спецодежды, обуви, а также применением индивидуальных средств защиты (каска и специальные защитные очки, защитные щитки).

Источниками интенсивных шумов на плавильном участке литейного цеха являются индукционные печи, грузоподъемные механизмы. Характер шума – широкополосный, длительность воздействия от 4 до 8 ч. Уровень шума на рабочих местах не превышает допустимый 80 дБА. Для снижения уровней шума предусмотрены: изолирующие кожухи, противошумные укрытия, индивидуальные средства защиты (наушники).

Источниками электромагнитного излучения на рабочем месте являются индукционные плавильные печи. Напряженность электрического поля на рабочем месте плавильщика не превышает 5 Вт/м². Для защиты работающих от электромагнитных излучений применяются защитные экраны, устанавливаемые вокруг индуктора печи.

Для обеспечения безопасности труда плавильщиков предусмотрены следующие меры:

- устранение непосредственного контакта рабочих с материалом и готовой продукцией, отходами производства;
- автоматическое управление плавильными печами;
- наличие систем сигнализации, извещающих о нарушении технологического процесса или условий безопасности труда;
- применение средств коллективной защиты (отопление, вентиляция и др.).

К работе допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, инструктаж по охране труда, обучение и стажировку на рабочем месте.

Также был проведен расчет экрана индукционной печи, который обеспечивает защиту плавильщика от электромагнитных излучений. В таблице 1 представлены данные для расчета экрана индукционной печи.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета экрана индукционной печи

| Характеристики печи | | ИТП FS 60 |
|-----------------------------------|-------------|-----------|
| Мощность печи (максимальная), кВт | | 2500 |
| Напряжение сети, В | | 380 |
| Частота тока, Гц | | 50 |
| Рабочая частота f , Гц | | 2400 |
| Сила тока в катушке I , А | | 200 |
| Число витков W , шт. | | 16 |
| Размер рабочего пространства, м | Диаметр D | 0,89 |
| | Высота, H | 1,455 |
| Радиус катушки a , м | | 0,615 |

Глубина проникновения электромагнитного поля в экран определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_{\text{э}} \cdot \sigma_{\text{э}} \cdot \pi \cdot f}},$$

где $\sigma_{\text{э}}$ – удельная проводимость материала экрана, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$,

$$\sigma_{\text{э}} = 1 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1};$$

$\mu_{\text{э}}$ – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м

$$\mu_{\text{э}} = \mu_0 \mu_{\text{э}}^1, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7};$$

$\mu_{\text{э}}^1$ – относительная магнитная проницаемость, 1,65 Гн/м;

f – рабочая частота, Гц, $f = 2400$.

Таким образом глубина проникновения равна

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{1,65 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^7 \cdot 3,14 \cdot 2400}} = 0,0025.$$

Принимаем толщину стенок экрана $d = 3$ мм. Радиус экрана $a = 0,615$.

Требуемую эффективность экранирования $\mathcal{E}_{\text{ТР}}$ находим путем деления величины напряженности поля, создаваемого катушкой на рабочем месте без экрана H_p , на величину допустимой напряженности поля H_H , равной 25 А/м.

Значение H_p находим по формуле

$$H_p = \frac{W \cdot I \cdot a^2}{4 \cdot p^3} = \frac{16 \cdot 200 \cdot 0,615^2}{4 \cdot 0,6^3} = 4728 \text{ А/м.}$$

где p – расстояние от катушки до рабочего места.

Требуемая эффективность экранирования в дБ равна

$$\mathcal{E}_{\text{ТР}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{H_p}{H_H}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{4728}{25}\right) = 42,53 \text{ дБ.}$$

Фактическую величину эффективности экранирования находим по формуле

$$\mathcal{E} = 20 \cdot \lg\left(\frac{a \cdot e^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2} \cdot \delta \cdot \mu_{\text{Э}}}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{0,615 \cdot 2,72^{\frac{0,003}{0,0025}}}{2\sqrt{2} \cdot 0,0025 \cdot 1,65}\right) = 44 \text{ дБ}$$

Фактическая величина эффективности экранирования превышает требуемую эффективность экранирования. Следовательно, рассчитанный экран обеспечивает необходимую защиту плавильщика от электромагнитных полей.

Анализ производственного травматизма в ГПО «Белэнерго»

Студент гр. 10602217 Барановский П.Г.

Научный руководитель – Мордик Е.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Анализ производственного травматизма в 2020 году в сравнении с 2019 годом в организациях, входящих в состав ГПО «Белэнерго», показал, что:

- общее количество несчастных случаев уменьшилось;
- уменьшилось количество потерпевших с тяжелыми последствиями и количество несчастных случаев со смертельным исходом;
- увеличилось общее количество потерпевших и количество групповых несчастных случаев.

В 2020 году несчастные случаи произошли во всех энергоснабжающих организациях ГПО «Белэнерго». Единичные случаи также были в некоторых других организациях объединения.

Увеличение количества несчастных случаев в 2020 году в сравнении с 2019 допустили РУП «Минскэнерго» и РУП «Могилевэнерго».

Можно отметить положительную динамику снижения производственного травматизма в РУП «Витебскэнерго», ОАО «Белсельэлектросетьстрой», Государственном предприятии «Белэнергострой» - управляющая компания холдинга и ЗАО «Белспецэнерго».

Наиболее часто встречающимися видами несчастных случаев стали:

- воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей и т.п.;
- поражение электрическим током;
- падение потерпевшего с высоты;
- падение потерпевшего во время передвижения.

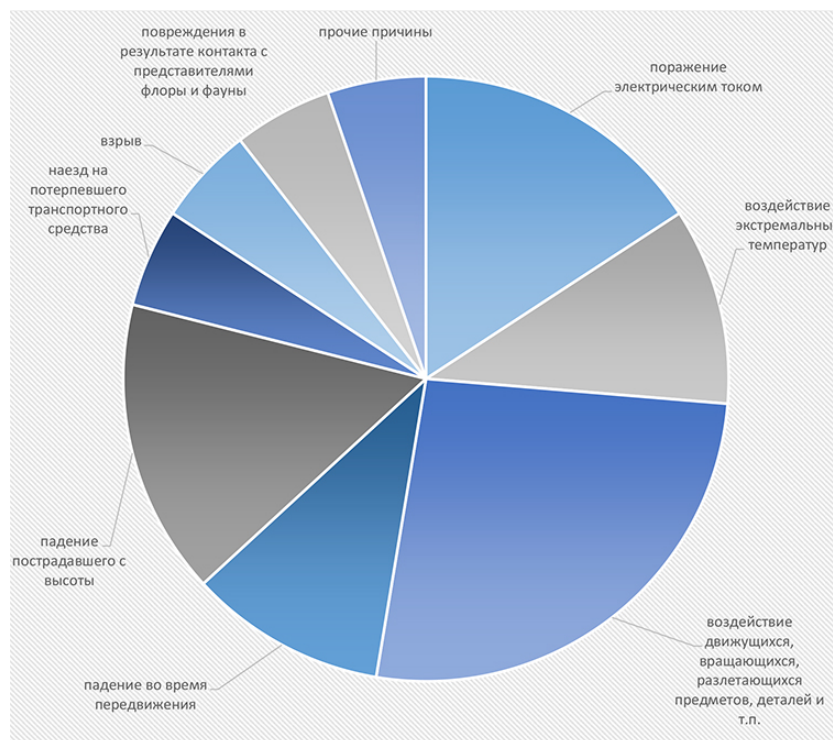


Рисунок 1 – Распределение несчастных случаев в 2020 г. по видам происшествий

Из анализа несчастных случаев, приведших к смертельным последствиям, видно, что наиболее опасным фактором производственного травматизма является поражение электрическим током и воздействие движущихся, разлетающихся предметов, деталей.

Из анализа несчастных случаев, приведших к смертельным последствиям, наиболее опасными причинами происшествий являются нарушения потерпевшими трудовой дисциплины, нормативно-правовых актов, охраны труда, неприменение потерпевшими средств индивидуальной защиты, а также нарушение требований безопасности другими работниками. В нескольких случаях причиной стало невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда, некачественное проведение инструктажа и нарушение потерпевшим требований по охране труда.

По результатам проведенного анализа сделаны выводы:

1. Наибольшему риску получить производственную травму подвержен электротехнический персонал и персонал, выполняющий работы на высоте.

2. Основными причинами несчастных случаев являются:

- личная неосторожность потерпевшего;
- конструктивные недостатки, несовершенство, недостаточная надежность средств производства;
- непредсказуемое опасное поведение животных;
- нарушение потерпевшим трудовой дисциплины, требований нормативных и правовых актов по охране труда;
- не применение потерпевшим СИЗ;
- нарушение требований по охране труда другими работниками.

3. Наиболее подвержен травматизму персонал, имеющий стаж работы более 10 лет и менее 2 лет, что во многом связано со снижением восприятия опасности профессиональных рисков и недооценкой опасности профессиональных рисков.

Анализ причин несчастных случаев показывает их прямую зависимость от личной ответственности и мотивированности на выполнение норм и требований охраны труда среднего руководящего звена и персонала организаций.

Основные мероприятия по профилактике и предупреждению производственного травматизма:

1. Разработка и внедрение в организациях, входящих в систему Министерства энергетики, системы менеджмента здоровья и безопасности при профессиональной деятельности в соответствии с СТБ ISO 45001-2020.
2. Проведение внеочередной проверки знаний по вопросам охраны труда руководителей и специалистов организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго», в которых произошли групповые несчастные случаи, со смертельным исходом или приведшие к тяжелым производственным травмам, а также грубые нарушения требований охраны труда.
3. Организация и проведение «Дней охраны труда», «Недель охраны труда» и «Месячников по охране труда».
4. Контроль состояния охраны труда, работы с персоналом и рабочих мест руководителями и главными инженерами, их заместителями и специалистами организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго», руководителями и должностными лицами структурных подразделений и филиалов организаций.
5. Проведение семинаров-совещаний по охране труда по актуальным вопросам соблюдения требований законодательства по охране труда, профилактики и предупреждения производственного травматизма, улучшения условий труда, применения современных средств защиты и т.д.

Анализ и оценка поражения электрическим током в трехфазных электрических сетях напряжением до 1000 В

Студент гр. 10602217 **Годун В.**

Научный руководитель – Мордик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Необходимость защиты человека на производстве от опасности поражения электрическим током обусловлено высокой электронасыщенностью современных технологических процессов и производств.

Если человек прикоснется к двум точкам электрической сети, которые имеют разный потенциал, в таком случае тело человека становится участком электрической цепи. То есть через тело человека будет протекать электрический ток, результатом является электротравма.

К местным электротравмам относятся электрические знаки, электрические ожоги, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Общие электротравмы или электрические удары, характеризуются возбуждением живых тканей электрическим током, которое обуславливает судорожные сокращения мышц.

Причинами смерти от электрического тока являются прекращение дыхания, работы сердца и электрический шок.

Тело человека можно представить, как элемент электрической цепи. По закону Ома ток, протекающий через человека пропорционален приложенному напряжению и обратно пропорционален сопротивлению тела человека. В промышленных и бытовых сетях напряжение равно 380/220 В, то ток через человека можно определить, как:

$$I_h = \frac{380 / 220}{R_h}$$

где 380/220 – линейное / фазное напряжение сети, В;

I_h - ток, протекающий через человека, А;

R_h - сопротивление тела человека, Ом.

Сопротивление тела человека – величина нелинейная, колеблющаяся в широких пределах и зависящая от ряда факторов: состояния кожи, площади и плотности контактов, значения силы тока, протекающего через человека, значения приложенного напряжения, рода и частоты тока и продолжительности его воздействия. Так как сопротивление тела человека электрическому току нелинейно и нестабильно и вести расчёты с такими сопротивлениями сложно, принято условно считать, что сопротивление тела человека стабильно, линейно, активно и составляет 1000 Ом.

Факторы, влияющие на степень поражения человека электрическим током, разделяются на три группы:

- факторы электрического характера
- факторы неэлектрического характера
- факторы окружающей среды.

Факторы электрического характера. Ток, протекающий через человека, является главным поражающим фактором при электротравматизме. Чем сила тока больше, тем опаснее его действие.

Факторы неэлектрического характера. К этим факторам можно отнести:

- увеличение длительности протекания тока через человека;

- путь прохождения тока через тело человека;
- индивидуальные особенности человека;
- психологическую устойчивость человека;
- площадь контакта человека с проводником электрического тока;
- «плотность» контакта;
- состояние кожного покрова.

Путь прохождения тока через тело человека существенно влияет на исход поражения. Опасность поражения особенно велика, если ток проходит через жизненно важные органы (сердце, легкие, головной мозг) и воздействует непосредственно на эти органы. Если же ток не проходит через эти органы, то его воздействие является рефлекторным и вероятность поражения уменьшается. Такие пути тока в теле человека называются петлями тока.

Чаще всего электротравмы происходят по петле «правая рука - ноги». Наиболее опасны петли тока «голова - руки», «голова - ноги» и «рука - рука», когда ток проходит через головной, спинной мозг, сердце и легкие. Из наиболее часто встречающихся путей прохождения тока самым опасным является путь «правая рука - ноги», при этом почти 7% проходящего тока приходится на сердце.

Наименьшую опасность представляет путь «нога-нога», (при поражении шаговым напряжением), но этот случай, как и многие другие, вызывает судорожное сокращение мышц и падение человека, что приводит к более тяжелым ситуациям, чем, когда ток проходит по пути «рука - ноги» или другим путем.

Факторы окружающей среды. Существенное влияние на электробезопасность оказывает окружающая среда. Опасность поражения человека электрическим током зависит от состояния и вида помещения, где применяются электрические сети и электроустановки.

Рассмотрим случаи поражения электрическим током в трехфазной сети до 1 кВ.

В сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы опасность прикосновения определяется полным электрическим сопротивлением проводов относительно земли, с увеличением сопротивления, опасность прикосновения уменьшается. А вот при аварийном случае напряжение прикосновения практически равно линейному напряжению сети, является самым опасным случаем.

В сети с глухозаземленной нейтралью при прикосновении к фазе в нормальном режиме работы человек оказывается практически под фазным напряжением сети. В случае аварии величина напряжения прикосновения лежит между линейным и фазным напряжением, зависит от соотношения между сопротивлением замыкания на землю и сопротивлением заземления.

Для предотвращения опасного воздействия электрического тока на человека в электроустановках применяются следующие меры защиты: защитное заземление; зануление; электрическое разделение сетей; применение малых напряжений; контроль и профилактика поврежденной изоляции; компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю; двойная изоляция; защитное отключение; выравнивание потенциала; защита от случайного прикосновения к токоведущим частям; оградительные устройства; электрозщитные средства и приспособления; предупредительная сигнализация; блокировки; знаки безопасности.

