

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Механико-технологический факультет



Сборник научных работ
XXVI Республиканской студенческой
научно-технической конференции

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ



23–24 апреля 2025 года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ
XXVI Республиканской студенческой научно-технической конференции

23 - 24 апреля 2025 года

Минск
БНТУ
2025

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;

Садоха М.А., к.т.н., доцент;

Томило В.А., д.т.н., профессор;

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

РАБОЧАЯ ГРУППА:

Бежок А.П., к.т.н., доцент;

Слуцкий А.Г., к.т.н., доцент.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Мельников Кирилл Александрович

СОСТАВИТЕЛИ

Бежок Александр Павлович

Иванов Игорь Аркадьевич

В настоящий сборник включены материалы докладов XXVI 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, 2025

Металлургия чёрных и цветных сплавов

Получение качественных припоев переработкой оловянно-свинцовой изгари

Студенты гр. 10405623 Мельников К.А., гр. 10401124 Круглов А.А.

Научные руководители - Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Отсутствие в Республике Беларусь собственных месторождений оловянного сырья требует бережного отношения к оловосодержащим отходам, образующимся в результате утилизации средств автоматики и электроники, где используются припой на основе олова. Кроме пайки олово используется для нанесения коррозионностойких покрытий-лужения, а также для производства оловянных анодов, бронз и баббитов.

Потребление олова в производстве припоев в последнее время растёт, особенно в КНР, что связано с расширением выпуска продукции электронной промышленности. Спрос на олово расширяется благодаря увеличению применения припоев, не содержащих свинец, которые более перспективны с точки зрения экологии. Припои, которые обычно содержат около 63 % олова, заменяются в основном припоями с содержанием олова более 95 %, что способствует росту цен на олово.

Цены на металл с марта 2020 года выросли в 2,5 раза, установив исторический максимум на уровне 36797 долларов за тонну. С 2021 года запасы олова на биржевых складах упали примерно в 23 раза, что свидетельствует о жёстком дефиците на рынке. Примерно половину спроса на олово составляет припой.

В Республике Беларусь среди оловосодержащих отходов большую группу составляет оловянно-свинцовая изгарь, рециклинг которой неизбежно приводит к загрязнению получаемого сплава рядом примесей, содержание которых недопустимо при получении некоторых марок припоев. Так одним из сдерживающих факторов более глубокой переработки изгари в качественные припои типа ПОС61 является загрязнение получаемого сплава медью (до 2%) [1,2]. Для его получения был апробирован способ очистки ПОС61М от примесей методом фильтрации с использованием составного композиционного фильтра, основой которого является материал из титанового порошка фракцией 0,20-0,25 мм, спеченный в вакууме. Такой фильтр имел практически 100 % открытую пористость и равномерное гидродинамическое сопротивление по всему сечению. Верхний тонкопористый фильтрующий слой выполняли из муллитовой ваты с толщиной волокна 5-10 мкм, спрессованной в тонкий слой. Сверху, со стороны ванны припоя такой фильтр прижимался сеткой из нержавеющей стали с ячейкой 3 мм. Испытания композиционного фильтра подтвердили возможность снижения содержания меди на 0,5 %, при этом опорный титановый диск не менялся в течение 15-20 процессов фильтрации. Замена подлежал только слой дешевой муллитовой ваты, который переустанавливали на горячую практически после каждого фильтрования. Для дальнейшего снижения содержания меди проводили замешивание в расплав кристаллической затравки из сплава 48 %Sn и 35 %Cu, что приблизительно соответствовало фазе «η» по диаграмме состояния Cu-Sn при 415 °С. Для получения затравки слитки получали по технологии закалки из жидкого состояния, а затем размалывали до фракции 50 мкм и полученный порошок добавляли в расплав вторичного припоя в количестве 0,2-0,3 % от массы расплава.

Выдержка ванны вторичного припоя до 5 часов с замешенной затравкой и последующая фильтрация при давлениях 0,95-0,75 атм позволили понизить остаточное содержание меди в фильтрате до 0,10 %. Количество фильтр-остатка при этом возросло до 5 % от массы исходной загрузки припоя. В результате проделанных операций удалось эффективно использовать базовый керамический фильтр при сроке службы до 10 операций при фильтрации ~400 кг исходного припоя и получить вторичный эвтектический припой,

соответствующий марке ПОСб1 с остаточным содержанием меди не более 0,10 %, а железа и никеля – менее 0,10 % при некотором увеличении потерь с фильтр-остатком (на 2-3 %).

Для получения бессвинцового припоя согласно DIN35229 с содержанием свинца до 0,05 % исследовали припой на основе олова с содержанием 0,185 %Pb. Исходный состав припоя массой 1 кг расплавляли в чугунном тигле печи сопротивления при температуре 250 ± 5 °С и замешивали соль SnCl_2 в соотношении с расплавом 10:1 (10 кг). Замешивание проводили с использованием специальной мешалки. Время перемешивания варьировали от 5 до 45 минут на различных составах. После снятия хлористых съёмов с поверхности расплава его разливали в слитки и проводили анализ на остаточное содержание примесей. Установлено, что после 15-минутного замешивания SnCl_2 остаточное содержание свинца составляет 0,03 %. Одновременно за это время снижается содержание меди с 0,94 % до 0,03 %, а никеля с 0,14 % до 0,05 %.

Таким образом, удаление вредных примесей из оловянных припоев, полученных рециклингом, позволяет обеспечить их высокое качество и широкое использование при изготовлении изделий ответственного назначения.

Список использованных источников

- 1.Современные технологии переработки оловосодержащих отходов / Б.М. Неменёнок [и др.] // Литъё и металлургия, 2024. - № 3. – С. 45-50.
- 2.Неменёнок Б.М. Получение припоя ПОСб1 рециклингом оловянно-свинцовой изгари / Б.М. Неменёнок, Г.А, Румянцева, Я.Л. Мякинник // Материалы МНПК «Новые направления развития науки в технических отраслях». – Душанбе, 2024. – С. 326-331.

Системы отбора газов от электродуговых печей для пылегазоочистки

Студенты гр. 10405221 Петричиц М.Г., Свистун Р.В., гр. 10405223 Кошелев Н.А.

Научные руководители - Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Выплавка стали в электропечах осуществляется без существенного использования топлива, но при этом сопровождается образованием значительного количества пыли. Её источником является загрязнённый лом, шлакообразующие добавки, разрушающаяся футеровка печи и пары металлов, образующиеся в процессе плавки. Особенно интенсивное выделение пыли и газа происходит при использовании кислородного дутья и при вдувании в печь пылеугольного топлива, необходимого для вспенивания шлака.

Количество образующейся пыли зависит от режима плавки, состава шихты и колеблется от 0,6 до 1,0 % от массы металлозавалки [1]. Химический состав пыли определяется сортаментом выплавляемой стали. Она мелкодисперсная и размеры частиц менее 10 мкм составляют около 90 %. Газы и содержащуюся в них пыль на любой стадии плавки необходимо удалять из плавильного агрегата и подвергать очистке. По нормативам стран ЕС, США, Японии необходимо улавливать и подвергать очистке до 96 % выбросов электроплавильного производства [2]. При разработке систем отвода и очистки газов необходимо обеспечивать её эффективную работу при условии, что она не будет создавать проблемы в процессе эксплуатации печи.

Существует несколько способов отвода газов от электропечей, среди которых отбор газов от электродных зазоров, от рабочего окна, от сливного отверстия, от четвёртого отверстия в своде печи, а также комбинированный отвод газов от четвёртого отверстия и подкрышного зонта. Последний вариант получил наиболее широкое распространение [2].

Особую трудность представляет отвод неорганизованных выбросов, образующихся при открытой печи. Сложность состоит в том, что газы, выделяющиеся при осмотре и заправке печи, завалке лома и выпуске металла, разбавляются цеховым воздухом, образуя большие объёмы газоздушных смесей, которые необходимо отвести и очистить. Объём неорганизованных выбросов может составлять от 10 до 20 % общих выбросов от электродуговой печи [3], а количество пыли в них колеблется от 6,0 до 24 кг/г жидкой стали [2]. В результате разбавления газов цеховым воздухом, объём газоздушной смеси увеличивается в несколько раз, и пропорционально этому возрастают затраты на очистку. Применительно к конвертерному производству расходы на одну тонну пыли, уловленной из технологических газов, по данным специалистов ФРГ, составляют от 200 до 300 евро. Для неорганизованных выбросов эти расходы достигают 10 тыс. евро [2]. Подобное соотношение затрат может иметь место и для электросталеплавильного производства.

Одним из вариантов организации отвода неорганизованных выбросов является полная герметизация крыши здания цеха, при котором газы, образующиеся в периоды загрузки печи ломом и выпуске стали, разбавленные воздухом цеха, собираются под крышей и затем отсасываются на газоочистку [2]. Анализ эксплуатационных расходов на комбинированные системы отвода газов от электродуговых сталеплавильных агрегатов, проведенный в ФРГ, показал, что удельные расходы на отвод и очистку газов от пыли в зависимости от производительности печи и сортамента выплавляемой стали, составляет от 7 до 32 евро на 1 т стали. При этом затраты только на оборудование системы улавливания могут достигать уже 8,0 млн евро. Удельные расходы на прямой отвод газов через четвёртое отверстие в своде печи, обеспечивающий улавливание 85 % всей пыли, составляет треть этой суммы [2]. Представленные данные позволяют объяснить важность поиска путей уменьшения затрат на отвод и очистку неорганизованных выбросов.

Одним из последних решений, позволяющих обеспечить полную эвакуацию газов от печи, является полное укрытие печи, получившее у плавильщиков название «собачьей будки». Такой вариант обеспечивает практически полное удаление технологических газов от печного агрегата. При этом неорганизованные выбросы из укрытия отводятся автономно и отдельно подвергаются очистке. Благодаря звукоизолирующему действию укрытия снижается и уровень шума от работающей печи [2].

В связи с необходимостью снижения эксплуатационных затрат на выплавку стали разработан ряд способов отвода газов с последующим использованием его для подогрева лома, подготовленного для завалки в печь. Реализация такой технологии, кроме утилизации тепла технологических газов, позволяет снизить температуру отходящих газов, уменьшить их запылённость и потенциально способствует снижению расходов на очистку [4]. Это позволяет более широко использовать рукавные фильтры в качестве газоочистного оборудования для электросталеплавильных печей.

Список использованных источников

1. Опыт эксплуатации систем газоотбора электродуговых печей ДСП-ЗЛС / В.П. Кульпа [и др.]. // Литейное производство. – 1985. – № 7. – С. 13-15.
2. Рукавные фильтры в электросталеплавильном производстве / В.И. Казюта [и др.]. // Сталь. – 2023. – № 6. – С. 39-58.
3. Охрана окружающей среды в чёрной металлургии / Д. Айкельпаш [и др.] // Чёрные металлы. – 1980. – № 6. – С. 8-16.
4. Кудрин, В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин. – М.: Мир, 2003. – 528 с.

Результаты испытаний промышленного образца катода-мишени, полученного с использованием литейных технологий

Студенты: гр. 10405623 - Мельников К.А., гр. 10405222 - Морская Е.А.,
гр. 10405322 - Сороговец А.Д., Климёнок У.Б.

Научные руководители – Слуцкий А.Г., Зык Н.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В данной работе проведен анализ результаты экспериментальных исследований процесса изготовления и применения промышленного катода-мишени из титансодержащего сплава. На основании выполненных исследований [1,2] и результатов предварительных испытаний оптимизирован состав титансодержащего сплава в части увеличения содержания титана до 60%, меди до 30% и снижения алюминия до 10%. Был использован вариант литейной технологии при которой плавка осуществлялась на высокоскоростной индукционной установке электрической мощностью 30 кВт и частой генерации в диапазоне 8-50 кГц. по следующей схема синтеза: Реактор – графито-шамотный тигель, первая стадия -получение расплава меди и ее перегрев до 1200°C, вторая стадия – непрерывный ввод предварительно подогретого до 500 °С титана в расплав меди и на завершающей стадии добавки алюминия с последующим перемешиванием полученного расплава и быстрая его разливка в литейную форму. В дальнейшем прибыльная часть полученной литой заготовки катода отрезалась на установке электроэрозионной обработки непрофильным электродом-инструментом.

Микроструктура полученного сплава (рисунок 1) представлена смесью кристаллов интерметаллидов и твердого раствора сложного состава. Характерным для нее является наличие множественных замкнутых пор и пустот, образующихся в результате объемной кристаллизации сплава в следствие значительного отрицательного изменения удельного объема в процессе образования фаз. При этом, поры имеют микроскопический размер, сравнимый с размером кристаллов и не оказывает значительного влияния на процессы распыления, в следствии их заплывания в рабочем слое катода.

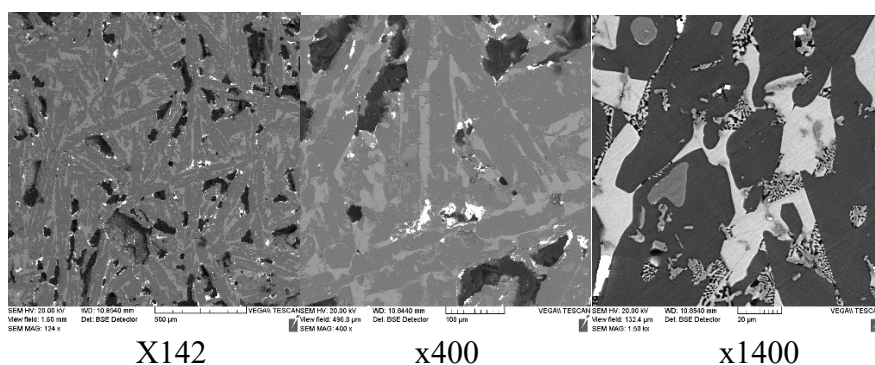


Рисунок 1 - Микроструктура сплава в отливке

На промышленной вакуумно-плазменной установке УВНИПА-1-2 со штатным стационарно плазменным ускорителем (СПУ) были проведены испытания. Установлено, что промышленный образец составного катода-мишени отработал без замечаний и получены покрытия на деталях из стали Р6М5 и 12Х18Н10Т. На рисунке 2 представлены фотографии общего вида катода-мишени до (а) и после испытаний (б), и полученных покрытий на пластинах из нержавеющей стали в вакууме и в среде азота. (в).

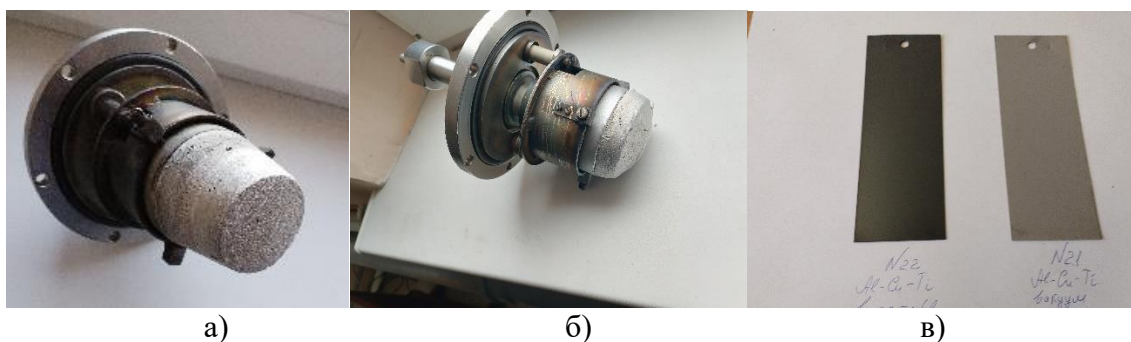


Рисунок 2 - Результаты испытаний промышленного образца катода-мишени;
а-перед испытаниями; б-после испытаний; в- образцы покрытий;

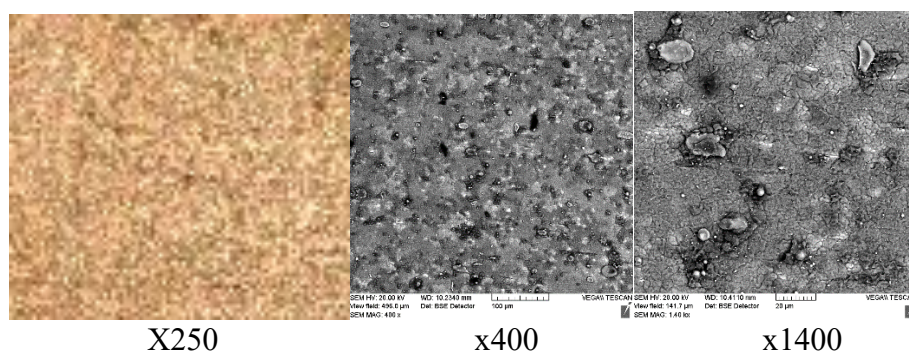


Рисунок 3 -Покрyтия, нанесенные на пластину из нержавеющей стали

Таким образом в результате выполненных исследований отработаны режимы плавки титансодержащего сплава, изготовлен промышленный образец составного катода-мишени, проведены испытания на вакуумно-плазменной установке УВНИПА-1-02 и получены различные покрытия для дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Слуцкий А.Г. Технологические особенности изготовления образцов промышленных катодов-мишеней из титансодержащих сплавов литейно-деформационными методами, кандидат технических наук/ В.А. Шейнерт, К.А. Мельников // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* – Минск: БНТУ, 2024. – Вып. 45 с. 80-87.
2. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Ковалевич Э.В., Мельников К.А. Технологические особенности изготовления катодов-мишеней из специальных сплавов. *Металлургия сплавов-2025. Материалы Международной научно-технической конференции* (Могилев, 5-6 июня 2025г.) с. 14-16.

Лабораторная установка для получения порошков из специальных сплавов для нанесения покрытий

Студенты: гр. 10405222 - Морская Е.А., Кошелев Н.А.,
гр. 10405322 - Пылило В.И., Клименок У.Б.

Научные руководители – А.Г. Слуцкий, Г.В. Довнар
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Основными способами изготовления порошков для газотермического получения покрытий являются следующие: распыление расплава; распыление проволоки плазменной струей; механическое измельчение слитка; металлотермическое восстановление оксидов; самораспространяющийся высокотемпературный синтез (метод СВС) [1,2].

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.) [3].

На рисунке 1 приведен общий вид лабораторной установки для получения закаленных порошков и элементы основных узлов.

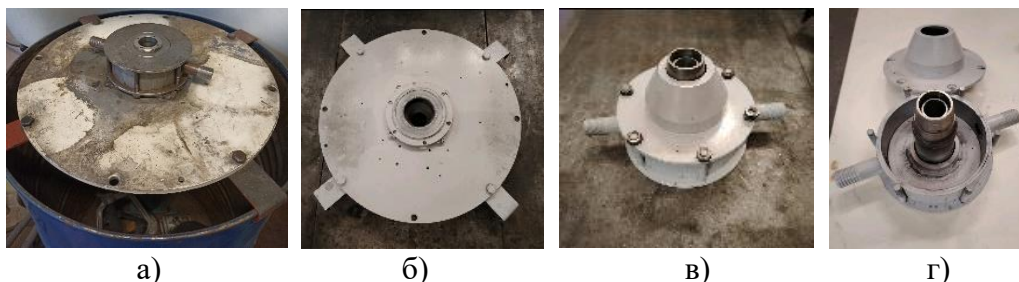


Рисунок 1 – Общий вид лабораторная установка(а), крышка(б), узел распыления (в), элементы узла распыла (г);.

В лабораторных условиях по отработанным режимам изготовлен порошок методом распыления жидкого расплава. В качестве базового сплава был использован легированный чугун следующего химического состава (2,5%С, 6%Cr, 5%Si, 1,5%B, 8%W, 4%Co остальное железо) [3]. Плавка производилась на высокоскоростной индукционной печи УИН 30-8-50 емкостью 3 кг. В качестве легирующих материалов использовали металлический хром (Хр1), кремний кристаллический (Кр1), ферробор, который был получен СВС процессом в лабораторных условиях по методике, изложенной в работе [2,3]. Необходимое количество вольфрама и кобальта обеспечивалось добавками отходов стали Р6М5. Затем расплав распыляли на лабораторной установке по следующему режиму: давление газа в форсунке 2-3 атм., расход жидкого металла 40-70 грамм в секунду. Полученный порошок имел фракционный состав в диапазоне 0,05-0,3мм, что соответствует требованиям к ним для газопламенного и плазменного напыления [1] (рисунок 1 г).

На рисунке 2 представлены результаты исследований полученного порошка на аналитическом сканирующем электронном микроскопе VEGA TESCAN в масштабе увеличения: 1:500.

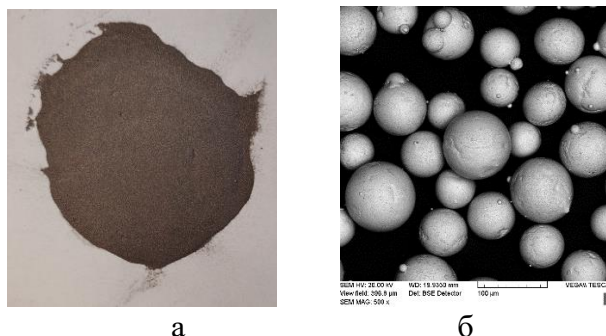


Рисунок 2 – Общий вид (а) и изображение порошка (б) полученного методом распыления из расплава

На следующем этапе работы проводились пробные эксперименты по нанесению покрытий с использованием данного порошка на конкретных деталях, работающих в условиях износа.

Для этого в лабораторных условиях были изготовлены опытные отливки «Шнек», на рабочих поверхностях которых проведена наплавка с использованием данного порошка.

На рисунке 3 приведены фотографии этапов изготовления разовой литейной формы.

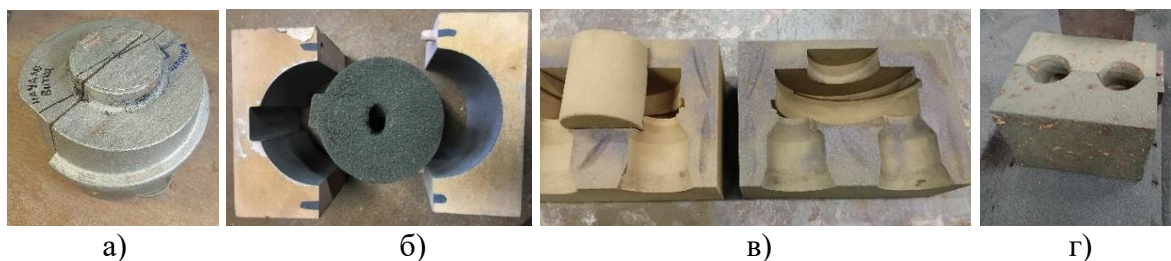


Рисунок 3 – Этапы изготовления разовой литейной формы.

а - модель опытной отливки; б - стержневой ящик; в - полуформы из стержневой смеси; г – готовая форма для заливки.

Плавку сплава ЧХ22 осуществляли в индукционной печи ИСТ006 с кислой футеровкой. В качестве шихтовых материалов использовали возврат в виде прибылей, а также отработанные детали сплава ЧХ22. Материалы загружались в тигель индукционной печи и расплавлялись. Затем осуществлялся выпуск жидкого чугуна в предварительно прогретый ковш емкостью 20кг с последующей разливкой металла по литейным формам через открытую прибыльную часть. Одновременно отливались пробы чугуна для исследования химического состава. После полного охлаждения формы разбивались, а отливки вместе с прибылями очищались от пригара. На завершающем этапе производилась обрезка прибылей и зачистка отливок от заусенцев. В качестве примера на Рисунке 4 представлены этапы получения опытных отливок.

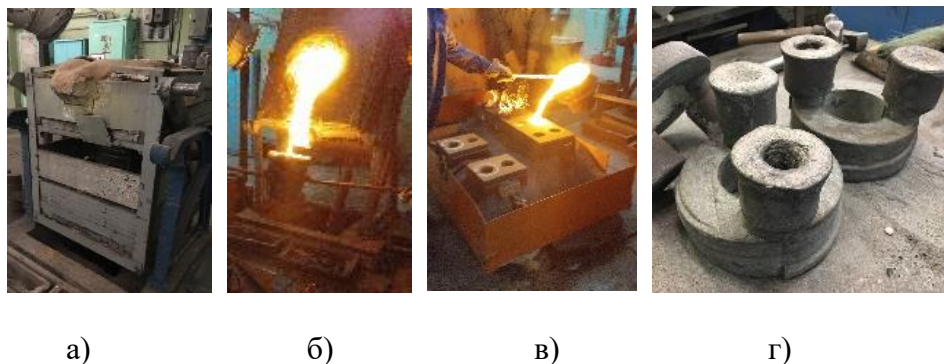


Рисунок 4 – Технология получения опытных отливок

а - индукционная плавильная печь ИСТ006; б - момент выпуска плавки; в - момент заливки литейных форм; г - опытные отливки с литниковой системой.

В дальнейшем осуществлялась обрезка прибылей, зачистка от пригара и заусенцев. На следующем этапе отливка подвергалась предварительной механической обработке с целью дальнейшего нанесения покрытия опытным порошком на рабочий виток. На рисунке 5 приведены фотографии подготовительных этапов для нанесения покрытия.

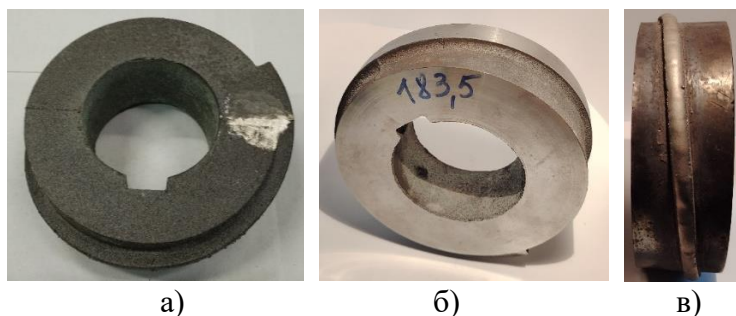


Рисунок 5 – Общий вид опытной отливки «Шнек» (а), после предварительной механической обработки (б), после нанесения покрытия из порошка (в)

Таким образом в результате выполненных экспериментальных исследований, показана возможность получения и применения самофлюсующихся порошков на основе железа для нанесения износостойких покрытий.

Список использованных источников

1. Способы получения износостойких материалов для защитных покрытий с использованием литейно-металлургических методов / А.Г. Слуцкий [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2021. – Вып. 42. – С. 216–225.
2. Отработка в лабораторных условиях литейно-металлургического процесса получения материалов для нанесения износостойких покрытий / Н. А. Гулецкий [и др.]; науч. рук.: В. А. Шейнерт, А. Г. Слуцкий // *Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс]: сборник научных работ XXIV Республиканской студенческой научно-технической конференции, 19–20 апреля 2023 года* / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск: БНТУ
3. Технологические особенности получения литых заготовок из износостойких материалов для защитных покрытий / В. А. Шейнерт [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2023. – Вып. 43. – с. 145–151.

Моделирование затвердевания и охлаждения отливок из износостойкого хромистого чугуна в литейных формах

Студенты группы 10403123: Шарко Е.И.;

10403122 Пугачевич М.В.;

10401122 Шатило Г.Е.

Научные руководители: Урбанович Н.И.,

Барановский К.Э., Бежок А.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Детали из износостойких хромистых чугунов (ИЧХ) получают литьем преимущественно в песчаные формы, в частности, в формы из холодно-твердеющей смеси. Отливки крупногабаритных защитных деталей, изготовленные из ИЧХ в песчаные формы, имеют существенный недостаток – при длительной выдержке в литейной форме до обычной температуры выбивки ($100^{\circ} - 20^{\circ} \text{C}$) из-за низкой скорости охлаждения происходит распад аустенита на феррит и вторичные карбиды, снижающие эксплуатационные характеристики деталей. Металлическая матрица (в основном феррит с вторичными карбидами) имеет твердость $\sim 250 \text{ HV}_{50}$. Это приводит к получению деталей с низкой твердостью 46-47 HRC, что существенно уменьшает ресурс их работы.

Повысить твердость отливок без использования дорогостоящих легирующих элементов можно за счет предотвращения распада аустенита в процессе охлаждения крупногабаритных отливок при ускоренном охлаждении после выбивки из литейной формы при температуре выше аустенитного превращения ($700 - 800^{\circ} \text{C}$). Металлическая матрица в таком случае легированный аустенит (имеет твердость $\sim 400 \text{ HV}_{50}$). Применение ранней выбивки и дополнительного легирования позволит получать толстостенные отливки из хромистых чугунов, изготавливаемые в песчаных формах, со стабилизированной аустенитной структурой, что, в свою очередь, будет способствовать повышению износостойкости, твердость деталей при такой технологии до 53-57 HRC

Проведено моделирование процесса затвердевания и охлаждения толстостенной отливки «Кольцо» УЗ. 1,25.01.00.001 весом 30 кг в песчаной форме из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) с помощью программы LVMFLow. Моделируемая литейная форма полностью соответствовала реально используемой песчаной форме. Использование аппарата моделирования затвердевания и охлаждения отливок позволяет определить время ранней выбивки отливки для охлаждения на воздухе для фиксации аустенитной структуры (рисунки 1, 2).

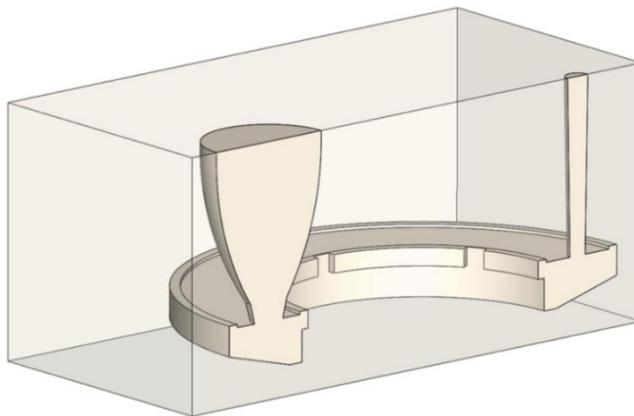


Рисунок 1 – Разрез отливки «Кольцо» с литниковой системой

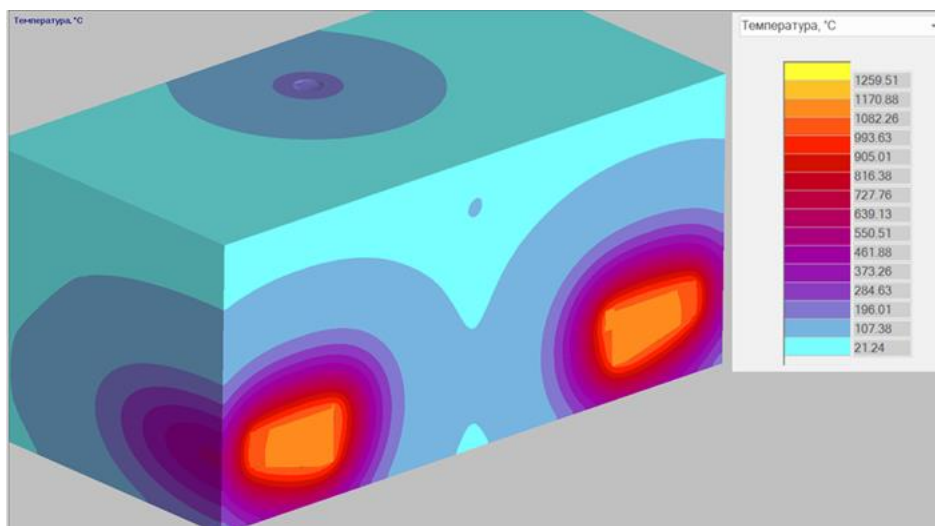


Рисунок 2- Моделирование затвердевания и охлаждения отливки «Кольцо»,
разрез литейной формы с отливкой при 950 °С

Как видно из рисунка разница в температуре между центром и двумя краями отливки при температурах выбивки при 950 °С незначительна.

Проведенное моделирование затвердевания и охлаждения отливок типа «Кольцо» хорошо согласуется с данными, полученными экспериментальным путем, и может быть использовано при определении точного времени извлечения отливки на воздух для ускоренного охлаждения. Ранняя выбивка с 950 °С повышает твердость отливок с 47 HRC (без ранней выбивки) до 57 HRC.

Проведено моделирование толстостенной отливки «Плита» (рисунки 3, 4), которая имеет неравномерную толщину, а, следовательно, и разную температуру в тонких и толстых частях.

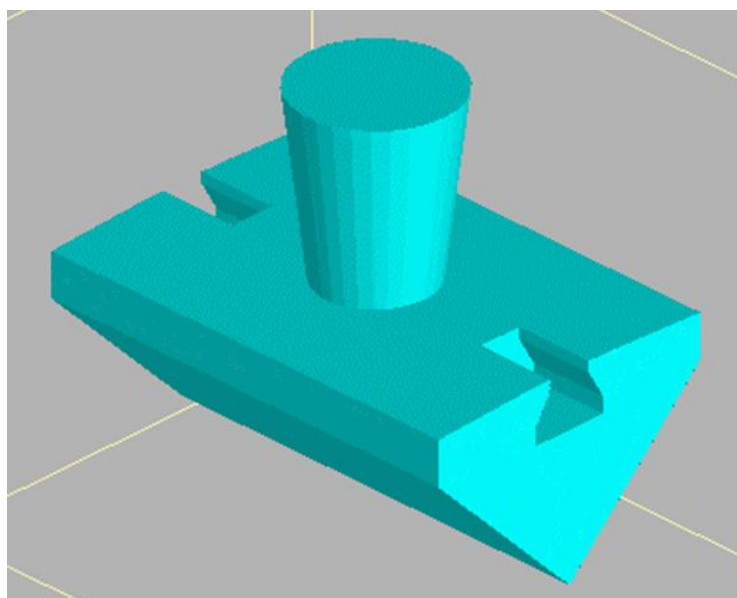


Рисунок 3 – Отливка «Плита» с литниковой системой

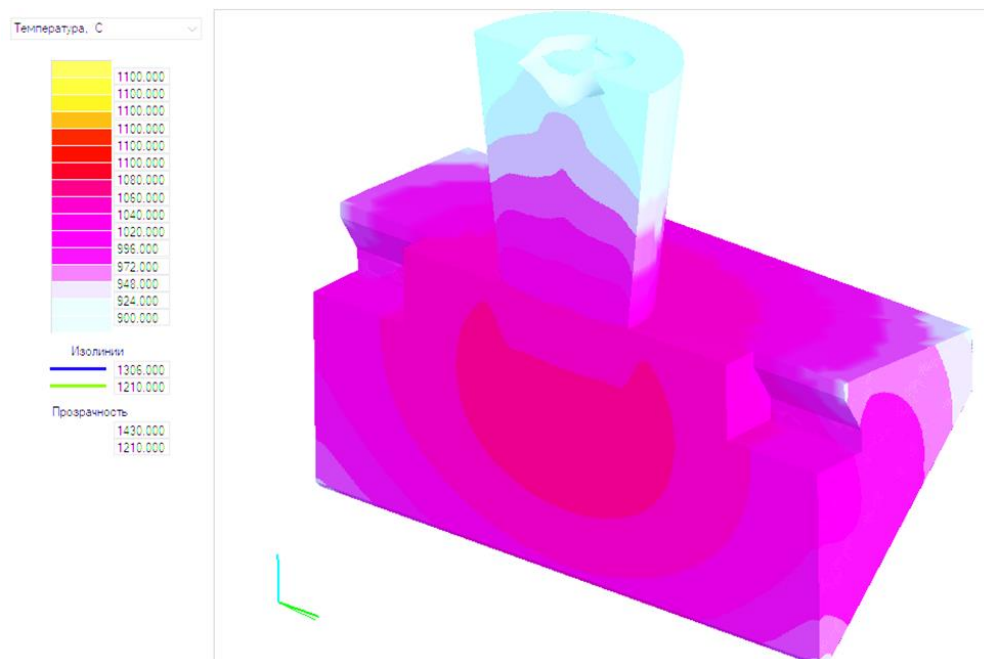


Рисунок 4 – Моделирование затвердевания и охлаждения толстостенной отливки, разрез отливки с литниковой системой и температурными полями

Моделирование показало, что при температуре ранней выливки в 1000 °C разность температур по сечению отливки составляет 55 – 60 °C, что необходимо учесть при извлечении отливки на воздух. Для менее массивных отливок типа «Кольцо» разница по сечению составляет всего 6 – 10 °C. Предложено для получения более высокой твердости повысить температуру ранней выливки для отливок типа «Кольцо» с 850°C до 950 – 1000 °C. А для массивных отливок типа «Плита» до 1000 – 1050 °C.

Использование ранней выливки и дополнительного легирования позволяет получать толстостенные отливки из хромистых чугунов, изготавливаемые в песчаных формах, со стабилизированной аустенитной структурой, что, повышает твердость и износостойкость.