Электробезопасность и действие мер защиты от опасности поражения электрическим током обеспечиваются: конструкцией электроустановки; техническими способами и средствами защиты; организационными и техническими мероприятиями. Технические способы и средства применяются отдельно или в сочетании друг с другом исходя из соображений обеспечения оптимальной защиты.

Значительное снижение показателей электротравматизма может быть достигнуто лишь применением защитных мер всех видов. Их сочетание определяется типом электроустройства и условиями их эксплуатации.

Пожарная опасность электрооборудования

Студенты гр. 10602217 Дехтерёнок М.В., Мятлев Е.В.
Научный руководитель – Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Охрана труда – это неотъемлемая часть деятельности любого предприятия, в том числе и энергетических предприятий. Соблюдение всех законов и норм в области охраны труда – это залог успешного развития и обеспечения нормальной деятельности предприятия. Электроустановка – это объект повышенной опасности. Следовательно, в электроустановках охрана труда имеет большое значение. Вопросы пожарной и взрывобезопасности являются одним из приоритетных направлений в вопросах эксплуатации энергетического оборудования.

Количество пожаров, возникших при эксплуатации электроустановок, составляет значительное количество от их общего числа. Из-за неисправности и неправильной эксплуатации электроустановок ежегодно происходит 20-25% пожаров от их общего количества. Число пожаров от электроустановок составляет более 23 % от общего количества пожаров, а потери от пожаров, источником зажигания которых стали электроустановки, достигают более 25 % от общего числа потерь. Кроме того, статистика показывает, что загорания электропроводок являются причиной более 50 % всех пожаров от электротехнических изделий.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов (масла различных марок, изоляция электрических кабелей, использование в качестве топлива природного газа, мазута) и источников зажигания, которые возникают в результате различных аварийных ситуаций: перегрузки, короткие замыкания (КЗ), образование больших местных переходных сопротивлений, электрические искры и дуги и др. Растекание горящих масел на большой площади также создает опасность перехода огня на другие электроустановки.

Сложность пожарной обстановки и наличие большого количества электрооборудования различного напряжения существенно затрудняют действия пожарных подразделений при локализации и ликвидации пожаров на энергообъектах. При возникновении пожара выделяющиеся продукты сгорания могут быть причиной тяжелого травматизма как для обслуживающего персонала, так и для лиц, участвующих в его тушении. Выделяющийся дым содержит в себе самые разнообразные газы, отличающиеся друг от друга степенью вредного воздействия на организм человека. К множеству газообразных вредных продуктов горения можно отнести углекислый газ, угарный газ, хлористый водород, бензол, цианистый водород, сероводород, аммиак и др.

Факторами, обуславливающими пожарную опасность электроустановок, являются:

Короткое замыкание (КЗ) – это всякое не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание через малое сопротивление между фазами или нескольких фаз на землю (или нулевой провод). Ток при этом резко возрастает, вызывая разогрев и даже плавление проводников.

Перегрузка – это явление, при котором рабочий ток, протекающий в проводах, превышает значение допустимого тока. При двукратной и более перегрузке проводников с горючей изоляцией происходит ее воспламенение. Искрение наблюдается при размыкании электрических цепей под нагрузкой при пробое изоляции, между щетками и коллектором электрических машин. Под действием электрического поля воздух между контактами ионизируется и при достаточной величине напряжения происходит разряд, сопровождающийся свечением воздуха и треском, а при достаточной мощности искровой разряд принимает вид электрической

дуги. Искры и электрическая дуга при наличии в помещении легковоспламеняющейся жидкости или горючих газов могут быть причиной пожара или взрыва.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других горючих близлежащих материалов от тепла, возникающего в месте большого переходного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

Вихревые токи – токи, которые индуктируются в массивных металлических телах при пересечении их магнитными силовыми линиями. Они могут быть очень большими и сильно нагревать сердечники машин и аппаратов, что может привести к разрушению изоляции проводников и даже ее воспламенению. Пожарная опасность перенапряжения обусловлена нагреванием токоведущих частей за счет увеличения перенапряжения между отдельными элементами электроустановок. Пожарная опасность токов утечки обусловлена локальным нагревом изоляции между отдельными токоведущими элементами и заземленными конструкциями.

Очевидная возможность возникновения пожаров от электрического тока не означает их неизбежность при аварийных режимах в электроустановках. Все зависит от того, сложилась ли пожароопасная ситуация в момент аварийного режима, которая в присутствии окислителя возникает при совмещении горючих материалов с источниками зажигания, имеющими достаточную для воспламенения температуру и необходимый запас тепловой энергии.

К причинам можно отнести нарушения или несоблюдения мероприятий, направленных на предотвращение пожаров от электрического тока, или несовершенства этих мероприятий.

Для снижения пожарной опасности электроустановок используется: правильный выбор и расчет электрической защиты, соответствующее исполнение и размещение электроустановок, использование огнезащитных покрытий, внедрение высокоэффективных систем извещения о пожарах и возгораниях и автоматических систем пожаротушения.

Электромагнитное излучение и его влияние на электрооборудование и здоровье человека

Студент гр. 10602117 Ковзан А.А.
Научный руководитель – Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Электромагнитное излучение – это распространение электромагнитного поля (ЭМП) в пространстве и времени. Электрическое и магнитное поля являются составляющими одного целого электромагнитного поля. Поля электрической природы возникают за счет разницы потенциалов: чем больше эта разница, тем сильнее будет поле. В свою очередь, магнитное поле возникает в результате протекания электрического тока, и, как следствие, мощность магнитного поля зависит от величины тока, его создающего. По природе происхождения ЭМП можно разделить на природные и искусственные (антропогенные). Электрическая составляющая природных ЭМП является результатом возникающих в атмосфере грозových разрядов, магнитная, в свою очередь, обусловлена магнитным полем Земли. Искусственные источники могут быть также разнесены на 2 группы:

- устройства, предназначенные для передачи и приема электромагнитного излучения (например, различные радиоустановки, телевизионное оборудование, физиотерапевтические аппараты);

- устройства, в которых протекает электрический ток, а вследствие этого излучаются электромагнитные волны (объекты электроэнергетики – ЛЭП, трансформаторные подстанции и др., приборы, потребляющие электроэнергию, – бытовое оборудование, электродвигатели).

Влияние ЭМП на организм и здоровье человека зависит от ряда факторов: длины волны, интенсивности излучения, продолжительности воздействия, режима облучения (которой может быть прерывистым или непрерывным), а также от различных комбинаций уже имеющих факторов производственной среды. Один из видов воздействия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) – это тепловое воздействие, которое характеризуется повышением температуры тела, а также локальным нагревом тканей и отдельных органов. Наибольшую опасность температурное влияние полей представляется для органов со слабой терморегуляцией. Помимо этого, к наиболее уязвимым к воздействию ЭМП системам относятся: нервная (ухудшение передачи нервных импульсов, появление слабости, раздражительности и головных болей), сердечно-сосудистая (лабильность пульса и артериального давления, боли в области сердца), иммунная и эндокринная (нарушение иммуногенеза, снижение активности гипофиза).

Воздействие ЭМП на оборудование является также важным фактором производства. Способность технических средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам называется электромагнитной совместимостью (ЭМС). Электромагнитные помехи, как и ЭМИ в целом, могут быть естественной и искусственной природы. Для достижения наилучшей ЭМС приборов должны быть учтены как природные факторы, так и влияние аппаратуры, которая способна создать помехи, препятствующие нормальной работе оборудования. Воздействие, оказываемой электромагнитными помехами, может проявляться как в виде обратимых и необратимых нарушений. Примером обратимого нарушения можно назвать шум при телефонном разговоре. К необратимым – ложное срабатывание релейной защиты и автоматики, приводящее к отключению потребителей и нарушению надежного электроснабжения.

Воздействие, которое ЭМИ может оказывать на организм человека, а также на работоспособность оборудования, свидетельствует о том, что в целях сохранения здоровья рабочего персонала и функциональности аппаратуры должны приниматься меры по контролю и регулированию значений физических характеристик ЭМП.

Мероприятия, проводимые для защиты персонала от воздействия ЭМИ РЧ, можно разделить на 3 категории:

- 1) организационные;
- 2) инженерно-технические;
- 3) мероприятия с использованием средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относятся: выбор оптимальных режимов работы оборудования, рестрикция места и продолжительности нахождения персонала в зоне, подверженной воздействию ЭМИ РЧ (например, защита расстоянием и временем, применение средств предупреждающей сигнализации, выделение зон излучения).

Инженерно-технические мероприятия включают целесообразное размещение оборудования, экранирование, обозначение и ограживание зон с повышенным уровнем ЭМИ РЧ. Экранирование источников ЭМИ РЧ или рабочих мест осуществляется как с помощью отражающих (металлические листы, сетки), так и поглощающих (материалы, обеспечивающие поглощение излучения соответствующей длины волны) экранов. Экранирование смотровых окон и приборных панелей осуществляется с использованием радиозащитного стекла.

К средствам индивидуальной защиты относятся как защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда. В каждом конкретном случае способ защиты должен определяться с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, а также необходимой эффективности защиты.

Отдельно можно выделить лечебно-профилактические мероприятия. Работники, работа которых связана с воздействием ЭМИ РЧ, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры. Лица, не достигшие 18 лет, и женщины в период беременности допускаются к работе на установках только тогда, когда нет превышений значений ПДУ.

Обеспечение ЭМС может быть реализовано с помощью:

1. Организационных решений, постановлений и нормативно-технической документации, направленной на исключение или снижение до приемлемого уровня электромагнитных помех между техническими средствами;

2. Экспериментальных или теоретических исследований над техническим средством в конкретной электромагнитной обстановке;

3. Технических решений, улучшающих характеристики ЭМС рассматриваемых технических средств;

Сертификации оборудования на соответствие требованиям ЭМС. В результате соответствующих мероприятий определяется, имеется ли соответствие определенного типа технического средства требованиям государственных, международных или иных нормативов, посредством выдачи предприятию изготовителю сертификата. Сертификат выдается на основе протокола испытаний, проведенных в специализированной лаборатории.

Применение видеофиксации у электротехнического персонала для соблюдения правил охраны труда

Студент гр. 10602117 Поздняков М.Н.
Научный руководитель – Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Персональное видеонаблюдение, или видеофиксация, используется в энергетике, где приходится работать с множеством опасных факторов. Видеорегистратор в первую очередь фиксирует рабочий процесс и сохраняет данные. С помощью комплексного решения видеофиксации возможна организация удаленного контроля за выполнением правил техники безопасности.

Видеоконтроль позволяет:

- формировать доказательную базу аудио- и видеоматериалов, выяснение текущих координат персонала по ГЛОНАСС/GPS;
- соотносить местонахождение рабочего, сопоставляя координаты с полученными аудио- и видеоматериалами;
- фиксировать рабочий процесс на объектах повышенной опасности, автоматизировать передачу видеоданных в центральный аппарат в конце каждой смены.

Видеофиксация состоит из нескольких компонентов: мобильных видеорегистраторов, специального программного обеспечения, сервера выгрузки файлов.

Мобильный видеорегистратор, который находится у сотрудника осуществляет видео и звукозапись выполнения работ. После окончания трудовой смены сотрудники выездной бригады возвращают видеорегистраторы в терминал, в котором происходит выгрузка видео, записанных за трудовую смену.

Из анализа несчастных случаев, произошедших в ГПО «Белэнерго», приведших к смертельным исходам, наиболее опасными причинами происшествий являются нарушения потерпевшими трудовой дисциплины, нормативно-правовых актов, охраны труда, неприменение потерпевшими средств индивидуальной защиты, а также нарушение требований безопасности другими работниками.

Чтобы улучшить ситуацию по производственному травматизму на предприятиях ГПО «Белэнерго» (далее – филиалов) призвано внедрение видеорегистраторов и оснащение диктофонами инспекторов по охране труда.

Основные правила, касающиеся видеофиксации, прописаны во всех инструктажах филиалов:

- оснащение системами видеонаблюдения мест проведения технического обслуживания и ремонта транспортных средств, а также объектов капитального строительства, ремонта и реконструкции зданий и сооружений;
- оснащение системами видеонаблюдения мест проведения технического обслуживания и ремонта транспортных средств, а также объектов капитального строительства, ремонта и реконструкции зданий и сооружений;
- оснащение системой GPS-навигации и средствами видеофиксации всех бригадных автомобилей;
- оснащение бригад организаций видеорегистраторами для видеофиксации допуска к работе и проведения целевого инструктажа при выполнении работ повышенной опасности.

Теперь допуски, инструктажи, рабочий процесс, окончание работы полностью фиксируются на видеорегистратор, запись хранится год на серверах филиалов и в любой момент можно просмотреть их, и доказать вину работника, либо наоборот оправдать его действия.

Все действия проходят полностью согласно технологическому процессу. Однако, все эти действия занимают в 2-3 раза больше времени, что значительно снижает объем выполняемых работ персоналом. Если рабочее место не соответствует правилам охраны труда, персонал отказывается от выполнения любых работ.

В некоторых филиалах нормы выполнения работы в день (неделю) не были понижены, и персонал не успевает выполнять поставленную норму работ, что отражается напрямую на его заработной плате.

В других случаях для соблюдения технологического процесса на видеорегистратор при развивающейся аварии, когда необходимо выполнить быстро оперативные переключения, многие диспетчера следуют дословно технологическим картам оперативных переключений, чтобы не лишиться себя премии, что приводит к развитию крупных аварий, дорогостоящим поломкам электрооборудования, либо его преждевременному износу.

Также здесь работает негативно психологический фактор: некоторые работники опасаются, что случайно нарушат технологический процесс на видеорегистратор, тем самым работают с повышенным волнением, и в большинстве таких ситуаций происходят несчастные случаи. В то время, как работая без видеорегистратора, показывали хорошие навыки и высокий уровень профессионализма.

Применение видеофиксации привело, в большинстве случаев, к соблюдению правил охраны труда, технологических карт, любое нарушение их пунктов фиксируется и может быть использовано против работника, либо нанимателя.

Влияние различных видов ламп освещения на организм человека

Студенты гр. 10602117 Сергеенко И.М., Шалыгин Н.Г.
Научный руководитель – Мордик Е.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Большую часть дня человек работает в условиях искусственного освещения. Искусственное освещение – получение света от неестественных источников: огонь, газовые установки, электрические лампы и светильники, прожекторы и т.д. Самыми распространенными источниками получения искусственного света являются лампы освещения.

Наиболее распространены следующие виды ламп освещения:

- накаливания;
- люминесцентные;
- галогеновые;
- светодиодные лампы.

В лампах накаливания поток света получается за счет накаливания вольфрамовой нити. Основной недостаток – большие потери электроэнергии.

Галогеновые – это разновидность ламп накаливания, в которых за счет буферного газа значительно повышена эффективность элемента накала.

Люминесцентные выделяют свет за счет устойчивого горения паров, которое и вызывает свечение этого покрытия.

В светодиодных лампах источником света служит светодиод, который при прохождении электрического тока начинает светиться.

Из-за различия принципов работы ламп освещения они будут по-разному воздействовать на человеческий организм.

К положительным качествам ламп накаливания следует отнести: отсутствие токсических составляющих, корректная передача цвета, отсутствие искажения цветопередачи, отсутствие пульсаций. К отрицательным качествам отнесем: пожароопасность, неравномерность светового потока, яркий свет нити накаливания.

Корректная передача цвета способствует меньшей усталости глаз. Яркий свет нити накаливания при ближнем расположении к органам зрения отрицательно воздействует на сетчатку глаза.

К положительным качествам галогеновых ламп относятся: повышенная цветопередача, которая создаёт мягкий и приятный для глаз цвет. К отрицательным качествам относятся: низкочастотный шум, токсичность, сопровождаемая улетучиванием брома и йода, пожароопасность.

Пожароопасность галогеновых и ламп накаливания вызвана тем, что в процессе работы нагревательная спираль нагревается до температуры в несколько тысяч градусов, что ведет к нагреву корпуса лампы, что в свою очередь может стать причиной пожара.

К положительным качествам люминесцентных ламп относятся: повышенная цветопередача, пожаробезопасность. К отрицательным качествам относятся: токсичность (наличие ртути), холодное люминесцентное освещение, ультрафиолетовое излучение, наличие пульсации освещения.

Используя холодное люминесцентное освещение в тёмное время суток, мы вводим в заблуждение собственный организм, который считает, что сейчас светлое время суток, а это может привести к нарушениям сна, бессоннице, неврозам, инфаркту, опухолям. Ультрафиолетовое излучение лампы может привести к необратимым изменениям кожи: разрушается коллаген и эластин, из-за чего появляются высыпания на коже, экзема, псориаз, наблюдается рост

раковых клеток, появление мигреней, эпилептических приступов. Пульсация отрицательно влияет на работу мозга, что приводит к быстрой утомляемости и плохому самочувствию.

Из всего вышеперечисленного люминесцентные лампы не следует устанавливать в детских комнатах и учреждениях, где находятся дети.

К положительным качествам светодиодных ламп относятся: малые пульсации по сравнению с люминесцентными, нетоксичность, пожаробезопасность. К отрицательным качествам относятся: сильное коротковолновое излучение, которое оказывает слепящее действие и негативно влияет на зрение.

Для уменьшения негативного влияния слепящего света следует использовать светодиодные лампы, оборудованные светозащитным рассеивателем. Также следует отказаться от установки низкокачественных светодиодных ламп с излучением синего света, которое вызывает болезнь глаз под названием возрастная дегенерация макулы. Проблема с синим светом кроется не в самих источниках светодиодного освещения, а в их качестве.

К общей проблеме всех видов ламп, применяемых для освещения, относится то, что искусственный свет подавляет выработку организмом мелатонина. Человек не испытывает сильной сонливости, но и периоды активности у него проходят менее продуктивно: снижается концентрация внимания, ухудшается настроение. Искусственное освещение приводит к нарушению естественного течения биоритмов и негативно сказывается на здоровье и работоспособности человека.

Работу гормонов, обуславливающих биологические ритмы, можно регулировать безопасным образом за счет качественного освещения. Эта задача была решена за счет управления цветовой температурой светодиодных осветительных ламп. Цветовая температура настраивается исходя из конкретной ситуации.

Нейтральный цвет создает комфортные условия для решения стандартных задач. Холодная температура света повышает уровень активности. Теплый цвет освещения необходим для периодов отдыха, когда организм человека может восстановить свои силы. Система биологически и эмоционально эффективного освещения позволяет обеспечить продуманное и безопасное влияние искусственного света на здоровье. Такой свет учитывает биологические ритмы человека, помогает грамотно их корректировать и эффективно тратить энергию в ходе рабочего дня.

К минусам светодиодных ламп с управлением цветовой температурой относятся только незначительные пульсации, которые при применении светозащитного рассеивателя ничтожно малы.

Таким образом, светодиодные лампы с управлением цветовой температурой являются наиболее безопасным вариантом освещения для человеческого организма.

Безопасность при выполнении неразрушающего контроля с применением источников ионизирующего и радиационного излучения

Студенты гр. 11312117 Скрипка И. Н., Москалёва А.В.

Научный руководитель – Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При проведении неразрушающего контроля с применением источников ионизирующего и радиационного излучения весьма актуальным является вопрос безопасности здоровья работника. Воздействие данного излучения на организм при превышении пороговых значений может вызывать серьезные последствия: нарушение функционирования тканей, органов, покраснение кожи (ожог), выпадение волос, острый лучевой синдром. К ионизирующему излучению наиболее чувствительны ткани костного мозга, половые железы и кроветворные сосуды. Длительное воздействие небольших доз может приводить к возникновению онкологических заболеваний. При попадании радиоактивных частиц, пыли или газа внутрь организма происходит внутреннее облучение (поражение внутренних органов). Поэтому огромную важность имеет выбор максимально безопасных приборов, средств индивидуальной защиты и соблюдение требований техники безопасности при проведении такого рода работ.

Приборы, используемые в радиационной дефектоскопии, по виду излучения можно разделить на две группы: рентгеновские (источник излучения – рентгеновская трубка; излучение производится только в момент подачи напряжения – в остальное время безопасна) и радионуклидные (источник излучения – радионуклиды селена, иридия, цезия, кобальта и др., заключенные в защитный кожух). Последние могут создавать или направленный в одну сторону расходящийся пучок излучения конической или пирамидальной формы или кольцевой расходящийся пучок - они являются постоянным источником – альфа, бета или гамма-излучения.

В Республике Беларусь для обеспечения радиационной безопасности дефектоскопистов действуют следующие нормативные акты: Санитарные правила 2.6.1.8-9-2004 «Обеспечение радиационной безопасности при радионуклидной дефектоскопии», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 6.12.04 г. № 125 и СанПиН 2.6.1.8-12-2004 «Обеспечение радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 30.12.04 г. № 159. Согласно ним, дефектоскопист проходит обучение безопасным методам работы, инструктаж и проверку знаний правил безопасности ведения работ и действующих в организации инструкций, ежегодный медицинский контроль. Приказом руководителя организации назначаются лица, ответственные за радиационную безопасность, радиационный контроль, за учет и хранение аппаратов, за организацию сбора, хранения и сдачу радиоактивных отходов. Для контроля и количественной оценки радиационного воздействия при проведении дефектоскопии на нестационарных рабочих местах согласно ГОСТ 29074-91 «Аппаратура контроля радиационной обстановки» определяют показатели: мощность эквивалентной дозы облучения (Зв/ч), поглощённая доза (Гр) и эквивалентная доза (Зв).

В данной работе рассмотрим наиболее популярные мобильные приборы-источники ионизирующего и радиационного излучения для неразрушающего контроля, используемые на нестационарных рабочих местах, проведем анализ безопасности их устройства и использования, а также рассмотрим требования безопасности, предъявляемые к приборам, рабочим местам и средствам защиты при проведении дефектоскопии с применением рентгеновских и радионуклидных дефектоскопов.

В качестве оборудования для радиационного неразрушающего контроля наиболее широко применяются: рентгеновские трубки (непрерывного излучения или импульсные); рентгеновские аппараты; гамма-дефектоскопы. Далее рассмотрим некоторые из них, разрешенные к применению, согласно Перечню действующих разрешений, на право применения в Республике Беларусь оборудования и технических устройств, являющихся источниками ионизирующего излучения.

Импульсный рентгеновский аппарат ПАМИР-200 (рисунок 1) является источником рентгеновского излучения во включенном состоянии, при нахождении рентгеновской трубки под напряжением. Таким образом, при транспортировке прибор не представляет опасности. Аппарат оснащен пультом дистанционного управления, соединенным с рентгеновским блоком кабелем длиной 25 м, что позволяет обеспечить безопасность персонала расстоянием и возможность создания защитной преграды. Пульт имеет встроенные таймер экспозиции и цвето-световую (светодиодную) индикацию включения рентгеновской трубки. Для предотвращения несанкционированного использования аппарат оснащен замком безопасности. Рабочее место персонала требуется располагать в стороне, противоположной направлению пучка исходящего излучения, для уменьшения радиуса радиационно-опасной зоны рекомендовано применение рентгенозащитных ширм, не рекомендовано направлять пучок излучения на дома, рабочие места. Опасная зона обозначается предупредительными знаками и надписями. Руководство по эксплуатации устанавливает максимальное время работы с аппаратом без дополнительных мер защиты – 15 минут в час.



Рисунок 1 – Рентгеновский аппарат серии ПАМИР-200

Гамма-дефектоскопы Exertus Selen 120 Еко (рисунок 2) и Exertus Selen 40,80, 120 (рисунок 3) работают на основе радионуклида селен-75. Приборы оснащены блоком биологической защиты из вольфрама, затвором радиационной головки и блокировочным устройством, что позволяет защитить работника от радиоактивного излучения, также обеспечивает безопасную транспортировку. Дефектоскопы также оснащены сигнализацией, включающейся при переводе источника излучения в рабочее состояние. Источник излучения надежно зафиксирован, конструктивно исключен несанкционированный доступ к нему. Для предотвращения распространения гамма-излучения используются защитные экраны, располагаемые на пути распространения излучения за исследуемой конструкцией.



Рисунок 2 Гамма-дефектоскоп Exertus Selen 120 Еко



Рисунок 3 Гамма-дефектоскоп Exertus Selen 40,80, 120



Рисунок 4 Рентгеновский аппарат МАРТ-250

Рентгеновский дефектоскоп МАРТ-250 (рисунок 4) состоит из блока рентгеновского излучения и пульта управления, которые соединены кабелем длиной 30 метров, что обеспечивает безопасность персонала. Аппарат имеет такие же средства безопасности, как и ПАМИР-

200: свето-цветовая сигнализация включения рентгеновской трубки (светодиод «Излучение» на пульте управления), замок безопасности, возможность установки защитных ширм. Требования безопасности к проведению работ также аналогичны.

Рассмотренные приборы отвечают основным требованиям к производству и конструкции радиационных дефектоскопов: эргономичность и минимальная угроза облучения персонала при проведении контроля. Рентгеновские аппараты оснащены системами блокировки и сигнализации (световой, звуковой); невозможно включение в случае неисправности этих систем; замковое устройство для невозможности несанкционированного использования; опломбированы все блоки; нанесены знаки радиационной опасности. Конструкция радионуклидных дефектоскопов отвечает следующим требованиям: защитные устройства цилиндрической или сферической формы (для источника γ – из тяжелых материалов, для источника α или β – из водородсодержащих); надежная фиксация источника излучения; устойчивость конструкции прибора к атмосферным, механическим и термическим воздействиям; безопасность при пожаре – обеспечивается заключением в тугоплавкий корпус; система сигнализации, включающаяся при включении прибора; мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от поверхности защитного блока источника излучения при хранении не превышает 20 мкЗв/ч; на наружную поверхность нанесены наименования, заводской номер, знак радиационной опасности.

Транспортировка источников излучения проводится специальным транспортом с соблюдением всех необходимых правил. При проведении рентгеновской дефектоскопии на нестационарных рабочих местах с применением переносных и передвижных дефектоскопов на расстоянии не менее 3-х метров от места проведения с помощью металлических стоек, сигнальной ленты, табличек или других меток маркируется радиационно-опасная зона. Контроль в полевых условиях и на открытых площадках проводится как минимум двумя работниками, которые находятся на безопасном расстоянии (или за защитным экранирующим устройством). Этого достигается применением дистанционного управления. Для уменьшения вредного воздействия на работников при осуществлении рентгеновского контроля объекты просвечивают при минимальном угле расхождения пучка излучения; устанавливают защитный экран, перекрывающий пучок излучения; проводят контроль с минимальным затраченным временем, за счёт использования высокочувствительных плёнок; пульт управления переносных аппаратов размещается согласно технической документации на устройство, либо на расстоянии которое обеспечивает безопасную работу; во время контроля запрещено оставлять дефектоскоп без присмотра.

При проведении радионуклидной дефектоскопии осуществляется контроль за обеспечением радиационной безопасности. Лица, осуществляющие радионуклидную дефектоскопию, обеспечиваются двумя дозиметрами. Также маркируют опасную зону, граница которой обозначается знаками радиационной опасности. При просвечивании контролируемого изделия персонал должен находиться в противоположном направлении от рабочего пучка. Не допускается оставлять приборы без присмотра.

Все лица, имеющие отношение к радиационному неразрушающему контролю, делятся на категории А и Б. К категории А относят персонал, работающий с ионизирующим излучением (предельно допустимая доза 50 мЗв в год или 1 мЗв в неделю). Лица этой категории обеспечиваются индивидуальными дозиметрами для контроля радиационной обстановки согласно ГОСТ 29074-91 «Аппаратура контроля радиационной обстановки». К категории Б относят персонал, который по условию размещения рабочих мест может подвергаться облучению (предельно допустимая доза 5мЗв в год). Персонал обязан иметь средства индивидуальной защиты согласно СанПиН 2.6.1.8-9-2004: антиконтаминационные костюмы, свинцовые фартуки.

В ходе выполненной работы были проанализированы характеристики дефектоскопов с точки зрения безопасности персонала. Описана техника безопасности при проведении неразрушающего контроля с применением источников ионизирующего и радиационного излучения согласно действующим нормативно-правовым документам. Все рассмотренные приборы соответствуют требованиям к конструкции и эксплуатации, установленным Санитарными правилами 2.6.1.8-9-2004 и СанПиН 2.6.1.8-12-2004.

**Особенности СУОТ в организациях, занимающихся
обследованием строительных конструкций зданий и сооружений**

Студент гр. 11203116 Шейна Е.О.
Научный руководитель – Ушакова И.Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одной из особенностей СУОТ в организациях, занимающихся обследованием строительных конструкций зданий и сооружений, является наличие опасных и вредных производственных факторов, с которыми могут столкнуться инженеры и рабочие во время работы:

1. Движущиеся машины и механизмы;
2. Незакрепленные грузы и конструкции, неукрепленный грунт, неустойчиво сложенные материалы;
3. Подвижные части производственного оборудования, режущие части инструмента, и при этом разлетающиеся частицы;
4. Недостаточная освещенность, недостаточная видимость зоны работ, неблагоприятные погодные условия;
5. Работа на высоте (ближе 2 м от не огражденного перепада высот 1,3 м и более);
6. Взрыво-, пожароопасные концентрации горючих газов, пыли в воздухе помещения/сооружения (природный газ, метан, пропан, ацетилен, водород, сероводород и т.д.);
7. Открытое пламя, электросварочная дуга, искры, брызги расплава металла, горячие поверхности ($> 70^{\circ}\text{C}$);
8. Наличие в воздухе рабочей зоны химических веществ 1-4 класса опасности, контакт с едкими веществами;
9. Повышенная запыленность, загазованность (пыли/аэрозоли);
10. Повышенная или пониженная температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение, работа в неотапливаемых помещениях, холодильных камерах или на открытом воздухе;
11. Напряженность труда (интеллектуальные нагрузки, сенсорные нагрузки на органы зрения/слуха/голосовой аппарат, эмоциональные нагрузки, монотонность труда, ночные смены).