Методика получения катода-мишени из специальных сплавов с использованием электроэрозионной обработки

Студенты гр. 10405623 Мельников К.А., гр. 10405222 Тарасик П.А.,
Панасюк В.О., гр. 10405322 Пылило В.И.

Научные руководители – Слущкий А.Г., Рудницкий А.Ю.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В данной работе на основании результатов экспериментальных исследований [1-4] апробирован метод изготовления катодов-мишеней из специальных сплавов с использованием электроэрозионной обработки непрофильным электродом-инструментом. На рисунке 1 представлена схема и общий вид установки.

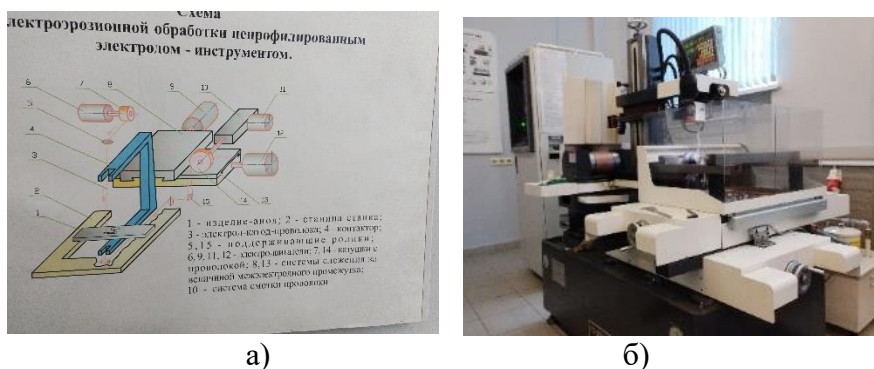


Рисунок 1 -. Схема (а) и общий вид (б) установка для электроэрозионной обработки непрофильным электродом-инструментом

Данная установка позволяет осуществлять обрезку любой по твердости и хрупкости заготовки из специальных сплавов. Основным инструментом является молибденовая проволока диаметром 0,18мм. Очень важным моментом является то обстоятельство, что в процессе такой обрезки литая либо прессованная заготовка не претерпевает структурного превращения как это имеет место при обрезке отрезными кругами. Кроме того, такой метод минимизирует потери сплава так как в качестве инструмента используется тонкая молибденовая проволока.

Ниже представлены результаты данной механической обработки заготовок катодов, полученных различными методами.

Так при изготовлении катода-мишени литьем в разовую форму (рисунок 2) на стальной токовод возникает необходимость обрезки прибыльной части, которая компенсирует усадку специального сплава в процессе кристаллизации. Полученная отливка (а, б) фиксируется на станке по обрезке специальным магнитом и затем по установленному режиму осуществляется обрезка прибыли.

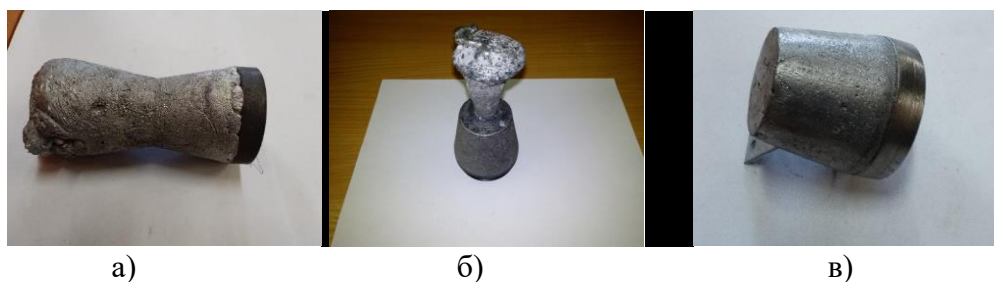


Рисунок 2- Обрезка прибыльной части (а, б) литого катода-мишени (в).

На рисунке 3 приведены фотографии метода получения слитка катода с применением СВС процесса (а). В этом случае отливка формируется в алундовом тигле (б). Для чего, отливку устанавливают в специальную металлическую обойму и заливают легкоплавким сплавом (в) после чего подвергают обрезке (г). В дальнейшем осуществляется пайка нижней части отливки к медному тоководу (д).

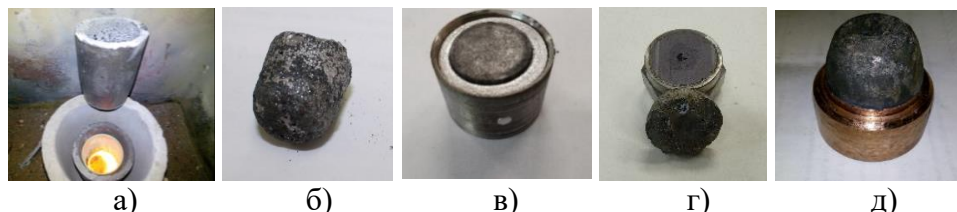


Рисунок 3 - Методика обрезки верхней части литого катода, полученного методом СВС процесса

Разработан вариант изготовления катода-мишени методом статического прессования (рисунок 4а, б, в). Полученная заготовка устанавливается в специальную обойму и заливается оловом (а). В дальнейшем заготовка прессованного катода (б) припаивается к стальному тоководу (в).

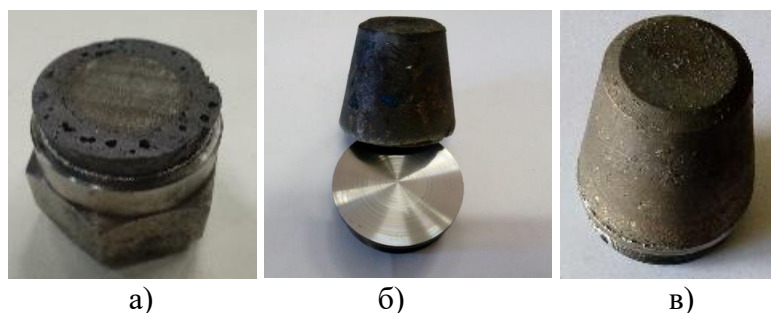


Рисунок 4 - Последовательность технологических операций по изготовлению прессованного катода-мишени (а, б, в).

В процессе испытаний промышленного образца катода-мишени из специального сплава на основе титана произошёл скол в верхней части, что потребовало её механической обрезке данным методом (Рисунок 5а, б, в).

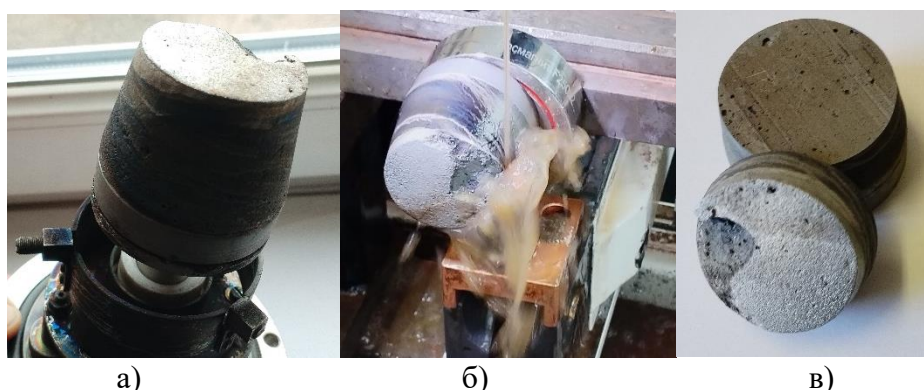


Рисунок 5 - Методика обрезки, отколовшейся в процессе испытаний верхней части катода-мишени.

а – катод-мишень с отколовшейся верхней частью; б-процесс обрезки; в-катод-мишень с обрезанным сколом.

Таким образом в результате выполненных экспериментов отработан метод механической обрезки заготовок катодов с использованием электроэрозионной обработки непрофильным электродом-инструментом.

Список использованных источников

1. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А. Иванов А.И., Белый А.Н. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии журнал «Литье и металлургия» 2021г., № 2 – с. 68-75.
2. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Белый А.Н. Комплексный подход к решению технологической задачи получения катодов-мишеней из силицидов переходных металлов для вакуумных ионно-плазменных источников/ Журнал «Литье и металлургия» 2022г., № 3 – с. 83-90.
3. Слуцкий А.Г. Технологические особенности изготовления образцов промышленных катодов-мишеней из титансодержащих сплавов литейно-деформационными методами, кандидат технических наук/ В.А. Шейнерт, К.А. Мельников // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов – Минск: БНТУ, 2024. – Вып. 45 с. 80-87.
4. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Ковалевич Э.В., Мельников К.А. Технологические особенности изготовления катодов-мишеней из специальных сплавов. Металлургия сплавов-2025. Материалы Международной научно-технической конференции (Могилев, 5-6 июня 2025г.) с. 14-16.

Машины и технология литейного производства

Особенности использования вент при Сейатсу-процессе

Студент группы 10404222 Шатилло С.Д.

Научный руководитель - Куликов С.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Точность литейной формы и ее способность противостоять термомеханическому воздействию расплава определяет точность размеров будущей отливки. Для сырых песчано-глинистых форм особую важность играет уплотняемость смеси, что, в свою очередь, определяется способом формообразования [1]. Кроме того, способ формообразования влияет также и на вероятность появления поверхностных дефектов, при наличии которых теряется смысл изготовления точных отливок. Одним из способов получения точных отливок может быть применение высокого давления - более $6,5 \text{ кг/см}^2$, применение комбинированных методов уплотнения позволяет сократить это значение до $5,5 \text{ кг/см}^2$ [2].

На ОАО «Минский тракторный завод» для получения отливок ответственного назначения, в первую очередь, для деталей моторной группы применяется метод Сейатсу. При этом методе формовочная смесь уплотняется в две стадии: первая – кратковременное интенсивное воздействие воздушного потока, вторая – последующее прессование. Воздействие воздушного потока создает для каждой частицы смеси направленное вниз давление, формовочная смесь перемещается вглубь к контуру модели, при этом уменьшаются поперечные напряжения и снижается вероятность образования комьев. От слоя к слою смесь уплотняется все больше и достигает своего максимума у контура модели. Последующее прессование осуществляется жесткой плитой, многоплунжерной головкой или гибкой диафрагмой. Стоит отметить, что время срабатывания клапана Сейатсу может варьироваться от 0,1 до 1,2с и, при больших значениях времени работы клапана, совпасть с временем прессования плитой или диафрагмой. Таким образом, наличие двух отдельных фаз условно и при изготовлении сложных форм они могут совпадать во времени.

При прохождении летней практики на ОАО «МТЗ» была решена одна из технологических задач. При получении форм для отливки 260-1002015-Б «Блок цилиндров» на автоматической формовочной линии EFA/ZFA-SD5 производительностью до 140 форм в час возникла проблема, выражающаяся в недостаточном уплотнении полуформы верха в правой части на глубину до 50мм от края подмодельной плиты. В этой области формируется знаковая часть, предназначенная для стержня, образующего боковую поверхность с множеством бобышек под сверление. Недостаточное уплотнение приводило к наклону стержня сборке полуформ и появлению чернот при обработке отливки. При анализе причин, которые могли способствовать отсутствию уплотнения исходили из того, что уплотнение поверхности, формируемое вентами, должно быть максимально. Однако именно в этом месте недостаточность уплотнения определялась простым прощупыванием без применения твердометров. Для изготовления качественных форм необходимое проходное сечение вент должно быть в диапазоне от 1 до 2% от площади формы. Осмотр вент и вент-каналов в подмодельных плитах показал полную исправность последних. Поэтому, для увеличения эффективности вент в данном конкретном случае были использованы экспериментальные данные специалистов из Голландии (Kikkert, Van Falier; De Globe, Weert), которые изучили влияние вент различного диаметра и установили, что венты больших диаметров, расположенные рядом с вентами малых размеров, значительно увеличивают эффективность последних. Выполнив врезку малых вент по контуру знака, с учетом того, что венты большего диаметра выполнены вдоль контура модели, была достигнута необходимая степень уплотнения.

Список использованных источников

1. 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. - 406 с.
2. Barlow T.E. Precision green sand molding. Mod. Cast., 1965, №6, 97-106

Определение активной глины методом метиленового голубого

Студенты группы 10404222 Мойсейчик В.А., Рипинский М.А.

Научный руководитель - Куликов С.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

По происхождению глины бывают первичными, вторичными и метаморфическими. Первичные глины возникают при разложении кристаллических горных пород или при выпадении из водных растворов, Вторичные (осадочные) возникли в результате размывания первичных глин и их повторного отложения. Метаморфические глины возникли в результате уплотнения первичных или вторичных глин под влиянием гидростатических или динамических воздействий [1]. Вследствие того, что глины имеют природное происхождение, особенности их формирования (генезис), влияет на их качество как связующих в самых широких пределах.

Особенность формовочных глин в том, что сами по себе они не являются связующими веществами и только при добавлении воды проявляют вяжущие свойства [2]. Вторая особенность глин – это широчайшие возможности для повторного использования отработанной смеси. Это обусловлено тем, что в процессе заливки формы расплавом слой смеси, контактирующий с ним, по сравнению с остальным объемом формы, очень мал. Вследствие чего выгорание глины минимально и ПГС многократно используются повторно.

В настоящее время при изготовлении литейных форм в подавляющем количестве случаев в качестве связующего используют бентонит. Формовочные смеси с использованием бентонита отличаются низким влагосодержанием и термической стабильностью. Во время летней практики на ОАО «МТЗ» была решена одна из технологических задач в Сталелитейном цехе предприятия. Особенность данного подразделения в том, что в нем изготавливаются не только стальные отливки, но и отливки из высокопрочного чугуна. Спектр рецептов смесей в цеху включает: смесь для стального литья, для чугуна и облицовочную смесь. Последняя готовится с большим содержанием свежего бентонита и, попадая при выбивке в обратную смесь, в значительной степени насыщает ее глинистой составляющей. Однако не смотря на применение облицовочных смесей, по всей номенклатуре была повышенная дефектность по ужимине.

Литейная лаборатория определяет не только общее глиносодержание в смеси, но и количество активного бентонита. Это делается методом метиленового голубого, а точнее по степени поглощения опытной смеси этого красителя. Данный метод проводится в следующем порядке. Навеску смеси 5г помещают в колбу и приливают 50мл дистиллированной воды. Содержимое колбы кипятят 5 мин. Потом в колбу добавляют 1,5-2мл 5Н раствора серной кислоты. Содержимое колбы тщательно перемешивают. После этого опытный раствор готов и начинается титрование. Из бюретки в опытный раствор порциями по 1мл добавляют метиленовый голубой (раствор 3,74г красителя на 1л дистиллированной воды). После каждого введения красителя раствор перемешивается и стеклянной палочкой забирается капля раствора и помещается на фильтровальную бумагу. Если эквивалентная точка не достигнута, на бумаге остается только синяя точка. Если же эквивалентность достигнута, на бумаге по периферии точки образуется зеленый ореол. Для определения эквивалентной точки необходимо строить тарировочные графики для смесей со свежим кварцевым песком и содержанием бентонита от 1 до 10% с шагом в 1%.

Определенное таким способом содержание активного бентонита в оборотной смеси показало значение 97%. Это говорило о том, что содержание бентонита в смеси не понижено, а избыточно и потребовало от технологических служб снизить объем облицовочных смесей до момента снижения активного бентонита. Определение активного бентонита — это очень

трудоемкий процесс и требует от работников лаборатории наивысшей квалификации. В тоже время это строго необходимо при с использованием смесей с бентонитом, так как дает точную информацию об эффективности связующего.

Список использованных источников

1. Кукуй Д.М. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси: учебн. пособие / Д.М. Кукуй, Н.В. Адрианов. – Мн.: БНТУ, 2005. – 391с.
2. Куликов, С. А. Критерии оценки эффективности бентонитов при производстве отливок ответственного назначения / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий, В. А. Шумигай // Литье и металлургия. – 2023. – № 4. – С. 43-47.

Технология изготовления стержней по Cold-box-amine процессу.

Перспективы дальнейшего развития

Студенты гр.10402324 Айвазян А.В., Аксенчик А.А.

Научный руководитель - Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

В последние десятилетия технологии литья металлов претерпели значительные изменения, что связано с необходимостью повышения качества продукции и снижения затрат на производство. Одним из наиболее эффективных методов является технология Cold-box-amine, которая была придумана в 1968 г. промышленной фирмой Ashland (США). Данный процесс позволяет получать высококачественные стержни для форм. В этой статье мы рассмотрим основные преимущества и недостатки этой технологии, а также ее перспективы в будущем.

Основы процесса Cold-box-amine

Смесь фенолформальдегидной смолы и изоцианата с материалом формы уплотняется в стержневом ящике, где под действием катализатора (третичного амина) происходит затвердевание. Процентное соотношение компонентов может меняться в зависимости от назначения изделия и типа используемого материала формы, обычно варьируясь от 0,5-0,6% до 1,2% от массы огнеупорного наполнителя (песка). Образующиеся в процессе реакции связующие мосты гарантируют прочность и стабильность формовочного материала. В процессе заливки образованные связующие мосты разрушаются, что позволяет легко удалить стержень из готовой оливки. [1]

Технологические особенности процесса Cold-box-amine

Процесс представляет собой сочетание пескострельного или иного уплотнения смеси в стержневом ящике, отверждения продувкой нагретой до 100...130 °С смесью воздуха с парами амина и очистки стержня от остаточного амина продувкой сжатым воздухом. Продолжительность и давление обоих процессов регулируется газогенератором. [2]

Преимущества технологии Cold-box-amine

1. Высокая точность и качество

Одним из главных преимуществ технологии является высокая точность размеров и формы стержней. Это достигается благодаря использованию холодного процесса формования, что минимизирует возможность деформации форм при нагреве. Высокое качество отливок позволяет сократить затраты на последующую механическую, обработку. Из-за высокой прочности производство стержней быстрое и автоматизированное. Стержни можно отливать уже спустя короткое время после изготовления, при этом они обладают высокой термостойкостью.

2. Экологичность

Cold-box-amine процесс не требует использования токсичных растворителей, что делает его более безопасным для окружающей среды по сравнению с традиционными методами литья.

3. Производительность

Процесс отверждения смолы происходит быстро, что позволяет значительно сократить время на изготовление стержня, что делает процесс Cold-box привлекательным для крупносерийного и массового производства.

4. Устойчивость к высоким температурам

Стержни, изготовленные по данной технологии, обладают высокой термостойкостью, что позволяет использовать их для литья металлов с высокой температурой плавления. Это

делает технологию особенно привлекательной для таких отраслей, как энергетика и авиастроение.

Недостатки технологии Cold-box-amine:

1. Ограниченные возможности по размеру

Технология может быть ограничена в производстве крупных стержней или форм из-за особенностей используемых материалов и оборудования. Это может стать препятствием для некоторых производств, требующих больших размеров отливок.

2. Стоимость материалов

Использование высококачественных смол и катализаторов может привести к увеличению себе стоимости продукции по сравнению с традиционными методами литья. Это может быть значительным фактором для малых предприятий или тех, кто работает в условиях жесткой конкуренции.

3. Необходимость в специализированном оборудовании

Для реализации технологии требуется наличие специализированного оборудования для смешивания компонентов и подачи аминов в форму. Это может потребовать дополнительных инвестиций со стороны производителей.

Дальнейшие перспективы в будущем:

1. Разработка новых, более экологичных и экономичных связующих

Исследования направлены на создание биоразлагаемых и менее токсичных смол и катализаторов, что позволит снизить вредное воздействие на окружающую среду и уменьшить затраты.

2. Автоматизация и цифровизация производства

Внедрение систем автоматического дозирования компонентов, контроля параметров отверждения и мониторинга качества повысит стабильность процесса и снизит влияние человеческого фактора.

3. Расширение области применения:

Благодаря высокой точности и термостойкости стержней технология будет все шире использоваться в авиационной, автомобильной, энергетической и других высокотехнологичных отраслях.

4. Интеграция с аддитивными технологиями

Комбинация Cold-box-amine с 3D-печатью форм и стержней позволит ускорить производство прототипов и мелкосерийных изделий с высокой точностью.

Заключение:

Технология изготовления стержней по Cold-box-amine процессу представляет собой современный подход к производству форм для литья металлов с множеством преимуществ. Несмотря на некоторые недостатки, дальнейшие инновации в области материаловедения и автоматизации процессов открывают новые горизонты для этой технологии в будущем.

Список использованных источников

1. ASK Chemicals [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ask-chemicals.com/foundry/cold-box-binder-systems/cold-box-pu-technology>
2. Жуковский, С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм / С.С. Жуковский. Справочник. – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.

Виды пластика для 3D принтера

Студент гр. 10404221 Бузюма А.В.

Научный руководитель – Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

3D печать становится все более популярной и доступной. Принтеры упрощаются, но выбор пластиков может быть сложным для новичков. Важно проверить совместимость пластика с принтером, так как некоторые материалы требуют специальных условий.

PLA (полилактид) — самый популярный и доступный пластик:

Плюсы:

-
- Не дает усадки, подходит для больших моделей.
 - Совместим с любым исправным 3D принтером, не требует подогрева.
 - Нетоксичен и почти без запаха.
 - Широкая палитра цветов.

Минусы:

- Плохо шлифуется и обрабатывается.
- Деформируется при нагреве выше 50 градусов.
- Хрупкий, легко ломается.
- Уязвим к ультрафиолету, со временем выцветает.

PLA подходит для изготовления декоративных предметов, макетов и корпусов для электроники.

ABS

ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) – это второй по популярности пластик для 3D печати, благодаря своим свойствам, доступности и небольшой цене.

Плюсы:

- Высокие прочностные характеристики.
- Легкая механическая и химическая обработка.
- Низкая цена.
- Широкий выбор цветов.

Минусы:

- Высокая усадка, что усложняет печать крупных изделий.
- Требуется подогреваемый стол и закрытая камера.
- Неприятный запах при печати.

ABS подходит для функциональных прототипов.

HIPS (ударопрочный полистирол)

HIPS изначально предназначен для поддержки при печати с высокой температурой.

Плюсы:

- Меньшая усадка по сравнению с ABS.
- Простота механической обработки.
- Привлекательная матовая поверхность.
- Разрешен контакт с пищевыми продуктами (проверяйте сертификаты).

Минусы:

- Необходим подогреваемый стол и закрытая камера.
- Менее прочный и гибкий, чем ABS.
- Ограниченная палитра цветов.

HIPS не подходит для функциональных изделий.

PVA (поливиниловый спирт)

PVA водорастворимая поддержка для PLA.

Параметры печати:

- Температура экструдера: 190-210 °C.
- Подогрев стола не требуется.

PVA гигроскопичен и растворим в воде, используется только как поддержка для PLA или аналогичных материалов.

- Высокая прозрачность, прочность и упругость.
- Низкая токсичность, подходит для печати изделий, контактирующих с пищей.
- Температура экструдера: 230-260°C, стола: 60-100°C. Печать без закрытого корпуса.

Плюсы: Небольшая усадка, высокая прозрачность после обработки, легкость в механической и химической обработке.

Минусы: Плохая спекаемость слоев, требуется подогреваемый стол.

- Применение: полупрозрачные вазочки, игрушки, емкости для еды, кастомные детали.

Нейлон

- Износостойкий полиамид, высокий коэффициент скольжения и термостойкость.

Плюсы: Высокая прочность, стойкость к растворителям, хорошо поддается механической обработке.

Минусы: Высокая усадка, нужен закрытый принтер с подогреваемым столом, требуется сушка от влаги.

- Применение: износостойкие детали, шестеренки, функциональные модели.

Мягкие пластики (FLEX)

- Гибкие и эластичные, похожи на силикон.

Плюсы: Гибкость, стойкость к растворителям.

Минусы: Сложности печати на некоторых принтерах, сложная постобработка.

- Применение: уплотнительные прокладки, стельки, гибкие модели.

Декоративные пластики

- PLA с наполнителями для имитации материалов.

Плюсы: Легкость в печати, привлекательный внешний вид.

Минусы: Некоторые наполнители абразивные, могут забивать сопло.

- Применение: декоративные изделия.

Инженерные пластики

- Нейлон с наполнителями для улучшения характеристик.

Плюсы: Высокая прочность, низкая воспламеняемость.

Минусы: Нужен закрытый принтер и подогреваемый стол, некоторые наполнители могут повредить сопло.

- Применение: функциональные детали с высокими требованиями

- **Итоги**

Существует широкий ассортимент материалов, включая узкоспециализированные инженерные и декоративные пластики. Производители постоянно обновляют и совершенствуют свои предложения, включая пластики, имитирующие керамику, глину, дерево и металлы.

Новинки, такие как выжигаемый пластик с низкой зольностью, предназначены для специфических задач. Обратите внимание на указанные диапазоны температур и проводите тестовые печати для оптимизации настроек.

**Перспективы внедрения искусственного интеллекта в литейное
производство**

Студенты гр. 10402324 Волчек М.Н., Лепетило М.А.
Научный руководитель - Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

История возникновения литейного производства уходит корнями в далекое прошлое. Теперь уже неизвестно, когда человеку впервые удалось расплавить металл и остудить его в заранее заготовленной металлической плашке. О том был ли это подарок богов или таинство, рассмотренное у природы - тоже неизвестно. Но доподлинно установлено, что первые, находки ученых, подтверждающие освоение литья древними, датируются шестым - пятым тысячелетием до нашей эры. Древнейшие подтверждения существования литейных производств были найдены в Китае и Туркмении. Умения плавить металл сменили каменный век эрой металлов. Первоначально люди не могли привести его в жидкое состояние, а лишь нагревали до степени мягкости, при которой он поддавался ковке. Эта методика существовала достаточно долго, сохранился он и до сегодняшних дней. Но главным его недостатком была невозможность серийного производства. Он не давал возможности быстро получить большую партию продукции.

Развитие литейного производства играет важную роль в современной промышленности. Оно направлено на повышение качества продукции, снижение себестоимости и улучшение экологических характеристик процессов. Основные направления развития включают:

1. Автоматизация и роботизация — внедрение автоматизированных линий и промышленных роботов позволяет повысить производительность, снизить долю ручного труда и обеспечить стабильность качества отливок.

2. Современные технологии моделирования — применение компьютерного 3D-моделирования и численного анализа (например, литейной симуляции) помогает прогнозировать поведение расплава, сократить количество брака и оптимизировать конструкцию литниковой системы.

3. Аддитивные технологии (3D-печать) — используются для быстрого производства литейных форм и моделей, что ускоряет процесс подготовки производства и позволяет изготавливать сложные геометрические формы.

4. Новые материалы и сплавы — разработка и применение высокопрочных, жаростойких и коррозионно-устойчивых материалов позволяют расширить область применения литейных изделий, особенно в авиации, энергетике и автомобилестроении.

5. Экологизация производства — переход на более чистые технологии плавки, снижение выбросов и утилизация отходов становятся важными задачами в контексте устойчивого развития [1].

Но в последнее время, большие обороты набирает использование искусственного интеллекта в различных сферах жизни. В данной статье будет рассмотрена идея полного внедрения искусственного интеллекта в промышленность и перспективы его применения в литейном производстве.

Как известно, искусственный интеллект (ИИ) — это область информатики, которая занимается созданием систем, способных выполнять задачи, требующие интеллектуальных способностей человека. На данный момент, существует такое понятие, как «Робототехническая автоматизация процессов для упрощения работы с документами». Это программное обеспечение, предназначенное для имитации действий человека для выполнения повторяющихся бизнес-задач. Эти программы имеют мало общего с аппаратными роботами,

но могут выступать в роли обычного «белого воротничка». Программное обеспечение RPA может быть настроено для выполнения любого типа задач, которые имеют четкую последовательность действий, которые должны быть воспроизведены. RPA доказывает тот факт, что промышленность не стоит на одном уровне развития, а все процессы, выполняемые человеком на производстве – автоматизируются [2].

Начнём рассмотрение полного внедрения искусственного интеллекта в литейное производство и промышленность в целом. Предполагается, что при введении полной автоматизации в литейную промышленность, искусственный интеллект способен значительно повысить эффективность, снизить затраты и улучшить качество продукции.

Так как человеку свойственно ошибаться при выполнении какой-либо работы, искусственный интеллект в этом плане может превзойти человека и проводить анализ данных, чтобы предсказать возможные дефекты в отливках ещё до начала производства. Это снижает количество брака и экономит ресурсы.

При производстве, машинное оборудование может выходить из рабочего состояния и нуждаться в ремонте. Чтобы предотвратить возможные простои и аварии, можно использовать искусственный интеллект, который может заранее анализировать и выявить неполадки. Чтобы повысить точность контроля качества, возможно использование искусственного интеллекта для автоматического распознавания дефектов на поверхности изделий.

В перспективе, с развитием технологий, ИИ сможет полностью управлять литейными линиями, принимать решения в реальном времени и обеспечивать постоянную адаптацию производства под изменяющиеся условия. Это делает ИИ не просто вспомогательным инструментом, а важнейшим элементом будущего литейной промышленности [3].

Рассмотрим еще несколько вариантов развития литейного производства с использованием ИИ:

1. Высокая скорость обработки данных

ИИ может анализировать тысячи параметров и производственных данных в реальном времени — намного быстрее, чем человек. Это особенно важно в сложных процессах, где промедление может привести к браку.

2. Точность и повторяемость решений

ИИ работает на основе алгоритмов и не подвержен усталости или субъективным оценкам. Это обеспечивает стабильное качество продукции и точное соблюдение технологических параметров.

3. Предиктивная аналитика

ИИ способен предсказывать поломки оборудования или дефекты изделий до их появления, используя данные с датчиков и историческую статистику. Человек не может обрабатывать такие объемы данных с подобной точностью.

4. Автоматический контроль качества

Компьютерное зрение и ИИ-системы могут находить мельчайшие дефекты (например, микротрещины, пористость) на ранних стадиях, что человек может пропустить визуально.

5. Оптимизация энергопотребления и ресурсов

ИИ умеет в реальном времени регулировать режимы работы оборудования для снижения энергозатрат и оптимизации расхода материалов — то, что вручную сделать сложно и трудоемко.

6. Непрерывная работа

ИИ-системы не нуждаются в отдыхе, сменах или перерывах, что позволяет обеспечивать круглосуточную работу производственной линии.

7. Обучаемость и самосовершенствование

ИИ способен "учиться" на накопленных данных, повышая точность прогнозов и решений со временем. У человека такой рост требует долгого обучения и опыта.

В завершении статьи хочется отметить тот факт, что и без человека производство с использованием ИИ не обойдется. Так как сам человек создал ИИ, то ему и в дальнейшем придётся как-то влиять на работу искусственного интеллекта, повышая качество выполнения работы искусственным интеллектом и расширять его навыки. Одним из хороших показателей ИИ является тот факт, что ИИ-алгоритмы помогают инженерам и технологам быстро принимать обоснованные решения, предлагая варианты на основе анализа больших данных. В перспективе, с развитием технологий, ИИ сможет полностью управлять литейными линиями, принимать решения в реальном времени и обеспечивать постоянную адаптацию производства под изменяющиеся условия. Это делает ИИ не просто вспомогательным инструментом, а важнейшим элементом будущего литейной промышленности.

Список использованных источников

1. Что такое индустрия 4.0 и что нужно о ней знать | РБК Тренды (rbc.ru) [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7> (дата обращения: 19.04.2025).
2. Искусственный интеллект поможет металлургам следить за качеством сырья (1obl.ru) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.1obl.ru/news/ekonomika/iskusstvennyy-intellekt-pomozhet-metallurgam-sledit-za-kachestvom-syrya/> (дата обращения: 19.04.2025).
3. Умная литейка или искусственный интеллект в литейном производстве | Современные Литейные Технологии | Дзен (dzen.ru) [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/YaTsDeZvFj6i0Vvg> (дата обращения: 19.04.2025).

Индукционные печи

Студент гр. 10404221 – Голубев Д.В.

Научный руководитель – Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Индукционная плавильная печь – это специальное устройство, предназначенное для плавки всех видов металлов (рисунок 1). Работает плавильная печь ТВЧ на основе законов Джоуля-Ленца и Фарадея-Максвелла об индукционном нагреве. Токи высокой частоты проходят сквозь индуктор, образуют мощное электромагнитное поле, которое впоследствии проникает в металл, материализуясь в тепловую энергию.



Рисунок 1 – Строение индукционной печи

Плавильная печь отличается от отопительных печей сопротивлением способом передачи тепловой энергии в металл. В индукционной печи электрическая энергия сначала преобразуется в электромагнитное поле, затем снова становится электрической, проникая в металл, а уже затем переходит в тепловую. На сегодняшний день индукционная печь признана более совершенной, если сравнивать ее с альтернативными вариантами (газовые и электрические печи). При индукционном нагреве тепло выделяется непосредственно в металле, а потому КПД индукционных печей довольно высок.

По технологическому назначению установки индукционного нагрева подразделяют на плавильные печи для плавки металлов и нагревательные установки для термической обработки (заковки, отпуска), для сквозного нагрева заготовок перед пластической деформацией (ковкой, штамповкой), для сварки, пайки и наплавки, для химико-термической обработки изделий и т. д.[1]

По частоте изменения тока, питающего установку индукционного нагрева, различают: 1) установки промышленной частоты (50 Гц), питающиеся от сети непосредственно или через понижающие трансформаторы;

2) установки повышенной частоты (500-10000 Гц), получающие питание от электромашинных или полупроводниковых преобразователей частоты;

3) высокочастотные установки (66 000-440 000 Гц и выше), питающиеся от ламповых электронных генераторов.

Плавильные печи ТВЧ подразделяются на два типа: печи с сердечником и печи без сердечника. Печи без сердечника называют еще тигельными, и в последнее время они получили у владельцев металлургических предприятий большой спрос, ведь имеют более высокий уровень КПД [2].

Канальные печи (с сердечником) были одними из первых, но переход от них к тигельным начался примерно в начале 90-х годов. На сегодняшний день тигельная плавильная печь получила широкое распространение.

Тигель плавильной печи ЭЛСИТ вмещает до 100 килограмм расплавленного металла, получаемого за 45 минут. Тигель состоит из огнеупорных материалов и легко выдерживает воздействие высоких температур, которых будет достаточно для плавки самых стойких металлов.

В наше время индукционными установками принято называть электротермические устройства, суть которых плавка различных материалов и сам индукционный нагрев. Частью всей этой установки является индукционная печь, состоящая из камеры для плавки, индуктора, вакуумной системы, каркаса, механизма наклона печи и др.

Работа индукционных печей состоит в поглощении нагреваемым электропроводным телом электромагнитного поля. Тем самым преобразовывая энергию в тепловую. Данное явление называется электромагнитная индукция. "Индукцированный" или "наведенный"- так называют ток в нагреваемом теле.

Энергия электромагнитного поля при переходе дает некоторые возможности:

а) В отличие от печей сопротивления, индукционная печь может электрическую энергию самого индуктора передать в нагреваемый объект, не вынуждая нас к никаким контактам.

б) Выделить непосредственно в самом нагреваемом объекте тепло, вследствие чего значительно увеличивается скорость нагрева, и применение тепловой энергии становится наиболее продуктивным [3].

Индукционные печи ИСТ (печи средней частоты)

Данный вид печей был создан для закалки и плавки стали, драгоценных, черных и цветных металлов при помощи токов повышенной частоты. Нагревательные установки данного типа нашли свое применение в цехах художественного либо точного литья, в литейных цехах (металлургические заводы и т.п.), для получения металла нужной марки, состава, и высокого качества, их также применяют на машиностроительных заводах (ремонтные цехи и т.д.)

Преимущества индукционной печи ИСТ:

- Высококачественный индуктор выполненный из специально профелированной медной трубки с водоохлаждением.

- Вода и электроэнергия поступают к индуктору по высококачественным гибким кабелям с водоохлаждением.

- Непрерывный контроль над потоком воды. В каждом контуре охлаждения в данной установке температура воды так же контролируется.

- Высочайшая защита печного агрегата, которую обеспечивает изоляция индуктора, контроль футеровки, контроль температуры контуров охлаждения, контроль протока [4].