Для успешного функционирования СУОТ руководитель организации несет ответственность за охрану труда:

за предупреждение и ухудшение состояния здоровья работников, за предоставление безопасных и благоприятных для здоровья рабочих мест, и видов деятельности и др.;

- гарантии того, что Политика и цели в области охраны труда согласованы со стратегическим направлением развития организации;
- внедрение требований СУОТ в бизнес-процессы организации;
- обеспечение ресурсами, необходимыми для разработки, поддержания в работоспособном состоянии и улучшения СУОТ;
- донесения важности результативного управления и соответствия требованиям СУОТ;
- гарантии того, что СУОТ обеспечивает ожидаемые результаты;
- оказания помощи работникам для обеспечения результативности СУОТ;
- обеспечения постоянного улучшения СУОТ;
- поддержку лидерства должностных лиц в зоне ответственности;
- поощрения корпоративной культуры на активное участие работников в СУОТ;

- защиты работников от преследования в тех случаях, когда они информируют о несчастном случае на производстве или профзаболевании, опасностях, рисках и возможностях;

- проведение консультаций с работниками и их участие.

В организации должен осуществляться ежегодный мониторинг и измерение результативности следующих элементов СУОТ:

- целей и программы их достижения (плана мероприятий по охране труда);

- мер управления рисками, указанными в картах опасностей и рисков;

- компетентности персонала (работающих) в области охраны труда;

- состояния здоровья и травматизма работников организации;

- состояния условий и охраны труда на рабочих местах, техническое состояние оборудования, машин и механизмов;

- корректирующих и предупреждающих мероприятий по результатам аудитов;

- соблюдения законодательных (НПА, ТНПА) и других требований по охране труда;

- ведения необходимых записей по охране труда.

Для регистрации результатов мониторинга и оценки соответствия ведутся записи в журналах, предписаниях, актах, протоколах и других документах.

Одной из особенностей является перечень записей в локальной нормативной документации:

Таблица 1 – Перечень записей в локальной нормативной документации

| № п/п | Наименование записей | Раздел СТБ 18001 | Ответственный за ведение и хранение | Срок хранения |
|-------|---|------------------|---|-------------------------|
| 1. | Карты опасностей и рисков | 4.3.1 | Специалист по охране труда | 3 года |
| 2. | Реестр НПА и ТНПА по охране труда, применимых в деятельности организации | 4.3.2 | Специалист по охране труда | 1 год |
| 3. | Журналы инструктажей по охране труда | 4.4.2 | Руководитель участка | 10 лет |
| 4. | Журнал учета присвоения (подтверждения) электротехническому персоналу группы по электробезопасности | 4.4.2 | Лицо, ответственное за электрохозяйство | 10 лет |
| 5. | Личная карточка учета средств индивидуальной защиты (СИЗ) или ведомость выдачи СИЗ | 4.4.6 | Специалист по снабжению | До увольнения работника |
| 6. | Наряд-допуск на производство работ повышенной опасности | 4.4.6 | Главный инженер | 1 год |
| 7. | Протокол проверки знаний по вопросам охраны труда | 4.5.2 | Специалист по охране труда | 5 лет |

Отличительной особенностью СУОТ в организациях, осуществляющих обследование строительных конструкций зданий и сооружений, являются перечни обязанностей, ответственности и полномочий всех сотрудников. Для специалиста по охране труда основными обязанностями являются:

- вводный инструктаж с работниками;

- методическая помощь руководителям и специалистам организации в обеспечении безопасных условий труда;
- информирует работающих о состоянии условий труда на рабочем месте, существующем риске повреждения здоровья, полагающихся средствах защиты и иных вопросах по охране труда;
- подготавливает необходимые документы по охране труда (приказы, инструкции, перечни, планы и мероприятия);
- участвует в организации обучения, инструктажа и проверки знаний по вопросам ОТ;
- проводит регулярные проверки состояния условий труда и соблюдения законодательства об охране труда с выдачей предписания по устранению выявленных нарушений;
- разрабатывает мероприятия по внедрению и функционированию СУОТ;
- подготавливает проекты разделов коллективного договора, касающихся вопросов охраны труда, разработку плана мероприятий по охране труда;
- участвует в расследовании несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, разработке мер по их профилактике и предупреждению;
- составляет и актуализирует перечень и фонд НПА и ТНПА по охране труда, применяемых в деятельности организации, обеспечивает руководителей подразделений указанными документами, в том числе инструкциями по охране труда;
- организует работу кабинета (уголка или информационного стенда) по охране труда.

На предприятиях должны быть предусмотрены все элементы стандарта СТБ 18001-2009 «Система управления охраной труда» (СУОТ): политика в области охраны труда, планирование, внедрение и функционирование; контролирующие корректирующие действия; анализ со стороны руководства. Это обеспечит снижение травматизма и профзаболеваний.

Обеспечение безопасности персонала при выполнении работ с источниками ионизирующего излучения

Студент гр. 10603317 Анищик О.Р.

Научный руководитель – Филянович Л.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В связи с всемирным растущим спросом на электроэнергию, человечество ищет способы удовлетворить эти запросы. Учитывая экологическую обстановку на планете для удовлетворения потребностей в электроэнергии и соблюдения экологического баланса необходима разработка инновационных, использования безопасных, экономических и надежных источников электроэнергии. Это вынуждает страны к возведению АЭС.

Для осуществления поставленных целей, в связи с изменением климата, почти вся электроэнергия должна быть низкоуглеродной, что будет возможно только в случае более широкого использования ядерной энергетики, заявило МАГАТЭ на форуме 2020 года посвященному ядерной энергии. МАГАТЭ является весьма авторитетной организацией системы ООН. Ввиду большого количества стран-партнеров, являясь частью ООН, МАГАТЭ является международным центром партнерства и сотрудничества, развития в области атомной энергии. Своей целью ставит использование ядерной энергии только в безопасных и мирных целях. Использует лозунг – «Атом для мира и развития». Сейчас треть всей низкоуглеродной электроэнергии приходится на атомную. Безопасное использование атома развивается совместно с развитием научно-технического прогресса в мире. Современные АЭС не должны допускать возможностей экологических катастроф, случившихся в разных частях мира и приведших к глобальным экономическим и экологическим проблемам. Во всем мире в настоящее время эксплуатируется более 400 действующих ядерных реакторов, а в 17 различных странах строятся 54 новых энергоблока. Всего же в мире сейчас насчитывается около 475 проектов новых ядерных реакторов, которые еще не начали строительство, но уже были объявлены или начали получать разрешения и финансовые средства. Новейшие технические разработки – от быстрых реакторов-размножителей и малых модульных реакторов до усовершенствованных норм ядерной и физической безопасности – позволяют интегрировать АЭС в гибридные системы, в которых используются и другие источники энергии.

Три главные причины по которым строительство АЭС является решением удовлетворения потребности в электроэнергии и соблюдения интересов мировой экологии:

1. на ядерную энергетику приходится вторая по величине доля чистой электроэнергии в мире;
2. возобновляемые источники энергии совместно с ядерной энергетикой могут осуществить планы по безуглеродной промышленности;
3. ветровая и солнечная энергетика интенсивно развиваются, однако имеют характерную проблему в виде перерывов в энергоснабжении.

К работам в условиях радиационной опасности и в зоне их действия допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, прошедшие медосмотр и не имеющие медицинских противопоказаний для работы в указанных условиях. Персонал, выполняющий работы с источниками ионизирующего излучения, в том числе любые работы в зоне контролируемого доступа АС (ЗКД), проходит согласно обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в целях предупреждения профессиональных заболеваний. Персонал, временно привлекаемый для работы в таких условиях, проходит медицинский осмотр, обучение с освоением практических приемов безопасного выполнения конкретных работ и проверку знаний Правил радиационной безопасности при эксплуатации АС (ПРБ АС-99). Одноразовое посещение (экскурсии, осмотр отдельных помещений и т.п.) зоны контролируе-

мого доступа лицами, не относящимися к группе А, допускается с разрешения директора или главного инженера АС в сопровождении назначенных лиц по установленным маршрутам движения. Персонал АС, а также персонал, привлекаемый к работам с источниками ионизирующего излучения, должен: знать и выполнять требования ПРБ АС -99 в объеме должностной инструкции, а для рабочих - инструкции по радиационной безопасности; стремиться к выполнению своих должностных обязанностей с получением наименьших дозовых нагрузок; бережно относиться к используемым средствам индивидуального и коллективного радиационного контроля (средства контроля загрязнения рук, тела, одежды и т.д.); применять предписанные средства индивидуальной и коллективной защиты, в том числе снижающие возможность внутреннего облучения (средства индивидуальной защиты органов дыхания); выполнять все указания работников отдела радиационной безопасности, касающиеся обеспечения радиационной безопасности при выполнении работ; выполнять установленные требования по предупреждению радиационной аварии и правила поведения в случае ее возникновения; обо всех неисправностях в работе установок, приборов и аппаратов, являющихся источником излучения, немедленно ставить в известность непосредственного руководителя и отдел радиационной безопасности. Командированный персонал привлекается к работам в зоне контролируемого доступа только при наличии положительного медицинского заключения, выданного соответствующей лечебно-профилактической организацией (учреждением). Руководители сторонних организаций при направлении работников на АС для выполнения работ должны обеспечить персонал медицинским заключением о возможности допуска к работам с источниками ионизирующего излучения, сведениями о прохождении проверки знаний по охране труда и радиационной безопасности, а также справку о разрешенной дозе облучения на период работы на АС. При проведении работ с источниками ионизирующего излучения персонал обязан выполнять следующие основные требования: выполнять требования, касающиеся условий и времени проведения работ по дозиметрическим нарядам и распоряжениям; следить за загрязнением рабочих инструментов и своевременно проводить их дезактивацию; место проведения работ со вскрытием радиоактивного оборудования должно быть ограничено видимым барьером, площадь выделенной зоны должна быть минимальной; вход на территорию, выделенную для проведения ремонтных работ со вскрытием оборудования, должен осуществляться через временный саншлюз. Не допускается выход за территорию, где проводятся работы в спецодежде, имеющей радиоактивное загрязнение более допустимых значений; перед началом ремонтных работ (при необходимости) должна быть проведена дезактивация ремонтируемого оборудования, помещений; во время работ на рабочих местах должен находиться только персонал, присутствие которого необходимо; инструменты, используемые при ремонтных работах, должны быть с особой маркировкой и размещаться на специальных поддонах или в ящиках, выполненных из легко дезактивируемого материала. Инструменты, загрязненные в период ремонтных работ, подлежат дезактивации. Использование этих инструментов при ремонте незагрязненного оборудования должно быть исключено; при извлечении любых предметов из реактора, бассейна выдержки или других мест для их временного хранения должны приниматься меры, исключающие попадание радиоактивной воды на поверхности помещений и оборудования; при проведении сварочных работ необходимо принимать меры по предотвращению ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей, сварка мелких деталей и оборудования должна проводиться на специальных стендах, оборудованных местной вытяжной вентиляцией; персонал, участвующий в ремонтных работах, должен быть обеспечен оперативным дозиметрическим контролем (по возможности электронным цифровым прямо показывающим и сигнализирующим дозиметром); выполнять требования плакатов и знаков безопасности; соблюдать санитарно-пропускной режим; соблюдать меры личной гигиены:

а) волосяной покров головы должен быть полностью закрыт шапкой;

б) при попадании на открытые места тела воды, загрязненной радиоактивными веществами, или жидкости неизвестного состава следует промыть загрязненные участки водой в саншлюзе и проверить на установке радиационного контроля;

в) курить в предназначенных для этих целей помещениях, предварительно обмыв руки и проверив их на загрязнение;

г) пить воду только в предназначенных для этого местах;

д) носить очки с легко дезактивируемой оправой;

- запрещается: приносить и принимать пищу, пользоваться косметическими средствами, пить воду из кранов, пользоваться различными емкостями для питья, брать в руки случайные предметы, входить в помещения при срабатывании в них сигнализации радиационной опасности, сливать радиоактивные растворы в унитазы и умывальники.

Весь персонал АС и прикомандированные лица, работающие в зоне контролируемого доступа, должны быть обеспечены основными и дополнительными сертифицированными средствами индивидуальной защиты и обучены правилам пользования ими. При срабатывании сигнализации радиационной опасности в помещениях зоны контролируемого доступа (включение световой и звуковой сигнализации) необходимо поставить в известность непосредственного руководителя и службу радиационного контроля и действовать в соответствии с их указаниями. При перемещении загрязненного оборудования в пределах зоны контролируемого доступа необходимо заключать его в полиэтиленовую упаковку, предотвращающую возможность радиоактивного загрязнения помещения, а при необходимости использовать защитные контейнеры. Транспортировка загрязненного оборудования через помещения постоянного пребывания персонала и помещения зоны свободного режима, а также его хранение в этих помещениях не допускается. При работах на оборудовании, выведенном в ремонт, должны быть выполнены следующие технические мероприятия: произведены необходимые отключения (технологические и электрические) и приняты меры против ошибочной или самопроизвольной подачи сред с радиоактивными веществами на место производства работ и включения ремонтируемого оборудования; выявлены виды радиационного воздействия на месте производства работ; организован саншлюз; проведена дезактивация оборудования; организованы временные или стационарные ремонтные зоны; предприняты меры к локализации, сбору и удалению отходов; вывешены знаки безопасности и плакаты. Все выгруженные из активной зоны реактора предметы (тепловыделяющие сборки, оборудование, детали, приборы) должны немедленно размещаться в предназначенных для них проектом местах с использованием необходимой защиты. Сбор и удаление жидких радиоактивных отходов, образующихся в процессе эксплуатации АС, должны осуществляться через систему спецканализации или путем использования специальных контейнеров для жидких или твердых радиоактивных отходов. На АС должен быть установлен порядок сбора, хранения, транспортировки и захоронения радиоактивных отходов в соответствии с правилами и инструкциями. При необходимости произвести осмотр состояния работающего оборудования, расположенного в гермообъеме, порядок доступа персонала в гермообъеме при эксплуатации энергоблоков определяется инструкцией, утвержденной директором и согласованной с местным органом медико-биологического агентства. Все случаи нарушения правил радиационной безопасности, которые стали причиной незапланированного повышенного облучения персонала должны быть расследованы в соответствии с установленным порядком и приняты меры, предотвращающие повторение подобных случаев. Лицом, ответственным за обеспечение радиационной безопасности на АС, является директор АС. Ответственность за организацию работ по обеспечению радиационной безопасности возлагается на главного инженера АС. Руководители структурных подразделений АС несут ответственность за обеспечение радиационной безопасности в своих подразделениях и на закрепленном оборудовании.

В заключении необходимо отметить, что ядерная энергия – это монета с двух сторон. В тексте выше приведены в основном положительные стороны, частичное решение современных проблем человечества, однако следует обращаться с ядерной энергией весьма осторожно и рационально. Ведь она может стать и причиной больших проблем для человечества при неправильном использовании.

Применение взрывозащитного оборудования

Студенты гр. 10604117 Ипатов А.В., Супрун А.И.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При эксплуатации электрооборудования могут возникать аварийные ситуации (электрическая дуга, электрическая искра, замыкание на корпус, повреждение изоляции и др.) при которых возникают высокие температуры, в следствии нагрева отдельных частей оборудования. Если эта ситуация происходит в условиях нахождения в воздухе взрывоопасных или пожароопасных смесей, то такие процессы могут инициировать взрывы и пожары в помещениях. В этой связи существуют два вида электрооборудования по опасности возникновения процессов искрообразования:

1. оборудование, являющееся источником искр в нормальных условиях эксплуатации. К ним относятся автоматические выключатели, системы управления и др.

2. оборудование является источником искр в аварийной ситуации (электродвигатели с короткозамкнутым ротором, различное оборудование для выполнения измерений и др.)

Таким образом, в условиях нормальной эксплуатации электрические приборы могут являться источником искрообразования и провоцировать нагрев до аварийных температур, и если такое оборудование установлено в помещениях с источниками пылевых смесей в опасных концентрациях, то может произойти взрыв либо пожар, что представляет опасность для персонала и оборудования.

В связи с этим предусматриваются виды оборудования, которые имеют защищенное от взрыва исполнение следующих видов:

- взрывонепроницаемые, при котором все элементы оборудования помещены в конструкции, защищенные от взрыва. Они обладают способностью устойчивости к взрывам, обеспечивают защиту от смесей, которые могут привести к взрыву. Такая конструкция находится внутри электрооборудования. Для обеспечения таких свойств применяется прочное покрытие электрооборудования. Оно рассчитывается на опасное давление, которое может развиваться в условиях взрыва. Тепловые потери в таких покрытиях приводят к снижению давления взрыва и обеспечивают безопасность при эксплуатации такого оборудования. Таким образом, оборудование, исполненное непроницаемым для взрыва, проектируется так, чтобы защитная оболочка смогла выдержать взрывное давление при концентрации опасных смесей, превышающих допустимое.

- исполнение электрооборудование с повышенной надежностью против взрыва. Оно изготавливается таким образом, чтобы исключить опасность появления искры или высоких температур, а также электрических дуг в тех условиях, где их появление является недопустимым.

- защита с масляным наполнением. При этом все электрические части, которые в нормальных условиях могут приводить к появлению искр, погружаются в среду, наполненную маслом. Это мера позволяет исключить возможность контакта электрических элементов и опасных смесей. Если, по условиям эксплуатации, не представляется возможным поместить электрические элементы в среду с маслом, то некоторые их части помещаются в конструкцию, выполненную по другому принципу.

- исполнение, применяемое продувку под избыточным давлением. Электрические контакты помещаются в специальные замкнутые конструкции, в которые запускается чистый воз-

дух или инертный газ. Если процесс продувки невозможен, то электрические контакты, которые в нормальных условиях эксплуатации могут являться источником искр, должны помещаться в замкнутую конструкцию, выполненную по другому принципу.

В электрической сети, в которой существует опасность появления искр, является опасной с точки зрения искрообразования.

Электрооборудование, имеющее наполнитель с кварцевым песком, имеет в замкнутой конструкции сыпучий материал в виде кварцевого песка. Такое исполнение электрооборудование применяют как дополнение, между твердым заполнением и оболочкой, выполненной в форме непроницаемой для взрыва.

Применяется также исполнение, которое называется “специальное”. Здесь, электрические контакты помещают в защитную конструкцию, создается давление воздуха или газа, имеющим инертные свойства, тогда продувка не применяется. Такой вид защиты применяется чаще для приборов контроля и измерения.

В условиях производства, где имеется опасность возникновения взрыва, применяется электрооборудование следующего исполнения:

1. оборудование, на котором не применяются элементы защиты от взрывов.
2. оборудование, имеющее повышенную надежность от возникновения взрывоопасной среды.
3. оборудование, имеющее все виды исполнения, обеспечивающее взрывобезопасность.
4. оборудование, которое в любых аварийных ситуациях, при любых повреждениях является безопасным с точки зрения защиты от взрывов.

Все виды оборудования обеспечивают безопасность и надежность лишь в тех случаях, если их образцы прошли соответствующие испытания и допущены к эксплуатации.

**Организация пожарной безопасности при
ремонтах и реконструкции оборудования ТЭС**

Студенты гр. 10604117 Колесень Е.А., Чешун Ю.А.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В случае передачи технического оборудования на ремонт и реконструкцию соответствующим организациям ответственность за противопожарную часть с руководства предприятия, проводящего эти работы, не снимается. Это не распространяется на случай передачи здания полностью организации, занимающейся его реконструкцией. В свою очередь персонал подрядных, ремонтных, строительно-монтажных и наладочных организаций должен соблюдать установленный противопожарный режим на энергетических объектах. За соблюдение этого режима отвечают должностные лица этих предприятий. Ремонтные участки же и зона строительных, монтажных, наладочных работ выбираются руководством цеха вместе с организацией, которая проводит эти работы. Зоны должны быть огорожены по государственному стандарту, действующему в момент проведения ремонтных работ. Кроме этого на площадках должны быть установлены соответствующие знаки безопасности. Для обмытки и обезжиривания деталей оборудования применяются исключительно пожаробезопасные моющие средства, в отдельных случаях допускается использование горючих жидкостей, но с определенными условиями.

Во время ремонтных работ должны выполняться следующие действия:

- обеспечение свободных проходов/проездов, эвакуационных путей и беспрепятственный подход к средствам пожаротушения;
- в случае пролития масла следует сразу же вытереть его с поверхности, а промасленные обтирочные материалы убрать в закрытые железные ящики, которые в дальнейшем будут вывезены на утилизацию.

До начала ремонтных работ в зависимости от места их проведения должны выполняться следующие мероприятия: на путях топливоподачи следует проводить уборку просыпанного угля и угольной пыли; на мельницах, дутьевых и мельничных вентиляторах и их электродвигателях нужно убирать масло, в случае пролития, и топливную пыль на полу и оборудовании.

При регенерации масла на стационарно установленных или передвижных центрифугах выполняется основное условие: постоянное наблюдение персонала за их работой и температурой масла, а также недопущение течек масла и других дефектов, которые могут спровоцировать возникновение пожара или ее поломку. При работах на передвижной центрифуге должен быть оборудован дополнительный пост первичных средств пожаротушения, если отсутствует постоянный пост в радиусе 20 м. Необходимо также периодически проверять их исправность. В свою очередь, для сливания и заливания масла из трансформаторов и реакторов подключают переносные шланги к централизованной разводке маслопроводов маслохозяйства. Стоит заметить, что для этого используются специальные баки.

Для сушки трансформатора, используя метод индукционного подогрева с дополнительным обогревом дна бака, нужно соблюдать следующие противопожарные требования: утеплять бак можно только негорючими материалами, как правило, выбирают асбестовое полотно; циркуляционные шланги, используются лишь маслостойкие, в целях предотвращения протечек масла нужно следить за прочностью соединений; нагревательные печи под баком трансформатора устанавливаются исключительно закрытого типа на негорючее основание.

При выполнении окрасочных работ:

- необходимо соблюдать исправность оборудования и устройства для окраски;
- оснащать рабочие места средствами коллективной защиты; производить налив лакокрасочных материалов требуется с использованием средств малой механизации, в случае пролития, надо сразу же убрать их;
- вместимость емкости с окрасочными материалами зависит от сменной потребности;
- соблюдать нормы и порядок хранения лакокрасочных материалов; окрасочные работы стоит начинать с самого удаленного участка от основного эвакуационного выхода;
- для соблюдения санитарных норм воздушной среды зона окраски должна быть обеспечена вентиляцией или же придется прибегнуть к ограничению объема окрасочных ремонтных работы за смену.

В случае попадания кислотных или щелочных компонентов на открытые участки тела или глаза необходимо быстро среагировать, а именно смыть их струей воды и промыть 1%-ым раствором пищевой соды или 2%-ым раствором борной кислоты.

Запрещается проводить окрасочные работы в случаях:

- если в зоне ближе 20 м ведутся работы, где применяется открытый огонь;
 - если отсутствуют либо неисправны средства пожаротушения;
 - если в это время ведутся гидравлические и пневматические испытания;
- без спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты.

Безопасность при эксплуатации оборудования химического цеха на ТЭЦ

Студенты гр. 10604217 Колос В.М., Соловьева Е.Ю.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На тепловых электрических станциях используется много химических веществ. Химический цех - одно из важнейших подразделений на ТЭС. Основными опасными и вредными производственными факторами, действующими на рабочих, являются наличие вредных, агрессивных и ядовитых веществ, используемых при обработке воды, таких как серная и соляная кислота, коагулянт (сернокислое железо, оксихлорид алюминия), аммиачная вода, гидразин-гидрат, негашеная известь, щелочь, ацетон, бензин, этиловый спирт, растворители. Для безопасной работы необходимо соблюдать технику безопасности при работе в химцехе.

При работе в химцехе сотрудник следует требованиям по охране труда, а также правилам поведения на территории организации; постоянно использует средства индивидуальной и коллективной защиты; своевременно проходит медицинские осмотры, обучение, стажировку, инструктаж и проверку знаний по вопросам охраны труда; незамедлительно сообщает работодателю о любой ситуации, угрожающей жизни или здоровью работающих и окружающих, несчастном случае, произошедшем на производстве, оказывает содействие работодателю в принятии мер по оказанию необходимой помощи потерпевшим и доставке их в организацию здравоохранения; оказывает содействие по обеспечению здоровых и безопасных условий труда, немедленно извещает своего непосредственного руководителя или иного уполномоченного должностного лица о неисправности оборудования, инструментов, приспособлений, транспортных средств, средств защиты, об ухудшении состояния своего здоровья.

Работнику запрещается появляться, находиться в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения на рабочем месте, а также распивать спиртные напитки в рабочее время, курить в неустановленных местах.

В аварийных ситуациях, таких как: попадание кислоты на тело, в глаза или полость рта; попадание щёлочи на открытые участки тела, одежду или в глаза; попадание водного раствора аммиака в организм и на слизистые оболочки глаз; попадание негашёной извести в дыхательные пути и на кожу; попадание гидразин-гидрата в организм; появление свищей, течей на трубопроводах и арматуре, проливание агрессивных веществ на пол и оборудование; пролитие легковоспламеняющихся или горючих веществ, сотрудник оценивает ситуацию, немедленно прекращает работы, отключает источник, вызвавший аварийную ситуацию. Если есть опасность для здоровья и жизни работников, выводит их из опасной зоны. В случае, если есть пострадавшие, принимает меры по оказанию первой помощи и предотвращению травмирования других лиц. Также принимает меры по ликвидации развития аварийной ситуации, соблюдая при этом личную безопасность и осторожность, и сообщает о случившемся непосредственному руководителю.

Мероприятия, которые обязан соблюдать работник химического цеха, чтобы не допустить ухудшение состояния здоровья вследствие вредного воздействия химических веществ:

1. при попадании кислоты на тело необходимо удалить ее ветошью или кусочком ткани, тщательно промыть пораженный участок водой, сделать примочку (повязку) с раствором пищевой соды (одна чайная ложка на стакан воды) и обратиться в здравпункт;
2. при попадании кислоты в виде жидкости, паров или газов в глаза или полость рта необходимо промыть их большим количеством воды, а затем раствором пищевой соды (половина чайной ложки на стакан воды) сделать примочки и обратиться в здравпункт;

3. при попадании щелочи на тело необходимо удалить ее сухой ватой или кусочком ткани, промыть пораженный участок большим количеством воды, сделать примочку раствором борной кислоты (одна чайная ложка на стакан воды) и обратиться в здравпункт;

4. при попадании на тело щёлочи следует промыть чистой водой и сделать примочку из 5% раствора уксусной или лимонной кислоты;

5. при отравлении гидразин-гидратом через рот пострадавшему необходимо промыть желудок теплой водой, вызывая рвоту и срочно доставить его в лечебное учреждение. При попадании гидразин-гидрата на кожу, пораженный участок следует промыть большим количеством воды, затем обработать раствором марганцовки. Случайно пролитый гидразин-гидрат (концентрированный или разбавленный) должен быть смыт водой в дренажный приямок и нейтрализован хлорной известью.

Пожарная безопасность при эксплуатации кабеля ВВГ-нг-LS

Студенты гр. 10603317 Любимов В.В., Сурович П.В.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На сегодняшний день ужесточаются требования пожарной безопасности к жилым, общественным зданиям и сооружениям, поэтому серьезным вопросом является выбор материалов изоляции электропроводки, которые стойким к пожароопасной среде. На сегодняшний день промышленность выпускает кабели марки ВВГ-нг, ВВГ-нг-LS и др. Рассмотрим кабели марки ВВГ-нг-LS.

До производства кабеля ВВГ-нг-LS применялся кабель ВВГ-нг. Изменения произошли, когда вышел новый ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. «Требования пожарной безопасности», который регламентирует прокладку (вне коробов) кабелей, не распространяющих горение. В нем начали делить кабели ВВГ-нг на классы пожаробезопасности и каждый вид кабеля мог теперь применяться только лишь там где это было разрешено ГОСТ-ом. Зависело это от длины обугленных частей при испытании кабеля на распространение горения и дыма выделений.

К таким кабелям выдвинули новые требования по задымлению: цветопроницаемость при выделении дыма при испытании LS-кабелем не должна снижаться на 50%

ВВГ мог использоваться только в производственных помещениях в условиях одиночной прокладки, групповая прокладка разрешалась только если не будут присутствовать люди.

Для кабеля марки ВВГ-нг разрешалась прокладка за пределами зданий (эстакады, наружные помещения) хоть и выделяет галогены на улице. А ВВГ-нг LS разрешили прокладывать внутри зданий и обязали на кабеле указывать класс по нераспространению горения А, В, С и D. Например на 1 м кабеля класса А приходится 7 л неметаллических элементов, класса D – 0,5 л. Самым стойким считается ВВГ-нг(А)-LS

В качестве добавки в пластикат при производстве вместо хлора, брома или фтора стали применять гидроксид алюминия, и он стал работать за счет разложения гидроксида алюминия и выделения при этом воды за счет этого поглощается температура в зоне горения такие пластикаты стали меньше дымить.

К нему были выдвинуты новые требования: кабель должен был иметь дополнительное заполнение под шланговой оболочкой либо шланговая оболочка должна быть выполнена таким образом, чтобы заполнять пустоты и убрать лишний кислород. Оболочка из пластиката с пониженной пожароопасностью (ПП), до этого использовался пластикат для оболочек (О). При этом пластикат ПП – жестче и прочнее. Главный недостаток пластиката ПП – выделения HCl (хлороводород). Хлороводород – это бесцветный ядовитый газ, который дымит в влажном воздухе.