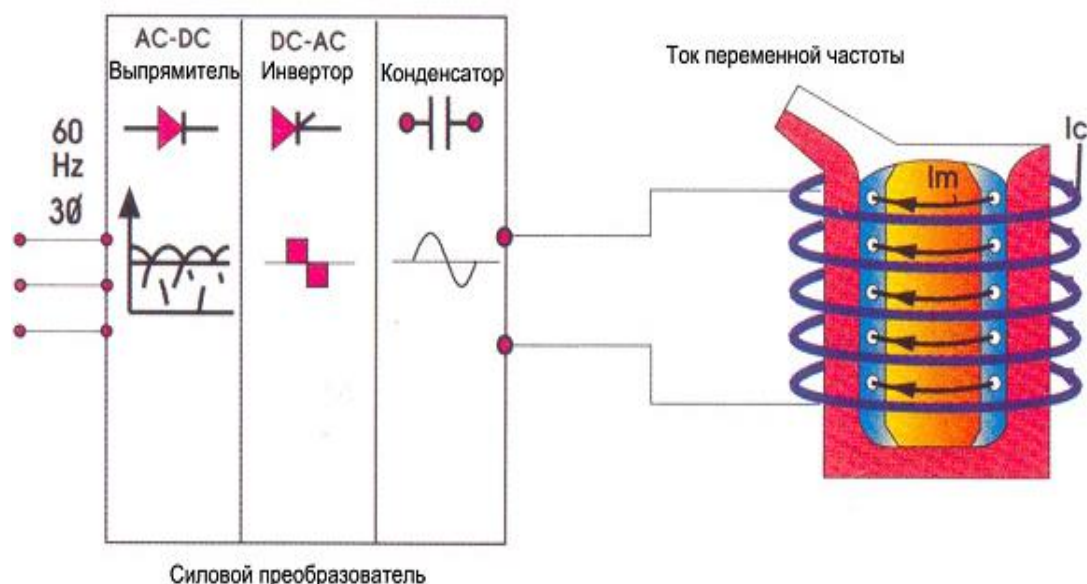


Рисунок 2 – Принципиальная схема среднечастотной плавильной печи

Индукционные печи ИЧТ (печи промышленной частоты)

Индукционные тигельные печи ИЧТ нашли свое применение в перегреве чугуна, а также предназначены для высококачественного отлива чугуна. Температура перегрева колеблется от 1400(номинальная) до 1550(максимальная) градусов С. Электроды данного типа так же допускаются для плавки сплавов на основе меди. Печи данного типа имеют различные технические характеристики и номинальную емкость, которая состоит от 1 до 10 тонн.

Преимущества индукционной печи ИЧТ:

- Наличие собственной индукционной печи, а также полного комплекта оборудования.
- Подвижная рама
- Высококачественный индуктор с многovitковой водоохлаждаемой катушкой.
- Высокая степень защиты агрегата, которую обеспечивает закрывающейся тигель печи, окруженный магнитопроводами индуктор, качественным охлаждением и др.
- Регулируемая мощность электроды при помощи щита управления

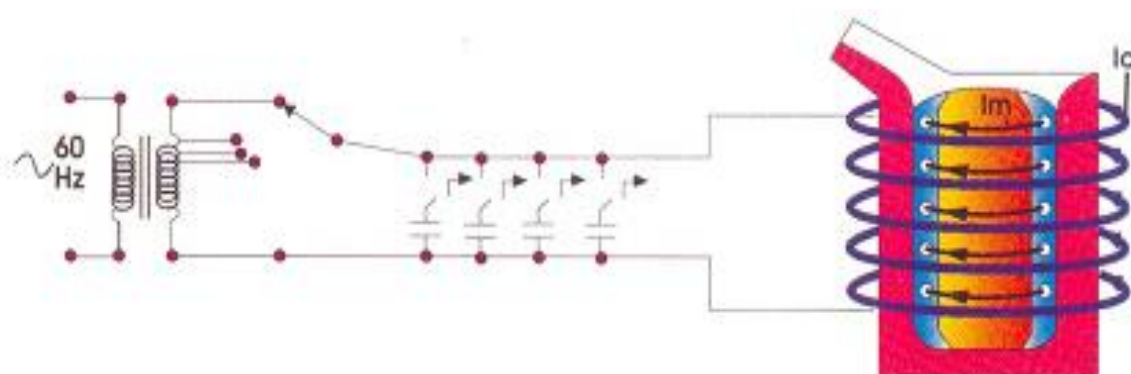


Рисунок 3 – Принципиальная схема плавильных печей промышленной частоты

Индукционные печи ИАТ (печи промышленной частоты)

Индукционные электроды типа ИАТ изначально были предназначены для алюминия и его сплавов, а именно для расплавления и перегрева. На сегодняшний день они также

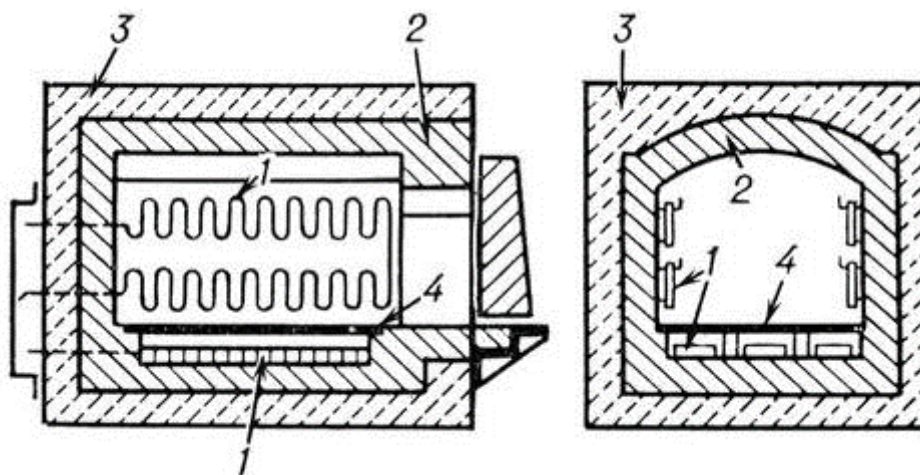
находят большое применение в получении отливок из алюминия и его высококачественных сплавов. Температура перегрева колеблется от 700 (номинальная) до 800 (максимальная) градусов С. Печи имеют различные технические характеристики, от потребляемой мощности до емкости, и хорошо представлены многими компаниями, такими как "ИНДУКТОР КА" и др.

Электропечь сопротивления САТ

Электропечи данного типа САТ 0,16 и САТ 0,25 (в зависимости от нужной вам емкости) предназначены для цинка и алюминиевых сплавов, а именно для их плавки, удержания нужной температуры уже расплавленного металла до разлива по формам. Сама печь своей конструкцией напоминает шахту, внутри которой находится тигель.

Данный вид печей обладает рядом преимуществ:

- За счет использования качественных и современных материалов с необходимой теплопроводностью, потребление энергии достигает минимума.
- Доступ к элементам легкий и не вызывает трудностей.
- Удобное изменение температуры расплава.
- Потребляемую мощность можно контролировать на каждой фазе.
- Крышка печи устроена так, чтобы было возможно отводить газы от расплава
- Вы можете провести ремонт нагревательных элементов без слива металла.



1 - нагревательные элементы; 2 - огнеупорная часть кладки; 3 - теплоизоляция;
4 - жароупорная подовая плита.

Рисунок 4 - Схема устройства камерной печи сопротивления периодического действия

Индукционные печи представляют собой эффективный и безопасный способ плавки металлов благодаря своим преимуществам, таким как высокая производительность, энергоэффективность и экологичность. Они находят применение в различных отраслях промышленности, включая металлургию, машиностроение и пищевую промышленность.[5]

Использование индукционных печей позволяет существенно сократить время плавки металла, повысить качество продукции и снизить затраты на электроэнергию и материалы. Кроме того, индукционные печи обладают рядом экологических преимуществ, таких как снижение выбросов вредных веществ и уменьшение загрязнения окружающей среды.

Однако использование индукционных печей также связано с некоторыми недостатками, такими как высокие первоначальные инвестиции и необходимость квалифицированного персонала для обслуживания и эксплуатации оборудования.

В целом, индукционные печи являются перспективным направлением развития металлургии и других отраслей промышленности, так как они обеспечивают высокую эффективность, безопасность и экологичность производства.

Список используемой литературы

1. Вайнберг А.Н. Индукционные печи. — М.: Энергия, 1967. — 172 с.
2. Фризен В.Э. Индукционные комплексы для инновационных электрометаллургических технологий. Дис. д-ра. техн. наук: 05.09.10 / В. Э. Фризен. Екатеринбург, 2014. — 314 с.
3. Иванова Л. И., Грובה Л. С., Сокунов Б. А., Сарапулов С. Ф. Индукционные тигельные печи: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. — Екатеринбург: Изд-во УГТУ - УПИ, 2002. — 87 с.
4. Верте Л.А. МГД-технология в производстве чёрных металлов. — М.: Металлургия, 1990. — 120 с.
5. Слухоцкий А.Е., Немков В. С., Павлов Н. А., Бамунэр А. В. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов. Под ред А.Е. Слухоцкого. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. — 328 с.

Электрические печи для литейного производства

Студенты: гр. 10404221 Гончарик А. Н.,

гр. 10404222 Шатилло С.Д.

Научный руководитель – Коренюгин С. В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Литейное производство является одним из важнейших секторов машиностроения, обеспечивающим изготовление широкого спектра деталей и заготовок из различных металлов и сплавов. Процесс плавки металла является одним из наиболее энергоемких и экологически неблагоприятных этапов литейного производства [1]. Традиционно для плавки металла в литейных цехах используются топливные печи, работающие на природном газе, мазуте или угле. Однако, в последние годы наблюдается тенденция к переходу на электрические печи, что обусловлено рядом преимуществ, связанных с повышением энергоэффективности, улучшением качества металла и снижением воздействия на окружающую среду [2].

Электрические печи для литейного производства можно классифицировать по принципу действия и типу используемого нагревательного элемента. Наиболее распространенными типами электрических печей являются:

- **Дуговые печи (ДП):** Нагрев металла осуществляется за счет тепла электрической дуги, возникающей между электродами и металлом. ДП широко используются для плавки стали и чугуна, а также для переплава отходов и лома [3].

- **Индукционные печи (ИП):** Нагрев металла происходит за счет энергии электромагнитного поля, создаваемого индуктором. ИП применяются для плавки широкого спектра металлов и сплавов, включая сталь, чугун, цветные металлы и драгоценные металлы. ИП характеризуются высокой скоростью нагрева, равномерным распределением температуры и возможностью точного контроля процесса плавки [4].

- **Электрошлаковые печи (ЭШП):** Переплав металла осуществляется через слой расплавленного шлака, который нагревается электрическим током. ЭШП используются для получения высококачественных слитков и заготовок из стали и сплавов с улучшенными механическими свойствами и низким содержанием примесей [5].

- **Печи сопротивления:** Нагрев металла происходит за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через нагревательный элемент (например, нихромовую спираль). Печи сопротивления используются для плавки цветных металлов и сплавов, а также для нагрева и термообработки металлических изделий.

- **Плазменные печи:** для нагрева металла используется плазменная дуга. Плазменные печи обеспечивают высокую температуру и позволяют плавить трудноплавкие металлы и сплавы.

По сравнению с топливными печами, электрические печи обладают рядом преимуществ:

- **Более высокая энергоэффективность:** Электрические печи позволяют более эффективно использовать энергию, так как потери тепла в них меньше, чем в топливных печах.

- **Лучший контроль температуры:** Электрические печи обеспечивают более точный и стабильный контроль температуры, что позволяет получать металл с заданными свойствами.

- **Более высокое качество металла:** В электрических печах меньше вероятность загрязнения металла продуктами сгорания топлива, что способствует повышению его качества.

- Снижение выбросов вредных веществ: Электрические печи не выбрасывают в атмосферу вредные вещества, образующиеся при сгорании топлива, что улучшает экологическую обстановку.

- Меньший уровень шума: Электрические печи работают тише, чем топливные печи, что улучшает условия труда работников.

- Возможность автоматизации процесса: Электрические печи легко поддаются автоматизации, что позволяет повысить производительность и снизить трудозатраты.

К недостаткам электрических печей можно отнести:

- Более высокая стоимость оборудования: Электрические печи, как правило, стоят дороже, чем топливные.

- Зависимость от электроснабжения: Работа электрических печей требует надежного электроснабжения.

- Более высокие требования к квалификации персонала: Для обслуживания электрических печей требуется персонал, обладающий знаниями в области электротехники и электробезопасности.

Электрические печи широко используются для плавки различных металлов и сплавов в литейном производстве. ДП применяются для плавки стали и чугуна, ИП – для плавки стали, чугуна, цветных металлов и драгоценных металлов, ЭШП – для получения высококачественных слитков и заготовок из стали и сплавов. Выбор конкретного типа электрической печи зависит от требуемых объемов производства, состава плавимого металла, требований к качеству металла и экономических соображений.

Электрические печи являются перспективным оборудованием для литейного производства, обладающим рядом преимуществ по сравнению с традиционными топливными печами. Переход на электрические печи позволяет повысить энергоэффективность производства, улучшить качество металла и снизить воздействие на окружающую среду. Дальнейшее развитие электрических печей направлено на оптимизацию конструкции, разработку новых материалов и совершенствование систем управления, что позволит расширить область их применения и повысить конкурентоспособность литейного производства.

Список использованных источников

1. Варганов Ф.Ф., Зайцев А.А. Энергосбережение в литейном производстве. – М.: Машиностроение, 2009. – 288 с.

2. Голубцов В.А., Кузнецов В.Л. Электрические печи в металлургии: Учебное пособие. – М.: Издательский дом МИСиС, 2012. – 352 с.

3. Дуговые сталеплавильные печи: Справочник / Под ред. А.А. Кутина. – М.: Металлургия, 1982. – 432 с.

4. Индукционные печи и установки для нагрева: Справочник / Под ред. А.Е. Сливко. – М.: Машиностроение, 1981. – 480 с.

FDM-принтер для печати модельных комплектов из чугуна

Студент гр. 10404221 Довжик И.А.

Научный руководитель - Коренюгин С. В.

Белорусский национальный технологический университет
г. Минск

3D-принтер — устройство, использующее метод послойного создания физического объекта, на основе виртуальной 3D-модели.

FDM — это наиболее широко используемая технология 3D-печати. FDM принтеры в большом многообразии представлены на рынке. Применение технологии.

Принцип действия процесс FDM печати:

Катушка из термопластичной нити загружается в принтер. Как только сопло достигнет необходимой температуры, нить подается в экструдер и в сопло, где она плавится (рисунок 1).

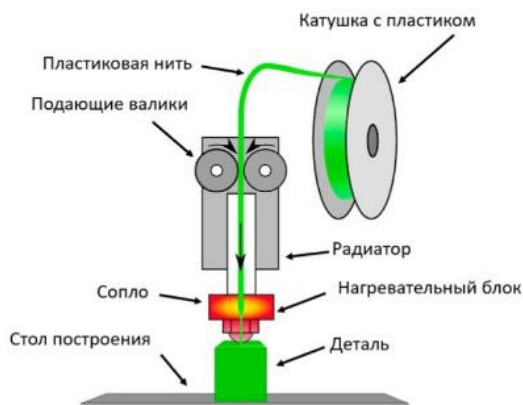


Рисунок 1 – Основной принцип действия FDM принтера

Экструдер прикреплен к 3-осевой системе, которая позволяет ему перемещаться в направлениях X, Y и Z (рисунок 2). Расплавленный материал выдавливается в виде тонких нитей и наплавляется послойно в заранее определенных местах, где затем охлаждается и затвердевает. Иногда охлаждение материала ускоряется благодаря использованию вентиляторов, прикрепленных к экструдеру.

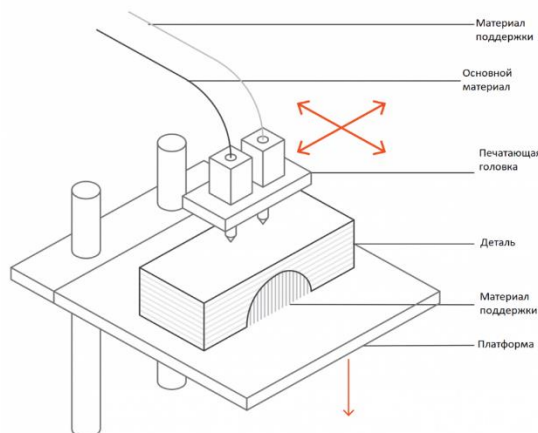


Рисунок 2 – Основной принцип перемещения FDM принтера

Для заполнения печатной области, экструдеру требуется несколько проходов. Когда слой закончен, платформа перемещается вниз (или, как в некоторых моделях принтеров - экструдер перемещается вверх), и новый слой наплавляется на уже схватившийся. Этот процесс повторяется, пока модель не будет напечатана целиком.

Различают несколько разновидностей кинематики работы FDM принтера:

Кинематика "Prusa" (пруша);

H-BOT;

Core-XY;

Core-XYZ;

Кинематика "Makerbot";

Кинематика "Ultimaker";

Пяти осевые принтеры.

Все данные виды кинематик относятся к картезианской кинематике.

Картезианская кинематика — это самая распространенная система в FDM 3D принтерах. Она получила свое название благодаря использованию декартовых координат для перемещения печатающей головки. В этой системе оси X, Y, и Z перемещаются перпендикулярно друг другу, что обеспечивает высокую точность и простоту в управлении. Преимуществами картезианской кинематики являются легкость калибровки, простота конструкции и возможность точного контроля положения печатающей головки. Однако, большие размеры и масса подвижных частей могут снижать скорость печати и увеличивать вибрации, особенно на высоких скоростях.

Самая распространенная из картезианских кинематик является "Prusa" (пруша).

Пруша (Prusa), в народе известная как “дрыгостол” - простейшая, компактная недорогая схема, названная в честь своего изобретателя, самая продаваемая разновидность принтеров в бытовом настольном сегменте.

Рабочий стол подвижен в одной горизонтальной оси, как правило, Y, экструдер движется по остальным двум. За каждое направление отвечает свой двигатель, на некоторых моделях за ось Z абсолютно одновременно работают два (рисунок 3).

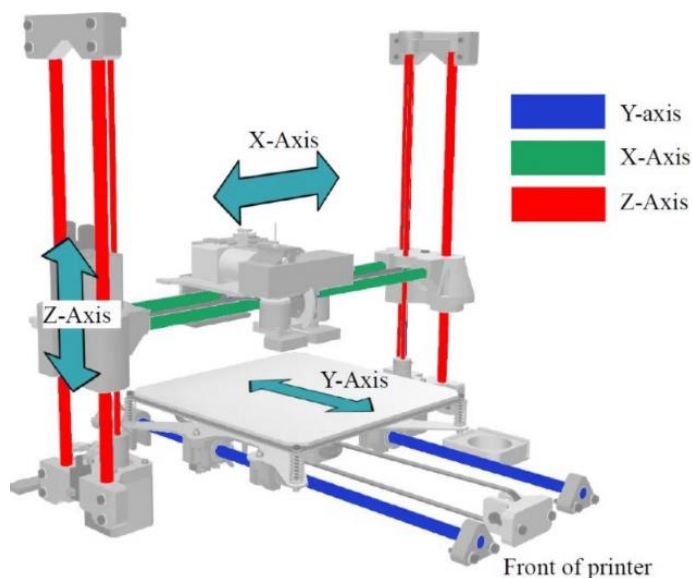


Рисунок 3 – Кинематика пруса (Prusa)

Преимущества:

Простая конструкция, невысокая цена комплектующих и самого принтера, удобство наблюдения за процессом печати, лёгкий доступ к обслуживаемым деталям, распространённость.

Ограничения:

Открытая рабочая камера. Это ухудшает качество печати материалами, которые чувствительны к перепадам температур. Инертность, связанная с нагревательным столом 3D принтера. Стол перемещается по оси Y с немалой скоростью, а вместе с ним при печати перемещается и сама модель. В итоге, при печати высоких и тонких моделей на больших скоростях сильно ухудшается качество результата печати.

Применение аддитивных технологий в литейном производстве

Для оптимизации литейного производственного процесса важно минимизировать количество операций механической обработки, используемой при получении изделия. Чем ближе отливка к конечной форме детали, тем быстрее можно её изготовить, что позволяет снизить себестоимость за счёт экономии времени и средств. 3D-печать помогает ускорить производственный процесс за счёт исключения обычных начальных этапов в традиционной технологии получения отливок. При этом литейную форму нужных размеров можно получить всего за одну операцию.

Использование 3D-оборудования позволяет убрать такие этапы получения литейной формы, как изготовление модели, её формовка, извлечение и прокалка формы. Использование аддитивных технологий значительно ускоряет этот процесс — после печати формы на 3D-принтере можно приступить к заливке металла для получения заготовки. При этом время получения изделия сокращается в 2–6 раз. Это помогает сделать производственный цикл значительно короче и быстрее выпустить изделия в продажу.

На многих современных предприятиях прямая печать форм уже внедрена в производственный процесс, но по экономическим затратам традиционное литьё обходится дешевле. Использование литья совместно с аддитивными технологиями более выгодно. Поэтому 3D-печать хорошо применять на этапе получения выплавляемых или выжигаемых моделей, а также для синтеза готовых литейных форм и стержней.

Список использованных источников

1. Цифровая литейка (применение 3D-печати в литейном производстве) [Электронный ресурс] – URL: https://i3d.ru/blog/dlya_mozayki/3d-pechat-v-liteynom-proizvodstve/ (дата обращения: 27.11.2024)
2. Алексей Чехович, Аддитивные технологии в литейном производстве [Электронный ресурс] – URL: <https://blog.iqb.ru/additive-technologies-foundry/> (дата обращения: 27.11.2024)
3. Применение 3D-печати при изготовлении литейных форм: особенности и преимущества технологии [Электронный ресурс] – URL: <https://vektorus.ru/blog/tehnologii-3d-pechati-dlya-litya-metallov.html> (дата обращения: 27.11.2024)

Модифицирование

Студент гр. 10404221 Зуев К.И.
Научный руководитель - Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технологический университет
г. Минск

Модифицированием называют процесс преднамеренного изменения структуры литого металла и сплава под воздействием очень малых количеств специально вводимых добавок.

Вводимые при этом добавки называют модификаторами.

Как правило, введение в металлы и сплавы модификаторов способствует кристаллизации структурных составляющих в округлой форме, значительному их измельчению и равномерному распределению по всему объёму.

В одних случаях мелкозернистая структура, получаемая при модифицировании, связана с воздействием модификаторов на число зародышей, в других она является следствием уменьшения скорости роста кристаллов. Модифицирование – мощное средство воздействия на различные свойства литейных сплавов как в жидком состоянии, так и после затвердевания.

Во многих процессах модифицирования действие модификаторов часто является кратковременным (этим, в частности, они отличаются от элементов, используемых при микрولةгировании). В результате этого после некоторой выдержки в жидком состоянии эффект модифицирования ослабляется и даже полностью исчезает.

Для некоторых сплавов было замечено, что наличие в них ничтожно малых количеств тех или иных химических элементов тормозит процесс модифицирования. Например, наличие в чугунах титана, висмута, свинца, сурьмы, мышьяка, олова и некоторых других элементов препятствует образованию шаровидного графита при модифицировании магнием. Такие элементы предложено (А.А.Горшковым) называть демодификаторами.

Модифицировать структуру металлов и сплавов при их кристаллизации можно введением:

- 1) тугоплавких частиц, которые должны служить «затравками» и искусственно увеличивать число зародышей при кристаллизации;
- 2) поверхностно-активных элементов, которые могут адсорбировать на гранях растущих кристаллов. При этом будет создан «барьер» между растущими кристаллами и жидкостью, препятствующий росту кристаллов;
- 3) добавок, вступающих в химическую реакцию с теми или иными элементами, находящимися в расплаве. Образующиеся в сплаве химические вещества (оставаясь в нём или удаляясь из него) могут изменить как его физико-химическую природу, так и кристаллизационную способность.

Следует отметить, что в результате модифицирования могут иметь место различные структурные изменения, а именно изменение размеров первичных зёрен-дендритов и других продуктов первичной кристаллизации, изменение внутреннего строения первичных зёрен-дендритов и изменение структуры эвтектик.

Предложено модификаторы делить на две группы.

Модификаторы первого рода поверхностно-активные. Эти модификаторы избирательно адсорбируются на границах зародышей, замедляют рост зёрен и препятствуют их слиянию. Они действуют в момент, когда частицы твердой фазы имеют коллоидные размеры.

Модификаторы, рассматриваемой группы должны обладать очень малой растворимостью в той жидкой фазе, из которой они адсорбируются. В адсорбционных явлениях определенную роль играет изоморфность структур, так как в процессе адсорбции

происходит как бы стыкование (сопряжение) двух кристаллических решеток различных веществ.

К модификаторам первого рода применительно к некоторым литейным сплавам, например относят литий, натрий, цинк, магний, кальций, алюминий, олово, висмут и др.

Модификаторы второго рода увеличивают число центров кристаллизации, уменьшая работу образования зародышей и увеличивая их число.

Модификаторами второго рода в отличие от модификаторов первого рода могут быть очень тугоплавкие металлы или соединения, вводимые в расплав (или образующиеся в расплаве) в высокодисперсном состоянии или в виде коллоидно-дисперсной «взвеси». Частицы такой взвеси могут служить зародышами, вокруг которых образуются и растут кристаллы.

Список использованных источников

1. Модифицирование литейных сплавов / Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис Д.В., Николайчик Ю.А., Ровин С.Л. Литье и металлургия. – 2021. – № 2. – С. 37-41..

Создание эффективного теплораспределителя малых габаритов для улучшения технологических характеристик трёхмерной печати модельных комплектов

Студент группы 10404221 Иванчиков В.Н.

Научный руководитель - Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

1. Введение

С развитием аддитивных технологий, таких как FFF и FDM, стало возможным производство высокоточных модельных комплектов из полимерных материалов. Однако одной из ключевых проблем, остающихся на сегодняшний день, является недостаточное охлаждение в зоне "холодного" конца хотэнда, что влияет на стабильность подачи материала и может приводить к дефектам, включая неравномерное нанесение слоёв и забивание радиатора.

Работа направлена на исследование и улучшение теплоотводных характеристик радиатора для повышения качества печати. Современные технологии печати требуют точной регулировки температуры материала, особенно в начальной фазе его плавления. Отсутствие эффективного охлаждения в зоне подачи прутка может приводить к его размягчению до попадания в зону плавления, что в свою очередь нарушает стабильность подачи.

2. Методика

Для повышения эффективности работы радиатора охлаждения необходимо учитывать ключевые параметры, влияющие на теплообмен. Эти параметры включают в себя теплофизические свойства материала, его удельную теплоёмкость и теплопроводность. Важно отметить, что все эти характеристики взаимодействуют между собой, влияя на конечный результат работы системы охлаждения.

2.1. Определение параметров, влияющих на работу радиатора

Теплопередача может происходить тремя основными способами:

- **Кондукция** — передача тепла через материал при его непосредственном контакте.
- **Конвекция** — передача тепла через поток жидкости или газа, который переносит теплоту.
- **Излучение** — передача тепла без участия материальной среды, посредством излучения тепловых волн.

Рассматривая материалы для изготовления радиаторов, необходимо учитывать их теплопроводность, удельную теплоёмкость и плотность. Медь и алюминий, благодаря своим высоким показателям теплопроводности, являются идеальными кандидатами для использования в радиаторных системах.

2.2. Теплопроводность и её влияние на эффективность охлаждения

Теплопроводность материала напрямую влияет на скорость передачи тепла, что особенно важно в случае быстрого охлаждения в аддитивных технологиях. Медь, благодаря своей высокой теплопроводности (до 400 Вт/(м·К)), оказывает минимальное сопротивление тепловому потоку, что позволяет эффективно охлаждать рабочие зоны 3D-принтера. Алюминий, хотя и уступает меди в теплопроводности, всё же демонстрирует хорошие результаты (до 235 Вт/(м·К)) и может быть использован в менее нагруженных частях радиатора.

3. Расчёт геометрических параметров радиатора

Методика расчёта радиатора основывается на применении принудительного воздушного охлаждения. В этом процессе важно учесть такие параметры, как диаметр штырей, температура окружающей среды, шаг между элементами радиатора и другие геометрические параметры.

3.1. Параметры расчёта

Для вычислений были выбраны следующие исходные данные:

- **Мощность радиатора:** 60 Вт
- **Температура окружающей среды:** 20°C
- **Максимальная температура перехода:** 50°C
- **Контактное сопротивление:** 0,156°C/Вт

Основные этапы расчёта включают определение температуры радиатора, критериев Грасгофа и Нуссельта, коэффициента теплоотдачи и других параметров, влияющих на эффективность теплообмена.

3.2. Расчёт температуры радиатора

Средняя температура радиатора (T_{cp}) рассчитывается по формуле:

$$T_{cp} = 0,96[T_n + P \cdot R] / T_{cp} = 0,96[T_n + P \cdot R] / T_{cp} = 0,96[T_{п} + P \cdot R]$$

где $T_{п}$ — максимальная температура перехода, P — мощность, рассеиваемая радиатором, и R — контактное сопротивление. Для данных параметров была получена температура 56,98°C. Это значение важно для дальнейших расчётов, поскольку оно влияет на работу системы охлаждения и стабильность печати.

3.3. Расчёт критериев теплоотдачи

Для расчёта теплоотдачи используется критерий Нуссельта (Nu), который позволяет определить эффективность теплообмена в конкретных условиях. Исходя из результатов, был выбран оптимальный коэффициент теплоотдачи для меди и алюминия.

4. Практическая часть: Разработка и тестирование радиатора

Разработанный радиатор был смоделирован для 3D-принтера, с учётом всех геометрических и теплофизических параметров. Проведённые тесты показали, что радиатор с медными штырями обладает наилучшими результатами по теплоотведению, эффективно снижая температуру в зоне подачи материала и предотвращая его плавление до попадания в зону плавления.

Рассчитанные параметры радиатора, такие как количество штырей и площадь теплоотвода, позволяют значительно повысить эффективность охлаждения и стабилизировать процесс печати, снижая вероятность появления дефектов.

5. Заключение

В ходе исследования была выбрана медь как оптимальный материал для радиатора, благодаря её высоким теплофизическим характеристикам. Методика расчёта радиатора, а также результаты расчётов, позволяют точно прогнозировать параметры для создания эффективных систем охлаждения в 3D-принтерах. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения качества печати и уменьшения числа дефектов в процессе аддитивного производства.

Список использованных источников

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.
2. Физические величины. Справочник. А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
3. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. — 1008 с.

- 4.Шелудяк Ю.Е., Кашпоров Л.Я. и др. Теплофизические свойства компонентов горючих систем. М. 1992. — 184 с.
5. Григорьев И.С. Мейлихов Е.З. «Физические величины. Справочник»
- 6.ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ. ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ. В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко

Технологии 3D печати в литейном производстве

Студент гр. 10404221 Корзик Р. В.
Научный руководитель –Коренюгин С. В.
Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

Литейное производство в настоящее время испытывает значительные трансформации, обусловленные внедрением технологий 3D печати. Эти инновационные подходы открывают новые возможности для создания сложных и легких компонентов, способствуя сокращению временных и финансовых затрат на производство.

Технологии 3D печати включают в себя десять вариантов аддитивного производства для различных областей применения: Directed Energy Deposition (DED), Binder Jetting, Powder Bed Fusion, Fused Deposition Modelling, Stereolithography, Material Jetting, Sheet Lamination, Vat polymerization, Sintering, Electron Beam Melting [1].

Directed Energy Deposition (DED) направленный источник энергии, такой как лазер или электронный луч, наносит материал на поверхность. Материал наплавляется на поверхность с помощью сопла на многоосевом манипуляторе. Он может двигаться в разных направлениях, обеспечивая необходимое осаждение. Используемый материал представляет собой либо проволоку, либо порошок, каждый из которых имеет свои преимущества. Если проволока обеспечивает более эффективное использование материала, то порошок позволяет повысить точность печати.

Binder Jetting - печать на связующем имеет отличительную особенность, выделяющую ее в отдельную технологию. Она заключается в использовании жидкого связующего вещества поверх слоя напечатанного порошка, выполняющего роль адгезии. Этот процесс повторяется до тех пор, пока желаемая 3D-структура не будет завершена, после чего при помощи воздуха под давлением удаляет излишки порошка [2].

Powder Bed Fusion сплавление порошкового слоя включает в себя множество сложных технологий. Прямое лазерное плавление металлов (DMLM), прямое лазерное спекание металлов (DMLS), электронно-лучевое плавление (EBM) и селективное лазерное спекание (SLS). Суть заключается в том, что концентрированное тепло, т. е. электронные лучи или лазеры, расплавляют тонкие слои материала на слое порошка [2].

Fused Deposition Modelling или FDM - один из самых популярных процессов. В этом случае экструдированный полимер проходит через нагретое сопло, установленное на подвижном манипуляторе. Расплавленный материал ложится слой за слоем по мере того, как сопло движется поперек, а станина поднимается вверх. Химические связующие вещества обеспечивают тщательную адгезию между слоями, чему способствует точный контроль температуры. Непрерывная волоконная 3D-печать, разновидность процесса FDM, использует катушку волокна вместо множества более коротких нитей, вложенных в материал во время печати. Это обеспечивает значительное увеличение прочности на разрыв и жесткости напечатанного материала за счет длинных нитей волокна, уложенных друг на друга в смоле.

Stereolithography в стереолитографии используется ультрафиолетовый лазер, направленный на поверхность жидкой термореактивной смолы. Она сопоставима с технологией полимеризации в чанах. Стереолитография также известна своей высокой точностью.

Material Jetting струйная обработка материалов — это, пожалуй, самая близкая технология аддитивного производства к своему современнику - 2D-печати. Материал для печати наносится на поверхность непрерывным методом или методом «капля по требованию» (DOD). Направленное сопло перемещается по осям x и y. Слоям дают остыть и затвердеть под воздействием ультрафиолетового (УФ) излучения.

Sheet Lamination в производстве листового ламинирования используются две различные технологии. Это ультразвуковое аддитивное производство (UAM) и производство ламинированных объектов (LOM). UAM — это низкоэнергетический и низкотемпературный процесс, в котором используется ультразвуковая сварка для соединения последовательных тонких металлических листов. В основном это такие металлы, как титан, нержавеющая сталь и алюминий. С другой стороны, в LOM вместо сварки используются чередующиеся слои бумаги и клея. Чаще всего используется для визуальных, эстетических моделей вместо прочных структурных.

Vat polymerization полимеризация в ванне — процесс, называемый фотополимеризацией. Он превращает жидкости в твердые тела, подвергая жидкие полимеры воздействию ультрафиолетового (УФ) света. 3D-модель проецирует ультрафиолетовый свет на ванну с жидкими полимерами, слой за слоем. Облучение ультрафиолетовым светом повторяется до тех пор, пока модель не будет завершена, после чего ванна сливается, оставляя после себя желаемое 3D-твердое тело.

Sintering спекание — это формирование твердого материала под воздействием тепла или давления. Но это происходит без расплавления материала до состояния разжижения. Это шаг вперед по сравнению с традиционным фотокопированием, когда тонер плавится, формируя изображение на бумаге. Прямое лазерное спекание металлов или DMLS — это прямое ответвление спекания. Он спекает каждый последующий слой порошкообразного металла, чтобы сплавить частицы. После каждого слоя платформа перемещается вниз. Это позволяет лезвию повторно сместиться и нанести следующий слой. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет завершено изготовление желаемого объекта.

Electron Beam Melting электронно-лучевое плавление или EBM — это современная разновидность лазерного плавления. Он использует концентрированный электронный луч для расплавления слоя металлического порошка на платформе сборки.

Преимущества аддитивного производства:

Сложные геометрии: позволяет создавать сложные 3D-геометрии с внутренними элементами, исключая необходимость в традиционной оснастке.

Сокращение отходов: эти технологии используют материалы эффективнее, чем традиционная механическая обработка, что сводит к минимуму отходы.

Прямое цифровое производство: Детали могут быть изготовлены непосредственно из 3D-модели, минуя необходимость в подробных чертежах.

Быстрое прототипирование: позволяет быстро создавать прототипы, способствуя ускорению итераций и ускорению цикла проектирования.

Кастомизация: мелкосерийное производство выигрывает за счет минимальной оснастки или ее отсутствия, что обеспечивает большую гибкость по сравнению с традиционной механической обработкой.

Производственная оснастка: может напрямую изготавливать пользовательскую оснастку, оптимизируя производственный процесс.

Универсальность материалов: поддерживает сочетание различных материалов в процессе печати, что позволяет создавать уникальные сплавы и изменять свойства материалов в разных частях одной детали.

Недостатки аддитивного производства:

Более медленное и дорогостоящее производство: аддитивное производство остается относительно новым, что приводит к замедлению процесса сборки и повышению стоимости.

Высокие затраты на оборудование: первоначальные инвестиции в оборудование могут быть значительными, что приводит к увеличению производственных расходов.

Обширная постобработка: необходимый уровень постобработки зависит от технологии, но он может быть очень большим, что увеличивает время и стоимость всего процесса.

Ограничение по размерам: ограниченный размер деталей, которые могут быть изготовлены.

Низкие механические свойства: детали часто имеют менее благоприятные механические свойства, чем детали, изготовленные традиционными методами, что требует дополнительной обработки для улучшения характеристик.

Качество поверхности и текстура: качество поверхности деталей обычно не соответствует качеству, достигаемому традиционными способами, такими как обработка на станках с ЧПУ и литье по выплавляемым моделям, что часто требует дополнительных отделочных работ.

Низкая прочность деталей: прочность деталей, обычно ниже по сравнению с деталями, изготовленными такими методами, как литье под давлением, литье по выплавляемым моделям и обработка с ЧПУ, что влияет на их структурную целостность в некоторых областях применения.[1].