ВВГ-нг-LS разрешается применять для прокладки электропроводки в стационарных объектах на напряжение до 1000 В, в местах с большим скоплением людей в зданиях с повышенной пожароопасностью. У него пониженная горючесть и пониженные дымо- и газовыделение.

Разница в стоимости кабелей ВВГ-нг и ВВГ-нг-LS составляет порядка 10-15% в зависимости от сечения токопроводящих жил.

Все кабельные изделия классифицируются по показателям пожарной безопасности, перечислим некоторые из них:

- предел распространения горения при одиночной прокладке – обозначение O1 (или O2);

- предел распространения горения при групповой прокладке – обозначение П1а, П1б, П2, П3, П4 в зависимости от категории А, В, С и D;
- предел огнестойкости кабельных изделий в условиях воздействия пламени – обозначение 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, в зависимости от времени, в течение которого кабель сохраняет работоспособность в условиях воздействия пламени;
- эквивалентный показатель токсичности продуктов горения – обозначение 1, 2, 3, 4, 5 в зависимости от токсичности продуктов горения кабельного изделия, входящих в его конструкцию.

Таким образом, снижение пожарной опасности электроустановок в зданиях и сооружениях все еще актуальная проблема на сегодняшний день. Ее решение должно быть основано на применении современных кабелей, не распространяющих горение и не выделяющих ядовитых и коррозионно-активных газов. Тем не менее с каждым годом происходит все больше пожаров, которые приводят к гибели людей из-за несоблюдения соответствующих норм и требований при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок и электрооборудования. Еще одной существенной проблемой являются разногласия в нормативных документах: некоторые из них устарели, некоторые противоречат друг другу. Значит, необходимо создать технический документ для обеспечения пожарной безопасности.

Организация газовой службы на энергетических объектах

Студенты группы 10604117 Макара И.В., Саханков Н.М.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На предприятиях, использующих газовое оборудование за вопросами безопасности несёт ответственность руководитель предприятия. На руководство возлагаются обязанности регулярно организовывать контроль и надзор за соблюдением безопасности эксплуатации газового оборудования. При этом руководство обязано организовать обучение персонала по вопросам безопасности эксплуатации газового оборудования, а также систем газопроводов.

Для обеспечения безопасности при эксплуатации газового оборудования ответственность возлагается также на персонал инженерного состава в обязанности которых входит: инструктажи персонала, обучение, подготовка документов по оборудованию, находящемуся на эксплуатации. На всех предприятиях независимо от форм собственности назначается лицо ответственно за безопасность эксплуатации газового оборудования, а также имеет право: при необходимости отстранить работника от выполнения своих обязанностей при нарушении им действующих инструкций либо тех, кто не прошли проверку знаний; при необходимости имеет право остановить эксплуатацию оборудования вызывающее опасность при его эксплуатации.

Энергетический персонал, занятый на ремонтах и обслуживании газоснабжающего оборудования должен пройти проверку знаний в комиссии.

В соответствии с требованиями действующих правил газоснабжающее оборудование в обязательном порядке проходят в соответствии с графиками регулярные осмотры и испытания.

Для руководства эксплуатацией газового хозяйства организуется штаб газовой службы куда входят:

- лицо ответственное за эксплуатацию газового оборудования;
- руководитель службы газового хозяйства;
- персонал по ремонту и обслуживанию газовых сетей и оборудования;
- мастера, отвечающие за эксплуатацию и ремонт газовой системы и др.

В процессе осмотров оборудования персонал контролирует выполнение всех мероприятий, обеспечивающих безопасность, при обнаружении каких-либо нарушений персонал обязан сообщить руководству.

Организация газовой службы предусматривает наличие различных видов технической документации:

- состав газовой службы;
- распоряжения о назначении лица ответственного за газовое хозяйство;
- документы о процедуре выдачи нарядов на выполнение газоопасных работ;
- паспорта на объекты, находящиеся в подземных сооружениях;
- графики проведения осмотров и др. работ на газовом оборудовании.

При необходимости выполнении работ на газовом оборудовании выдаётся наряд – допуск, срок действия которого 1 рабочий день. Он подписывается лицом ответственным за газовое хозяйство. В этом документе указывается последовательность всех необходимых действий для выполнения работ, меры безопасности средства защиты. Указывается состав бригады, вид работ, которые выполняет каждый член бригады. При этом руководитель работ отвечает за вопросы обеспечения безопасности всех членов бригады.

Персонал обслуживающий газовое хозяйство проходит обучение по ликвидации аварий, которые могут произойти на газовом оборудовании. Для этого разрабатываются планы, инструкции, мероприятия, обеспечивающие безопасность персонала и людей находящихся в зоне аварий.

При необходимости пуска в эксплуатацию газопотребляющего оборудования необходимо получить разрешение инспектора контролирующего данную сеть.

Для проведения работ по подключению установок к газоснабжающим сетям и при вводе их в эксплуатацию необходимо наличие следующих документов:

- разрешение инспекции газового хозяйства;
- техническая документация;
- чертежи газовых сетей;
- документы по результатам испытаний газового оборудования.

Таким образом эксплуатация газового оборудования на предприятиях и у бытовых потребителей представляет определённую опасность поэтому для обеспечения безопасности таких видов работ необходимо соблюдение правил, инструкций, нормативной документации регламентирующей требования к оборудованию и персоналу.

Меры безопасности при проведении пусконаладочных работ АЭС

Студенты гр. 10608117 Сугаков А.Ю., Шардыко А.С.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

1. Основные этапы пусконаладочных работ

Проведение пусконаладочных работ представляет собой завершающий этап в сооружении АЭС. В этот период осуществляются наладка и опробование оборудования и систем электростанции, поэтапные и комплексные испытания блока и выход электростанции на проектную мощность.

В процессе подготовки и выполнения пусконаладочных работ на блоках АЭС разрабатываются программы промывки (продувки) технологических систем, испытаний и функционального опробования оборудования и технологических систем, поэтапные и укрупнённые программы пусконаладочных работ; сетевые графики организации пусконаладочных работ на различных этапах; акты, отчёты, мероприятия по результатам проведения пусконаладочных работ.

В объём работ 1 этапа пусконаладочных работ входят:

По системам и оборудованию 1 контура – промывка трубопроводов, наладка и испытание технологических систем, необходимых для проведения 2 этапа пусконаладочных работ; наладка систем вентиляции; наладка смонтированной механической и электрической части перегрузочной машины; сборка реактора; гидравлические испытания парогенераторов по стороне 2 контура; по общеблочным системам – промывка, испытание и ввод в работу системы химобессоленной воды, технического водоснабжения, промконтура неответственных потребителей, противопожарной системы и сигнализации; по электрооборудованию – подача напряжения на собственные нужды блока с наладкой и испытанием электрооборудования собственных нужд; подготовка и опробование под нагрузкой дизельгенераторной электростанции; наладка штатного электропитания кругового крана 320 т; наладка приводов электрифицированной арматуры; наладка и ввод в работу щитовых устройств, защит и автоматики для эксплуатации на начальных этапах пусконаладочных работ и др.

На 2 этапе проводятся гидравлические испытания и циркуляционная промывка контура; проверка прочности и плотности корпуса реактора, трубопроводов, арматуры и оборудования, находящегося в границах давления 1 контура; отмычка внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов 1 контура от монтажных загрязнений; функциональное испытание технологических систем и оборудования; получение эксплуатационных данных по работе технологических систем и др.

На этапе гидравлических испытаний и циркуляционной промывки выполняются следующие работы: испытание плотности запорных органов отсечной и граничной арматуры; пусковые испытания и обкатка; проверка работы во взаимодействии и испытание технологических систем; проведение комплекса испытаний на оборудовании; измерение теплогидравлических характеристик 1 контура; циркуляционная промывка и наладка водно-химического режима 1 контура; отработка технологических операций заполнения, разогрева, расхолаживания и дренирования 1 контура; оценка вибрационного состояния оборудования и трубопроводов; наладка перегрузочной машины на стеллажах бассейна выдержки и др.

На 3 этапе проводится первая ревизия оборудования 1 контура. Основные работы, выполняемые на 3 этапе пусконаладочных работ, следующие: контроль качества металла оборудования и трубопроводов; оценка состояния трубопроводов и арматуры; монтаж внутрикор-

пусных устройств реактора с имитаторами активной зоны; монтаж верхнего блока с приводами и блоком электроразводок; монтаж и доработка систем центровки верхнего блока; монтаж проектной теплоизоляции, теплоизоляции на оборудовании и трубопроводах 1 контура; сборка реактора для проведения горячей обкатки; комплексное опробование систем перегрузки топлива; монтаж ВКУ и сборка реактора и др..

На 4 этапе происходит горячая обкатка. Основные задачи этапа: проверка работы всех систем и оборудования в режимах и при параметрах, максимально приближенных к эксплуатационным, гидравлические испытания 1 контура реактора на прочность и плотность, проведение комплекса испытаний системы оборудования обеспечения физического и энергетического пуска реактора, наладка и комплексная проверка защит и автоматики, испытание приводов и электрооборудования, наладка и проверка работоспособности контрольно-измерительных приборов, программ автоматики, блокировок.

На 5 этапе проводят испытание защитной оболочки. Цель этапа – количественная оценка плотности и прочности защитной герметичной оболочки, одновременно с проведением испытаний защитной оболочки выполняются следующие работы: натурные испытания спринклерной системы для проверки эффективности орошения оболочки; наладка системы надежного питания 1 и 2-х категорий; сдача щитовых устройств в эксплуатацию.

На 6 этапе проводится вторая ревизия оборудования: производится разборка реактора и устранение выявленных дефектов в наплавке корпуса реактора; подготовка к работе систем переработки и хранения жидких и твердых радиоактивных отходов; наладка и подготовка к работе систем дозиметрического и радиационного контроля; подготовка ядерного топлива к загрузке в реактор; подготовка помещений АЭС к физическому пуску реактора.

На 7 этапе осуществляется физический пуск. Цель физического пуска – достижение критического состояния и выполнение комплекса физических экспериментов на минимально контролируемом уровне мощности реактора.

На 8 этапе – энергетический пуск, поэтапное освоение мощности блока с проведением на каждом уровне мощности испытаний и экспериментов на основном и вспомогательном оборудовании блока, а также комплексное опробование АЭС.

2. Пусконаладочные работы на оборудовании 2 контура

Объем пусконаладочных работ на оборудовании 2 контура АЭС может существенно зависеть от наличия посторонних источников пара для опробования турбоагрегатов на холостом ходу и их подключения в систему.

На 1 этапе должны быть сданы в эксплуатацию трассы от постороннего источника пара (при их наличии), закончен монтаж оборудования и систем опробования турбоагрегата от постороннего источника пара.

На 2 этапе планируется следующий объем работ: обеспечение гидравлических испытаний и циркуляционной промывки 1 контура; послемонтажная очистка и подготовка к работе маслосистемы турбоагрегата; поузловое опробование вспомогательных систем турбоагрегата; наладка и опробование систем смазки; проверка плотности вакуумной системы турбоагрегата.

На 3 этапе по 2 контуру выполняется опробование питательных насосов и их вспомогательных систем; наладка и опробование вакуумно-конденсационной системы турбоагрегата, пробный набор вакуума; наладка и испытание системы вала генератора, проверка газовой плотности генератора воздухом; наладка и ввод в работу системы газового и водяного охлаждения генератора; подготовка к работе системы регенеративного подогрева конденсата и промперегрева; опробование турбоагрегата на холостом ходу.

На 4 этапе производится: опробование турбоагрегата на минимальной нагрузке; проведение комплекса наладочных работ и испытаний на узлах и системах турбоагрегата; испытание и проверка работы системы планового расхолаживания блока; наладка и проверка работоспособности программ автоматики турбоагрегата и др.

На 5-7 этапах продолжаются работы: наладка автоматических регуляторов БРУ; наладка и опробование системы автоматического пожаротушения; наладка и опробование КИП, защит и блокировок; опробование турбоагрегата с минимальной электрической нагрузкой от постороннего источника; проведение комплекса наладочных работ и испытаний на турбоагрегате, оборудовании и системах; подготовка турбоагрегата и его вспомогательных систем к подключению генератора в сеть и др.

На 8, заключительном, этапе производится: подключение турбогенератора к энергосистеме и проверка его работы при различных нагрузках; наладка и включение в работу системы регенерации высокого давления, системы промперегрева пара высокого давления; проведение тепловых и динамических испытаний турбоагрегата; проведение испытаний системы регулирования турбоагрегата по определению статических и динамических характеристик; поэтапное освоение мощности блока на уровнях 10, 18, 35, 55, 75 и 100% номинальной.

**Организация безопасных условий труда при монтаже
технологического оборудования АЭС**

Студенты гр. 10608117 Яворский А.В., Себещук В.Ю.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Проводим работы по установке оборудования турбинного цеха и паропроводов по заранее разработанным планам и технологическим чертежам на компоновку и установку. В этих документах определены схемы транспортировки и ввода конструкционных деталей в сборочные помещения, последовательность работ, набор специализированного оборудования для сборки.

Все основное оборудование должно пройти контроль перед началом его сборки, а сама сдача собранных конструкций осуществляется по документу, который заверяется нанимателем и организацией по сборке и установке турбинного оборудования, в том числе и технические постройки должны быть в строительной готовности, где предусматривается дальнейшая сборка турбинного оборудования.

Сборочные работы по основному оборудованию должны провести под надзором представителя генерального конструктора и начальник сборочного персонала организации поставщика.

Сборочные работы при оборудовании турбинного цеха АЭС имеют целый ряд специфических особенностей включающие: большой объем работ по сборке паропровода из нержавеющей стали; высокие стандарты качества сварных соединений; большой объем работ по сборке и установке тяжелого и крупного оборудования, высокие показатели точности при монтаже турбоустановок; жесткие стандарты качества выполненных строительных работ; соблюдение чистоты в помещениях турбинного зала, где осуществляется сборка и установка оборудования.

Инженерно-техническую подготовку производства проводим с целью соблюдения максимально высоких стандартов по сборке и установки турбоагрегатов.

Организация, осуществляющая данный вид работ на АЭС обязаны предоставить соответствующую документацию, подтверждающая квалификацию персонала, а также содержащая технические и проектные инструкции, которыми руководствуется данная организации при сборке и установке оборудования в турбинный цех.

На новых строящихся электростанциях в период подготовки входят в первую очередь подготовка установочной платформы для сборки крупногабаритных конструкций и предмонтажной сборки турбинного оборудования и паропроводов, в том числе мероприятия по устройству железнодорожных путей, автодорог; по обеспечению энергоресурсами, отоплением и вентиляцией рабочих мест.