В заключение можно сказать, технология 3D печати в литейном производстве предоставляет новые возможности для отрасли, несмотря на существующие недостатки, позволяя сократить время и затраты на производство, повысить качество и точность изделий, а также разрабатывать индивидуальные и уникальные продукты.

Список использованных источников

- 1.АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: Революция в отраслях промышленности по всему миру | Фабхеды.
- 2.What is Additive manufacturing? | 7 Additive Manufacturing types.

Плавильные агрегаты

Студент гр. 10404221 Косенков В.М.
Научный руководитель – Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

Плавильные агрегаты играют важную роль в литейном производстве, обеспечивая эффективное и надежное плавление металлических материалов. Рассмотрим значимость плавильных агрегатов, их преимущества и влияние на процесс литейного производства.

Первоначально, плавильные агрегаты представляют собой специальные установки, используемые для нагрева и плавки металлов. Они состоят из печей, горелок, систем подачи топлива и системы управления температурой. Плавильные агрегаты могут работать с различными типами металлов, включая сталь, чугун, алюминий и другие сплавы.

Одним из ключевых преимуществ плавильных агрегатов является их способность обеспечивать высокую производительность и точность плавления металлов. Это особенно важно в литейном производстве, где требуется точное контролирование температурного режима для достижения желаемых свойств отливок. Плавильные агрегаты позволяют поддерживать стабильную температуру и обеспечивать равномерное плавление металла, что способствует получению качественных изделий [1].

Кроме того, плавильные агрегаты обладают высокой энергоэффективностью. Они используют различные топлива, такие как газ, электричество или масло, и оптимизируют процесс плавления, минимизируя потери тепла. Это позволяет снизить энергозатраты и повысить экономическую эффективность литейного предприятия.

Еще одним важным преимуществом плавильных агрегатов является их гибкость и адаптивность к различным производственным условиям. Они могут быть настроены на работу с разными типами металлов и сплавов, а также могут быть легко интегрированы в автоматизированные линии литейного производства. Это позволяет предприятиям быстро переключаться между различными заказами и обеспечивать гибкость производства.

Заключительно, плавильные агрегаты являются неотъемлемой частью литейного производства. Их значимость заключается в обеспечении высокой производительности, точности плавления металлов, энергоэффективности и гибкости процесса. Они способствуют повышению качества отливок, снижению затрат и обеспечивают успешное функционирование литейных предприятий [2].

Печи для плавки металла в литейном производстве обладают несколькими особенностями, которые позволяют эффективно выполнять процесс плавки и переплавки металлических материалов. Вот некоторые из них:

1. Высокая температура: Печи для плавки металла обычно способны достигать очень высоких температур, необходимых для плавления различных типов металлов. Температуры могут варьироваться в зависимости от требований конкретного металлического сплава.

2. Термическая изоляция: Печи имеют слои термической изоляции, которые помогают сохранять высокую температуру внутри печи и предотвращать ее передачу наружу. Это позволяет сократить потери тепла и повысить энергоэффективность печи.

3. Защитная атмосфера: в некоторых случаях, особенно при работе с реактивными металлами, печи могут создавать контролируемую атмосферу вокруг расплавленного металла. Это может быть инертный газ, такой как аргон или азот, который предотвращает окисление металла или взаимодействие с другими веществами.

4. Регулируемая система нагрева: Печи обычно оснащены системой нагрева, которая может быть электрической или на основе горения топлива. Это позволяет легко регулировать температуру плавки и поддерживать ее на требуемом уровне.

5. Емкость и конструкция: Печи для плавки металла имеют достаточную емкость для размещения необходимого количества сырого материала. Они также имеют конструкцию, способную выдерживать высокие температуры и химические воздействия.

6. Система залива: В печах для плавки металла присутствует система залива, которая позволяет переносить расплавленный металл в формы или наливать его в формы для получения желаемого изделия.

7. Контроль и автоматизация: Современные печи для плавки металла обычно оснащены системами контроля и автоматизации, которые обеспечивают точное регулирование температуры, времени плавки и других параметров процесса. Это повышает качество и эффективность производства.

Важно отметить, что конкретные особенности печей для плавки металла могут различаться в зависимости от типа литейного производства и требований конкретного процесса.

В литейном производстве используется несколько видов агрегатов для плавки металла. Вот некоторые из них:

1. Электроды. Широко применяются для плавки металла в литейном производстве. Работают на основе принципа электропроводности и могут быть различных типов, таких как дуговые печи, индукционные печи и печи сопротивления. Электроды обеспечивают высокую точность контроля температуры и могут быть использованы для плавки различных металлических сплавов.

2. Газовые печи. Широко используются для плавки металла. Они работают на основе сгорания газа, такого как природный газ или пропан. Газовые печи могут быть конвейерного типа, камерного типа или иметь другую конфигурацию в зависимости от требований процесса плавки.

3. Индукционные печи. Используют принцип электромагнитной индукции для нагрева металла. Они работают путем создания переменного магнитного поля, которое индуцирует электрический ток в металлическом заготовке, приводя к ее нагреву. Индукционные печи обычно используются для плавки малых объемов металла или при требовании высокой скорости нагрева.

4. Дуговые печи работают на основе создания электрической дуги между электродами и металлом. При прохождении электрического тока через дугу металл нагревается до высоких температур и плавится. Дуговые печи могут быть использованы для плавки различных металлов и сплавов [3].

Это лишь несколько примеров агрегатов, используемых в литейном производстве для плавки металла. В зависимости от требований процесса и типа металла могут использоваться и другие типы оборудования.

Список использованных источников

1. Кузнецов А.В. Технологии плавления в металлургии [Москва: Металлургия]. 2018. 250 с.
2. Иванов И.И. Современные плавильные агрегаты [проектирование и эксплуатация]. Санкт-Петербург: Наука; 2020. 300 с.
3. Петров П.П. Энергетические аспекты плавления металлов//Журнал энергетики. 2021. 120 с.

Влияние литейного производства на экологию

Студент гр.10404121 Крыжевич И.С.

Научный руководитель - Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Литейное производство является одной из основных отраслей промышленности, играющих важную роль в создании многих видов продукции, от автомобильных деталей до сложных машин и оборудования. Однако, несмотря на свою важность, литейное производство также оказывает значительное влияние на окружающую среду.

Основными экологическими проблемами, связанными с литейным производством, являются выбросы вредных веществ в атмосферу, загрязнение почвы и водных ресурсов, а также образование значительного количества отходов.

Выбросы в атмосферу.

Основные источники выбросов в литейном производстве:

1. Плавка металлов. При плавке чугуна, стали, алюминия и других металлов происходит высвобождение загрязняющих веществ, таких как оксиды углерода, азота, серы, а также пыль, содержащая тяжелые металлы.
2. Формовка и заливка форм. Во время заливки расплавленного металла в формы происходит интенсивное выделение различных газообразных соединений, образующихся при термическом разложении формовочных материалов.
3. Термическая обработка отливок. Операции термической обработки (нагрев, закалка, отжиг) также сопровождаются выбросами оксидов металлов и органических веществ.
4. Очистка и финишные операции. Процессы абразивной обработки, очистки от литейных пленок и облой приводят к образованию пыли металлов и абразивных материалов.

Наиболее распространенными загрязняющими веществами, выбрасываемыми литейными предприятиями, являются:

- Оксиды углерода (CO , CO_2) - продукты неполного сгорания топлива и разложения формовочных материалов.
- Оксиды азота (NO_x) - образуются при высоких температурах плавки.
- Оксиды серы (SO_x) - присутствуют в выбросах при использовании сернистого топлива.
- Пыль, содержащая тяжелые металлы (свинец, кадмий, никель).
- Органические соединения (фенолы, формальдегид)

Загрязнение водных ресурсов. Литейные предприятия используют большое количество воды для охлаждения оборудования, очистки отливок и других технологических процессов.

Основные источники загрязнения водных объектов в литейном деле включают:

1. Сточные воды технологических процессов:
 - Вода, используемая для охлаждения оборудования, отливок и других нужд производства, может содержать взвешенные частицы металлов, масла, эмульсии и другие загрязняющие вещества.
 - Воды, применяемые для мытья и очистки оборудования, также могут быть загрязнены различными химическими соединениями.
2. Сточные воды систем гидравлики и смазки:
 - Утечки и сливы рабочих жидкостей (масел, эмульсий) из гидравлических систем, станков и другого оборудования.
3. Сточные воды систем водоподготовки и водоочистки:
 - При регенерации фильтров, смене ионообменных смол и иных операциях водоподготовки образуются загрязненные стоки.
4. Дождевые и талые воды с территорий предприятий:

- Стоки с производственных площадок, складских помещений, мест хранения отходов могут содержать смытые загрязнения.

Основные загрязняющие вещества, характерные для сточных вод литейного производства:

- Тяжелые металлы (свинец, кадмий, медь, никель, хром и др.);
- Нефтепродукты (масла, эмульсии);
- Взвешенные вещества (формовочные смеси, пыль металлов);
- Кислоты, щелочи, соли.

Загрязнение почвы. Основными причинами загрязнения почв на территории литейных предприятий являются:

1. Отходы производства:

- Отработанные формовочные и стержневые смеси, содержащие связующие вещества, пыль металлов, различные химические добавки.
- Шлаки, образующиеся при плавке и очистке металлов.
- Отходы абразивной обработки, очистки отливок (песок, пыль, обрезки).

2. Аварийные разливы и утечки:

- Утечки масел, эмульсий, кислот и других технологических жидкостей из оборудования, трубопроводов, складских емкостей.
- Разливы расплавленных металлов при операциях заливки, транспортировки.

3. Складирование и хранение отходов:

- Несанкционированные свалки шлаков, отработанных формовочных смесей, металлолома.
- Нарушение правил обращения с отходами.

Основные загрязняющие вещества, накапливающиеся в почвах литейных предприятий:

- Тяжелые металлы (свинец, кадмий, медь, никель, хром, ртуть и др.)
- Нефтепродукты (масла, эмульсии)
- Фенолы, формальдегиды, другие органические соединения
- Соединения кремния, алюминия, кальция (от формовочных смесей)

Для минимизации негативного влияния литейного производства на окружающую среду применяются различные методы и технологии, направленные на сокращение выбросов, снижение потребления ресурсов и переработку отходов.

Одним из ключевых направлений является внедрение систем очистки и обезвреживания промышленных выбросов. Установка высокоэффективных фильтров, скрубберов и электростатических осадителей позволяет значительно снизить концентрацию вредных веществ в отходящих газах. Это, в свою очередь, уменьшает загрязнение атмосферы. Особое внимание также уделяется рационализации водопотребления и очистке сточных вод. Применение замкнутых систем водооборота, установка современных очистных сооружений и внедрение методов повторного использования воды способствуют сокращению объемов сбрасываемых в водоемы загрязненных стоков.

Переработка и утилизация отходов литейного производства - еще одна важная экологическая задача. Шлаки, формовочные смеси и другие отходы могут быть вовлечены в повторное использование в качестве сырья для изготовления строительных материалов, наполнителей или других продуктов. Кроме технологических решений, большое значение имеет совершенствование организационно-управленческих аспектов. Внедрение систем экологического менеджмента, повышение экологической ответственности руководства и персонала предприятий, а также регулярный экологический мониторинг позволяют комплексно подойти к снижению воздействия на окружающую среду.

Таким образом, сочетание современных технологий, грамотного управления и экологической культуры позволяет существенно уменьшить негативное влияние литейного

производства на экологию и создать предпосылки для устойчивого развития этой отрасли промышленности.

Список использованных источников

1. Болдин, А. Н. Инженерная экология литейного производства: учеб. пособие / А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков и др. ; под общ. ред. А. Н. Болдина - Москва : Машиностроение, 2010. - 352 с
2. Невар Н.Ф. Отраслевая экология: конспект лекций – Минск: БНТУ, 2010
3. Колтыгин А.Н. Экологические проблемы литейного производства: учеб.пособие: Машиностроение

Выплавка металла в электрических печах

Студент гр. 10404221 Лебецкий В.В.

Научный руководитель - Коренюгин С.В

Белорусский национальный технологический университет
г. Минск

Плавка металлов – это важнейший этап в металлургическом производстве, который позволяет получить расплавленный материал, готовый для дальнейшей обработки и формования. В зависимости от требований к конечному продукту и характеристикам материала, используются различные виды печей для плавки металлов.

Электронагрев металла — это метод, позволяющий эффективно и быстро нагревать металлические материалы с использованием электрического тока, что имеет большое значение в промышленности и для обеспечения высококачественной обработки.

Методы электронагрева:

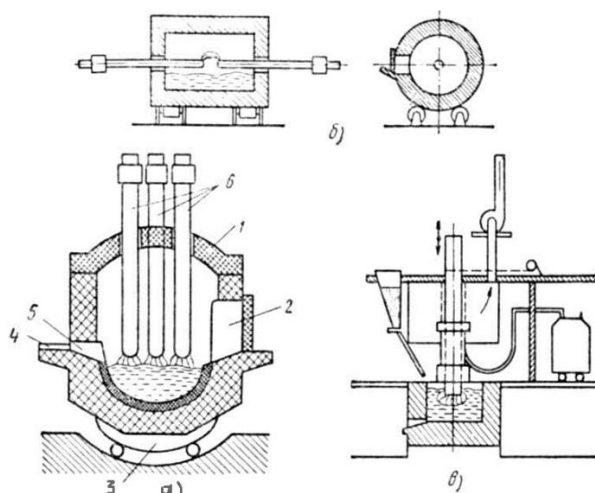
-Индукционный нагрев: Использует переменное магнитное поле для нагрева металла. Это быстро и эффективно.

-Сопротивление: Нагрев осуществляется посредством пропускания тока через материал с высокой сопротивляемостью.

-Плазменный нагрев: Применяется для очень высоких температур и часто используется в производственных процессах.

Электрические дуговые печи

Это один из наиболее распространенных типов печей для плавки металлов. Они работают на принципе электрической дуги, образованной между электродами и расплавленным материалом. Этот тип печей обладает высокой эффективностью и контролируемостью процесса плавки, что делает его подходящим для широкого спектра металлов (рисунок 1).



1- Свод, 2- завалочное окно, 3- механизм наклона, 4- желоб, 5- отверстие с желобом, 6- электроды

а) печи прямого действия; б) печи косвенного действия; в) печи с закрытой дугой

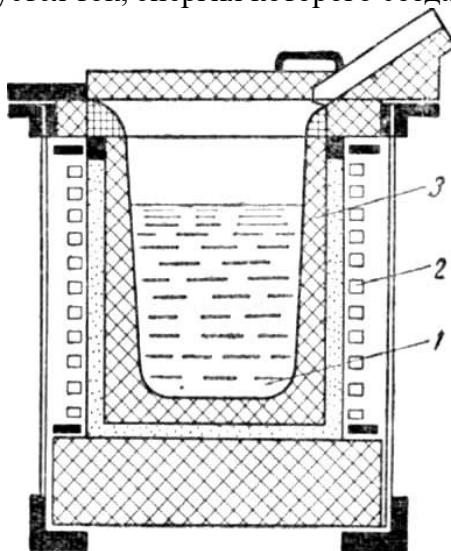
Рисунок 1 - Схема дуговых электропечей с разными способами нагрева

Печи прямого действия с вертикальным расположением электродов в настоящее время применяются только для выплавки стали и имеют емкость от 0,5 до 180 т.

После загрузки печи к электродам подводят ток. Благодаря высокой температуре горения дуги (около 3500°C) происходит бурное плавление шихты.

Индукционные печи

Индукционные печи применяют для выплавки высоколегированных сталей и сплавов с низким содержанием углерода, а также для производства тонкостенного фасонного литья специальными методами (по выплавляемым моделям, под давлением и т. п.). Принцип действия индукционной печи заключается в том, что под действием переменного тока, подводимого к первичной катушке (индуктору), во вторичном кольце расплавляемый металл, находящийся в тигле, индуцируется ток, энергия которого создает высокую температуру.



1- расплав; 2- первичная катушка (индуктор); 3- тигель

Рисунок 2 - Индукционная электропечь

К достоинствам индукционных печей относятся:

- отсутствие электродов и соответственно отсутствие науглероживания металла;
- отсутствие дуг и соответственно меньше насыщение металла азотом и водородом;
- перемешивание металла;
- возможность выплавлять металл в любой контролируемой атмосфере и вообще в вакууме (рисунок 3), а соответствен, но и малый угар легирующих, отсутствие газов и т.п.

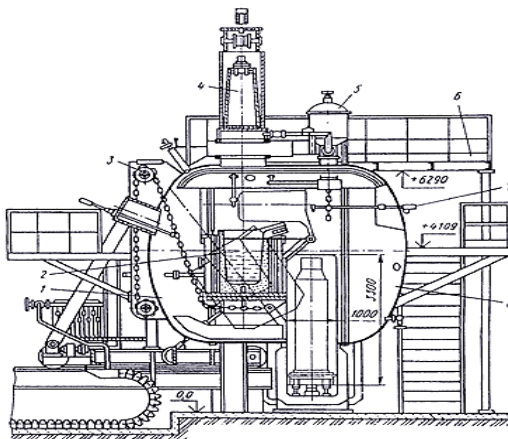
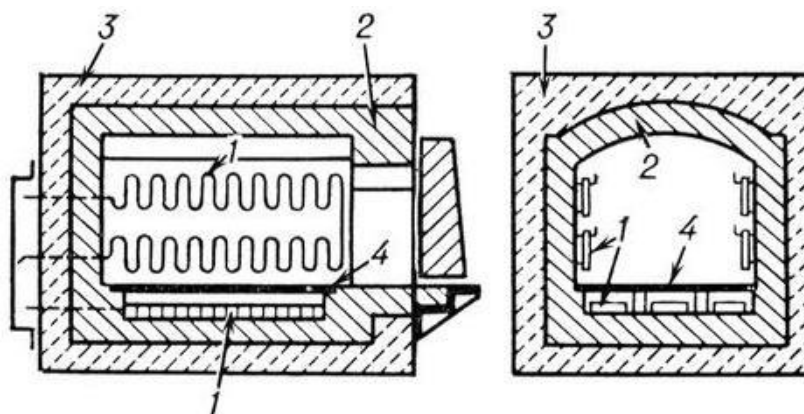


Рисунок 3 - Тигельная вакуумная индукционная печь

Электрические печи сопротивления

Электрическая печь сопротивления, электрическая печь, в которой тепло выделяется в результате прохождения тока через проводники с активным сопротивлением. Электрические печи сопротивления широко применяются при термической обработке, для нагрева перед обработкой давлением, для сушки и плавления материалов. Распространение электрических печей сопротивления определяется их достоинствами: возможностью получения в печной камере любых температур до 3000°C ; возможностью равномерного нагрева изделий путём соответствующего размещения нагревателей по стенкам печной камеры или применением принудительной циркуляции печной атмосферы; лёгкостью автоматического управления мощностью, а следовательно, и температурным режимом печи; удобством механизации и автоматизации печей, что облегчает работу персонала и включение печей в автоматические линии; хорошей герметизацией и проведением нагрева в вакууме, защитной (от окисления) газовой среде или специальной атмосфере для химико-термической обработки (цементация, азотирование); компактностью и пр.

Большая часть электрических печей сопротивления — косвенного действия; в них электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через нагревательные элементы и передаётся нагреваемым изделиям излучением, конвекцией либо теплопроводностью. Печь состоит из рабочей камеры, образованной футеровкой из слоя огнеупорного кирпича, несущего на себе изделия и нагреватели и изолированного от металлического кожуха теплоизоляционным слоем (рисунок 4).

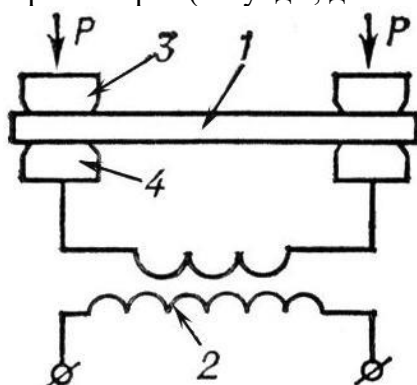


1 - нагревательные элементы; 2 - огнеупорная часть кладки; 3 - теплоизоляция; 4 - жароупорная подовая плита.

Рисунок 4 - Схема устройства камерной печи сопротивления периодического действия

Работающие в камере печи детали и механизмы, а также нагревательные элементы выполняются из жаропрочных и жароупорных сталей и других жароупорных материалов. Для нагрева больших партий одинаковых деталей применяют печи непрерывного действия (методические), в которых изделия непрерывно перемещаются от одного торца к другому. Производительность таких печей больше, нагрев изделий более однороден, расход энергии меньше; как правило, они в высокой степени механизированы. В электрических печах сопротивления с рабочими температурами до 700°C (как периодического действия, так и в методических) широко используется принудительная циркуляция газов с помощью вентиляторов, встраиваемых в печь или вынесенных из печи вместе с нагревателями в электрокалориферы. Электрические печи сопротивления косвенного действия для расплавления легкоплавких металлов (свинец, баббит, алюминиевые и магниевые сплавы) конструируются либо в виде печей с металлическим тиглем и наружным обогревом, либо в виде отражательных печей с ванной и расположенными над ней в своде нагревателями. К лабораторным электрическим печам сопротивления относятся небольшие трубчатые, муфельные и камерные печи, а также термостаты и сушильные шкафы.

В печах прямого действия изделие (пруток, труба) непосредственно нагревается протекающим через него током (рисунок 5), что позволяет сосредоточить в нём большую мощность и обеспечить очень быстрый нагрев (секунды, доли минуты).



1 - нагреваемое изделие; 2 - понижительный трансформатор; 3, 4 - контакты.

Рисунок 5 - Схема устройства печи сопротивления прямого действия

Список использованных источников

- 1.Башенко В.В., Донской А.В., Соломахин И.М. Электроплавильные печи цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1971. – 320 с.
- 2.Брокмайер К. Индукционные плавильные печи: Пер. с нем. / Под ред. Шевцава М.А. и Столова М.Я. – М.: Энергия, 1972. – 304 с.: ил.
- 3.Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи; Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1967. – 416с.: ил.
- 4.Индукционные печи для плавки чугуна / Б.П. Платонов, А.Д. Акименко, С.М. Багуцкая и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 176 с.
- 5.Леви Л.И., Мариенбах Л.М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов: Учеб. для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1970. – 496 с.
- 6.Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник / А.П. Смирягин, Н.А. Смирягина, А.В. Белова. 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1974. – 488 с.: ил.
- 7.Самохвалов Г.В., Черныш Г.И. Электрические печи черной металлургии. – М.: Металлургия, 1984. – 232 с.: ил.

Почему некоторые металлы называют драгоценными?

Студент гр. 10404221 Росинский С.С.

Научный руководитель – Коренюгин С. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Вообще исторически драгоценные металлы называются драгоценными. Обладают достаточно красивым цветом и, самое главное, они не взаимодействуют с кислородом. То есть они достаточно долго служат, не окисляясь при этом, сохраняя свои свойства.

К драгоценным металлам принято относить 8 металлов: платина, палладий, иридий, рутений, родий, осмий, золото и серебро привычные. Они реже, чем золото и серебро. Но мы в обиходе знаем и платину, которая также применяется в ювелирной промышленности, и палладий. Сплавы палладия с золотом это белое золото присутствует, там есть палладий.

Другие металлы имеют применение больше в промышленности. Например, мы все ездим на автомобилях, в глушитель у нас установлен нейтрализатор или катализатор, его называют. Как раз в него входит платина, палладий и родий. Они обладают уникальными каталитическими свойствами, то есть они до окисляют вредные газы, монооксид углерода или СО, до более безвредного СО₂. Другие металлы применяются в медицине, в сплавах, в протезировании. На основе платины делается противораковое средство - циплатин или карбоплатин, в простонародье. В радиоэлектронике, электротехнике, нефтехимии, нефтепереработке также применяются драгоценные металлы - металлы платиновой группы.

Металлы платиновой группы - это металлы-спутники, как правило, на медно-никелевых месторождениях. Там, где добывается медь и никель, присутствуют небольшие содержания драгоценных металлов. Вообще их содержание сравнительно мало. Если взять, к примеру, медь, то только «Норильский Никель» добывает более 350 тысяч тонн меди в год. Помимо «Норникеля», есть ещё и Уральские компании, в Казахстане есть большое производство меди. При этом производство металлов платиновой группы в России - это чуть больше 100 тонн по сумме. Поэтому их достаточно мало. Их добывают уже после того, как добывают медно-никелевую руду. Получают медь и никель уже в виде металлов. И следующие продукты, так называемый шлам медного или никелевого электролиза, являются концентратами для производства металлов платиновой группы.

Сама по себе медь до получения ее в виде металла проходит достаточно много стадий. Всё начинается с обогатительных стадий, когда из большой массы руды делают определенные концентраты. Потом металлургические процессы: там происходит окислительная плавка, конвертирование и электролиз - финальная стадия получения меди. При электролизе медь уходит в готовую продукцию - на катод так называемый, - а драгоценные металлы, так как они более электроположительные, оседают в шлам. И этот шлам уже является концентратом для производства металлов платиновой группы.

Не на всех территориях произведены маркшейдерские работы и геологоразведка, но по известным месторождениям по оценкам компании «USGS золото» осталось порядка 15 лет запасов в недрах, при сохранении текущих объемов добычи, а это порядка 4 тыс. тонн в год в мире. Это интересная цифра, если говорить о годовом объеме производства, то золото это около 4 тыс. тонн в год, то за весь период добычи драгоценных металлов человечество добыло порядка 200 тыс. тонн золота. Это один из источников сырья, который мы сегодня до конца не разведем, потому что это достаточно большие объемы. Мы знаем, что металлы не исчезают в никуда и не появляются из неоткуда.

Это большие объемы. Чтобы говорить, где они, нужно посмотреть, куда употребляются драгоценные металлы. Например, в сотовом телефоне есть миллиграммы золота, оно используется в электротехнике. Все сотовые телефоны, которые утилизируются, например,

многие магазины используют акцию утилизации. После разборки этого сотового телефона продукт называется радиоэлектронный лом, и он поступает также на переработку в другие компании, это является вторичным сырьем. Ювелирный лом также охотно перерабатывается аффинажными компаниями с получением золота высокой чистоты. В автомобилях, если говорить о палладии, то порядка 78% палладия, добываемого в мире используется для производства автомобильных нейтрализаторов, которые также после выхода из строя, собираются коллекторами и поставляются на аффинажные предприятия, которые занимаются переработкой и извлечением драгоценных металлов.

Появились новые технологии, технологии достаточно разные: это и пирометаллургические технологии плавки, высокотемпературной плавки, которая отличается от привычной. Эта технология позволила упростить, ускорить процесс аффинажа драгоценных металлов из автомобильных нейтрализаторов.

Драгоценные металлы не закончатся. По крайней мере, на наш век, может даже на тысячелетие их хватит. Помимо недр существуют объемы вторичного сырья техногенного месторождения. Люди рано или поздно придумают технологию их переработки их извлечения. Другой вопрос - будем ли мы в том же виде как сейчас использовать драгоценные металлы? Скорее всего, нет. Мир рано или поздно тоже изменится, потому что мы всегда стремимся заместить дефицит профицитом. Если их мало - можно придумать что-то другое, чего много и чего не жалко.

Список использованных источников

1. <https://trk7.ru/tvprogramm/115184.html>
2. Лемешев В.И., Учет драгоценных металлов и камней
3. Мельников И.В., Драгоценные металлы. Сплавы и добыча.

Методы уплотнения форм при производстве отливок по газифицируемым моделям. Технологии ЛГМ, преимущества и недостатки

Студент группы 10404121 Сарвилин О.В.

Научный руководитель Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

При литье по газифицированным моделям используется однократно применяемая модель из пенополистирола. Модель заформовывается в песчаной неразъемной форме. При заливке формы модель газифицируется и замещается сплавом. Модели изготавливаются из пенополистироловых блоков механической обработкой, а для отливок сложных конфигураций из вспененного полистирола - в специальных пресс-формах.

Специфика ЛГМ позволяет во многих случаях отказаться от отдельно изготавливаемых стержней, так как модель по конфигурации достаточно точно воспроизводит конфигурацию отливки. Процесс изготовления формы сводится к засыпке модели в опоку сухим песком при равномерном уплотнении его вибрацией. При ЛГМ упрощаются требования к технологичности конструкции отливок. Неразъемность модели и отсутствие операции ее извлечения из формы обеспечивают допустимость на модели поднутрений и теневых участков, также отпадает необходимость в уклонах на стенках отливки. Отсутствие разъема формы и модели обеспечивает повышенную точность отливки и исключает образование облоев и дефектов, связанных со смещением полуформ.

Применение пенополистироловых моделей облегчает организацию питания отливок. Прибыли можно устанавливать в любом участке отливки и любой желательной конфигурации. Расход металла на прибыли снижается на 20-30 %. В материал пенополистироловой модели можно вводить порошки легирующих или модифицирующих материалов для обеспечения легирования и модифицирования сплава в литейной форме.

Существует несколько вариантов литья по газифицируемым моделям. Выбор варианта зависит от массы и размеров отливки, требований к ней, а также характера производства. При индивидуальном и мелкосерийном производстве крупных отливок применяют цельные, не извлекаемые из формы пенополистироловые модели, разъемные газифицируемые модели, извлекаемые из формы модели из пенополистирола, частично извлекаемые и комбинированные, состоящие из деревянной извлекаемой модели с отъемными частями из пенополистирола.

Формовка может осуществляться в одной, двух или более опоках или в кессоне. Для формовки применяют песчано-глинистые, самотвердеющие и жидкие самотвердеющие смеси. Для крупных форм используют облицовочные и наполнительные смеси. При применении специальных опок для вакуумирования форм вместо песчаноглинистых смесей целесообразно использовать сухой песок, уплотняемый вибрацией. При вакуумировании обеспечивается достаточно высокая прочность формы, как при вакуум пленочной формовке. Модель отливки устанавливается на подмодельную плиту и в нижнюю опоку подается песчано-глинистая смесь, которую уплотняют трамбовкой. Далее опоку с моделью переворачивают на 180°, устанавливают модель прибыли и верхнюю опоку. Производится формовка верхней полуформы. Стояк выполняется из керамических трубок. Эта технология применяется на ряде автомобильных заводов.

При формовке используется облицовочная самотвердеющая смесь и наполнительная песчано-глинистая смесь. При серийном производстве применяют формы из кварцевого песка марок 061- 063 и К1-К3 с зернистостью 016 и 02 (ГОСТ 2138-91). Для обеспечения повышенной прочности после вибрационного уплотнения используют смешанные пески фракций 03 и 016 в соотношении 1:1. Для повышения скорости охлаждения сплава добавляют

металлическую дробь марок ДСК-03 и ДЧК-03. При формовке применяют модельные блоки, включающие в себя соединенные друг с другом модели отливок и литниковой системы. Стояк в блоке может выполняться из керамики, стержневой смеси или оформляться пенополистироловой моделью. Блоки либо изготавливают целиком, либо собирают из отдельных элементов перед формовкой или во время формовки.

Replicast-процесс. Этот способ разработан английскими фирмами в двух вариантах. Первый вариант (FM) отличается от обычного ЛГМ тем, что при заливке формы сплавом она вакуумируется. Применение вакуума повышает сопротивление формы из песка сдвигу. Это расширяет сферу применения ЛГМ для более крупных отливок. При этом отсасываются продукты деструкции пенополистироловой модели, что повышает экологическую чистоту технологии.

При втором варианте (CS) блок моделей покрывается несколькими слоями огнеупорного покрытия, как при литье по выплавляемым моделям. Оболочка прокаливается при температуре 900- 1000°C в течение 5-10 мин. При этом происходит удаление пенополистироловой модели. Для улучшения качества поверхности отливки применяется пенополистирол повышенной плотности (40 кг/м³). Перед заливкой оболочка заформовывается в контейнере песком и при заливке вакуумируется. Удельные затраты при этом методе литья значительно ниже, чем при литье по выплавляемым моделям. Очень важно, что при заливке расплав не контактирует с пенополистироловой моделью и продуктами ее деструкции. Это исключает поверхностное науглероживание отливок, что для отливок из качественных сталей недопустимо. **ГАМОДАР-процесс.** Данный способ литья был разработан в Институте проблем литья АН УССР (ныне ФТИМС НАН Украины). Пенополистироловая модель заформовывается песком в контейнере. В нижней части формы установлен пуансон, который состыкован с футерованной камерой. В камеру залита порция сплава, необходимая для заполнения формы. В процессе заливки камера с определенной скоростью поднимается относительно контейнера, выдавливая металл в полость формы. Отличительной особенностью данного метода литья является отсутствие литниковой системы. Преимущества этого метода литья сводятся к повышению до 85 % и более выхода годного и увеличение механических свойств сплавов в отливке за счет воздействия давления в период ее затвердевания.

Способ литья вакуумным всасыванием. Как показали исследования, наилучшие результаты по качеству отливок и их механическим свойствам (на уровне значений для кокильных отливок) достигаются при заливке вакуумным всасыванием. При этом обеспечивается экологическая чистота производства, так как продукты деструкции пенополистироловой модели из вакуумной камеры, в которую помещена форма, отсасываются в ресивер.

При решении вопросов о применении ЛГМ необходимо учитывать не только его достоинства, но и недостатки, ограничивающие область использования ЛГМ. При изготовлении моделей для протяженных отливок с толщиной стенки менее 8-10 мм механической обработкой возможна деформация моделей режущим инструментом. При этом механическая обработка не обеспечивает высокого качества поверхности модели. Процессы получения моделей из гранул требуют дорогостоящих пресс-форм и оборудования. При изготовлении тонкостенных отливок возникает проблема обеспечения необходимой жесткости и прочности модели.

Следует учитывать, что из-за тепловых потерь на газификацию модели заполняемость форм для тонкостенных отливок с толщиной стенки 3-8 мм ниже, чем при литье в обычные формы. Рассмотрим основные процессы, происходящие при формировании отливок при ЛГМ и определяющие их качество. К ним относятся: гидродинамические и тепловые процессы при заполнении форм сплавом; процессы деструкции пенополистироловой модели; физико-химические и газодинамические процессы в зазоре между расплавом в форме и телом модели; процессы фильтрации парогазовой смеси через стенку формы; затвердевание отливки и

кристаллизация сплава. Центральное место занимают процессы, связанные с деструкцией материала модели при тепловом взаимодействии с расплавом. Именно они определяют специфику формирования отливки в условиях ЛГМ.

Основным материалом для изготовления моделей является пенополистирол. В нашей стране применяют пенополистирол марок ПСВ-Л, ПСВ-ГМ 409, ПСВ-ГМ 406, ПСВ-ГМ 404 и др. Исходным продуктом для получения пенополистирола является стирол $C_6H_5CH=CH_2$. Молярная масса стирола 104,15, а плотность - 0,906 г/см³. Пенополистирол получают при суспензионной полимеризации стирола. Гранулы пенополистирола подвергают тепловой обработке в присутствии порообразователя. При этом объем гранул увеличивается в 30- 40 раз, а плотность падает с 600 до 18-25 кг/м³.

Вспененные гранулы прессуются в плиты, которые и поступают на производство. Выпускаемые промышленностью пенополистироловые плиты имеют толщину от 10 до 300 мм, ширину от 800 до 1000 мм и длину от 900 до 3000 мм. Литейный пенополистирол имеет низкую плотность - 15-30 кг/м³. Прочность пенополистирола на изгиб должна быть не менее 1,8-2,5 МПа. Теплофизические свойства пенополистирола приведены ниже: Плотность твердого пенополистирола, кг/м³ 15-30 Плотность жидкого пенополистирола, кг/м³ 1000 Теплопроводность пенополистирола, Вт/м К 0,035-0,045 Теплостойкость пенополистирола, Дж/кг-К 1500 Удельная теплота плавления, Дж/кг 150000 . Деструкция пенополистирола В процессе нагрева при температуре выше 80 °С пенополистирол переходит из стеклообразного состояния в эластичное, а при температуре выше 239 °С - в вязкотекучее. Температуру, равную 239 °С, считают температурой плавления пенополистирола Т_м. При температуре 340 °С пенополистирол начинает интенсивно испаряться. Поэтому эту температуру считают температурой кипения пенополистирола. До температуры 500 °С парогазовая фаза в основном состоит из паров стирола. При дальнейшем нагреве формируются 4 вида продуктов деструкции пенополистирола: жидкая фаза, пары, газообразные продукты и твердый остаток. В газообразных продуктах содержится угарный газ, водород, газообразные углеводороды и активные группы, являющиеся продуктами радикально-цепных реакций. При высоких температурах конечными продуктами деструкции являются водород и углерод. Количественное соотношение различных видов продуктов деструкции зависит от температуры. С повышением температуры в парогазовой смеси увеличивается доля газов и уменьшается доля парообразной фазы. При этом значительно возрастает количество твердых выделений. По данным В.С. Шуляка, при температуре 700 °С содержание паров составляет 87 %, газов - 11 % и твердой фазы - 2 %. При температуре 1300 °С содержание паров снижается до 15 %, а содержание твердой фазы увеличивается до 70 %. Количество газообразных продуктов изменяется незначительно (увеличивается до 15 %). Твердая фаза представляет собой выделение углерода и сажи. Их наличие при литье стали может приводить к нежелательному поверхностному и объемному науглероживанию отливки.

Для описания кинетики газификации модели в условиях ЛГМ В.С. Шуляком предложена следующая эмпирическая формула: $g = aSt^m$, где S- площадь модели, см²; g - отнесенный к нормальным условиям (температура 273К и давление 0,1033 МПа) объем парогазовой фазы, образовавшейся к моменту времени t, см³; a и m- эмпирические величины, зависящие от скорости сплава, температуры и плотности пенополистирола.

Компьютерные системы автоматизированного проектирования (CAD) сыграли революционную роль в различных отраслях, таких как машиностроение, архитектура, автомобилестроение и электроника. Эти системы позволяют создавать, редактировать, анализировать и оптимизировать цифровые модели. Они обеспечивают высокую точность, сокращают время разработки и улучшают коммуникацию между командами.

Первоначально CAD-системы были ограничены двумя измерениями. В 1963 году Айван Сазерленд представил систему Sketchpad, которая стала первым шагом к современным CAD-системам. В 1982 году Autodesk выпустил AutoCAD, который стал эталоном для индустрии [1].

В 1990-х годах началось активное развитие трехмерных CAD-систем, таких как CATIA и SolidWorks. Эти системы позволили создавать более сложные и точные модели. Также начали внедряться параметрическое моделирование и интеграция с анализом конечных элементов (FEA).

Современные CAD-системы включают в себя облачные технологии, искусственный интеллект и машинное обучение. Эти технологии позволяют улучшить автоматизацию, повысить точность моделей и упростить совместную работу.

2D CAD-системы предназначены для создания двумерных чертежей и схем. Эти системы широко используются в архитектуре и инженерии для проектирования зданий и инфраструктуры. Примеры включают AutoCAD и DraftSight.

3D CAD-системы позволяют создавать трехмерные модели объектов. Эти системы используются для проектирования деталей машин, автомобилей и других сложных конструкций. Примеры: SolidWorks, CATIA, Autodesk Inventor.

Параметрические CAD-системы позволяют изменять параметры моделей и автоматически обновлять связанные элементы. Это особенно полезно в машиностроении и автомобилестроении, где требуется быстрое изменение конструкций. Примеры: SolidWorks, PTC Creo.

Системы прямого моделирования позволяют редактировать геометрию моделей без использования истории построений. Это обеспечивает гибкость и скорость при изменении моделей. Примеры: Siemens NX, SpaceClaim.

CAD-системы широко используются в машиностроении для создания деталей, сборок и проведения симуляций рабочих процессов. Они позволяют анализировать прочность, деформации и другие критические параметры.

В архитектуре CAD-системы используются для создания планов зданий, трехмерных моделей интерьеров и экстерьеров, а также для визуализации проектов. Это помогает архитекторам и строителям лучше понимать проект и вносить необходимые изменения.

В автомобильной промышленности CAD-системы применяются для проектирования кузовов, внутренних компонентов и проведения аэродинамических тестов. Они позволяют оптимизировать конструкции и улучшить характеристики автомобилей.

В области электроники CAD-системы используются для разработки печатных плат, схемотехнических решений и анализа электромагнитной совместимости. Они помогают создавать компактные и эффективные устройства.

CAD-системы позволяют создавать высокоточную геометрию и улучшать качество проектов. Это особенно важно в машиностроении и архитектуре, где требуется высокая точность деталей и конструкций.

Автоматизация задач и возможность повторного использования моделей ускоряют процесс проектирования. CAD-системы позволяют быстро вносить изменения и обновлять модели в соответствии с новыми требованиями.

Визуализация и детализация моделей облегчают понимание проекта и взаимодействие между членами команды. CAD-системы позволяют создавать наглядные чертежи и 3D-модели, которые легко воспринимаются всеми участниками проекта.

Меньшее количество ошибок и оптимизация ресурсов позволяют сократить издержки на производство. CAD-системы помогают избежать дорогих переделок и повысить эффективность производства.

Искусственный интеллект и машинное обучение играют важную роль в автоматизации проектирования и оптимизации процессов. Эти технологии могут анализировать большие объемы данных и предлагать лучшие решения.

Виртуальная и дополненная реальность помогают улучшить визуализацию и взаимодействие с моделями. Эти технологии позволяют инженерам и архитекторам "прогуляться" по проектам и внести необходимые изменения.

Список использованных источников

1. Аверченков В.И. Разработка специализированной САПР на основе системы T-FCAD / В.И. Аверченков [и др.] // САПР и графика. - 2002г. с. 49-52. 2. ГОСТ 6540-64 и 14063-68 Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров.

Основные понятия САПР

Студент гр. 10404221 Громыко К.Л.

Научный руководитель – Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Проектирование – создание, преобразование и представление в принятой форме образа еще не существующего объекта.

Типы проектирования

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным.

Проектирование, при котором все проектные решения получают с использованием ЭВМ, но без участия человека называют автоматическим.

Проектирование, при котором все проектные решения выполняются без использования ЭВМ, называют ручным.

Задачи цели и возможности САПР

САПР (система автоматизированного проектирования) – это система, реализующая проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают в результате вычисления и составления математических моделей на компьютере.

Основная функция САПР – выполнение автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства [1].

Основная цель применения САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращение трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращение затрат на натурное моделирование и испытания.

Возможности САПР

Эффективность применения САПР обеспечивается следующими ее возможностями:

- автоматизация оформления документации;
- информационная поддержка и автоматизация процесса принятия решений;
- использование технологий параллельного проектирования;
- унификация проектных решений и процессов проектирования (использование готовых фрагментов чертежей: конструктивных и геометрических элементов, унифицированных конструкций, стандартных изделий);
- повторное использование проектных решений, данных и наработок;
- стратегическое проектирование;
- замена натурных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышение качества управления проектированием;
- применение методов вариантного проектирования и оптимизации.

Средства обеспечения САПР

Необходимыми компонентами САПР являются методическое, лингвистическое, математическое, графическое, информационное, техническое, организационное обеспечение.

Методическое обеспечение представляет документацию на состав и правила эксплуатации САПР (например, техническая документация на программно-аппаратное обеспечение).

Лингвистическое (языковое) обеспечение отражает уровень тех языковых средств, с помощью которых производится преобразование информации в системе (взаимодействие проектировщика и ЭВМ). Математическое обеспечение определяет те методы и алгоритмы проектирования, на которых, собственно, и возводится вся надстройка САПР.

Программное обеспечение – совокупность всех программ и эксплуатационной документации к ним, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

Информационное обеспечение служит для своевременной передачи информации о данном процессе проектирования в другие системы автоматизации производства (например, подготовка программ для станков с числовым программным управлением).

Техническое обеспечение – это комплекс технических средств САПР, состав которых определяется ее назначением.

Организационное обеспечение регламентирует взаимоотношения между проектировщиками и комплексом средств автоматизации проектирования.

Все перечисленные компоненты взаимодействуют в САПР по определенным принципам и являются той основой, на которой базируется автоматизированное проектирование.

Классификация САПР по целевому назначению

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования.

CAD – computer Aided Design (САПР). Это общий термин для обозначения всех аспектов проектирования с использованием средств вычислительной техники. Обычно охватывает создание геометрических моделей изделия. (Твердотельные, 3D). А также генерацию чертежных изделий и их сопровождений [2].

CAM – Computer Aided Manufacturing. Общий термин для обозначения системы автоматизированной подготовки производства, общий термин для обозначения ПС подготовки информации для станков с ЧПУ. Традиционно исходными данными для таких систем были геометрические модели деталей, полученных из систем CAD.

CAE – Computer Aided Engineering. Система автоматического анализа проекта. Общий термин для обозначения информационного обеспечения условий автоматизированного анализа проекта, имеет целью обнаружение ошибок (прочностные расчеты) или оптимизация производственных возможностей.

PDM – Product Data Management. Система управления производственной информацией. Инструментальное средство, которое помогает администраторам, инженерам, конструкторам управлять как данными, так и процессами разработки изделия на современных производственных предприятиях или группе смежных предприятий [2].

Список использованных источников

1. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: Революция в отраслях промышленности по всему миру | Фабхеды.

2. What is Additive manufacturing? | 7 Additive Manufacturing types.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом

Студент гр. 10404221 Фирсов А.И.
Научный руководитель – Коренюгин С.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом, известный также как ковкий или модифицированный чугун, является материалом, который сочетает прочность стали с лёгкостью обработки чугуна. Этот материал получил широкое распространение в машиностроении и строительстве благодаря своим уникальным свойствам, обусловленным сфероидальной формой графитовых включений.

1. Особенности высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Основное отличие данного типа чугуна от традиционного серого чугуна — это форма графита, который в процессе производства принимает шаровидную (сфероидальную) форму, вместо пластинчатой или хлопьевидной. Эта особенность существенно улучшает механические свойства материала, придавая ему высокую прочность и пластичность.

- **Состав и структура:** в состав входят железо, углерод (около 3–4%), кремний (до 2,5%), а также специальные модификаторы, такие как магний, никель, медь, которые позволяют графиту принять сферическую форму. В отличие от графитовых пластин в сером чугуне, шаровидные включения равномерно распределяют напряжения по всему материалу, минимизируя риск трещин и деформаций.
- **Микроструктура:** благодаря модификации структуры графита сфероидальными включениями высокопрочный чугун сочетает прочность стали и износостойкость, сохраняя при этом пластичность и способность выдерживать нагрузки.

2. Процесс производства

Производство высокопрочного чугуна с шаровидным графитом включает сложную технологию модификации, требующую высокой точности.

- **Этапы обработки:**
 1. **Модификация:** перед разливкой в расплав вводят магний, который при взаимодействии с расплавом превращает пластинчатый графит в шаровидный.
 2. **Контроль температуры и химического состава:** процесс требует строгого контроля температуры и точного состава, чтобы избежать дефектов (например, чрезмерной хрупкости или пористости).
 3. **Литье:** после модификации расплав заливают в формы, чтобы создать изделие нужной формы. В процессе охлаждения формируются шаровидные графитовые включения.

Эта технология производства позволяет получать материал с улучшенными механическими характеристиками и способностью к дальнейшей термической обработке.

3. Механические свойства

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом обладает рядом уникальных свойств, которые делают его идеальным для конструкций, требующих высокой устойчивости к нагрузкам и долговечности:

- **Прочность и пластичность:** предел прочности на разрыв достигает 700–1200 МПа, а относительное удлинение — до 18–25%, что делает его сравнимым с низкоуглеродистой сталью.
- **Устойчивость к усталостным нагрузкам:** благодаря сфероидальной форме графита высокопрочный чугун менее подвержен образованию трещин при циклических нагрузках, что повышает долговечность конструкций.
- **Износостойкость:** материал устойчив к истиранию, что делает его подходящим для использования в деталях, работающих при высокой механической нагрузке и износе.
- **Амортизационные свойства:** сфероидальный графит эффективно поглощает вибрации, что важно для машиностроения и транспортных систем.

4. Преимущества и недостатки

- **Преимущества:**
 - Высокая прочность и пластичность, сравнимая со сталью.
 - Низкая стоимость производства по сравнению с легированной сталью.
 - Способность к амортизации и устойчивость к вибрациям.
 - Устойчивость к коррозии благодаря особому химическому составу.
- **Недостатки:**
 - Сложный производственный процесс, требующий строгого контроля.
 - Чувствительность к изменению температуры во время литья.
 - Ограниченные возможности применения при высоких температурах, так как при температурах выше 400°C прочностные свойства снижаются.

5. Применение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Высокопрочный чугун находит широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам:

- **Машиностроение:** для изготовления деталей, которые должны выдерживать значительные нагрузки и быть долговечными. Примеры — коленчатые валы, ступицы, редукторы, корпуса коробок передач, оси.
- **Автомобилестроение:** используется в производстве деталей подвески, тормозных систем, рычагов, которые должны обладать как прочностью, так и способностью поглощать вибрации.
- **Трубопроводные системы:** используется для изготовления труб и фитингов, которые устойчивы к истиранию и хорошо выдерживают гидравлические нагрузки.
- **Строительство:** применяется в качестве материала для опорных конструкций, которые должны быть устойчивы к вибрациям и различным внешним воздействиям.

6. Заключение

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом — это универсальный и экономически выгодный материал, обладающий выдающимися механическими и эксплуатационными характеристиками. Его производство требует соблюдения строгих технологических

параметров, но в результате получается материал, который находит широкое применение в отраслях, где требуются высокая прочность, износостойкость и устойчивость к вибрациям.

Список использованных источников

1. Лебедев А. А., Киселев И. Н. *Чугуны и их обработка*. — Москва: Машиностроение, 2010.
2. Гуляев А. П. *Металловедение*. — Москва: Металлургия, 2007.
3. Семёнов Ю. И. *Производство отливок из чугуна с шаровидным графитом*. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2012.

История литейного производства: от древних времен до современности

Студент группы 10404222 Бутько В.С.

Научный руководитель - Франчук А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

История развития литейного производства неразрывно связана с этапами социального, экономического и культурного развития человеческого общества. Изменение в видах используемых человеком материалов отражалось на технических решениях, принимаемых при изготовлении из этих материалов литых изделий.

Историю литейного производства и ее влияние на развитие человеческого общества можно условно разделить на 7 этапов:

Древние времена (около 3000 г. до н.э.):

Появление первых литейных технологий в Месопотамии и Египте. В те времена основными материалами были медь, золото и серебро.

Развитие металлургии способствовало формированию сложных обществ, созданию оружия, инструментов и украшений, что укрепляло социальные иерархии и способствовало торговле.

Античность (около 800 г. до н.э. — 500 г. н.э.):

Развитие чугунного литья: В Древней Греции и Риме начались эксперименты с литейными формами. Основное внимание уделялось бронзе.

Использование более совершенных металлов привело к развитию сельского хозяйства (инструменты) и армии (оружие), что способствовало расширению территорий и торговых путей.

Средневековье (500 — 1500 гг.):

Изобретение новых технологий: В Европе начали развиваться доменные печи, что стало основой для производства чугуна.

Литейное производство стало основой для ремесел и торговли, способствовало появлению новых профессий и укреплению городской экономики.

Эпоха Возрождения и раннее Новое время (1500 — 1800 гг.):

Развитие литейных технологий: Появление специализированных литейных мастерских и начало массового производства.

Увеличение производства металлов способствовало развитию мореплавания, а также технологий в строительстве и военном деле, что в свою очередь привело к политическим изменениям и колонизации.

Индустриальная революция (18 — 19 века):

Масштабное производство: Введение паровых машин и современных доменных печей позволило увеличить объемы производства и улучшить качество продукции.

Ускорение урбанизации, трансформация социальной структуры, возникновение рабочего класса и рост капиталистической экономики.

20 век:

Автоматизация и новые материалы: Развитие технологий, таких как компьютерное моделирование и CAD/CAM, а также использования новых сплавов.

Повышение эффективности производства, глобализация рынка, развитие новых отраслей и изменение процессов труда.

Современность (21 век):

Инновационные технологии: Использование аддитивных технологий (3D-печать), улучшенных методов переработки металлов, устойчивое производство.

Экологическая устойчивость, изменение подходов к производству и потреблению, новые экономические модели, основанные на инновациях.

Список использованных источников

1. Этапы развития литейного производства и памятные даты развития литейного производства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/8674830/page:2/>
2. Основные этапы мирового развития литейного производства с VI в. до н. э. по конец XIX в. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bstudy.net/883929/tehnika/osnovnye_etapy_mirovogo_razvitiya_liteynogo_proizvodstva_konets_19_veka?ysclid=m7q931ae7d254235243
3. Исторические этапы развития литейного производства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskie-etapy-razvitiyaliteynogoproizvodstva/viewer>.

Процессы литейного производства: от моделирования до отливки

Студент группы 10404222 Мальцев А.Ю.

Научный руководитель - Франчук А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

1. Моделирование (Проектирование Отливки):

Цель: Создание точной виртуальной модели будущей отливки для определения оптимальной технологии литья и выявления возможных дефектов на ранних этапах.

Процесс:

- Получение технического задания: На этом этапе определяются требования к отливке: размеры, форма, материал, механические свойства, требования к чистоте поверхности и другие параметры.
- 3D-моделирование: Использование программных пакетов CAD (Computer-Aided Design), таких как AutoCAD, SolidWorks, CATIA, для создания трехмерной модели отливки. В модели учитываются припуски на последующую механическую обработку и усадку металла при затвердевании. Особое внимание уделяется литниковой системе.
- Анализ литейных процессов: С помощью программ CAE (Computer-Aided Engineering), таких как Magmasoft, ProCAST, Flow-3D, проводится моделирование процессов заливки, затвердевания и охлаждения отливки.

2. Изготовление Модельной Оснастки:

Цель: Создание физической модели отливки и литниковой системы, которая будет использоваться для формирования литейной формы.

Процесс:

- Выбор материала модели: Модели могут изготавливаться из дерева, пластика, металла или воска. Выбор материала зависит от типа литья, серийности производства и требуемой точности.
- Изготовление модели: Модель изготавливается с использованием ручных инструментов или на станках с ЧПУ.
- Изготовление стержневых ящиков: Если отливка имеет внутренние полости, то необходимо изготовить стержневые ящики для формирования стержней.

3. Подготовка Литейной Формы:

Цель: Создание формы, в которую будет заливаться расплавленный металл.

Процесс:

- Выбор метода формовки: Выбор метода зависит от типа литья, размера отливки, материала и требований к точности. Основные методы:
 - Литье в песчаные формы: Наиболее распространенный метод, при котором формируются смеси песка, связующих материалов и добавок.
 - Изготовление формы: Модель устанавливается в опоку, и пространство вокруг модели заполняется формовочной смесью. Смесью уплотняется для обеспечения прочности формы.
 - Удаление модели: После затвердевания формы модель удаляется, оставляя полость, которая будет заполнена металлом.
- Сборка формы: Соединение двух полуформ и установка стержней.

4. Подготовка Металла:

Цель: Подготовка расплавленного металла заданного химического состава и температуры.

Процесс:

- Выбор шихты: Шихта состоит из различных компонентов: чугуны или стальные чушки, легирующие элементы, возвратные отходы. Выбор шихты зависит от требуемого химического состава сплава.

- Плавка металла: Шихта загружается в плавильную печь и расплавляется.

- Рафинирование металла: Для удаления примесей и газов из расплавленного металла используются различные методы рафинирования.

- Легирование металла: Добавление легирующих элементов для улучшения механических свойств и коррозионной стойкости сплава.

5. Заливка Металла в Форму:

Цель: Заполнение литейной формы расплавленным металлом.

Процесс:

- Подготовка формы: Очистка формы от мусора и проверка ее целостности.

- Заливка металла: Расплавленный металл аккуратно заливается в литниковую систему формы.

- Контроль температуры и скорости: Во время заливки контролируется температура металла и скорость заливки.

6. Охлаждение и Выбивка Отливки:

Цель: Дать металлу затвердеть и остыть, а затем извлечь отливку из формы.

Процесс:

- Охлаждение: Форма с залитым металлом оставляется для охлаждения.

- Выбивка: После охлаждения форма разрушается, и отливка извлекается. Для этого используются различные методы, такие как вибрация, удары или гидросмыв.

- Удаление стержней: Если в отливке есть внутренние полости, то извлекаются стержни.

7. Очистка и Обработка Отливки:

Цель: Удаление остатков формовочной смеси, литниковой системы и других дефектов поверхности, а также придание отливке требуемой формы и размеров.

Процесс:

- Удаление литниковой системы и прибылей: Литниковая система и прибыльная часть отливки отрезаются с помощью пил, шлифовальных машин или плазменной резки.

- Очистка поверхности: Очистка отливки от остатков формовочной смеси и окалины с помощью дробеструйной или пескоструйной обработки.

- Шлифовка и полировка: Для улучшения качества поверхности отливка может быть подвергнута шлифовке и полировке.

- Термическая обработка: Для улучшения механических свойств отливки (например, для повышения прочности и твердости) применяется термическая обработка.

- Механическая обработка: Для придания отливке точных размеров и формы она может быть подвергнута механической обработке на станках.

Список использованных источников

1. Черников Н.С. Литейное производство. М.: Машиностроение, 1987. (Базовый учебник для студентов машиностроительных специальностей)

2. В.М. Шевченко, В.А. Рыбкин. "Технология литейного производства. Специальные виды литья". - М.: Машиностроение, 1989.

3. Руководство по литейному производству. В 8 томах / Под ред. А.М. Михайлова. - М.: Машиностроение, 1987-1989. (Фундаментальный труд, охватывающий все аспекты литейного производства)

Контроль качества в литейном производстве

Студенты: гр. 10404222 Мелисевич М.Ю.,

гр. 10404122 Семёнов Н.С.

Научный руководитель - Франчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Известные методы контроля качества формовочной смеси условно можно разделить на две группы: методы непосредственного прямого контроля качественных, физико-механических характеристик смеси (прочности, текучести, осыпаемости, газопроницаемости и т.д.) и методы опосредованного контроля качества смеси по одному или нескольким косвенным параметрам (влажности, температуре и т.п.) или связанным с ними электрофизическим характеристикам

Стандартные методы контроля качества:

- Визуальный контроль
- Измерение геометрических размеров
- Контроль химического состава
- Механические испытания
- Металлографический анализ
- Гидравлические испытания (испытания на герметичность)
- Контроль формовочных материалов

Существует ряд международных и национальных стандартов, регламентирующих требования к качеству отливок и литейного производства.

Стандарты качества в литейной отрасли:

- ISO 9001:2015: Система менеджмента качества (СМК). Определяет требования к СМК, которые могут быть использованы организациями для проектирования, разработки, производства, установки и обслуживания продукции.
- EN 1559: Литье. Общие технические условия поставки. Устанавливает общие технические требования к отливкам из различных материалов.
- ASTM International: Американское общество по испытанию материалов. Разрабатывает стандарты на материалы, продукцию, системы и услуги, включая стандарты для литейного производства.
-

Современное литейное производство все больше ориентируется на использование передовых технологий для повышения точности, эффективности и надежности контроля качества.

Новые подходы к контролю качества:

- Неразрушающий контроль (NDT): Методы, позволяющие выявлять дефекты в отливках без их разрушения.
- Ультразвуковой контроль (УЗК): Обнаружение внутренних дефектов (трещин, раковин, пористости) с использованием ультразвуковых волн.
- Магнитопорошковый контроль (МПК): Обнаружение поверхностных и подповерхностных трещин в ферромагнитных материалах с использованием магнитного поля и магнитного порошка.

Автоматизация процессов контроля:

- Автоматизированные линии контроля: Использование роботизированных систем для автоматического осмотра, измерения и сортировки отливок.

- Системы машинного зрения: Использование камер и алгоритмов машинного зрения для автоматического обнаружения поверхностных дефектов.

Список использованных источников

1. Кукуй, Д. М. Методы автоматического контроля качества формовочных смесей в литейном производстве / Д. М. Кукуй, С. Л. Ровин, М. А. Сайков // Литье и металлургия. - 2004.

Технологические процессы изготовления отливок характеризуются большим числом операций, при выполнении которых выделяются пыль, аэрозоли и газы. Пыль, основной составляющей которой в литейных цехах является кремнезём, образуется при приготовлении и регенерации формовочных и стержневых смесей, плавке литейных сплавов в различных плавильных агрегатах, выпуске жидкого металла из печи, внепечной обработке его и заливке в формы, на участке выбивки отливок, в процессе обрубки и очистки литья, при подготовке и транспортировке исходных сыпучих материалов.

В воздушной среде литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах находятся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами железа и марганца, пары углеводородов и др. Источниками загрязнений являются плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушила для форм, стержней и ковшей и т.п.

При производстве 1 т отливок из стали и чугуна выделяется около 50 кг пыли, 250 кг оксидов углерода, 1,5 - 2 кг оксидов серы и азота и до 1,5 кг других вредных веществ (фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов). В водный бассейн поступает до 3 куб.м сточных вод и вывозится в отвалы до 6 т отработанных формовочных смесей.

На территории РУП «БМЗ» находится 508 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу 66 наименований с разрешенным валовым выбросом 6739,339 т/год.

Интенсивные и опасные выделения образуются в процессе плавки металла. Выброс загрязняющих веществ, химический состав пыли и отходящих газов при этом различен и зависит от состава металлозавалки и степени ее загрязнения, а также от состояния футеровки печи, технологии плавки, выбора энергоносителей. Особо вредные выбросы при плавке сплавов цветных металлов (пары цинка, кадмия, свинца, бериллия, хлор и хлориды, водорастворимые фториды).

Проблема предупреждения выделения вредностей, их локализации и обезвреживания, утилизации отходов является особенно острой. Для этих целей применяется комплекс природоохранных мероприятий, включающий использование:

- **для очистки от пыли** – искрогасителей, мокрых пылеуловителей, электростатических пылеуловителей, скрубберов (вагранки), тканевых фильтров (вагранки, дуговые и индукционные печи), щебёночных коллекторов (дуговые и индукционные электропечи);

- **для дожигания ваграночных газов** – рекуператоры, системы очистки газов, установки низкотемпературного окисления СО;

- **для уменьшения выделения вредностей формовочных и стержневых смесей** – снижение расхода связующего, окисляющие, связующие и адсорбирующие добавки;

- **для обеззараживания отвалов** – устройство полигонов, биологическая рекультивация, покрытие изоляционным слоем, закрепление грунтов и т. д.;

- **для очистки сточных вод** – механические, физико-химические и биологические методы очистки.

Из последних разработок обращают на себя внимание созданные белорусскими учеными абсорбционно-биохимические установки очистки вентиляционного воздуха от вредных органических веществ в литейных цехах производительностью 5, 10, 20 и 30 тыс.

куб.м./час. Эти установки по совокупным показателям эффективности, экологичности, экономичности и надёжности в эксплуатации значительно превосходят существующие традиционные газоочистные установки.

Все эти мероприятия связаны со значительными затратами. Очевидно, следует, прежде всего, бороться не с последствиями поражения вредностями, а с причинами их возникновения. Это должно быть главным аргументом при выборе приоритетных направлений развития тех или иных технологий в литейном производстве. С этой точки зрения использование электроэнергии при плавке металла наиболее предпочтительно, так как при этом минимальны выбросы самих плавильных агрегатов.

Список использованных источников

1. «Экология литейного производства» (под редакцией А. Н. Болдина, С. С. Жуковского, А. Н. Поддубного, А. И. Яковлева, В. Л. Крохотина), Брянск, БГТУ 2001 г.
2. А. И. Орехова «Экологические проблемы литейного производства» («Экология производства», № 1, 2005 г., приложение «Металлургия»).
3. А. Н. Болдин, А. Б. Полонников «О программном комплексе экологической оценки импортного литейного оборудования» (Литейное производство, № 12, 2005 г.).
4. А. Н. Болдин «Литейное производство с точки зрения экологии» (Литейное производство, № 3, 2005 г.).
5. В. С. Кривицкий «Об экологических проблемах литейного производства» (Литейное производство, № 1, 1998 г.).
6. Опыт эксплуатации АБХУ очистки вентиляционного воздуха от вредных органических веществ в литейных цехах стран СНГ (УП «Промышленные экологические системы», г. Минск, инф. Бюллетень № 4, апрель 2007 г., ЗАО «Металлург», Москва).

Будущее работы литейного производства в условиях автоматизации и искусственного интеллекта

Студент группы 10404222 Николаюк Н.Г.

Научный руководитель - Франчук А. А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современный мир стремительно меняется благодаря автоматизации и искусственному интеллекту (ИИ). Эти технологии не просто влияют на экономику и индустрию — они трансформируют рынок труда, создавая новые вызовы и открывая невероятные возможности.

С одной стороны, автоматизация заменяет человека там, где задачи рутинны и повторяются. Офисные клерки, операторы линий сборки, курьеры — все эти профессии стоят перед вызовом замены машинами. Но давайте посмотрим на другую сторону. Машины не только освобождают нас от однообразной работы, но и требуют создания новых профессий.

На рис.1 изображены изменения в типах работы с 1983 по 2013 г. в США.

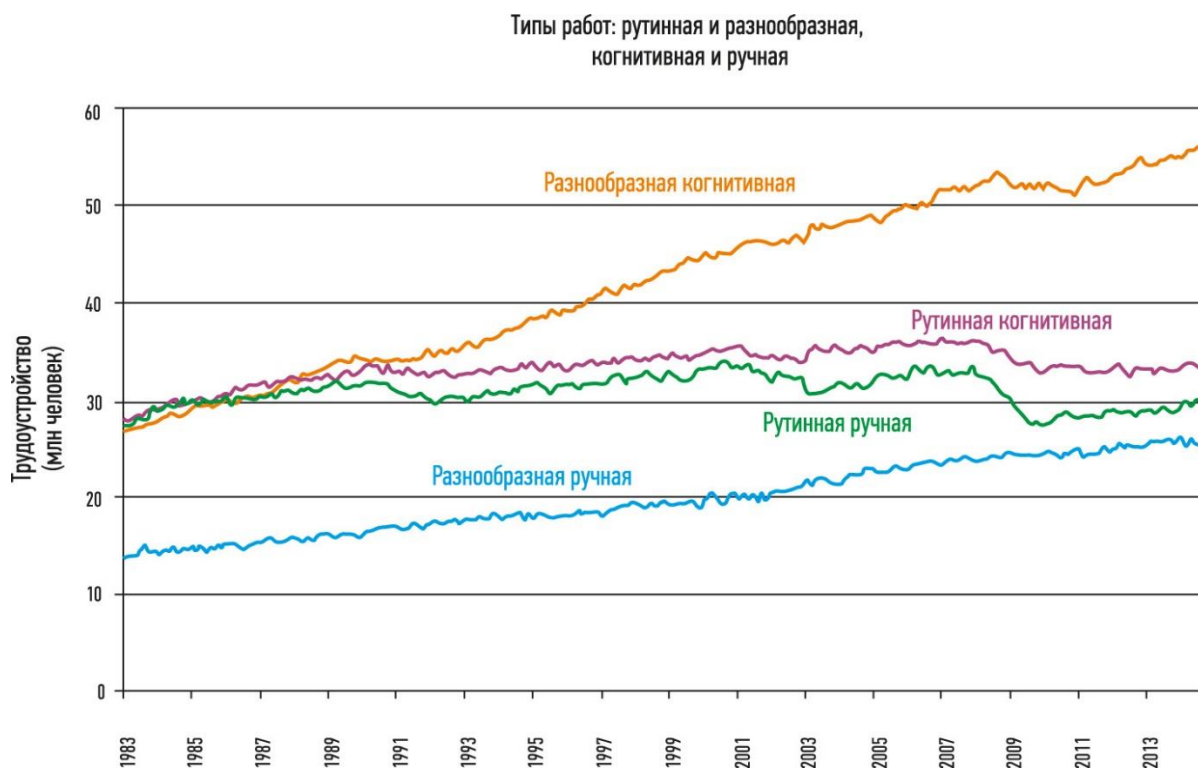


Рисунок 1 - Трудоустройство по типам работы в США. Источник: Федеральный резервный банк Сент-Луиса

График иллюстрирует изменения в занятости различных типов работ с 1983 по 2013 год. До 1990 года занятость росла равномерно для всех видов работ, но после этого наблюдается значительный рост в профессиях, требующих разнообразных задач, в то время как рутинные работы начали снижаться, особенно после 2008 года. Промышленная робототехника заменила рутинный труд, улучшила условия работы и снизила издержки, что стимулировало рост занятости в высокотехнологичных отраслях. Например, в автомобильной промышленности роботизация привела к расширению производства и созданию новых рабочих мест, несмотря на рост использования автоматизированных систем.

Возникают роли, которых еще недавно и представить было сложно:

- Инженеры нейронных сетей — именно они обучают компьютеры распознавать лица, переводить языки или даже писать тексты.

- Архитекторы облачных данных — организуют и управляют огромными массивами информации, чтобы компании могли работать эффективно.

- Операторы роботов — специалисты по настройке и управлению роботизированными системами, которые выполняют сложные задачи в литейном производстве.

- Инженеры данных в промышленности — анализируют данные производственных процессов и внедряют улучшения на основе рекомендаций ИИ.

- Эксперты по кибербезопасности — защищают автоматизированные производственные системы от возможных кибератак, что становится все важнее с ростом цифровизации.

- Проектировщики цифровых моделей — создают точные 3D-модели литейных форм и деталей с использованием передовых программных инструментов.

Такие изменения требуют глобальной переоценки подхода к обучению. Если раньше высшее образование могло обеспечить всю карьеру, то теперь адаптация становится постоянной. Сегодня успешен не тот, кто "отучился и работает", а тот, кто постоянно готов переучиваться. Представьте себе инженера, который начинал с разработки автомобилей, а теперь программирует автопилоты.

Компании быстро осознают необходимость вкладываться в развитие своих сотрудников. Многие организации запускают внутренние образовательные платформы, чтобы дать своим работникам возможность учиться без отрыва от работы. Например, курсы по анализу данных, языкам программирования или использованию новейших инструментов автоматизации становятся стандартом.

Использование автоматизации и ИИ в литейном производстве

Литейная промышленность уже сталкивается с вызовами цифровизации. Внедрение автоматизации и искусственного интеллекта обещает революционизировать этот сектор, повышая его эффективность и снижая издержки.

- Умное производство** — роботизированные системы и искусственный интеллект оптимизируют процесс литья: от создания форм до контроля температуры металла в режиме реального времени. Это не только увеличивает точность, но и минимизирует брак.

- Техническое обслуживание на основе ИИ** — системы машинного обучения способны прогнозировать износ оборудования и планировать профилактический ремонт, предотвращая простои.

- Контроль качества** — современные алгоритмы на базе ИИ анализируют визуальные данные, моментально распознавая дефекты и улучшая общую продуктивность.

- Энергоэффективность** — ИИ помогает рационально использовать энергию в процессах плавки и литья, снижая затраты и минимизируя влияние на окружающую среду.

Преимущества интеграции ИИ

Внедрение искусственного интеллекта открывает перед литейным производством множество возможностей. Это не только инструмент улучшения, но и залог устойчивого развития отрасли.

- Ускорение процессов** — автоматизация рутинных операций значительно сокращает производственные циклы и повышает общую скорость выполнения задач. Это особенно важно для компаний, стремящихся быстро реагировать на запросы рынка.

- Минимизация человеческого фактора** — системы ИИ исключают ошибки, вызванные усталостью или невнимательностью операторов, что в свою очередь снижает долю бракованной продукции и повышает стабильность производственного процесса.

- Повышение конкурентоспособности** — предприятия, внедряющие технологии ИИ, не только остаются лидерами в своей отрасли, но и получают возможность быстро

адаптироваться к изменениям рынка и предлагать более качественную продукцию за счет инновационных решений.

Список использованных источников

1. Дэвенпорт Т., Кирби Дж. Человечество в век искусственного интеллекта: как сохранить работу и найти свое место. — Москва: Альпина Паблишер, 2021. — 320 с.
2. Брайниолфссон Э., МакАфи А. Вторая эпоха машин: работа, прогресс и процветание в эпоху технологий. — СПб.: Питер, 2018. — 336 с.
3. Харари Ю. Н. 21 урок для 21 века. — Москва: Синдбад, 2019. — 512 с.

**Как литейные технологии для специализированных отраслей:
автомобильная, аэрокосмическая, медицинская**

Студент группы 10404222 Почопко Д.С.

Научный руководитель - Франчук А.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литье металлов - это процесс создания металлических деталей путем заливки расплавленного металла в специально изготовленные формы. После застывания металла форма удаляется, и остается готовая деталь.

Искусство литья металлов существует уже более 6000 лет. С течением времени процесс литья металлов стал более сложным и технологичным, и появились новые методы и материалы. Также процесс литья со временем захватил специализированные отрасли, к которым относятся:

- Автомобильная
- Аэрокосмическая
- Медицинская

Литейные технологии в автомобильной отрасли.

С помощью различных методов литья изготавливается от 15% до 20% автомобильных деталей, которые в первую очередь включают ключевые компоненты системы питания и важные конструктивные элементы.

В настоящее время в развитых странах автомобильной промышленности используются передовые технологии производства автомобильных отливок, что позволяет добиться высокого качества продукции, эффективности производства и минимального загрязнения окружающей среды.

Тенденция к интеграции литья в автомобильной промышленности особенно ярко проявляется в литье цветных сплавов. Чтобы полностью использовать процесс литья для производства сложных конструкционных отливок, все чаще используются интегрированные отливки под высоким давлением, такие как внутренние панели дверей, каркасы сидений, каркасы приборной панели, каркасы передней части автомобиля и брандмауэры.