В цеху предварительных сборочных работ и на сборочной площадке крупногабаритных конструкций производим сборку и предварительную подготовку сборочных деталей, трубопроводов и металлических конструкций. Это значительно снижает строительные сборочные и установочные работы и трудозатраты на них, так как создаются безопасные условия труда.

При входном контроле обязательными для проверки являются: соответствие оборудования техническим условиям и рабочим чертежам; комплектность оборудования и поставляемых вместе с ним материалов и инструментов по товаросопроводительным документам и спецификациям; сохранность упаковки, пробок, заглушек, пломб, консервирующих и антикоррозийных покрытий и т.д.

В случае выявления механических целостностей конструкций и иных явных нарушений, в том числе несоответствия необходимой документации выписывается постановление, которое подписывается представителями организации нанимателя и организации по сборочным и установочным работам. Все несоответствия устраняются заказчиком с привлечением завода-изготовителя, если же дефект допущен по вине завода-изготовителя, то все дефекты они устраняют самостоятельно.

После приема турбинных конструкций для проведения установочных работ, всю ответственность за его целостность и безопасность берет на себя организация по сборке и установке турбинного оборудования.

Стандарт, который устанавливается для цеха, где будет осуществляться сборка и установка, а также показатели качества к различным этапам строительных, сборочных и установочных работ и их порядок приема должен выполняться неукоснительно.

В цеху, где проходят сборочные и установочные работы, обязательными являются следующие условия труда: необходимо обеспечить постоянный или временный обогрев, освещение, вентиляцию, а также организовать удаление воды с пола цеха. Запрещается производить сборочные и установочные работы в закрытых цехах, баках и емкостях, шахтах и бассейнах без оборудованной системы вентиляции.

Цех, в котором проводят сборочные и установочные работы должны содержаться в чистоте. При проведении "чистых" сборочных и установочных работ в помещениях должна проводиться влажная уборка или вакуумное обеспыливание.

Эти же условия должны соблюдаться при производстве монтажных работ в других подразделениях АЭС.

Меры безопасности при эксплуатации приборов тепловой автоматики

Студенты гр.10606117 Высоцкая В.А., Гележа Т.А.
Научный руководитель – Филянович Л.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При облуживании элементов электрической сети которой подключены приборы тепловой автоматики, защит, измерений, выполняются с обязательным соблюдением требований правил.

При переключениях, выполняемых с помощью коммутационной аппаратуры работа эта может выполняться оперативным персоналом, имеющим группу по электробезопасности не ниже III.

Перед выполнением работ в системе ТАИ персонал выполняет необходимую подготовку оборудования. Для этого перед работой проводит контрольный запуск оборудования, проверяет наличие напряжения, при этом обязательным является отключение оборудования и снятие защитных заземлений. Если выполняются работы на соседних участках, то необходимо установить ограждения и провести инструктаж работников по обеспечению безопасности.

При необходимости выполнения постоянных коммутационных отключений и переключений электрооборудования, разрешается не предусматривать в наряде необходимые перемены. Однако такие работы выполняются только с ведома оперативного персонала. Некоторые работы выполняются по распоряжению: наладка, опробирование систем ТАИ. Необходимо иметь ввиду, что перечисленные работы выполняются при наличии письменного разрешения дежурного персонала.

Персонал, в ведении которого находятся теплотехнические устройства, имеет право выполнять подключения и отключения элементов автоматики и защит. Обо всех действиях, выполняемых на вентилях, персонал должен сообщать руководству.

При выполнении работ по отключению датчиков от систем трубопроводов, необходимо производить путём закрытия запорных вентилей на импульсных линиях. Ремонт таких линий при условии отключения трубопроводов должен выполняться с ведома руководства.

Если выполняется работа по врезке импульсных линий, по установке гильз, то такую работу в обязательном порядке контролирует персонал цеха ТАИ. При этом необходимо соблюдать такие меры безопасности, как снятие давления в трубопроводах, при условии их выполнения на открытых дренажах.

Если выполняется работа по замене терморпар, которые находятся в труднодоступных местах, а температура при этом превышает 32 градуса по Цельсию, то они должны выполняться не менее чем двумя работниками.

Если выполняются работы на масляных импульсных линиях, в этом случае в соответствии с требованиями безопасности необходимо полностью слить масло. Для этого его собирают в отдельный сосуд, для предотвращения перелива в зоне работы.

При выполнении осмотров и ремонтов устройств по контролю и авторегулированию внутри топок котлов, газоходов и др., проверяется отсутствие очагов горения топлива, дымовых газов. Если такие очаги обнаружены, то во избежании опасных ситуаций, связанных с отравлением персонала, удушьем, ожогами, работы прекращаются, а очаги ликвидируются.

Если выполняется замена или смазка устройств, находящихся на системе топливоподачи, то такие работы разрешаются только после останова ленты подачи и отключения

напряжения. При этом вывешивается плакат "Не включать - работают люди", персонал выполняющий такие работы должен пройти специальное обучение по правильным действиям в случае аварийной остановке конвейера.

При выполнении работ по обслуживанию, ремонту в системе газового хозяйства, приборов тепловой автоматики и измерений, соблюдаются специальные требования безопасности. На газопроводах, где расположены манометры, ставится указатель рабочего давления красного цвета.

В химических цехах обслуживание оборудования выполняется с соблюдением специальных мер безопасности. Например, при обслуживании приборов, имеющих контакт с кислотами и щелочами, применяются специальные заглушки, чтобы освободить арматура от воздействия химических веществ. После выполнения работ вся аппаратура тщательно промывается водой. Дежурный персонал обязан перед началом работ провести проверку на отсутствие химических веществ на аппаратуре.

Весь персонал химического цеха проходит специальное обучение по безопасным методам работы с химическими реагентами и применяет средства защиты рук, лица и других частей тела от их попадания.

Охрана труда женщин

Студент гр. 11403417 Кудласевич А.В., гр. 11403317 Войтехович А.В.
Научный руководитель – Шрубенко Т.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В Республике Беларусь на женщин, помимо общих для всех работающих норм по охране труда, распространяются специальные нормы, которые формируют их особую охрану труда. Эти нормы можно разделить на три группы:

1. для всех женщин с учетом физиологических особенностей организма женщин, его функции деторождения, требующей особенной защиты от вредностей производства;
2. для активного периода их материнства: беременность, роды, наличие грудных и малолетних детей;
3. наличие у женщины семейных обязательств по уходу за нетрудоспособными членами семьи.

Создание охраны труда работающих женщин – важная социальная проблема для страны. Поэтому в Республике Беларусь приняты меры, которые будут изложены далее.

Принимая во внимание особенности женского организма, Трудовой кодекс Республики Беларусь предусматривает ряд льгот для трудящихся женщин, высокие требования к охране их труда (гл. 19 ТК РБ), а также ответственность за несоблюдение этих требований и норм.

Таким образом, за нарушение законодательства о труде, налагается взыскание размером от 4 до 20 базовых величин (ст. 19 Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях).

Безосновательный отказ в приеме на работу или увольнение женщины из-за ее беременности или заранее незаконное увольнение лица караются лишением права занимать определенные должности либо заниматься определенной деятельностью, или исправительными работами периодом до 2 лет, или лишением свободы сроком до 3 лет (ст. 199 Уголовного кодекса Республики Беларусь).

В соответствии со статьей 262 ТК РБ запрещено использование труда женщин на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в том числе на подземных работах (исключение составляют нефизические работы или работы по санитарному и бытовому обслуживанию).

В целях обеспечения сохранения здоровья трудящихся женщин установлены предельные нормы постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь.

Статьей 263 ТК РБ установлен запрет на привлечение женщин для работы в ночное время, к сверхурочным работам, работам в праздничные и выходные дни. Так же запрещается отправлять в командировку беременных женщин и женщин, имеющих детей возрастом до 3 лет.

Женщина, воспитывающая детей, имеет право потребовать для нее режим неполного рабочего дня. Это указывается в статье 289 ТК РБ. Также, если женщина имеет ребенка в возрасте до полутора лет, ей предусмотрены дополнительные перерывы для кормления ребенка (статья 267 ТК РБ).

В соответствии с частью 1 ст. 264 женщинам в период беременности в соответствии с медицинским решением понижаются нормы выработки, нормы обслуживания или они переходят на иную работу, более легкую и исключаящую влияние неблагоприятных производственных факторов. При этом средний заработок сохраняется.

В случае невозможности предоставить более легкую работу, наниматель обязан сохранить средний заработок или освободить от работы вплоть до перехода женщины в отпуск по беременности и родам.

Отпуск по беременности предоставляется сроком 70 календарных дней до родов и 56 (в случаях осложненных родов или рождения двух и более детей – 70) календарных дней после родов с последующей выплатой за данный период пособия по государственному социальному страхованию. В статье 184 ТК РБ указано, что отпуск по беременности и родам исчисляется суммарно и предоставляется женщине полностью независимо от числа дней, фактически использованных до родов.

Женщинам, которые работают на территории радиоактивного загрязнения (территории с радиоактивным загрязнением 1 Ки/км² и выше), предоставляется отпуск по беременности и родам продолжительностью 90 календарных дней до родов и 56 (в случаях осложненных родов или рождения 2 и более детей – 70) календарных дней после родов.

Отпуск по беременности и родам включается в общий стаж, стаж работы по специальности, а также в стаж работы, дающий право на последующие трудовые отпуска).

Согласно статье 268 ТК РБ прекращение рабочего соглашения по инициативе нанимателя с беременными женщинами, женщинами, имеющими детей в возрасте до 3 лет, одинокими матерями, имеющими детей в возрасте от 3 до 14 лет (детей-инвалидов до 18 лет), не допускается, за исключением случаев ликвидации организации, прекращения деятельности индивидуального предпринимателя, а также по иным основаниям, предусмотренным п/п 4, 5, 7, 8 и 9 статьи 42 и п/п 1 – 3 статьи 44 ТК РБ.

Гарантии при расторжении трудового договора действуют только в том случае, когда инициатива увольнения беременной женщины исходит от нанимателя.

В последний день работы (день увольнения) работодатель должен выдать работнику трудовую книжку, а также осуществить все необходимые выплаты. В случае, если работник в день увольнения не находился на рабочем месте, то надлежащие выплаты должны быть произведены не позднее последующего дня после им требования о расчете.

Проанализировав положение трудящихся женщин в области охраны труда, можно сделать вывод, что требуется решение проблем с обеспечением равных прав на рынке труда, должных гарантий занятости женщин. Сохраняется высокий процент различия оплаты труда женщин и мужчин, а также официально зарегистрированных безработных женщин.

Поэтому Правительству Республики Беларусь необходимо и дальше работать над обеспечением улучшения положения женщин, несмотря на достигнутые успехи в решении основных проблем.

Охрана труда на производстве

Студенты гр. 11403217 Печенина В.И., Вересович А.А.
Научный руководитель – Шрубенко Т.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости движения воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. Повышение скорости движения воздуха ухудшает самочувствие, так как способствует усилению конвективного теплообмена и процессу теплоотдачи при испарении пота.

При повышении температуры воздуха возникают обратные явления. Исследователями установлено, что при температуре воздуха более 30 °С работоспособность человека начинает падать. Для человека определены максимальные температуры в зависимости от длительности их воздействия и используемых средств защиты. Существенное значение имеет равномерность температуры. Вертикальный градиент не должен выходить за пределы 5 °С.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев тела.

Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнение болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30-70 %.

Условия, в которых трудится человек, влияют на результаты производства - производительность труда, качество и себестоимость выпускаемой продукции. Производительность труда повышается за счет сохранения здоровья человека, повышения уровня использования рабочего времени, продления периода активной трудовой деятельности человека.

Улучшение условий труда и его безопасности приводит к снижению производственного травматизма, профессиональных заболеваний, что сохраняет здоровье трудящихся и одновременно приводит к уменьшению затрат на оплату льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда, на оплату последствий работы (временной и постоянной нетрудоспособности), на лечение, переподготовку работников производства в связи с текучестью кадров по причинам, связанным с условиями труда.

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в рабочей зоне помещений, т.е. пространстве высотой до 2 метров над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места.

Нормальные метеорологические условия – это температура окружающих предметов и интенсивность физического нагревания организма характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим разнообразием. Остальные параметры - температура, скорость движения воздуха и атмосферное давление окружающего воздуха - получили название параметров микроклимата.

Борьбу с неблагоприятным влиянием производственного микроклимата осуществляется с использованием технологических, санитарно-технических и медико-профилактических мероприятий. В профилактике вредного влияния высоких температур основное место должны

занимать технологические мероприятия: замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, автоматизация и механизация процессов, дистанционное управление. К санитарно-техническим мероприятиям относятся средства локализации тепловыделений и теплоизоляции, направленные на снижение интенсивности теплового излучения и тепловыделений от оборудования. Эффективными средствами снижения тепловыделений являются: покрытие нагреваемых поверхностей и парогазотрубопроводов теплоизоляционными материалами (стекловата, асбестовая мастика, асботермит и др.); гермитизация оборудования; применение отражательных теплопоглощающих и тепловыделяющих экранов и завес, а также применение водовоздушного и воздушного душирования; устройство вентиляционных систем; использование индивидуальных средств защиты. К медико-профилактическим мероприятиям относятся: организация рационального режима труда и отдыха; обеспечение питьевого режима; повышение устойчивости к высоким температурам путем использования фармакологических средств, вдыхания кислорода; прохождение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров. Мероприятия по профилактике неблагоприятного воздействия холода предусматривают задержку тепла: предупреждение выхолаживания производственного помещения (тепловые, воздушные завесы или тамбуры), подбор рациональных режимов труда и отдыха, использование средств индивидуальной защиты, а также мероприятий по повышению защитных сил организма. Для работающих длительное время на холоде людей предусматривают специально оборудованные помещения для периодического обогрева. Источники повышенного влаговыделения с открытой поверхностью испарения (ванны, красильные и промывочные аппараты и другие емкости с водой и растворами) снабжают крышками или оборудуют местными отсосами.