Интеграция разработки автомобильного литья и цифровых технологий значительно повышает уровень технологии литья и сокращает цикл разработки и производства прототипов.

В настоящее время цифровые технологии производства широко используются при разработке автомобильных отливок.

На этапе проектирования литейных конструкций и процессов литья обычно используется программное обеспечение для трехмерного проектирования, такое как Pro/E, CATIA и UG, а некоторые передовые литейные компании внедрили безбумажное проектирование.

Для моделирования процесса затвердевания, микроструктуры, сегрегации компонентов, а также для моделирования процессов затвердевания, микроструктуры и сегрегации компонентов используются такие программы, как Magma, ProCAST и Huazhu CAE. свойства материала автомобильных отливок. Эти симуляции также включают поле скоростей, поле концентрации, температурное поле, фазовое поле и поле напряжений в процессе литья, что позволяет оптимизировать технологическую схему перед началом массового производства.

В целом цифровые технологии проникают в проектирование, разработку и опытное производство отливок, что приводит к значительному повышению скорости и эффективности разработки отливок.

В настоящее время основная проблема заключается в том, что цифровые технологии для проектирования, анализа и быстрого производства разделены. Преобразование данных с одного этапа на другой по-прежнему требует много кропотливой работы.

В будущем можно надеяться, что будет разработана единая платформа интерфейса данных для цифровых технологий, применяемых на каждом этапе разработки отливки, будет создан стандартизированный стандарт преобразования данных и будет обеспечено беспрепятственное преобразование данных между различными программами, что еще больше повысит скорость разработки отливки.

Литейные технологии в аэрокосмической отрасли.

В аэрокосмической промышленности точность и производительность имеют решающее значение. Литье, также известный как литье по выплавляемым моделям, представляет собой производственную технологию, которая эффективно производит сложные компоненты. Этот метод все чаще применяется в аэрокосмической отрасли, поскольку он позволяет создавать высокоточные детали, которые соответствуют строгим стандартам дизайна и производительности.

Аэрокосмическая промышленность извлекает огромную выгоду из литья по выплавляемым моделям благодаря его способности достигать исключительной точности и детализации. Эта точность имеет решающее значение для производства таких компонентов, как лопатки турбин и структурные детали, где даже незначительные отклонения могут существенно повлиять на производительность.

Главным преимуществом этой технологии является ее способность производить детали с жесткими допусками и превосходной отделкой поверхности, что является важным для аэрокосмических применений. Кроме того, литье по выплавляемым моделям позволяет воспроизводить сложные геометрии, которые было бы трудно получить с помощью других методов, тем самым облегчая производство оптимизированных и эффективных аэрокосмических компонентов.

В литье по выплавляемым моделям для аэрокосмической промышленности обычно используются такие материалы, как суперсплавы на основе никеля, нержавеющей сталь и титан. Эти материалы выбираются за их способность выдерживать высокие нагрузки и высокие температуры, что имеет решающее значение для таких компонентов, как двигатели и структурные детали. Выбор правильных материалов существенно влияет на производительность, долговечность и эффективность аэрокосмических компонентов, гарантируя, что они соответствуют строгим требованиям отрасли.

Литье по выплавляемым моделям сталкивается с рядом проблем, включая длительные сроки изготовления оснастки и ограничения на производство очень крупных деталей. Тем не менее, прогресс в области материалов и точности продолжает развиваться. Сочетание 3D-печати с литьем по выплавляемым моделям открывает возможности для оптимизации процессов и устранения существующих ограничений, подготавливая почву для будущих достижений в аэрокосмическом производстве.

Стремительное развитие технологий 3D-печати трансформирует традиционный процесс литья по выплавляемым моделям, сокращая время изготовления форм с помощью прямой печати форм или использования 3D-печатных восковых форм. Например, SpaceX объединила 3D-печать с литьем по выплавляемым моделям для некоторых своих компонентов двигателя, что привело к более сложным геометрическим конструкциям и сокращению производственных циклов.

Литейные технологии в медицинской отрасли.

Точность и повторяемость литья по выплавляемым моделям делают его идеальным для сложных медицинских применений, где биосовместимость, надежность и точность имеют решающее значение. Поскольку отрасль здравоохранения все чаще ищет инновационные решения, понимание роли литья по выплавляемым моделям может помочь инженерам и

лицам, принимающим решения, улучшить эксплуатационные характеристики и безопасность продукции.

Для медицинских применений материалы, обычно используемые в литье по выплавляемым моделям, включают нержавеющую сталь, кобальтовые сплавы и титановые сплавы. Эти материалы известны своей превосходной биосовместимостью и прочностью. Одним из основных преимуществ литья по выплавляемым моделям является его точность; оно позволяет производить сложные детали с жесткими допусками, что необходимо для сложных медицинских деталей.

Хирургические инструменты, такие как щипцы и скальпели, обычно содержат детали, изготовленные методом литья по выплавляемым моделям, поскольку эти инструменты требуют высокой точности для оптимальной функциональности. Эти инструменты должны соответствовать строгим стандартам, чтобы гарантировать безопасность и эффективность во время медицинских процедур.

Ортопедические имплантаты, такие как тазобедренные и коленные протезы, выигрывают от способности литья по выплавляемым моделям создавать сложные конструкции, которые очень похожи на естественную структуру костей. Материалы, выбранные для этих имплантатов, специально подбираются по их прочности и совместимости с человеческим телом, что обеспечивает как безопасность пациента, так и долговечность устройств.

В стоматологической сфере такие устройства, как коронки и мосты, используют точность, которую обеспечивает литье по выплавляемым моделям. Этот уровень точности необходим для достижения идеальной посадки в стоматологических приложениях.

Список использованных источников

1.Машиностроение и литье. Автомобильное литье [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.machinemfg.com/ru/automobile-casting/> (дата обращения: 27.10.2023).

2.Инвестиционное литье для аэрокосмической промышленности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dawangmetals.com/ru/resources/investment-casting-for-the-aerospace-industry/> (дата обращения: 27.10.2023).

3.Инвестиционное литье для медицинских устройств и оборудования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dawangmetals.com/ru/resources/investment-casting-for-medical-devices-and-equipment/> (дата обращения: 27.10.2023).

Кадровые вопросы в литейном производстве: подготовка и обучение

Студент группы 10404222 Савицкий М.А.

Научный руководитель - Франчук А.А

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литейное производство играет ключевую роль в машиностроении, строительстве и других отраслях, обеспечивая изготовление металлических изделий различной сложности. Однако, как и многие другие отрасли, литейное производство сталкивается с серьезными кадровыми проблемами, которые могут негативно сказаться на его эффективности и конкурентоспособности. Существуют следующие проблемы:

1. Недостаток квалифицированных специалистов

Одной из основных проблем является нехватка квалифицированных кадров. Литейное производство требует не только технических знаний, но и практических навыков, которые сложно приобрести без специального обучения. В последние десятилетия наблюдается снижение интереса молодежи к профессиям в области инженерии и технологий, что приводит к дефициту специалистов.

2. Устаревшие образовательные программы

Современные требования к производству меняются с каждым годом, однако образовательные программы часто не успевают за этими изменениями. Многие учебные заведения не предлагают актуальных курсов по новым технологиям и методам литейного производства. Это приводит к тому, что выпускники не готовы к реальным условиям работы, что усугубляет проблему нехватки квалифицированных кадров.

3. Условия труда и низкая заработная плата

Литейное производство связано с высокими физическими нагрузками и потенциальными рисками для здоровья. Непривлекательные условия труда и относительно низкая заработная плата по сравнению с другими отраслями делают эту профессию менее привлекательной для работников. Это также приводит к высокой текучести кадров, что создает дополнительные сложности для предприятий.

4. Необходимость повышения квалификации

С развитием технологий, таких как автоматизация и цифровизация процессов, работники должны постоянно повышать свою квалификацию. Однако многие предприятия не предоставляют достаточных возможностей для обучения и повышения квалификации своих сотрудников. Это создает разрыв между требованиями рынка и уровнем подготовки работников.

5. Решения проблемы

Для решения кадровых проблем в литейном производстве необходимо комплексное подход. Во-первых, важно модернизировать образовательные программы, сделав их более практико-ориентированными и актуальными. Во-вторых, предприятия должны улучшить условия труда и повысить уровень заработной платы, чтобы привлечь молодых специалистов.

Кроме того, стоит развивать программы стажировок и сотрудничество с учебными заведениями, чтобы студенты могли получать практический опыт еще во время обучения. Инвестиции в обучение и развитие сотрудников помогут удержать кадры и повысить их квалификацию.

Заключение

Проблема кадров в литейном производстве требует внимательного подхода и активных действий со стороны как образовательных учреждений, так и самих предприятий. Только совместными усилиями можно создать эффективную систему подготовки кадров, способную

удовлетворить потребности современного производства и обеспечить его устойчивое развитие.

Список использованных источников

- 1 Хомяков, И. А. "Основы литейного производства". — М.: Высшая школа, 2018.
- 2 Официальный сайт Ассоциации литейщиков России (www.litej.ru) — актуальная информация о новинках и событиях в области литейного производства.
- 3 Иванов, С. П. "Современные технологии литейного производства". Журнал "Металлообработка", 2021, №3, с. 45-50.

Экологические технологии и их влияние на устойчивое развитие производства

Студент группы 10404222 Трофимчик Н.А.

Научный руководитель - Франчук А.А

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литейное производство, являясь фундаментальной отраслью промышленности, переживает в 21 веке период значительных трансформаций, обусловленных глобальными трендами и технологическим прогрессом. Рассмотрим ключевые перспективы и тенденции, определяющие будущее литейной отрасли.

1. Кастомизация и гибкость производства:

Тенденция: Растущий спрос на сложные, индивидуализированные отливки малыми и средними сериями. Клиенты нуждаются в быстром и гибком реагировании на меняющиеся потребности рынка.

Реализация:

Цифровизация производства: Внедрение систем автоматизированного проектирования (CAD), автоматизированного производства (CAM), автоматизированного управления производством (MES) и цифровых двойников.

Быстрая смена оснастки: Использование модульной оснастки, автоматизированных систем замены пресс-форм и литейных форм.

-Оптимизация логистики: Интеграция с поставщиками и клиентами для обеспечения своевременной поставки материалов и готовой продукции.

-Развитие технологий литья по выплавляемым моделям и литья под давлением, литье по газифицируемым моделям (ЛГМ): Эти технологии позволяют производить сложные и точные отливки с минимальными затратами на механическую обработку.

Позволяет получать отливки сложной формы с высокой точностью и чистотой поверхности.

-Разработка новых связующих материалов: экологически чистые связующие с улучшенными свойствами.

Перспективы: Развитие новых материалов и технологий литья позволит расширить область применения отливок и удовлетворить потребности самых требовательных клиентов. Необходимо инвестировать в научные исследования и разработки для создания новых материалов и технологий.

2. Влияние 3D-печати на традиционное литье:

Тенденция: 3D-печать (аддитивные технологии) оказывает все большее влияние на литейное производство, предлагая новые возможности и создавая конкуренцию традиционным методам.

Реализация:

-Изготовление моделей и стержней: 3D-печать позволяет быстро и экономично изготавливать сложные модели и стержни для литья, сокращая сроки подготовки производства и снижая затраты на оснастку.

-Прямое производство отливок: Некоторые технологии 3D-печати позволяют производить отливки непосредственно из металла, минуя этапы изготовления моделей и стержней. Это особенно актуально для производства небольших партий сложных деталей.

-Гибридные технологии: Комбинирование традиционных методов литья с 3D-печатью. Например, 3D-печать используется для изготовления отдельных элементов литейной формы, а остальная часть формы изготавливается традиционными методами.

Перспективы: 3D-печать не заменит полностью традиционное литье, но станет важным инструментом, позволяющим расширить возможности производства, сократить сроки и затраты, а также производить детали, которые невозможно изготовить традиционными методами. Интеграция 3D-печати в литейное производство откроет новые перспективы для развития отрасли.

3. Развитие новых материалов и технологий литья:

Тенденция: Постоянный поиск новых материалов и технологий литья для удовлетворения растущих требований к прочности, легкости, коррозионной стойкости и другим характеристикам отливок.

Реализация:

-Разработка новых сплавов: Сплавы на основе алюминия, магния, титана, с улучшенными характеристиками.

-Развитие технологий литья под давлением с вакуумированием: позволяет получать отливки с минимальной пористостью и улучшенными механическими свойствами.

Вывод:

Литейное производство в 21 веке сталкивается с серьезными вызовами, но в то же время открывает перед собой новые перспективы. Устойчивое развитие, кастомизация, 3D-печать, автоматизация, новые материалы и цифровизация – это ключевые тренды, которые будут определять будущее отрасли. Предприятия, которые смогут адаптироваться к этим изменениям и внедрить новые технологии, получат значительное конкурентное преимущество и смогут успешно развиваться в условиях глобальной конкуренции.

Список использованных источников

1.Бенедиктов, А. В. (2018). Экологические технологии: принципы и практика. Москва: Издательство "Наука".

2.Кузнецов, В. И. (2020). Устойчивое развитие: теория и практика. Санкт-Петербург: Издательство "Питер".

3.Смирнов, А. Н., & Петрова, Е. С. (2019). Экологические инновации в производстве. Екатеринбург: Уральский университет.

4.Григорьев, С. А. (2021). Чистые технологии в промышленности: от теории к практике. Новосибирск: Сибирское отделение РАН.

Машины и технология обработки металлов давлением

Технология производства вытяжной заклёпки

Студенты гр.10402223: Кутовой К. А., Лойко А. Р.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский Национальный технический университет
г. Минск

Холодная штамповка – это один из самых массовых методов металлообработки для получения изделий сложной конфигурации. Она используется практически во всех отраслях современной промышленности: от производства металлических шайб до создания узлов ракетной техники. Холодная штамповка металла применяется в машиностроении, производстве станков, автомобилей, авиационной техники, судостроении. При помощи данного метода можно обрабатывать сталь различных марок, медь, алюминий, латунь и даже некоторые современные полимеры [1].

Горячая объёмная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковок из нагретой до ковочной температуры заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа.

По сравнению с горячей, холодная штамповка обладает следующими достоинствами:

- отсутствует необходимость нагрева, что предотвращает образование оксидного слоя на поверхности исходного материала;

- изделия, полученные при холодной высадке, обладают более точными размерами и более высоким классом чистоты поверхности [2].

Преимущества холодной штамповки над горячей заключается в меньших затратах усилий на неё и меньшей стоимости в производстве. Возможность получать большее количество поковок за короткий промежуток времени, по сравнению с горячей штамповки.

Технологию производства условно можно разделить на четыре операции:

Первая операции – холодная штамповка пустотелой заклёпки. Для этой операции используются двух-ударные прессы с активной шпилькой, которая формирует отверстие в стержне и головки заклёпки.

Вторая операция – изготовление установочного стержня. Для этой операции используют высокопроизводительные высокоточные гвоздильные автоматы, которые обеспечивают формирование специальной головки. Точность изготовления головки установочного стержня обеспечивает правильную фиксацию заклёпки при ее монтаже. Преждевременный отрыв головки не позволяет сформироваться крепежному бурту, а увеличенное усилие отрыва головки может разрушить тело заклёпки или установочное отверстие.

Третья операция – нанесение цинкового покрытия на установочный стержень. Эта операция необходима, если стержень изготавливается из углеродистой стали и в дальнейшем используется для комплектации заклёпок из алюминия или его сплавов для снижения эффекта разности гальванического потенциала материалов. На заклёпку защитное цинковое покрытие наносится, если она изготовлена из углеродистой стали и это является необходимым требованием заказчика. Помимо цинкового покрытия на вытяжные заклёпки могут наноситься и другие виды защитных и декоративных покрытий.

Четвертая операция – операция сборки. На специальном сборочном автомате осуществляется сборка заклёпки с установочным стержнем. При этой операции, как правило, выявляются все недостатки предыдущих переделов. Особенно чувствительна операция сборки к прогибу установочного стержня, здесь и выявляется качество гвоздильного автомата.

В качестве сырья для производства вытяжной заклёпки (рисунок 1,2) используется проволока [3].

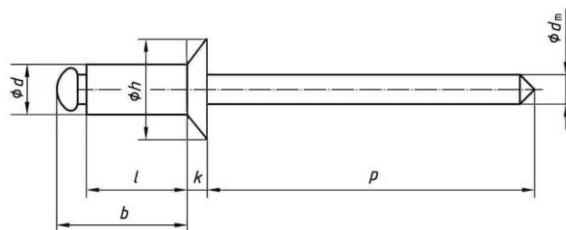


Рисунок 1 – Чертёж вытяжной заклёпки



Рисунок 2 – Образец вытяжной заклёпки

Для изготовления пустотелой заклепки используется проволока из алюминия и алюминиевых сплавов для холодной высадки по ГОСТ 14838-78, проволока медная по ГОСТ 4752-2012, проволока медная для заклепок ТУ 48-21-456-75, проволока латунная для холодной высадки по ГОСТ 12920-67, проволока из стали 1 ОКП ГОСТ 5663-79 [3].

Для изготовления установочного стержня применяется низкоуглеродистая проволока обыкновенного качества ст.1, ст.3 по ГОСТ 3282-74. При специальном профиле головки установочного стержня для некоторых конструкций и размеров вытяжной заклепки возможно применение проволоки по ГОСТу 3282-74 с цинковым покрытием. При этом защиту от коррозии срезов будет обеспечивать катодная защита гальванопары Zn-Fe [3].

Список использованных источников

1 ООО «ЛЗМ» [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://oporamet.ru/articles/osobennosti_holodnoj_shtampovki_metalla. – Дата доступа: 22.03.2025.

2 Холодная штамповка: технология, этапы [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vt-metall.ru/articles/holodnaya-shtampovka/>. – Дата доступа: 22.03.2025.

3 Технология производства заклёпок [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protssessa-holodnoy-shtampovki-pri-razlichnyh-rezhimah-treniya/viewer>. – Дата доступа: 22.03.2025.

Оборудование для волочения металлической проволоки является ключевым оборудованием в металлообрабатывающей промышленности и широко используется в производстве проволоки и кабелей, строительных материалов, автозапчастей, прецизионных приборов и в других областях. Оборудование для волочения металлической проволоки постепенно протягивает металлическую заготовку через ряд волок, чтобы уменьшить ее поперечное сечение и увеличить длину для получения желаемой формы и размера. С развитием промышленной автоматизации и интеллектуальных технологий оборудование для волочения металлической проволоки значительно улучшило точность, эффективность и уровень автоматизации. Однако существующее оборудование по-прежнему сталкивается с некоторыми техническими проблемами, такими как высокое энергопотребление оборудования, быстрый износ волок и нестабильное качество волочения. Таким образом, изучение вопросов оптимизации конструкции, повышения производительности и интеллектуального управления оборудованием для волочения металла имеет важное теоретическое и практическое значение [1].

Оборудование для волочения металлической проволоки можно разделить на машины для волочения проволоки, машины для непрерывного волочения проволоки и специальное оборудование для волочения проволоки. Машина для волочения проволоки однократного действия имеет простую конструкцию и подходит для грубой обработки проволоки; машина для непрерывного волочения проволоки оснащена многорежимной и последовательной системой контроля натяжения, а также имеет три типа машин для волочения проволоки: петлевого типа, линейного типа и типа резервуара для воды; специальное оборудование для волочения проволоки, в том числе: волочение проволоки с помощью машины с применением, ультразвука машины для волочения проволоки с регулируемой температурой, машины для волочения тонкой проволоки и т.д.

Традиционный механический станок для волочения проволоки имеет простую и надежную конструкцию, низкие затраты на техническое обслуживание и высокую адаптивность, но он отличается высоким энергопотреблением, ограниченной скоростью и низкой точностью управления. Современные станки для волочения проволоки оснащены системой сервоуправления и встроенным модулем онлайн-обнаружения, а также интеллектуальной системой смазки, которая обеспечивает повышенную скорость волочения, значительный эффект энергосбережения и повышенную точность. Однако первоначальные инвестиции велики, технические требования к операторам высоки, а частота отказов сложных систем управления относительно высока. Специальное оборудование для производства проволоки из микрофибры оснащено системой управления на субмикронном уровне, технологией наносмазывания и постоянным контролем температуры окружающей среды, что позволяет обрабатывать изделия очень малого диаметра с очень низкой шероховатостью поверхности, но при этом производительность автономного производства невелика и предъявляются высокие требования к чистоте сырья [2].

Оборудование для волочения металлической проволоки состоит из шести основных систем: системы выпуска проволоки, системы волочения, системы передачи, системы приема, системы управления и вспомогательной системы. Система укладки проволоки в настоящее время, как правило, основана на технологии укладки проволоки с магнитным демпфированием. Основным компонентом системы волочения является модуль волочения

проволоки. Система отбора проволоки часто использует технологию постоянного контроля натяжения и автоматическую систему подключения. Вспомогательная система включает в себя устройства смазки, пылеулавливающие устройства и средства безопасности.

Чтобы лучше понять различные технические характеристики оборудования для волочения проволоки, необходимо разработать экспериментальную схему для оценки эффективности волочения проволоки в различных условиях работы, измерить потребление энергии в различных условиях работы и проанализировать взаимосвязь между характеристиками качества волочения, такими как однородность диаметра, дефекты поверхности и т.д, механические свойства и другие параметры, а также условия работы. Необходимо найти наилучшее сочетание параметров, обеспечивающих баланс эффективности, энергопотребления и качества, и проанализировать весомость влияния каждого параметра на качество продукции [3].

На основе экспериментальных данных и результатов моделирования ВЭД могут быть предложены планы усовершенствования, основанные как на оптимизации структуры оборудования, так и на стратегии интеллектуального управления, направленные на повышение эффективности волочения проволоки, снижение энергопотребления и обеспечение стабильности качества [4].

План оптимизации структуры оборудования. Улучшение конструкции пресс-формы и оптимизируйте геометрические параметры. Уменьшение полуугла формы. Результаты анализа данных методом конечных элементов показывает концентрацию напряжений в области входного конуса, и соответствующее уменьшение α может снизить энергозатраты на пластическую деформацию. При увеличении длины центрирующей зоны моделирование показывает, что увеличение длины L может улучшить равномерность диаметра. Материал был усовершенствован, и была использована волока с нанопокрывом. Прогнозируемое контактное давление по результатам анализа данных методом конечных элементов было снижено на 20%, а срок службы по данным экспериментальной проверки был увеличен в 3 раза. Была модернизирована система натяжения и внедрен многоступенчатый контроль натяжения. Согласно экспериментальным данным, для снижения риска обрыва проволоки в различных зонах деформации используется дифференцированное натяжение. Добавление к активному демпфирующему барабану амортизатора давления воздуха для подавления высокочастотной вибрации позволяет эффективно уменьшить царапины на поверхности. При реконструкции системы охлаждения была применена конструкция перегородочного охлаждения. По результатам анализа термической связи на выходе из волоки и перед барабаном было добавлено охлаждение распылением, чтобы избежать размягчения материала.

Интеллектуальная стратегия управления. С курсором многопараметрическое совместное управление по замкнутому циклу с использованием модели динамической настройки, мониторинг скорости вытягивания, натяжения и температуры в режиме реального времени. Прогнозирование качества и адаптивная компенсация с использованием системы позволяют время от времени получать информацию о качестве, например, об отклонении диаметра и остаточном напряжении. Если прогноз отклоняется от реальных значений, давление в волоке будет автоматически скорректировано. Политика профилактического обслуживания, раннее предупреждение об износе волока на основе исторических данных о контактном давлении, результаты анализа данных методом конечных элементов позволяют рассчитать скорость износа, своевременно заменить волоку и сократить внезапные простои.

Необходимо найти способы продления срока службы волоки. На срок службы волоки влияют многие факторы, такие как условия работы оборудования, характеристики материала и параметры технологического процесса. С учетом факторов, на срок службы волока, необходимо разработать технический план продления срока службы пресс-формы. Оптимальный угол наклона определяется с помощью результаты анализа данных методом конечных элементов, чтобы сбалансировать усилие вытягивания и контактное давление.

Необходимо оптимизировать переходную дугу и использовать градиентные дуги на входе и в зоне центрирования, чтобы уменьшить изменение напряжения. Для снижения коэффициента трения используется технология нанопокрытия. Для изготовления волок на стадии тонкой вытяжки используются нанокристаллические твердосплавные материалы, которые обладают лучшей усталостной стойкостью. Используются высокоэффективные смазочные материалы, в том числе смазки на водной основе для медной проволоки и смазки на масляной основе для нержавеющей стали [4].

Текущие исследования по проектированию и оптимизации оборудования для волочения металла позволили решить многие проблемы, и характеристики по всем аспектам оборудования были значительно улучшены, но в будущем все еще есть лучшие направления развития, и темпы исследований по оптимизации конструкции никогда не прекратятся. Например, более совершенная интеллектуальная система автоматической оптимизации вытяжки, более экологичная производственная система и технология, которая позволит лучше адаптироваться к различным экстремальным условиям труда, и другие пути усовершенствования производства.

Список использованных источников

1 Обсудите текущую ситуацию и развитие станков для волочения проволоки для металлических изделий в нашей стране [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chn.oversea.cnki.net/index/>. – Дата обращения: 12.04.2025.

2 Разработка и исследование системы управления станком для волочения прямой проволоки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chn.oversea.cnki.net/index/>. – Дата обращения: 12.04.2025.

3 Рудской, А. И. Волочение : учебное пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 125 с.

4 Оборудование для волочения проволоки с башенным колесом и статус разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chn.oversea.cnki.net/index/>. – Дата обращения: 12.04.2025.

Технология гидроформования

Студент гр. 10402322 Чжан Чанъянь

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

С быстрым развитием промышленных технологий растет спрос на высокоточные, высокоэффективные и недорогие производственные процессы в области обработки материалов. Технология гидроформовки, как передовой метод обработки пластмасс, играет важную роль во многих отраслях промышленности из-за своих уникальных преимуществ. Эта технология использует жидкую среду для передачи давления для достижения точного формования металлов, пластмасс и других материалов. Она не только повышает эффективность производства, но и снижает производственные затраты. В то же время она обеспечивает более высокую гибкость и гибкость конструкции, обеспечивая при этом качество продукции. Целью данной статьи является глубокое изучение принципов, видов, применения технологии гидроформинга и перспектив ее применения в современной промышленности.

Основной принцип гидроформовки заключается в использовании жидкости для передачи давления в закрытой системе, и путем изменения направления потока, скорости потока и давления жидкости происходит обработка и формовка заготовки. Гидравлическая система формования состоит из гидравлического источника, устройства управления и привода. Гидравлический источник преобразует давление жидкости в механическую энергию посредством насоса и подает мощность на гидравлическую систему, используемую для управления рабочими параметрами гидравлики.

Технологию гидроформовки можно разделить на множество типов, включая формовку давлением, формовку растяжением, формовку ковкой, отбортовку, формовку резкой, формовку экструзией, формовку галтовкой, формовку гибкой и т. д. В зависимости от различных используемых заготовок гидроформинг можно разделить на гидроформинг труб, гидроформинг листового металла и гидроформинг оболочки.

Новейшие технологии гидравлического формования.

1 Описание технологии гидроформования Quintus Flexform™:

Quintus Flexform™ – это процесс гидроформовки под высоким давлением, путём использования гибкой резиновой диафрагмы между средой, находящейся под давлением, и формовочным листом. Основными преимуществами этой технологии являются низкие затраты на пресс-формы и короткие сроки изготовления, что делает ее особенно подходящей для мелкосерийного производства и прототипирования.

Технология Flexform™ требует всего лишь половину пресс формы для завершения процесса формования. Верхняя часть представляет собой гибкую резиновую диафрагму с гидравлическим приводом, которая позволяет производить изделия из листового металла сложной формы с меньшими затратами.

Эта технология позволяет сократить затраты на пресс-формы до 90 % и сократить производственные циклы более чем на 50 %, обеспечивая при этом гибкость при проектировании продукции.

2 Ход исследований новой технологии гидроформинга:

В ответ на спрос на прецизионные детали в авиакосмической, автомобильной, атомной энергетике и других областях предлагается разработать технологию пульсационной гидроформовки для полых деталей специальной формы, а также технологию высокоэнергетической ударной гидроформовки, подходящей для сложных изогнутых тонкостенных пластин.

Технология пульсационной гидроформовки снижает трение между трубой и поверхностью формы за счет возвратно-поступательных изменений внутреннего давления и увеличивает величину осевой подачи трубы, тем самым подавляя частичное утонение трубы и делая деформацию трубы более равномерной.

Технология высокоэнергетической ударной гидроформовки, посредством программного управления новым оборудованием с полностью гидравлическим приводом, позволяет параметризовать управление параметрами процесса, такими как скорость удара, усилие держателя заготовки, глубина жидкости и т. д., чтобы удовлетворить потребности в формовании пластин диаметром 500 мм и толщиной 3 мм.

Области применения

Технология гидроформовки широко применяется в механообработке, металлургии, аэрокосмической, автомобильной, железнодорожной, судостроительной и других отраслях. Технология гидроформовки широко используется, особенно в автомобилестроении, и имеет ряд преимуществ, таких как формирование копий деталей, улучшение качества и срока службы деталей, сокращение процессов, снижение затрат и т. д.

Преимущества

Технология гидроформинга имеет следующие преимущества по сравнению с другими технологиями формования:

1 Высокая скорость формовки. Технология гидроформовки позволяет завершить формование заготовки за относительно короткое время.

2 Хорошая однородность: технология гидроформовки позволяет равномерно регулировать твердость, ударную вязкость, плотность и другие свойства заготовки, обеспечивая при этом качество формовки.

3 Низкая стоимость пресс-формы. Технология гидроформовки проста в использовании и имеет низкую стоимость пресс-формы.

4 Стабильная производительность: величину деформации во время обработки методом гидроформовки можно легко контролировать, регулируя давление и скорость, обеспечивая высокую точность формования и хорошую стабильность.

5 Высокая гибкость процесса: использование жидкости в качестве среды передачи усилия обеспечивает возможность управления в процессе реального времени, а давление можно точно контролировать в соответствии с заданной кривой с помощью гидравлической сервосистемы с замкнутым контуром и компьютерной системы управления.

Перспективы развития и расширение сферы применения

Гидравлические формовочные машины являются важным оборудованием в металлообрабатывающей и формовочной промышленности. Благодаря мощному давлению и возможностям высокоточного управления они играют ключевую роль в автомобильной, аэрокосмической, тяжелой машиностроительной и других отраслях. По мере перехода обрабатывающей промышленности к автоматизации и интеллектуальным системам управления гидравлическими формовочными машинами они становятся все более совершенными, позволяя осуществлять удаленный мониторинг, диагностику неисправностей и сбор производственных данных, повышая эффективность производства и качество продукции. В будущем гидравлические формовочные машины станут более точными, умными и экологически чистыми.

Подводя итог, следует отметить, что технология гидроформовки представляет собой передовую технологию производства с широкими перспективами применения. Она реализует пластическую обработку материалов давлением жидкости. Она имеет множество типов и широко используется во многих отраслях промышленности. Она популярна на рынке из-за своих уникальных преимуществ и занимает на нём ключевые позиции.

Исследования и достижения в области процесса спекания и его применение в производстве быстрорежущей стали

Студент гр. 10402322 Луо Цань
Научный руководитель – Шкурдюк П. А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В научной работе рассматривается процесс спекания и вопросы развития порошкового топлива. Методы подготовки порошка (газоатмосферное распыление, механическое легирование) и спекания (горячее изостатическое, холодное прессование) улучшают свойства и качество быстрорежущей стали.

Производство порошковой быстрорежущей стали прошло три этапа [1]:

1) 1970-е годы: Начало индустриализации порошковой металлургии и создание первого поколения стали.

2) 1991 год: Франция разработала технологию электрошлакового нагрева, что позволило повысить чистоту металлического порошка.

3) 2000 год: Австрия усовершенствовала процесс, уменьшив размер зерна структуры стали и увеличив её прочность на 20%.

Несмотря на улучшение чистоты порошка, высокая стоимость производства остаётся проблемой из-за дорогого оборудования.

Порошковая быстрорежущая сталь является основным материалом для современных режущих инструментов. Оптимизация процессов горячего изостатического прессования и спекания обеспечивает равномерное распределение мелкодисперсных карбидов в металлической матрице, что способствует значительному улучшению абразивной стойкости, прочности и ударной вязкости материала [2].

Основные способы получения порошка :

Метод распыления

Технология основана на воздействии высокого давления жидкости или газа на расплавленный металл для получения порошка.

Распыление газовое – используется инертный газ (Ar , N_2). Преимущества: высокая чистота поверхности ($\text{O}_2 < 50$ частей на миллион). Недостатки: риск образования микропор и сегрегации карбидов.

Распыление водное – вода под давлением до 150 МПа, скорость охлаждения $\sim 10^5$ К/с. Особенности: частицы имеют размер от 20 до 150 мкм. Высокое содержание кислорода может достигать до 1000 частей на миллион [3].

Механическое легирование

Высокоэнергетическое измельчение в шаровых мельницах (200–500 об/мин, 10–50 ч) для гомогенизации порошков и получения наноструктуры.

Преимущества: увеличение удельной поверхности (5–15 м²/г), снижение температуры спекания (на 100–200°C), получение ультрадисперсных порошков (50–500 нм).

Недостатки: высокие энергозатраты (~ 50 –100 кВт·ч/кг), риск загрязнения мелющими телами.

Применение: разработка спецпорошков (TiC , Al_2O_3), массовое производство – преимущественно газовое распыление измельчения.

От традиционного метода литья до современного порошкового производства, совершенствование процесса спекания способствует повышению эффективности и качества продукции из быстрорежущей стали. Современные методы, такие как горячее изостатическое прессование (ГИП), холодное прессование и инъекционное формование (MIM: metal injection molding), играют ключевую роль в производстве быстрорежущей стали [1].

Горячее изостатическое прессование

Порошок быстрорежущей стали сначала подвергается сушке при температуре 120–150 °С в условиях вакуума (10^{-3} Па), затем проходит просеивание для достижения фракции 50–150 микрон. После этого порошок уплотняется в вакуумной капсуле, сделанной из мягкой стали. Спекание проводится под изостатическим давлением инертного газа (например, аргона или азота) при температуре 1100–1200 °С и давлении 100–200 МПа. Это обеспечивает равномерное распределение материала и достижение высокой плотности.

Преимущества: Высокая плотность материала достигается более 99 % от теоретической плотности, что значительно улучшает механические свойства изделия. Улучшенная ударная вязкость-ударная вязкость по Шарпи увеличивается на 30–50 %, достигая до 25 Дж/см², что делает материал более устойчивым к ударным нагрузкам.

Применение: Изготовление высоконагруженных инструментов (спиральные сверла, фрезы с PVD-покрытием).

Холодное прессование с синтезом

Смесь порошка быстрорежущей стали ($d_{50}=20\text{--}50$ мкм) и термопластичного связующего (парафин, ПЭГ) формуется в герметичной матрице с последующим спеканием в атмосфере H_2/N_2 ($t=1200\text{--}1250$ °С, время выдержки 2–4 ч).

Преимущества: совместимость с водно-распылёнными порошками (удельная поверхность 2–4 м²/г). Себестоимость снижается на 15–20 %.

Недостатки: декарбонизация поверхности (потеря С до 0,3 %). Плотность 92–95 %, требующая калибровки (дополнительная обработка гидростатическим прессованием).

Порошковая инжекционная формовка

Смешивание: металлический порошок (тип М2, средний размер частиц $d_{50}=15$ мкм) смешивается с термопластичным полимерным связующим (например, полипропиленом РР или полиэтиленом РЕ) в массовом соотношении 60:40.

Инжекция: процесс включает впрыск расплава при температуре 180–200 °С и давлении 80–120 МПа. Это позволяет формировать детали сложной геометрии.

Дебайндинг: связующее удаляется в среде гексана при температуре 60 °С, после чего проводится вакуумная термообработка при температуре 450 °С для дальнейшего удаления остатков связующего.

Преимущества: Возможность изготовления деталей сложной геометрии с высокой точностью до ± 0.1 мм (стандарты точности IT7–IT8).

Ограничения: высокая стоимость порошка, которая составляет ≥ 80 % от общей себестоимости производства. Минимально экономически целесообразный объем партии – 10^4 штук, что может ограничивать применение для малых серий.

Перспективные методы формования

Распылительное формование: Устранение карбидной сегрегации (размер карбидов ≤ 5 мкм).

Искровое плазменное спекание: скорость нагрева 100–500 °С/мин, полная плотность достигается за 5–10 мин (импульсный ток 1000–5000 А).

Селективное лазерное плавление: Толщина слоя 20–50 мкм, пористость $< 0,5$ %, мощность лазера 200–400 Вт.

Качество, состав и технология изготовления быстрорежущей стали за более чем столетнюю историю развития претерпела значительные изменения благодаря увеличению содержания легирующих элементов и инновациям в производстве. Применение порошковой металлургии решило проблему перераспределения карбидов, увеличив содержание легирующих элементов и улучшив механические свойства стали.

В Китае экспорт порошковой быстрорежущей стали уже превысил импорт, обеспечивая самодостаточность в стандартном инструменте. Однако производство высокоэффективной стали по-прежнему зависит от импорта из-за отставания в технологиях.

Размер и перспективы мирового рынка зеленой стали на 2024–2030 годы. Ожидается, что к 2030 году мировая зеленая сталелитейная промышленность достигнет прогнозируемого дохода в размере 766-763,4 млн долларов США. Ожидается, что совокупный годовой темп роста мировой зеленой сталелитейной промышленности составит 6% в период с 2025 по 2030 год.

Список использованных источников

1 Янь, Фан Прогресс исследований в области подготовки и формовки порошков титана и титановых сплавов / Яньли, Ли Чэнсю, Шэнь Чуньгуань, Ван [и др.] // Техника порошковой металлургии. – 2023. – Т42. – №4. – С. 330–337.

2 Чжан, Дэинь Исследование прогресса в области высокоскоростной стали, изготовленной методом порошковой металлургии // Техника порошковой металлургии. – 2024. – Т50. – №6. – С.665–673.

3 Ван, Хаоцян Влияние технологических маршрутов на микроструктуру и механические свойства высокованадиевой быстрорежущей стали // Техника порошковой металлургии. – 2010. – №28. – С. 266.

4 Хань, Цихан Исследование технологий формовки и обработки цветных металлических материалов // Материалы информационной записи. – 2023. – №10. – С. 38–40.

С развитием автомобильной промышленности все больше внимание уделяется повышению качества и надежности автомобильных деталей. Горячая штамповка находит широкое применение в производстве различных автомобильных деталей. Она позволяет получать детали с высокой прочностью, улучшенными механическими свойствами и сложными формами, которые трудно или невозможно получить другими методами. В данной статье мы рассмотрим применение горячей штамповки в производстве автомобильных деталей, основываясь на данных из четырех научных работ.

Горячая штамповка предполагает обработку материалов при высоких температурах (обычно 900–950°C). Нагрев позволяет достичь аустенитной структуры, улучшая пластичность для сложных форм. Последующее быстрое охлаждение (закалка) фиксирует мартенситную структуру, повышая твердость и прочность. Однако чрезмерные температуры могут вызвать рост зерна, снижая вязкость. Контроль параметров (температура, скорость охлаждения) оптимизирует микроструктуру, обеспечивая высокую износостойкость и усталостную прочность деталей, что критично для автомобильной и аэрокосмической отраслей.

Преимущества горячей штамповки

Горячая штамповка имеет ряд преимуществ перед другими методами обработки металлов.

Во-первых, она позволяет получать детали с высокой прочностью и улучшенными механическими свойствами. Это достигается за счет того, что при горячей штамповке металл подвергается пластической деформации при высоких температурах, что приводит к улучшению его кристаллической структуры и повышению прочности.

Во-вторых, горячая штамповка позволяет получать детали сложных форм, которые трудно или невозможно получить другими методами. Это достигается за счет использования специальных прессов и матриц, которые позволяют формировать металл, придавая ему нужную форму.

В-третьих, горячая штамповка позволяет получать детали с высокой точностью размеров и низким уровнем брака. Это достигается за счет использования высокоточных прессов и матриц, а также строгого контроля процесса штамповки [1].

Материалы и температурные режимы

Для горячей штамповки используются различные материалы, включая стали, алюминиевые сплавы и другие металлы. Выбор материала зависит от требований к детали и условиям эксплуатации.

Температурные режимы при горячей штамповке играют важную роль. Они зависят от материала и формы детали. Например, для алюминиевых сплавов температура штамповки обычно составляет 500–600 °C. Выбор температуры зависит от конкретных требований к детали и условиям производства [2].

Влияние на микроструктуру и свойства деталей:

Горячая штамповка оказывает значительное влияние на микроструктуру и свойства деталей. Например, при горячей штамповке алюминиевых сплавов происходит улучшение кристаллической структуры, что приводит к повышению прочности и улучшению механических свойств. Это достигается за счет того, что при высоких температурах металл подвергается пластической деформации, что приводит к улучшению его кристаллической

структуры. Также горячая штамповка позволяет получить детали с высокой точностью размеров и низким уровнем брака. Это достигается за счет использования высокоточных прессов и матриц, а также строгого контроля процесса штамповки [3].

Применение горячей штамповки в производстве автомобильных деталей

Горячая штамповка находит широкое применение в производстве различных автомобильных деталей. Например, для производства деталей подвески, таких как рычаги подвески, часто используются алюминиевые сплавы и горячая штамповка. Это позволяет получить детали с высокой прочностью и улучшенными механическими свойствами, которые могут выдерживать высокие нагрузки и обеспечивать надежность автомобиля. Также горячая штамповка используется для производства деталей двигателя, таких как коленчатые валы и шатуны. Это позволяет получить детали с высокой точностью размеров и низким уровнем брака, что обеспечивает надежность работы двигателя и повышает его эффективность [4].

Автоматизация в сочетании с технологией 3D-печати

Одной из ключевых инноваций является применение автоматизированных систем управления процессом штамповки. Это позволяет минимизировать человеческий фактор, повысить производительность и снизить количество брака. Кроме того, внедрение технологий 3D-печати для создания прототипов и форм способствует более быстрому и эффективному тестированию новых деталей.

Также стоит отметить использование легких сплавов и высокопрочных материалов, что не только уменьшает вес автомобилей, но и повышает их безопасность. Благодаря этим достижениям, автомобильная промышленность становится более экологически чистой и устойчивой.

Горячая штамповка является важным методом производства автомобильных деталей. Она позволяет получать детали, обладающие высокой прочностью, улучшенными механическими свойствами и имеющими сложную форму, которые трудно или невозможно получить другими методами. В будущем горячая штамповка продолжит развиваться и находить все более широкое применение в автомобильной промышленности. Это будет способствовать повышению качества и надежности автомобильных деталей, а также развитию автомобильной промышленности в целом. В то же время новая технология автозапчастей открыла новые горизонты для развития современных и эффективных транспортных средств.

Список используемых источников

1 Лю, Пэньюй Оптимизация конструкции и имитационный анализ процессаковки наружного кольца автомобильного ступичного подшипника / Пэньюй, Лю Найчжэн, Кан Цзяньхуа Хуан [и др.] // Технологияковки. – 2025. – Т50. – №1. – С. 8–19.

2, Хань, Цюянь Исследование влияния термической обработки и процессаковки на микроструктуру алюминиевого рычага подвески автомобиля / Цюянь Хань // Адгезия. – 2022. – Т.49, – №12. – С. 121–124.

3 Ян, Цзяньбинь Обсуждение направлений развития точнойковки на предприятиях по производству автодеталей / Цзяньбинь Ян // Кузнечно-штамповочное производство. – 2022. №13. – С. 20–25.

4 Ван, Юн Краткий обзор применения алюминиевых поковок и штамповок в автомобильной промышленности / Юн Ван, Чжутан Ван. – Чунцин, Сиань Алюминий, 2023. – 256 с.

Применение и проблемы высокопрочных материалов в пресс-формах

Студенты гр.10402321: Ма Инкэ, Дэн Маолинъ

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В современном производстве все большее внимание уделяется использованию высокопрочных материалов, таких как заготовки, алюминиевые и магниевые сплавы, а также композитные материалы. Эти материалы обладают высокой прочностью, низким весом и хорошими эксплуатационными характеристиками, что делает их идеальными для различных отраслей промышленности. Однако их применение в штамповке связано с рядом проблем, которые необходимо решать для повышения эффективности и качества изделий. Далее мы рассмотрим их области применения и проблемы, с которыми они сталкиваются.

Высокопрочные заготовки широко используются в автомобильной, авиационной и машиностроительной промышленности. За счет снижения веса конструкций высокопрочная сталь может снизить потребление энергии автомобилями и самолетами. В автомобильной промышленности снижение веса транспортного средства на каждые 10 % может повысить топливную экономичность примерно на 6–8 %, в авиационной промышленности снижение веса может значительно увеличить дальность полета или снизить расход топлива [1]. Высокая прочность и ударная вязкость высокопрочной заготовки позволяют ей лучше защищать конструкцию и безопасность персонала при ударах. Например, при столкновении автомобиля высокопрочная сталь способна эффективно предотвратить деформацию кузова и сохранить целостность салона [2].

Алюминиевые сплавы обладают низким весом и хорошей коррозионной стойкостью, что делает их идеальными для автомобильной и авиационной промышленности. Преимущества алюминиевых сплавов в автомобильной и авиационной промышленности. Легкий вес, плотность алюминиевого сплава составляет около 1/3 от плотности заготовки, что означает, что вес деталей из алюминиевого сплава значительно снижен при том же объеме. Например, использование алюминиевого сплава в деталях конструкции кузова автомобиля позволяет снизить вес на 30–50 %. В авиации снижение веса напрямую влияет на повышение топливной экономичности и увеличение дальности полета. Хорошая коррозионная стойкость на поверхности алюминиевого сплава легко образуется плотная оксидная пленка, обладающая превосходной коррозионной стойкостью. Это позволяет алюминиевым сплавам сохранять хорошие эксплуатационные характеристики даже во влажной или морской среде, снижая затраты на техническое обслуживание. Высокая прочность

В штамповке алюминиевые сплавы используются для производства облегченных деталей, таких как кузовные элементы, колесные диски и агрегаты. Характеристики процесса штамповки алюминиевых сплавов: Алюминиевый сплав имеет низкий модуль упругости, что означает, что он с большей вероятностью будет пружинить в процессе штамповки. Поэтому необходимо оптимизировать конструкцию пресс-формы и параметры процесса, чтобы уменьшить влияние пружинения на точность детали.

Проблемы и решения для штамповки алюминиевых сплавов: Проблема пружинения. Решение: используйте многопроцесовую штамповку, добавьте процессы коррекции и оптимизируйте конструкцию пресс-формы (например, добавив обратную гибку). Методы моделирования: используйте методы компьютерного моделирования (например, анализ методом конечных элементов) для прогнозирования и оптимизации упругого отскока. Проблема стоимости: стоимость алюминиевого сплава высока, процесс штамповки сложен, стоимость пресс-формы также высока. Решение: сокращение расхода материалов, повышение

эффективности производства и снижение общих затрат за счет оптимизированной конструкции.

Использование высокопрочных сталей, алюминиевых в штамповке открывает новые возможности для создания легких и прочных конструкций. Однако их применение сопряжено с рядом проблем, таких как высокие усилия штамповки, склонность к образованию пор и дефектов, а также сложности с обработкой. Решение этих проблем требует использования новых технологий и методов, таких как ультразвуковая обработка и оптимизация параметров штамповки.

Список использованной литературы

1 Хуэй, Се Исследование и применение CAE-анализа износа штамповочной штамповки из сверхвысокопрочной стали / Се Хуэй, Ли Цзянмань, Ван Шиен // Хунаньский университет: Естественнаучное издание. – Китай, 2015. – С. 15–21.

2 Цинъюй, Чжан Численное моделирование формовки методом горячей штамповки и износа штампа высокопрочного стального листа DP780 для транспортных средств. Технологияковки / Чжан Цинъюй. – Китай, 2022. – С35–40.

Оценка формы очага деформации в процессе волочения медной проволоки

Студент гр.10402321 Ян Цзяньхуа

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В настоящее время сферическая система координат широко используется при исследовании напряженно-деформированного состояния процесса волочения. В работе выполняется проверка гипотезы сферичности очага деформации в процессе холодного волочения проволоки из электротехнической меди на стане грубого волочения. В результате проведенного исследования было установлено, что на выходе из очага деформации форма его границы близка к радиальной, однако на входе в очаг деформации граница имеет другую форму.

В теории листовой прокатки часто используют гипотезу плоских сечений для вывода уравнений с целью расчета энергосиловых параметров. В отличие от плоской прокатки многие исследователи при выводе формул для описания напряженно-деформированного состояния процесса волочения использовали сферическую систему координат [1]. Тем самым предполагалось, что сечения, бывшими сферическими до деформации, сохраняют сферическую форму в процессе деформации. В сферической системе координат лишь одна координата радиуса вектора имеет линейную размерность, а две другие имеют угловые размерности. При осесимметричном волочении компоненты напряжений и деформаций вдоль тангенциального направления одинаковы. Угловая координата характеризует степень отклонения радиуса – вектора от оси симметрии. В плоскости очага деформации описывается радиальным строением (рисунок 1 (а) и ограничен стенками волоки, расположенными под углом к оси симметрии.

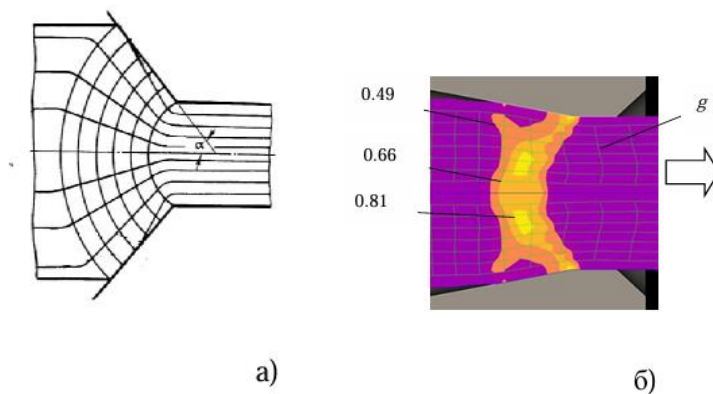


Рисунок 1 – Очаг деформации в сферической системе координат (а) и распределение относительной скорости деформации сдвига H/H_0 (б) при волочении медной проволоки:
стрелка – направление волочения; g – замороженная сетка

Задача решена для условий первого прохода волочения медной катанки диаметром 8 мм с получением проволоки диаметром 6,53 мм. Коэффициент вытяжки здесь составляет довольно большую величину 1,50, а относительное обжатие 33 %, угол волоки 90° , показатель трения по Зибелю 0,1. Здесь использованы реальные параметры, реализуемые в промышленности. Применены кривые упрочнения для меди марки М0.

Результаты расчета приведены в виде линий равного уровня относительной интенсивности скоростей деформации сдвига H/H_0 (рисунок 1 (б)). Здесь видно, что на выходе из очага деформации форма границы близка к радиальной, но на входе форма иная.

Полученные результаты говорят о том, что если перемещаться по угловой координате φ , то мы получим график функции с максимумом. О таком строении очага деформации косвенно свидетельствуют линии вмороженной сетки. Они были прямыми до входа в очаг деформации. Но на выходе из очага поперечные линии получили изгиб определенного вида. Обычно эти линии отображают как 147 линии параболы, имеющей вершину на оси симметрии.

Здесь картина несколько иная. Можно говорить о двух параболах с вершинами, расположенными в двух половинах очага деформации. Два максимума H/H_0 свидетельствуют о разделении очага деформации на две половины с локализацией интенсивностей скоростей в кольцевых зонах.

Отмеченный факт говорит о возможности возникновения в проволоке дополнительной неоднородности структуры, по крайней мере в условиях повышенных деформаций.

В более ранних работах отмечалась связь схемы напряженно – деформированного состояния при волочении с поведением дефектов [2], изменением свойств металла и интенсивности текстурования.

Список использованных источников

- 1 Перлин, И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М.: Металлургия. 1971. – 448 с.
2. Loginov, Y. N. Evolution of surface defects in platinum alloy wire under drawing / Y. N. Loginov, A. E. Pervukhin, N. A. Babailov // AIP Conference Proceedings. – 2017. – V. 1915. – P. 100-105.

Формовка металлопластика – это разновидность процесса формовки, в котором используется пластичность металлических материалов для приложения соответствующей энергии и нагрузки к металлической заготовке для деформации металлической заготовки и формирования деталей или полуфабрикатов с определенной формой и механическими свойствами. Металлопластиковая формовка широко используется, поскольку позволяет не только формировать детали сложной формы, но и для изменения внутренних механических свойства деталей. Как эффективно и качественно сформулировать процесс формовки методом холодной экструзии, а также как спроектировать и обработать пресс-форму, которая может формировать высококачественные формованные детали, стало ключевым вопросом в области экструзионной формовки. На основе анализа принципов и технологий процесса экструзионного формования металлических материалов в этой статье в качестве примера будет использовано формование деталей торцевых ключей.

1 Принцип экструзионного формовочного процесса металлических материалов

Технология механической обработки осуществляется путем удаления материала, в то время как экструзионное формование представляет собой изменение формы, необходимую для формирования потока материала путем пластической деформации, а механические свойства материала до и после обработки в первом остаются неизменными, тогда как после холодной экструзии механические свойства материала значительно улучшаются.

Экструзионная формовка предназначена для управления потоком металлических материалов через экструзионные матрицы под действием общего или специального экструзионного оборудования, а также для формирования экструдированных деталей путем переноса большого объема металла. В процессе экструзионной формовки материал в зоне деформации подвергается сильному трехстороннему сжимающему напряжению, что способствует улучшению пластичности металлического материала. Обычно методы экструзии делятся на прямую, обратную, экструзию и радиальную экструзию. От формования заготовок до холодной экструзии детали комплектуются с помощью различных процессов формования холодной экструзии, и разумно спроектированный процесс формования холодной экструзии является основной работой процесса холодной экструзии. Следовательно, если необходимо разработать технологический процесс, он должен быть основан на законах течения металла во время экструзии и всесторонне учитывать такие факторы, как форма, размер, необходимая точность деталей, требуемые механические свойства на выходе и т.д. [1]

2 Модели и сопутствующие расчеты металлических деталей

Форма и размер заготовки

Как и при холодной экструзии, объем заготовки можно рассчитать исходя из предположения, что объем не изменяется ни до, ни после деформации, т. е. объем заготовки равен объему выдавленной детали после завершения экструзии. После того, как объем заготовки определен, ее высоту можно рассчитать следующим образом:

$$H_0 = P_0 / F_0,$$

где H_0 – высота заготовки, мм;

P_0 – объем заготовки, мм³;

F_0 – площадь поперечного сечения заготовки, мм².

Для того, чтобы обеспечить качество экструзии и срок службы пресс-формы, диаметр грубого повреждения должен быть в основном близок к размеру диаметра полости матрицы, но следует учитывать, что диаметр заготовки будет увеличиваться из-за расширения после нагрева, в противном случае заготовка не может быть помещена в полость матрицы после нагрева.

Расчет степени деформации

Для того, чтобы изучить давление теплой экструзии и рассчитать силу деформации теплой экструзии, ее можно рассчитать по простой формуле расчета допустимой степени деформации холодной деформации

$$\varepsilon = F_1/F_0,$$

где ε – степень деформации при теплой экструзии;

F_0 – площадь поперечного сечения заготовки до деформации, мм²;

F_1 – площадь поперечного сечения заготовки после деформации, мм².

3 Конструкция матрицы

Внутренняя стенка экструзионной головки находится под очень высоким давлением из-за чего высока вероятность её поломки. Проблему её прочности невозможно решить только увеличением толщины стенки из-за особенностей конструкции инструмента. Поэтому рассмотрим возможность использования комбинированной матрицы, которая предотвращает продольные и поперечные трещины в матрице. Комбинированная вогнутая форма может использоваться для метода экструзии, при котором матрица подвергается относительно большому давлению или же общая прочность матрицы оказывается недостаточной. В таком случае используется предварительно напряженное кольцо для приложения сжимающего напряжения к штампу, чтобы улучшить несущую способность штампа.

Хотя рабочее давление в полости формы не превышает 1000 Па, для экономии стали формы все же можно использовать двухслойную или трехслойную комбинированную вогнутую форму 0.

Список использованных источников

1 Ван, Вэйвэй Оборудование для формования материалов / Вэйвэй Ван. – Пекин;Китай : Машиностроительная промышленность Пресса, 2004. – 426 с.

2 Лю, Цзингань Теория и практика технологии экструзионных матриц / Цзингань Лю. – Чунцин.Китай : Научная и техническая литература Пресса, 1989. – 260 с.

3 Ван, Данянь Принципы формовки металлопластиков / Данянь Ван. – Пекин.Китай. : Машиностроительная промышленность Пресса, 1986. – 508 с.

Магнитно-импульсное и электромагнитное прессование

Студенты гр.10402321: Дэн Маолинь, Ма Инкэ
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Магнитно-импульсное прессование – это метод, в котором используется электромагнитное поле для создания ударной волны в материале, что приводит к его пластическому деформированию.

Этот метод также используется для формования металлических и неметаллических материалов (рисунок 1). В отличие от электродинамического прессования, магнитно-импульсное прессование обеспечивает более равномерное распределение давления в материале и может быть использовано для производства деталей различной сложности и формы.

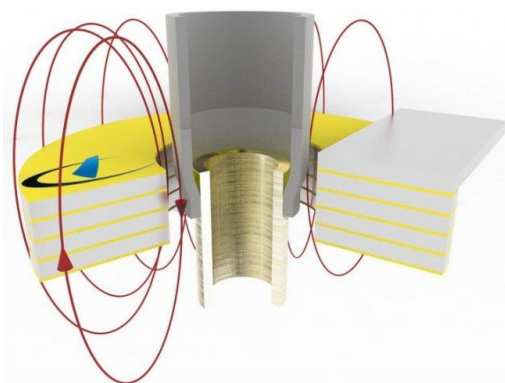


Рисунок 1 – Магнитно-импульсная технология

Магнитно-импульсный пресс (МИП) – это устройство, используемое для сжатия материалов в высокомагнитном поле, созданном с помощью катушек индуктивности. Это позволяет создавать высокие давления и сжимать различные материалы, включая металлы, керамику, композитные материалы и т.д. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Детали, изготовленные по методу магнитно-импульсного прессования

Основной элемент МИП – это катушка индуктивности, которая создает высокочастотное магнитное поле. Вокруг катушки индуктивности размещается металлический барабан, который содержит материал, который нужно сжать.

Когда катушка индуктивности включается, магнитное поле создает электрический ток в металлическом барабане, который в свою очередь создает высокочастотное магнитное поле, направленное в сторону катушки. Это приводит к тому, что барабан начинает колебаться, что приводит к быстрому сжатию материала внутри него. Существует несколько типов МИП в зависимости от конструкции катушек индуктивности и методов создания магнитного поля. Например, могут быть использованы однослойные, многослойные или многолучевые катушки индуктивности, а магнитное поле может создаваться с помощью магнитных линз, усилителей поля и других устройств.

МИП широко применяется в промышленности для создания высокопрочных изделий из различных материалов, таких как твердосплавные изделия, магнитные материалы, композитные материалы и т.д.

Кроме того, МИП также может использоваться для создания материалов с высокой плотностью энергии, таких как магнитные накопители энергии и сверхпроводники. В целом, МИП – это мощный инструмент, который может использоваться для создания высокопрочных материалов с различными свойствами и применениями.

Электромагнитное формование (Electromagnetic forming, EMF) – это метод обработки материалов, при котором механические деформации металла происходят под действием высокоскоростного электромагнитного импульса.

В процессе электромагнитного прессования, с помощью генератора высоковольтного импульсного тока, создается магнитное поле, которое воздействует на проводящий материал. В результате в материале возникают электромагнитные силы, которые вызывают его деформацию.

Процесс EMF позволяет обрабатывать различные металлические материалы, в том числе и те, которые трудно поддаются обработке другими способами. Он широко используется в авиационной, космической и оборонной промышленности, а также в производстве электронных компонентов и медицинского оборудования.

Одним из примеров применения электромагнитного прессования является создание тонкостенных металлических деталей, таких как корпуса и кожухи, а также формование концентраторов линз для рентгеновских трубок (рисунок). Преимуществами метода являются высокая точность, скорость и низкий уровень деформации материала, что позволяет изготавливать сложные детали с минимальным количеством обработки и высоким качеством поверхности.

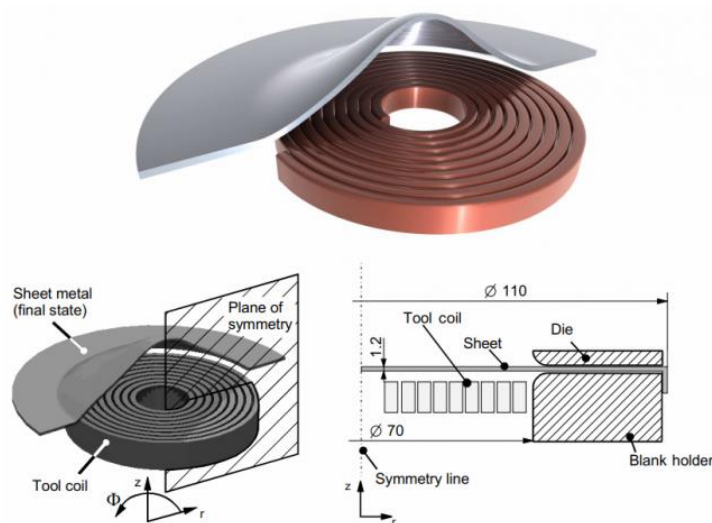


Рисунок 3 – Тонкостенные металлические детали

Электромагнитная формовка круглых листовых металлов. В этом методе электрический ток в катушке инструмента индуцирует магнитное поле и электрический ток в листовом металле пластина, в результате чего сила Лоренца (тела) вызывает ее деформацию. Как показано, лист металлическая пластина зажимается в радиальном направлении матрицей и держателем заготовок.

Преимущества электромагнитного формования над механической формовкой

Оба метода имеют свои преимущества и недостатки, и выбор того или иного зависит от ряда факторов, таких как требуемая точность, скорость производства, сложность деталей и доступность оборудования. Одним из главных преимуществ электромагнитного формования является возможность получения более сложных и точных деталей, которые могут быть трудно получить с помощью механической формовки.

Также, электромагнитное формование позволяет ускорить процесс производства, поскольку он осуществляется автоматически, что снижает количество операций и времени, необходимых для производства деталей. Это также позволяет уменьшить количество отходов и потерь материала, что в свою очередь ведет к снижению затрат на производство.

Однако, электромагнитное формование также имеет свои недостатки. Например, оно может быть менее подходящим для производства крупных деталей, так как требует достаточно мощных электромагнитов. Кроме того, в некоторых случаях может требоваться дополнительная обработка для улучшения поверхности и механических свойств деталей. механическая формовка, в свою очередь, предлагает большую гибкость в выборе материалов и размеров деталей, а также более высокую прочность и долговечность изделий, произведенных этим методом. Также, механическая формовка позволяет достигать более высокой точности в производстве простых деталей, чем это возможно при использовании электромагнитного формования. Однако механическая формовка может потребовать больше времени и затрат на производство, а также может быть труднее для производства сложных деталей. Кроме того, механическая формовка может создавать больше отходов и требовать большего количества материала, что повышает затраты на производство.

Электродинамический и магнитно-импульсный методы являются эффективными способами производства материалов с высокой плотностью и энергетической эффективностью. Они находят применение в широком спектре отраслей, включая металлургию, энергетику, электронику, медицину и другие.

С помощью этих методов можно создавать сложные формы и структуры материалов, обладающих необычными свойствами, такими как магнитные и сверхпроводящие материалы, а также материалы с высокой прочностью, жаростойкости и износостойкости.

Применение технологии высокоточной обработки пресс-форм в машиностроении

Студент гр.10402321 Лю Суннань

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Технология прецизионной резки железа играет центральную роль в коммерческой прецизионной обработке пресс-форм. За последние годы внедрение высокоскоростных пятикоординатных обрабатывающих центров значительно повысило эффективность и точность сложной обработки поверхностей!

В реальных условиях технология пятикоординатной связи была использована для обработки набора форм для автомобильных фар, что сократило время обработки на 40% и улучшило шероховатость поверхности до $Ra_{0,2}$ мкм. Еще одним прорывным моментом стал выбор и оптимизация сверхтвердых инструментальных материалов.

Эксперименты показали, что использование инструмента из кубического нитрида бора с нанопокрытием для обработки литейной стали высокой твердости позволяет увеличить срок службы инструмента в 25 раз и повысить точность обработки на 100 %.

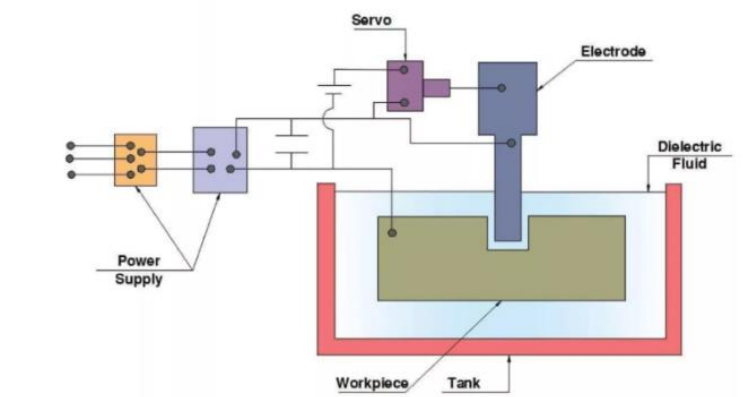


Рисунок 1 – Принцип работы электроэрозионного копировально-прошивочного станка

Проектирование и изготовление микроэлектродов являются основой электроэрозионной обработки. При изготовлении микроэлектродов обычно применяется метод прецизионной обработки, состоящий из нескольких этапов.

Сначала высокоточный пятикоординатный станок с ЧПУ используется для грубой обработки материала электрода (например, сплава меди и вольфрама) для формирования базового контура.

Затем для тонкой обработки применяется технология микрообработки, позволяющая контролировать шероховатость поверхности электрода до уровня ниже $Ra_{0,05}$ мкм.

На поверхность электрода нанесено нанопокрытие из титанового сплава толщиной 2–3 мкм для улучшения износостойкости и проводимости. С точки зрения геометрического проектирования для оптимизации формы электрода используется программное обеспечение САПР в сочетании с конечноэлементным анализом.

Гибридный процесс лазерно-эрозионной обработки сочетает в себе преимущества обеих технологий, значительно повышая эффективность и точность обработки.

Процесс начинается с лазерной черновой обработки и быстрого удаления большого количества материала, а затем для завершения процесса используется электроэрозионная обработка, позволяющая получить высокоточную поверхность.

В эксперименте по обработке пресс-формы, по сравнению с одиночной электроэрозионной обработкой, композитный процесс сократил общее время обработки на 0,005%, сохранив при этом высокую точность ± 45 мкм.

Предварительная лазерная обработка также может улучшить условия разряда при электроэрозионной обработке и повысить стабильность обработки.

Экспериментальные данные показывают, что шероховатость поверхности пресс-формы, обработанной композитным процессом, может достигать $Ra 0,2$ мкм, что на 60% выше, чем у традиционной электроэрозионной обработки.

Применение высокоточной технологии обработки пресс-форм позволяет значительно повысить точность обработки и качество поверхности. Благодаря интеграции передовых технологий, таких как лазер сверхкоротких импульсов, прецизионное фрезерование и электроискровая обработка, отрасль производства пресс-форм достигла точности обработки в микроны и даже доли микрона.

Высокоточная технология обработки пресс-форм значительно продлевает срок службы пресс-формы и снижает производственные затраты. Точная обработка и поверхностная обработка значительно повышают износостойкость и коррозионную стойкость формы.

Практические данные показывают, что после лазерной поверхностной упрочняющей обработки срок службы пресс-формы увеличивается в среднем в 2,5 раза. Технология высокоточной обработки позволяет добиться более высокой точности за один проход, что снижает необходимость в повторных модификациях. Данные показывают, что цикл разработки пресс-формы можно сократить в среднем на 40% за счет использования пятикоординатного обрабатывающего центра и интеллектуальной системы проектирования.

Проектирование нового гидравлического оборудования для штамповки тонкостенных труб

Студенты гр.10402321 Ян Юньминь

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

Гидравлическое оборудование для пробивки тонкостенных труб должно использовать двойные гидравлические цилиндры для пробивки и завершения обработки обеих сторон трубы одновременно, чтобы заусенцы с небольшой степенью деформации загибались внутрь, не влияя на внешний вид и качество сборки.

Гидравлическая система нового гидравлического оборудования для штамповки тонкостенных труб может использовать делитель потока и коллекторный клапан для синхронного движения двух гидравлических цилиндров одной модели, что обеспечивает точность штамповки заготовок.

Для обеспечения одновременной пробивки нескольких отверстий новое гидравлическое оборудование для пробивки тонкостенных труб спроектировано с 6 отверстиями (по 12 отверстий с каждой стороны). Убедитесь, что во время штамповки штамповочное оборудование взаимодействует с различными штампами для одновременной штамповки заготовок с несколькими отверстиями (до 12 отверстий с обеих сторон).

Новое гидравлическое оборудование для штамповки тонкостенных труб выполнено в форме стола, имеет компактную конструкцию, удобное перемещение и обслуживание, а также аккуратный и красивый внешний вид [1].

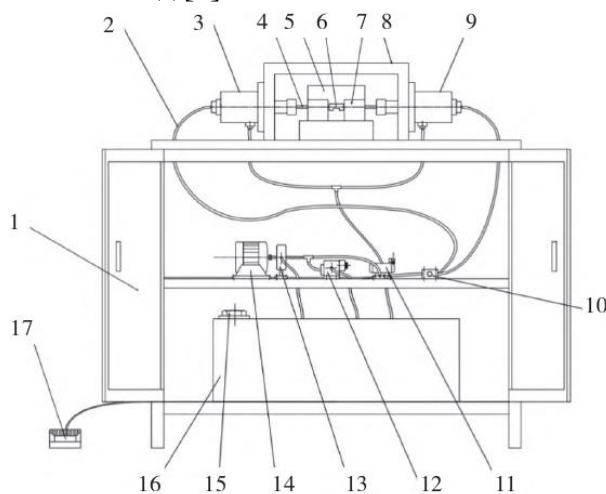


Рисунок 1 – Структурная схема гидравлического пробивного пресса:

- 1 - стол; 2 - маслопровод; 3, 9 - гидроцилиндр; 4 - пробойник;
- 5 - соединительная пластина; 6 - пластина втулки заготовки; 7 - направляющая пластина;
- 8 - неподвижная рама; 10 - клапан разделительный и собирающий поток;
- 11 - электромагнитный клапан; 12 - перепускной клапан; 13 - шестеренчатый насос;
- 14 - двигатель; 15 - крышка масляного бака; 16 - масляный бак;
- 17 - педальный переключатель

Как показано на рисунке 1, стол 1 выполнен в виде коробки с рамной конструкцией внутри, что удобно для размещения гидравлической системы и электронной системы управления, а также удобно для монтажа и обслуживания; крепежная рама 8, гидроцилиндр 3, гидроцилиндр 9 и пробивной штамп соответственно закреплены на плоской плите

столешницы стола 1 и соединены сваркой; При сборке необходимо строго гарантировать совпадение осей двух гидроцилиндров, а также обработку и формовку отверстий крепления гидроцилиндров рамы 8 за один прием, чтобы обеспечить качество монтажа. Два гидравлических цилиндра закреплены соответственно на левой и правой сторонах крепежной рамы 8 болтами.

Масляной бак 16 устанавливается на нижнем ярусе стола 1 и не требует фиксации (фиксируется собственным весом после заполнения гидравлическим маслом). Двигатель 14, шестеренный насос 13, перепускной клапан 12, электромагнитный клапан 11 и клапан разделения и сбора потока 10 установлены на верхней плоской плите внутри стола 1, закреплены болтами и соединены между собой масляной трубкой 2. Предохранительный клапан 12 подключен к системе для обеспечения постоянного давления в системе и защиты гидросистемы от перегрузки. Распределитель потока и коллекторный клапан 10 соединены с гидроцилиндрами 3 и 9 того же типа через маслопроводы, чтобы гарантировать, что гидравлическое масло подает одинаковый поток к двум гидроцилиндрам для достижения синхронного движения двух гидроцилиндров.

Другие торцевые масляные порты гидроцилиндра 3 и гидроцилиндра 9 соединены с электромагнитным клапаном 11. Электромагнитный клапан 11 представляет собой двухпозиционный четырехходовой клапан с двумя рабочими положениями. В нормальном положении штоки поршней двух гидроцилиндров возвращаются в исходные положения. Когда электромагнитный клапан 11 находится в рабочем состоянии, поршни двух гидроцилиндров перемещаются к середине, пробивая заготовку. Педальный переключатель 17 соединен с электромагнитным клапаном 11 посредством электрических проводов и расположен на земле вне оборудования. При нажатии на педаль 17 электромагнитный клапан 11 находится в рабочем состоянии; когда педаль 17 не нажата, электромагнитный клапан 11 находится в нормальном положении, а поршни двух гидроцилиндров возвращаются в исходные положения.