С развитием научно-технического прогресса количество опасностей в техносфере непрерывно растет, а к сожалению методы и средства защиты, от них создаются и совершенствуются с опозданием. Многие заводы и предприятия еле живые. О каком новшестве или нормальном микроклимате может идти речь. В результате аварии и катастрофы страдает и погибает множество людей. Проблема достижения оптимального микроклимата является основной на предприятиях и во многом от этого зависит развитие нашей промышленности, ведь только здоровые люди могут произвести качественную продукцию.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Металлургия черных и цветных сплавов | 4 |
| Можейко Д.П., Болотова П.А. Разрушение футеровки печей для плавки алюминиевых сплавов и повышение сроков ее работы | 5 |
| Щербаков Д.Е., Хорольский П.Д. Повышение экологической безопасности процесса разжижения рафинировочного шлака | 7 |
| Синицкий Д.С., Квятковский А.В. Способы повышения стойкости футеровки сталеразливочного ковша..... | 10 |
| Касперович И.А., Малышко Е.А., Хорольский П.Д. Перспективы использования вакуумно-индукционной плавки при получении сплавов медицинского назначения..... | 12 |
| Касперович И.А., Малышко Е.А. Анализ основных факторов, определяющих свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом..... | 14 |
| Касперович И.А., Малышко Е.А. Компьютерное моделирование процесса кристаллизации кокильной отливки из алюминиевого сплава..... | 19 |
| Хорольский П.Д., Раков И.Г. Способы получения износостойких порошковых материалов для защитных покрытий с использованием плазмы и лазера..... | 21 |
| Далецкий А.Р., Федорович Д.С., Шашкевич В.Г., Бокша И.С. Обработка расплава чугуна модификатором, содержащим ультрадисперсные частицы..... | 25 |
| Вдовин И.М., Кулаковская Я.С. Термический анализ как метод контроля качества сплавов..... | 28 |
| Миронович А.Ю. Опыт получения композиционного материала на основе алюминия, армированного углеродными нанотрубками..... | 31 |
| Руленков А.Д. Metallургическая обработка алюмоматричных композиций для получения порошковых материалов с высоким содержанием алюмооксидных фаз..... | 33 |
| Герасикова А.А., Микишко Е.В. Использование вторичных материальных ресурсов в металлургии и машиностроении..... | 35 |
| Бичун Е.С., Данилова А.И. Снижение расхода электроэнергии в дуговых электропечах..... | 37 |
| Шкляр В.В. Технологии плавки латуни в электрических печах для условий центробежного литья | 39 |
| Пинчук Р.В., Хорольский П.Д., Далецкий А.Р. Технологии утилизации пыли сталеплавильного производства..... | 42 |
| Давыденко Н.А., Федорович Д.С. Направления исследований в производстве поршневых алюминиевых сплавов..... | 45 |
| Машины и технология литейного производства | |
| Тихончук Д.Г. Сравнение различных способов предварительного подогрева металлошихты | 48 |
| Рамашка И.М. Измерение шероховатости поверхности металлов | 51 |
| Наумец П.Ю. Вакуумная резина. Классификация, назначение, свойства, область применения | 54 |
| Орочко В. С. Пайка в среде водорода | 56 |
| Силивончик П.Э. Повышение ударной прочности чугунов..... | 58 |
| Новик А.А., Курач Д.И. Процесс получения бескислородной меди..... | 60 |
| Коцур И.Н., Стенник М.А. Плавка и разливка металла в вакууме..... | 62 |
| Григорович В.А. Механические вакуумные насосы (сравнительный анализ)..... | 64 |

| | |
|---|-----|
| Васильченко В.В., Пацевский Н.В. Методы измерения давления (сравнительный анализ)..... | 65 |
| Глаз М.В., Трусевич Е.А. Влияние хрома на коррозионные свойства стали..... | 67 |
| Шевчук Е. С. Медные припои. Составы, свойства, технологии плавки..... | 69 |
| Куприевская Е.В. Исследовать процесс повышения износостойкости чугунов..... | 71 |
| Трусевич Е.А. Повышение пластичности алюминия и алюминиевых сплавов..... | 73 |
| Телешова Е.В. Исследование дисперсных металлоотходов, образующихся в металлургическом производстве ОАО «МТЗ»..... | 74 |
| Мисюк А.Н. Сравнительная оценка воздушно-прессового и пескодувно-прессового методов формообразования | 77 |
| Курач Д.И., Стенник М.А., Белевич И.Т. Применение аддитивных технологий для изготовления выжигаемых моделей..... | 80 |
| Мисюк И.Н. Особенности, преимущества, и недостатки безопасной горизонтально-стопочной формовки..... | 83 |
| Родевич В.А., Мисюк А.Н., Мисюк И.Н. Жидкостекольные смеси в современном литейном производстве | 86 |
| Милютин Р.А., Пугач М.В., Коршак В.Е. Основные отличия Microsoft Office 2019 от Microsoft Office 2016..... | 89 |
| Кучмин. Я.С. Хромистые чугуны и их самоупрочнение..... | 93 |
| Дикун А.О., Янкович С.В., Путрич О.И. Дефекты металлических изделий, полученных методом 3D печати..... | 97 |
| Пацовский Н.В., Мацинов С.А. Изготовление литейных песчаных форм методом РСМ | 100 |
| Коршак В.Е. Процесс литья по выплавляемым моделям..... | 103 |
| Родевич В.А. Холоднотвердеющие формовочные и стержневые смеси | 106 |
| Машины и технология обработки металлов давлением | |
| Левкович Е.В., Ширяев В.Д. Прессование и гидропрессование..... | 110 |
| Куканова О.В., Муковозчик Н.В. Горячее прессование композиционных материалов | 113 |
| Жогло А.Г., Смоглей В.Г. Физическое моделирование процессов обработки металлов давлением | 115 |
| Мельников Р.С., Славиковский М.С., Дешко Г.Д. Печатное 3D -моделирование стальных конструкций и изделий в промышленности..... | 119 |
| Милашевский В.С., Радионов А.В. Безвоздушные колесные шины из высокоэластичных полимерных материалов..... | 122 |
| Понтаплёв Н.А., Елисеев В.П., Дешко Г.Д. Получение композиционных антифрикционных материалов методами обработки материалов давлением..... | 125 |
| Яцко А.И., Козырев Н.Г. Прокатка биметаллических материалов..... | 127 |
| Апишев В.В., Стрижак И.Б. Моделирование процесса продольной прокатки биметаллических материалов | 129 |
| Коваленко И.Е., Федюк Ю.Ю. Поперечно-клиноватая прокатка..... | 132 |
| Парагис М.Г. Технология ультразвуковой обработки металлов..... | 134 |
| Бельский В.Ю., Филипенко Р.О. Листовая штамповка. Оборудование листовой штамповки. Материалы листовой штамповки | 135 |
| Дыдышко А.М., Жусель В.П. Ковка. Инструмент, приспособление и оборудование дляковки | 138 |
| Карпей Ф.С., Кузьмич И.А. Волочение с наложением ультразвуковых колебаний ... | 140 |
| Савчик И.А. Исследование процессов магнитно-импульсной штамповки..... | 142 |

| | |
|---|-----|
| Кацкель В.С., Логвинов В.Н., Повара О.В. Титан в различных отраслях машиностроения | 144 |
| Чертович Г.А. Отличие низкотемпературной нитрокарбонизации от азотирования сталей | 146 |
| Кучинский Д.И., Смарцелов Д.С. Совершенствование технологии изготовления прокатных валков из Cr-Ni-Mo ВЧШГ | 147 |
| Повара О.В., Кацкель В.С. Инновационный метод волочения многослойных труб | 149 |
| Грищенко М.Л., Петрович Ю.В. Исследование процесса получения конечной продукции путем прессования композиции, состоящей из стружки алюминиевого сплава и нанопорошка нитрида титана | 151 |
| Смарцелов Д.С., Кучинский Д.И. Влияние легирования титаном на чугун..... | 152 |
| Барановский М.А. Анализ существующих конструкций механизма наклона дуговой сталеплавильной печи вместимостью сто тонн, а также подбор гидравлической жидкости для его гидросистемы | 155 |
| Индрилюнас В. Б. Необходимость нагрева рабочего инструмента перед деформацией титановых сплавов | 157 |
| Короткевич И.А., Мельников В.А. Применения электролитной обработки полосы в ОМД | 158 |
| Логвинов В.Н., Кацкель В.С. Связанная модель спекания порошков системы Ti-TiAl ₃ | 160 |
| Астапович А.В. Исследование процесса получения строительных изделий из промышленных отходов методом прессования..... | 161 |
| Ботвич А.Н. Улучшение микроструктуры стали ассиметричной прокаткой | 163 |
| Чаботар И.С. Преимущества применения высокоскоростного деформирования для титановых сплавов | 165 |
| Мельников В.А., Недосекин В.И. Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали X12MФ..... | 166 |
| Заико П.Г., Гардилковский А.Н. Совершенствование трансмиссии электротранспортных средств с использованием полимерных материалов..... | 168 |
| Галимская П.В., Головин П.В. Исследование свойств композиционных металлов на основе гранитных отсеков, получаемых ударным прессованием | 171 |
| Хованский А.А., Снетко А.В. Формоизменение при холодной объемной штамповке | 173 |
| Чижик И.И., Цыпенков А.А. Способыковки. Кузнечные операции..... | 176 |
| Корнилов М.С., Красовкий Н.А. Повышение пластичности металлов в условиях импульсного электромеханического воздействия..... | 178 |
| Кудрявцев Е.А., Кузьмин К.О. Волочение с использованием ультразвуковых колебаний..... | 181 |
| Гаворовский А.П., Биленко Ю.Э. Математическое моделирование процессов прессования композиционных материалов на основе граничных отсеков | 182 |
| Губар П.Г. Обработка металлов давлением с наложением ультразвуковых колебаний..... | 185 |
| Силивоник Д.С, Маркевич А.В. Прокатка | 188 |
| Ващенко Е.Г., Бондаренко А.Н. Поперечно-винтовая прокатка | 190 |
| Жогло А.Г., Апишев В.В. Технология полугорячей штамповки элемента муфты гидравлической «Корпус левый» | 193 |
| Апишев В.В., Жогло А.Г. Технология полугорячей штамповки элемента муфты гидравлической «Клапан» | 196 |

| Материаловедение в машиностроении | |
|--|-----|
| Миковоз М.В., Черковский А.В. Исследование металлических элементов токоведущих жил в зонах аварийных режимов в пожарно-технической экспертизе | 200 |
| Игнатенко Р.В. Исследование характера разрушения стальных деталей транспортных средств с использованием твердотельного моделирования | 203 |
| Шматова А.А. природные нанокремниевые материалы на основе графита | 206 |
| Козловский А.В. Методы получения наноматериалов на основе сажи | 207 |
| Гладинов А.Д., Семенюк А.И., Салтыков Н.И. Анализ и графическое представление экспериментальных данных с помощью пакетов Excel, Statistica 10, OriginPro | 209 |
| Мышкевич П.С., Чернявская Е.С. Пружинные стали. Сравнительный анализ сталей 65Г и 30MnB5 | 212 |
| Приходченко Е. О. Пластиковые дороги: предпосылки, технологии и перспективы | 215 |
| Литвин Д.В. Способы оцифровки диаграмм состояния | 218 |
| Кулаковская Я.С., Матюков И. М. Способы оцифровки диаграмм изотермического распада переохлажденного аустенита..... | 221 |
| Салтыков Н. И. Способ оцифровки диаграмм состояния сплавов систем Cu-Be, Cu-Sn и Al-Mg | 224 |
| Курилович М.Н. Влияние ионного и газового азотирования на особенности структуры, твёрдость и хрупкость поверхностных слоев конструкционных сталей 40X и 40XMФА | 226 |
| Охрана труда и промышленная безопасность | |
| Данилюк О. Безопасное использование и обслуживание электрооборудования в различных условиях внешней среды | 230 |
| Лящук А.О, Попруго Д.А. Анализ последствий облучения человека ионизирующим излучением..... | 234 |
| Макаревич А.А., Орловский Р.С. Профессиональный отбор персонала для работ с повышенной опасностью | 237 |
| Макаревич А.А., Орловский Р.С. Анализ влияния психологии безопасности труда на производственный травматизм | 239 |
| Дикая В. Ю., Корень А.А. Требования охраны труда к кабинетам лучевой диагностики при эксплуатации магниторезонансных томографов | 241 |
| Капустина С.Г. Требования охраны труда при проведении ультразвуковых исследований в медицинских лабораториях..... | 245 |
| Мандик Н.С., Богданович Д.А. Требования по охране труда при работе в оптической лаборатории | 248 |
| Серко А.В. Охрана труда при эксплуатации и обслуживании вакуумной камеры и прилагающихся систем для процессов азотирования | 251 |
| Денисова К. Особенности применения ограждений при выполнении работ на высоте | 254 |
| Дёмин А.С. Вредное воздействие вибрации на организм человека и методы защиты | 257 |
| Пашкевич А.А. Молния и системы энергоснабжения | 260 |
| Закревский Д.С. Особенности условий труда машиниста электропоезда метрополитена | 263 |
| Корневская Е.П. Сравнительный анализ методов оценки профессиональных рисков | 266 |
| Метельская А.П., Кот Е.В. Исследование влияния относительной влажности на аэроионный состав воздушной среды | 269 |
| Рудинский М.С., Гришкевич В.Д. Современные принципы управления охраной труда | 271 |

| | |
|--|-----|
| Руленков А.Д., Ерошенко П.А. Оценка условий труда плавильщиков, обслуживающих индукционные печи | 273 |
| Барановский П.Г. Анализ производственного травматизма в ГПО «Белэнерго» | 276 |
| Годун В. Анализ и оценка поражения электрическим током в трехфазных электрических сетях напряжением до 1000 В | 278 |
| Дехтерёнок М.В., Мятлев Е.В. Пожарная опасность электрооборудования | 280 |
| Ковзан А.А. Электромагнитное излучение и его влияние на электрооборудование и здоровье человека | 282 |
| Поздняков М.Н. Применение видеофиксации у электротехнического персонала для соблюдения правил охраны труда | 284 |
| Сергеенко И.М., Шалыгин Н.Г. Влияние различных видов ламп освещения на организм человека | 286 |
| Скрипка И. Н., Москалёва А.В. Безопасность при выполнении неразрушающего контроля с применением источников ионизирующего и радиационного излучения | 288 |
| Шейна Е.О. Особенности СУОТ в организациях, занимающихся обследованием строительных конструкций зданий и сооружений | 291 |
| Анищик О.Р. Обеспечение безопасности персонала при выполнении работ с источниками ионизирующего излучения | 294 |
| Ипатов А.В., Супрун А.И. Применение взрывозащитного оборудования | 297 |
| Колесень Е.А., Чешун Ю.А. Организация пожарной безопасности при ремонтах и реконструкции оборудования ТЭС..... | 299 |
| Колос В.М., Соловьева Е.Ю. Безопасность при эксплуатации оборудования химического цеха на ТЭЦ | 301 |
| Любимов В.В., Сурович П.В. Пожарная безопасность при эксплуатации кабеля ВВГ-нг-LS | 303 |
| Макар И.В., Саханков Н.М. Организация газовой службы на энергетических объектах | 305 |
| Сугаков А.Ю., Шардыко А.С. Меры безопасности при проведении пусконаладочных работ АЭС | 307 |
| Яворский А.В., Себецук В.Ю. Организация безопасных условий труда при монтаже-технологического оборудования АЭС..... | 310 |
| Высоцкая В.А., Гележа Т.А. Меры безопасности при эксплуатации приборов тепловой автоматики | 312 |
| Войтехович А.В. Охрана труда женщин | 314 |
| Печенина В.И., Вересович А.А. Охрана труда на производстве | 316 |