Матрица состоит из пуансона 4, соединительной пластины 5, пластины втулки заготовки 6, направляющей пластины 7 и базовой пластины, как показано на рисунке 2. Различные части соединены резьбой, и любые части могут быть своевременно заменены в случае повреждения; матрица рассчитана на пробивку максимум 6 отверстий диаметром $\phi 10$ мм (один гидравлический цилиндр) за один раз, а толщина материала, как правило, должна быть гарантированно не более 1 мм.

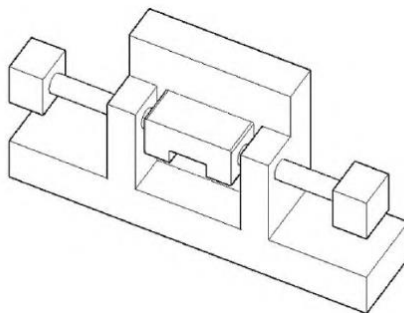


Рисунок 2 – Матрица

Вставьте заготовку в гильзу заготовки 6 (между гильзой заготовки и заготовкой имеется зазор 1 мм как по высоте, так и по длине. После того, как заготовка вставлена, она касается соединительной пластины 5 без дополнительного зажима). После включения питания двигатель 14 вращается, Главный вал шестеренного насоса 13 приводится во вращение, гидравлическое масло перекачивается из масляного бака 16 в масляную трубу 2, а затем в перепускной клапан 12. Схема гидравлической системы показана на рисунке 3.

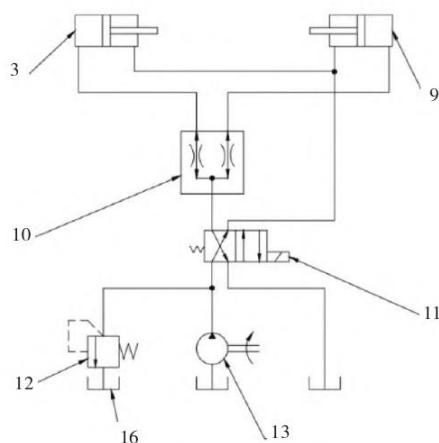


Рисунок 3 – Схема гидравлической системы

Когда давление не превышает номинального давления системы: электромагнитный клапан 11 нормально открыт в левом положении, и гидравлическое масло поступает в правую камеру левого гидроцилиндра 3 и левую камеру правого гидроцилиндра 9 с обеих сторон через маслопровод 2. Гидравлическое масло из левой камеры левого гидроцилиндра 3 и правой камеры правого гидроцилиндра 9 возвращается в масляный бак 16 через распределительно–коллекторный клапан 10 и электромагнитный клапан 11, а шток поршня возвращается в исходное положение. Вставьте заготовку в гильзу заготовки 6 и прижмите ее к неподвижной раме 8. Нажмите на ножной переключатель 17, электромагнитный клапан 11 переключится в правое положение, и гидравлическое масло пройдет через распределитель и коллекторный клапан 10 и поступит в левую камеру левого гидроцилиндра 3 и правую камеру правого гидроцилиндра 9. Шток поршня синхронно перемещается к середине, выполняя штамповку на заготовке. Гидравлическое масло из правой камеры левого гидроцилиндра 3 и левой камеры правого гидроцилиндра 9 через электромагнитный клапан 11 возвращается в масляный бак 16. После завершения штамповки поднимите ногу, поднимите ножной переключатель 17, электромагнитный клапан 11 вернется в левое положение, гидравлическое масло из левой камеры левого гидроцилиндра 3 и правой камеры правого гидроцилиндра 9 потечет обратно в масляный бак 16 через распределительно-коллекторный клапан 10 и электромагнитный клапан 11, а шток поршня вернется в исходное положение. Извлеките обработанную заготовку, установите новую заготовку и приступайте к следующему рабочему циклу.

Когда давление в гидравлической системе нового гидравлического оборудования для штамповки тонкостенных труб превышает номинальное давление системы, сердечник предохранительного клапана 12 перемещается, порт клапана открывается, и часть гидравлического масла возвращается в масляный бак 16 через порт клапана, а давление в системе снижается, чтобы обеспечить постоянное давление в системе.

Список использованных источников

1 Жунвэнь, Тан Проектирование и анализ общей гидравлической системы управления прессовой частью бумагоделательной машины: Оборудование и материалы для производства бумаги / Тан Жунвэнь, Тан Жунфан. – Китай, 2022. – № 51(12). – С 7–9.

Электроимпульсная обработка металлов

Студенты гр.10402321 Чжан Екунь

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

Электроимпульсная обработка (ЭИО) – это современный метод обработки материалов, основанный на использовании энергии электрических разрядов. Данная технология позволяет эффективно обрабатывать токопроводящие материалы любой твердости, включая труднообрабатываемые сплавы, и получать изделия сложной формы с высокой точностью и качеством поверхности (рисунок 1).

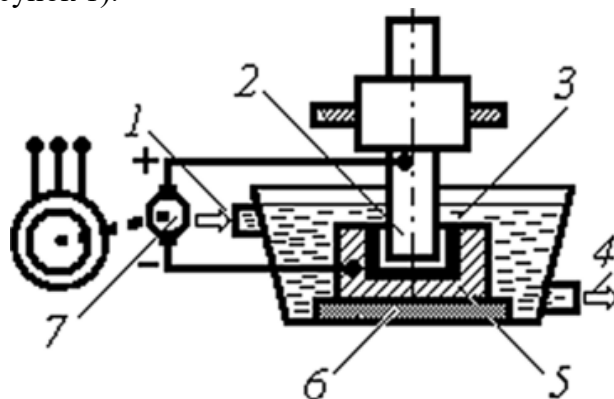


Рисунок 1 – Схема электроимпульсной обработки:

1 – генератор; 2 – подача электролита; 3 – инструмент-электрод;

4 – диэлектрическая жидкость; 5 – слив электролита; 6 – заготовка; 7 – изолятор

ЭИО основана на явлении электрической эрозии – разрушении материала под воздействием электрических разрядов. Процесс обработки происходит в жидком диэлектрике (чаще всего в масле или деионизированной воде) между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой. При подаче на электроды импульсов высокого напряжения между ними возникает электрический разряд, который приводит к локальному нагреву, плавлению и испарению материала заготовки. Электроимпульсная обработка металлов относится к одному из электроэрозионных методов. Удаление продуктов эрозии из зоны обработки осуществляется потоком диэлектрика [1].

На соблюдение точности параметров и шероховатости поверхностей, которые обрабатываются, влияет выбранный метод обработки, например, для обработки штампов целесообразнее применять электроимпульсную обработку. В ходе этой обработки снятие металла осуществляется в десятки раз быстрее, чем во время электроискровой обработки. Однако максимально эффективен электроимпульсный метод при выполнении работ по обработке небольших отверстий сложной формы.

Отличительной особенностью электроимпульсной обработки металлов является использование однополярной формы импульсов, что способствует концентрации всей энергии исключительно на процессе разрушения металла обрабатывании.

Технологии электроимпульсной обработки

В зависимости от формы и движущихся характеристик электрода электроимпульсная обработка делится на следующие технологии:

1) Пробивка: используется для получения отверстий различных форм и размеров. Электрод совершает возвратно-поступательное движение, постепенно углубляясь в материал детали.

2) Резка: используется для получения сложных форм плоских и объемных деталей. Электрод представляет собой тонкую проволоку, которая движется по заданной траектории, вырезая контур будущей детали.

3) Шлифовка: используется для высокоточной и высококачественной обработки поверхности. Электрод представляет собой вращающуюся диск или формирующее колесо, которое удаляет тонкие слои материала с поверхности детали.

4) Упрочнение: используется для повышения износостойкости и усталостной прочности деталей. Электрический разряд образует упрочняющий слой на поверхности детали, изменяя ее структуру и свойства [2].

Электроимпульсная обработка является высокоэффективным методом обработки материалов, который находит все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Постоянное развитие технологий и оборудования для ЭИО открывает новые возможности для создания высокотехнологичных изделий с уникальными свойствами [3].

Список использованных источников

1 Золотухин, И.Н. Электроэрозионная обработка материалов / И. Н. Золотухин. – М.: Машиностроение, 1986. – 280 с.

2 Григорьянц, В. А. Лазерные и электроимпульсные технологии обработки материалов: учебное пособие / В. А. Григорьянц, А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 672 с.

3 Современные технологии обработки материалов: учебное пособие / под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.

Явление скольжения: опережение и отставание

Студент гр.10402321 Лю Суннань

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск**1 Опережение и отставание**

Опережение (отставание) – увеличение (уменьшение) скорости металла, отнесенное к окружной скорости валков. Экспериментально опережение определяют, нанося на поверхность валков керны, которые оставляют отпечатки на прокаты-ваемом металле. На опережение влияет ряд факторов: величина обжатия, диаметр валков, коэффициент трения, температура прокатки, род материала, переднее и заднее натяжение полосы. Опережение возрастает с увеличением радиуса валков, критического угла, угла захвата (до определенного предела), коэффициента трения и обжатия и с уменьшением конечной толщины и конечной ширины прокатываемой полосы, а также уширения. Обычно уширение составляет 2–6 %. С падением температуры прокатки опережение увеличивается [1].

В зоне опережения на поверхности контакта скорость металла больше скорости валков, в зоне отставания на поверхности контакта скорость металла меньше скорости валков. Скольжение металла относительно поверхности валков, при котором скорость металла больше окружной скорости валков, называют опережением. Если при скольжении металла относительно валков скорость металла меньше окружной скорости валков, то это явление называют отставанием. Скорость металла по высоте в очаге деформации неравномерна. На рисунке 1 показано распределение скоростей металла. Выравнивание скорости течения металла по высоте происходит во внеконтактных зонах деформации.

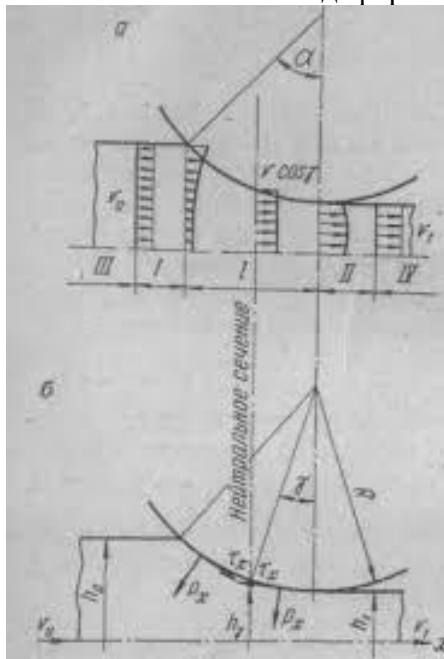


Рисунок 1 – Распределение скоростей металла:

v_1 – скорость полосы толщиной h_1 на выходе из валков; v_B – окружная скорость валков

В самом общем случае по длине дуги захвата могут располагаться зоны (начиная от входа в очаг деформации): отставания, прилипания и опережения. В зоне прилипания отсутствует перемещение металла относительно валков и движение полосы происходит со скоростью, равной окружной скорости валков.

В средней части зоны прилипания вблизи нейтрального сечения рисунок 2 (а) имеется участок заторможенной пластической деформации, который называют участком застоя. Граничное сечение, разделяющее зоны опережения и отставания, называют критическим или нейтральным и определяют нейтральным углом на рисунке 2 (б) [2].

Опережение и отставание являются результатом осадки полосы то высоте.

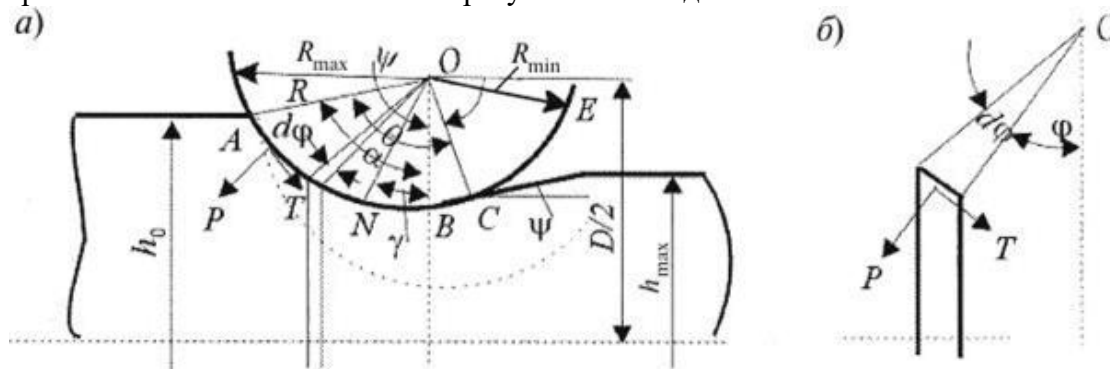


Рисунок 2 – Зоны опережения и отставания:
а – ; б –

2 Трение в процессах ОМД

В основном при обработке давлением действуют силы трения скольжения на поверхности контакта инструмента с металлом. Обработка давлением создает некоторые специфические условия, которые и приводят к различию между трением пластической деформации и обычным трением скольжения. В основном эти условия сводятся к следующим:

а) высокие удельные давления на поверхности контакта инструмента с металлом, превышающие иногда 2500 Мн/м^2 (250 кГ/мм^2) в то же время даже в самых тяжело нагруженных подшипниках прокатных станов удельные давления в 5–10 раз ниже;

б) высокая температура (при горячей обработке), вызывающая изменение физико-химического состояния контактной поверхности металла (образование окалины, окислов и т. д.);

в) постоянное обновление поверхности деформируемого металла в связи с его пластическим течением.

Контактное трение препятствует течению (скольжению) металла по поверхности соприкосновения с инструментом и вызывает неравномерность деформации, повышение деформирующего усилия, интенсивный износ рабочего инструмента, ухудшение качества поверхности получаемого изделия и другие отрицательные явления

При обработке металлов давлением следует различать трение с гидродинамической, с адсорбционной смазками и сухое трение.

Трение с гидродинамической смазкой (жидкостное трение) имеется тогда, когда между трущимися поверхностями постоянно существует слой смазки, толщиной до нескольких десятков тысяч атомных слоев. В этом случае один относительно другого скользят слои смазки.

Основной эффект применения смазки – снижение коэффициента трения.

Сухое трение – это трение при скольжении металла по металлу. Чем ближе по химическому составу деформируемый металл и рабочий инструмент, тем больше коэффициент трения [3].

При деформации с нагревом химический состав металла влияет на свойства образующейся окалины, которая в одних случаях играет роль смазки, а в других повышает коэффициент трения.

Температура. Считается, что в наиболее общем виде зависимость коэффициента трения от температуры может быть представлена кривой рис. имеющей максимум в интервале $500\text{--}800^\circ\text{C}$.

Список использованных источников

- 1 Thusty, J. Стабильность процесса обработки» / J. Thusty, M. Polacek // Инженерного дела для промышленности. – 1975. – №10. – 151–165 с.
- 2 Хан, А. А. Термический анализ режущего инструмента в процессе обработки / А. А. Хан, А. А. Миан // Международный журнал передовых производственных технологий. – 2015. – №2. – 15–21.
- 3 Хуан, И. Динамическое моделирование процессов резания с учетом износа инструмента и вибрации / И. Хуан, В. Чжан // Производственные процессы. – 2017. – №40. – 121–125 с.

Скоростная асимметрия при холодной прокатке круглой заготовки в цилиндрических валках

Студент гр.10402321 Чжан Чэньчжэ

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

г.Минск

Среди многих применяемых в настоящее время способов прокатки круглой заготовки в цилиндрических валках (на гладкой бочке) наиболее распространенными являются плетение и прокатка (протяжка) в многовалковых калибрах. Для решения специальных технологических задач часто используют асимметричную прокатку, среди многих реализуемых схем которой выделяется скоростная асимметрия, создаваемая для регулирования процесса деформации, так как, в отличие от других видов асимметрии, его относительно просто регулировать во время деформации. Наиболее распространенным способом реализации скоростной асимметрии является изменение соотношения диаметра валков до 1,7, что позволяет уменьшить усилие прокатки на 10–20 % [1].

Целью данной работы является аналитическое и экспериментальное исследование процесса холодной прокатки круглой заготовки на стане асимметричной прокатки.

В качестве метода исследования применен комплекс конечно-элементного моделирования Deform-3d. Диаметр валков 340 мм. Заготовка принималась как пластическое тело стали марки 80P. Длина заготовки 100 мм, диаметр 12,1 мм. Трение принималось по закону Кулона со значением, равным 0,3. Зазор между валками во всех экспериментах постоянный и равен 8,0 мм. В ходе моделирования изменялась скорость вращения валков и, соответственно, соотношение скоростей (таблица 1).

Таблица 1 – Скорости валков и их соотношение

Скорость верхнего валка, об/мин	Скорость нижнего валка, об/мин	Соотношение скоростей $V_{\text{инж}}/V_{\text{верх}}$
4	4	1
2,8	5,6	2
3	9	3
2	8	4
2	10	5

Для исследования неравномерности деформации по радиусам исходной заготовки были нанесены точки через 1 град (рисунок. 1). Точки наносились по радиусам 6,0, 4,5, 3,0, 1,5 и 0 мм. Для оценки напряженного состояния в Deform-3d построены поля распределения коэффициента жесткости схемы Смирнова-Аляева [2] и поля распределения показателя Лоде-Надаи [3].

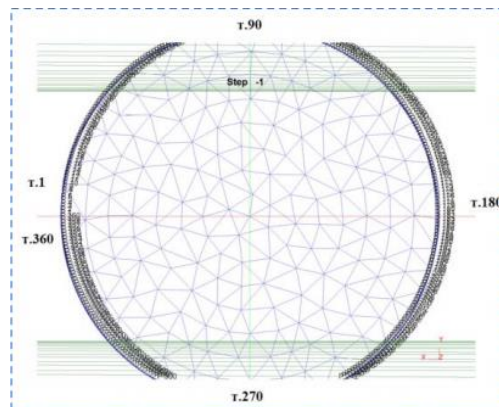
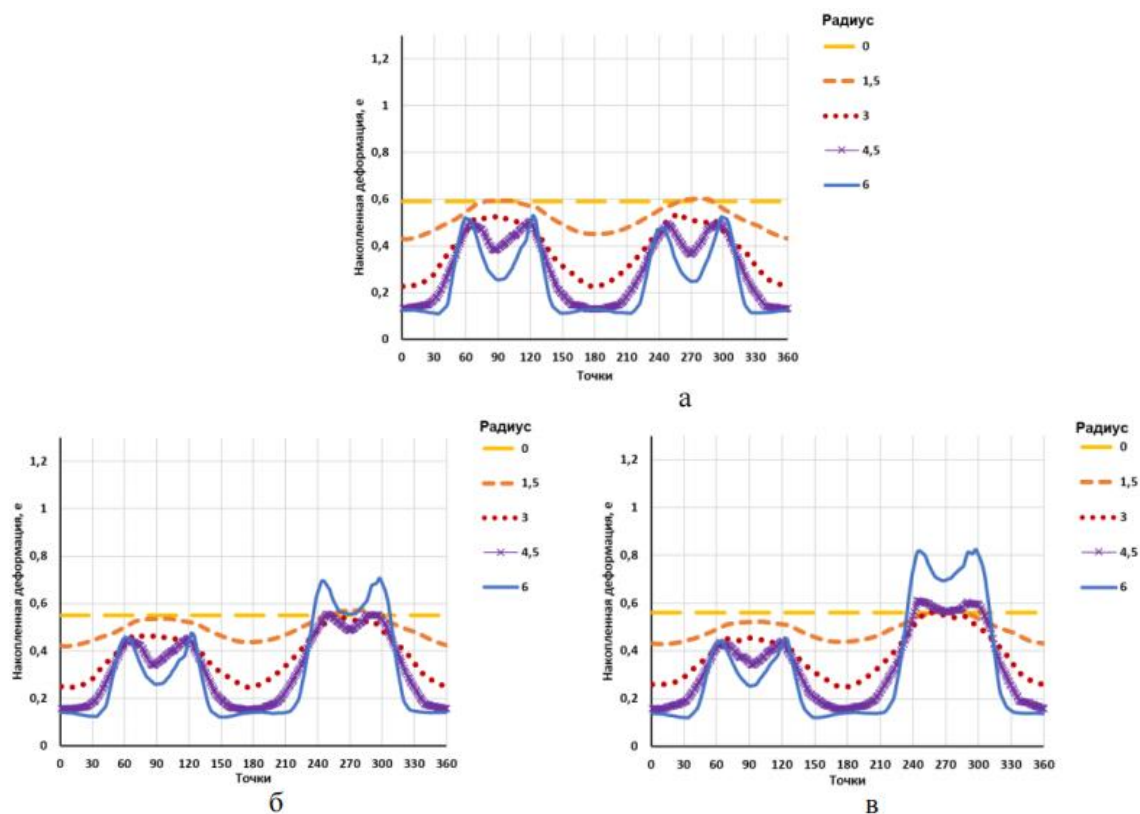


Рисунок 1 – Схема нанесения точек на заготовку

В результате моделирования и обработки полученных данных были построены графики распределения накопленной степени деформации (рисунок 2). Из Рисунок 2 видно, что при симметричной прокатке накопленная деформации распределяется симметрично по сечению под валками (т. 60 и т. 120, т. 240 и т. 300) и максимальное ее значение в поверхности равно 0,52. В то же время в центре наблюдается самая большая накопленная степень деформации 0,6, что говорит о полной проработке центра заготовки. С увеличением отношения скоростей валков от 2 до 5 значение накопленной деформации в центре заготовки уменьшается до минимальной величины, равной 0,5 при соотношении скоростей $V_{\text{ниж}} / V_{\text{верх}} = 5$ (рисунок 2, д).



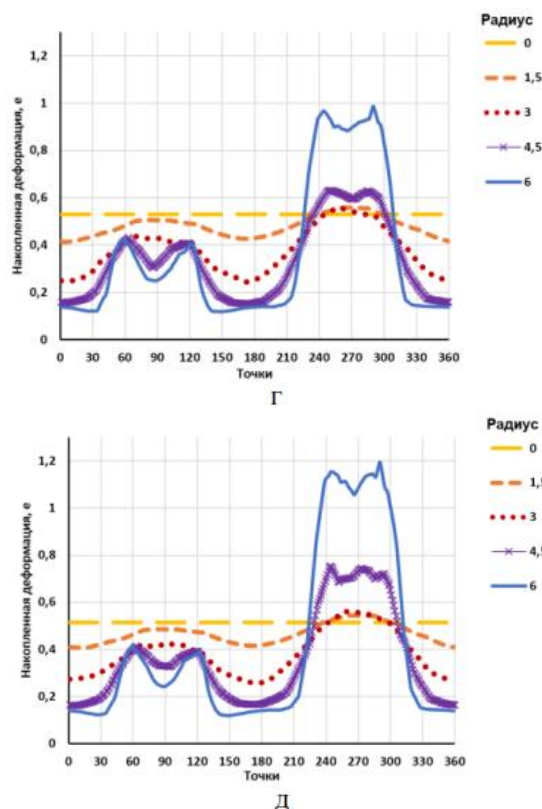


Рисунок 2. Распределение накопленной степени деформации по сечению заготовки после прокатки с соотношением скоростей валков:

а – $V_{\text{ниж}}/V_{\text{верх}} = 1$; б – $V_{\text{ниж}}/V_{\text{верх}} = 2$; в – $V_{\text{ниж}}/V_{\text{верх}} = 3$; г – $V_{\text{ниж}}/V_{\text{верх}} = 4$; д – $V_{\text{ниж}}/V_{\text{верх}} = 5$

С увеличением отношения скоростей валков интенсивно меняется величина накопленной деформации по сечению. Рассмотрим точки т. 60 и т. 120. Они находятся под верхним валком, который вращается с меньшей скоростью. Значение накопленной степени деформации незначительно уменьшается с 0,52 до 0,43 при увеличении соотношения скоростей вращения валков от 2 до 5. В то время как в точках т. 240 и т. 300 накопленная деформация значительно увеличивается с 0,4 до величины 1,2 при соотношении скоростей 5 (рисунок 2, б-д).

Список использованных источников

- 1 Бровман, М. Я. Применение теории пластичности в прокатке / М. Я. Бровман. – М.:Металлургия, 1991. – 254с.
- 2 Терентьев, Д. В. Оценка напряженно-деформированного состояния сталемедной проволоки при волочении в монолитной волоке на основе моделирования / Д.В. Терентьев, М.Ю. Усанов, Е.С. Шеметова [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. – № 3. – С. 170–177.
- 3 Аркулис, Г.Э.Теория пластичности / Г. Э. Аркулис, В. Г. Дорогобид. – М.: Металлургия, 1987. 352 с.

Использование ультразвука при продольной прокатке

Студенты: гр. 10402221 - Чёрный А. Г.,
10402223 - Глушин И.С.

Научный руководитель – Жогло А. Г.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Применение ультразвуковых технологий в процессе продольной прокатки оказывает значительное влияние как на качество конечного продукта, так и на эффективность производственного процесса. Вот несколько ключевых аспектов:

1 Контроль качества

Ультразвуковые технологии позволяют проводить неразрушающий контроль (НК) материалов на различных стадиях производства. Это помогает выявлять внутренние дефекты, такие как трещины, поры или включения, которые могут негативно сказаться на прочности и долговечности конечного продукта.

2 Мониторинг процессов

Ультразвук может использоваться для мониторинга параметров прокатки в реальном времени, таких как температура, давление и скорость прокатки. Это позволяет оперативно корректировать параметры процесса, что способствует улучшению стабильности и однородности.

3 Оптимизация технологических параметров

Использование ультразвука помогает в оптимизации технологических режимов прокатки, что может привести к улучшению механических свойств материалов. Например, можно добиться более равномерного распределения напряжений и деформаций.

4 Улучшение механических свойств

Ультразвуковая обработка может способствовать улучшению структуры материала, что приводит к повышению его прочностных характеристик. Это особенно важно для металлов и сплавов, где однородность структуры критична для конечных эксплуатационных свойств.

Использование ультразвука в процессе продольной прокатки оказывает заметное влияние на механические свойства обрабатываемых материалов. Ультразвуковая обработка может способствовать более равномерному распределению и уменьшению размера зерен в металлах и сплавах [1]. Это приводит к повышению прочности и пластичности материалов, так как мелкозернистая структура обычно обладает лучшими механическими свойствами.

Ультразвук может помочь в релаксации внутренних напряжений, возникающих в процессе деформации. Это особенно важно для предотвращения трещинообразования и улучшения стойкости материала к механическим нагрузкам. При использовании ультразвука в процессе прокатки возможно улучшение таких характеристик, как предел текучести и прочность на разрыв. Ультразвуковая обработка способствует более равномерному распределению деформаций, что улучшает общие механические свойства.

Современные технологии ультразвукового контроля (УК) играют важную роль в металлургической отрасли, обеспечивая высокую степень надежности и безопасности продукции. Вот основные технологии и их интеграция в производственные процессы:

1 Ультразвуковая дефектоскопия

Это одна из самых распространенных технологий, используемых для обнаружения внутренних дефектов в металлах и сплавах. Применяются как ручные, так и автоматизированные системы:

– Ручные дефектоскопы: используются для проверки сварных швов и готовых изделий. Оператор перемещает зонд по поверхности материала, получая данные о наличии трещин, пор, включений и других дефектов.

– Автоматизированные системы: включают в себя роботизированные установки с ультразвуковыми датчиками, которые могут проводить контроль на конвейерных линиях. Это позволяет существенно увеличить скорость и точность контроля.

2 Ультразвуковая спектроскопия

Применяется для определения состава материалов и их свойств. Это особенно важно для контроля качества сплавов и определения их соответствия заданным спецификациям [2].

Современные технологии ультразвукового контроля становятся неотъемлемой частью металлургической отрасли, обеспечивая высокую степень надежности и качества продукции. Интеграция этих технологий в производственные процессы позволяет повысить эффективность контроля, снизить затраты на брак и улучшить общую безопасность изделий. Ультразвук может использоваться для мониторинга температуры и других параметров прокатки, что позволяет оптимизировать процесс и достигать заданных механических свойств. Например, поддержание оптимальной температуры во время прокатки может предотвратить нежелательные изменения в структуре материала.

Список используемых источников

1 Информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.net/5_53650_osnovnie-vidi-prokatki--sortament-prokatki.html. – Дата доступа: 20.04.2025.

2 Интернет-энциклопедия Металлообработка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/tehnologiya-ultrazvukovoy-obrabotki-metallov/>. – Дата доступа: 20.04.2025.

Исследование влияния параметров экструзии на микроструктуру и механические свойства металлических сплавов

Студент гр. 10402221 Петрушенко М. М., гр. 10402223 Пенязь Е.Н.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Экструзия – это процесс формования материалов, при котором исходный материал (обычно в виде гранул или порошка) под высоким давлением продавливается через матрицу с заданным сечением. Этот метод широко используется в различных отраслях, включая производство пластиковых и металлических изделий.

Экструзия является одним из ключевых процессов в производстве металлических изделий, позволяющим формировать детали сложной геометрии с заданными механическими свойствами. Параметры экструзии, такие как температура, скорость и давление оказывают значительное влияние на микроструктуру и механические свойства металлических сплавов. В данной статье рассматриваются основные аспекты влияния этих параметров на характеристики сплавов, а также приводятся примеры из научных исследований.

Температура экструзии является одним из наиболее критичных параметров, влияющих на микроструктуру и механические свойства сплавов. При высокой температуре происходит активизация диффузионных процессов, что способствует улучшению пластичности и снижению прочности материала. Например, в исследованиях было показано, что экструзия сплава Mg-4Zn-1Mn-0,5Ca, экструдированного при разных температурах заметно различалась (рисунок 1) [1].

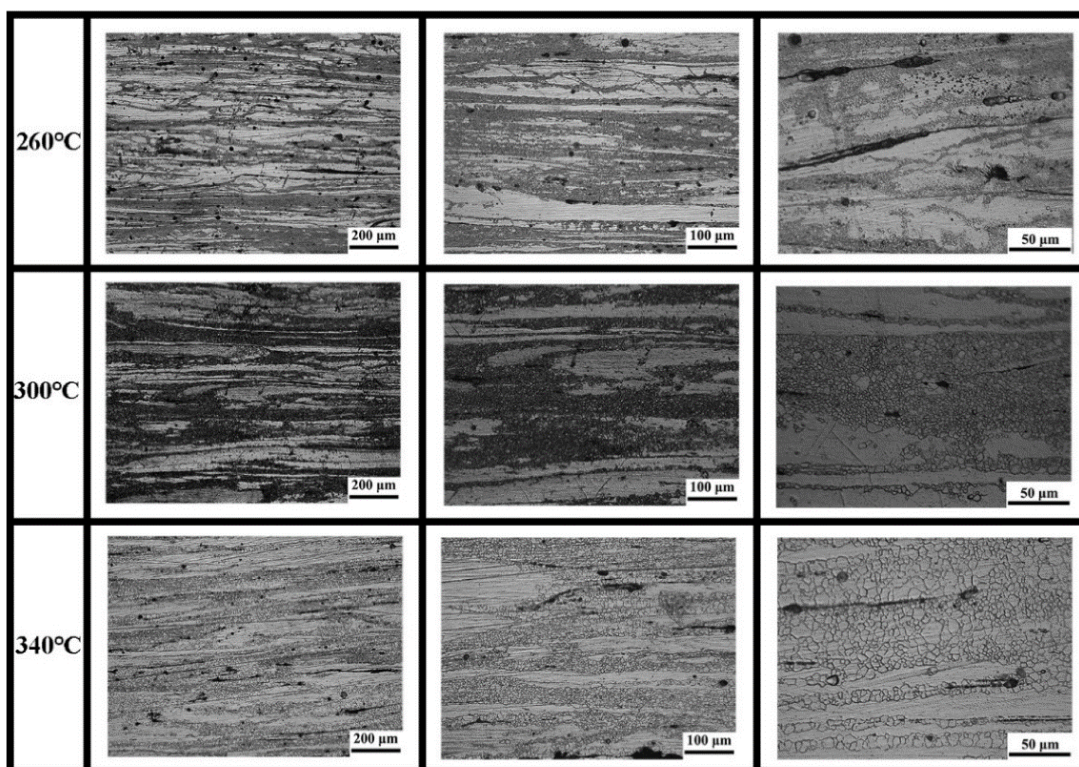


Рисунок 1 – Экструзия сплава Mg-4Zn-1Mn-0,5Ca при различных температурах

Скорость экструзии также играет важную роль в формировании микроструктуры (рисунок 2). Высокая скорость может привести к образованию неравномерной структуры, что

негативно сказывается на механических свойствах. Исследования показывают, что оптимальная скорость экструзии в 0,1 мм/с позволяет достичь баланса между прочностью и пластичностью, что особенно важно для применения в аэрокосмической и автомобильной промышленности.

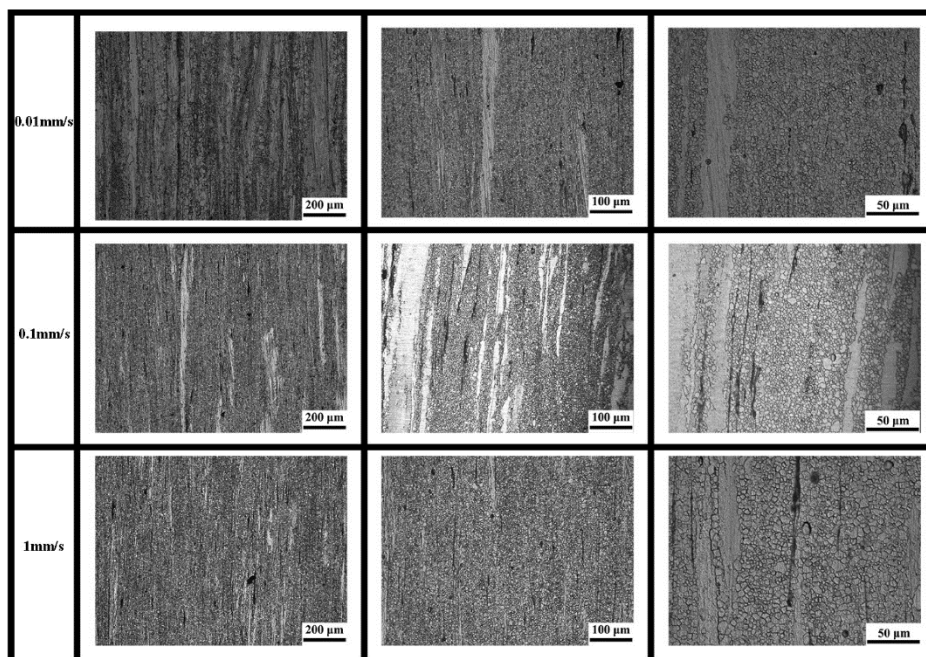


Рисунок 2 – Экструзия сплава Mg-4Zn-1Mn-0,5Ca при различных скоростях

Более высокое давление способствует лучшему заполнению формы и уменьшению дефектов, таких как пористость. Однако чрезмерное давление может привести к образованию трещин и других дефектов, что негативно сказывается на механических свойствах.

Микроструктура металлических сплавов, полученных методом экструзии, определяется комбинацией вышеупомянутых параметров. Например, в исследованиях титанового сплава TA15 было установлено, что экструзия при температуре 1050 °C приводит к образованию пластинчатой структуры, которая обладает высокими механическими свойствами, в то время как экструзия при более низких температурах приводит к образованию двухфазной структуры с меньшей прочностью (рисунок 3) [2].



Рисунок 3 – Структура сплава TA15 при температуре экструзии в 1050 °C

Список использованных источников

1 Влияние горячей экструзии на микроструктуру, текстуру и механические свойства сплава Mg-Zn-Mn-0,5Ca [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com>. – Дата доступа: 11.10.2024.

2 Влияние состава сплава на микроструктуру и механические свойства титанового сплава TA15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.bjctitanium.com>. – Дата доступа: 11.10.2024.

Анализ деформации металлов при глубокой вытяжке

Студент гр. 10402221 Сосункевич К. Н.

Научный руководитель – Жогло А.Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Существует два основных метода анализа глубокой вытяжки: экспериментальный и аналитический/численный. Экспериментальный анализ может быть полезен для изучения процесса с целью определения параметров, которые обеспечат производство изделия без дефектов, а аналитическое/численное моделирование может быть использовано для моделирования и анализа процесса на всех стадиях деформации. Этот подход менее трудоемкий и более экономичный. Формование листового металла часто включает биаксиальную деформацию в плоскости с непропорциональными путями напряжений. При глубокой вытяжке цилиндрической чашки деформация во фланце в основном обусловлена чистым сдвигом, тогда как в момент вытяжки материала в штамп она переходит в плоскую деформацию. В статье рассматривается анализ глубокой вытяжки круглых заготовок в осесимметричную цилиндрическую чашку с использованием численного моделирования. Способность заготовки к вытяжке была связана как теоретически, так и экспериментально с начальным диаметром заготовки и параметрами глубокой вытяжки.

Производство высококачественной продукции за короткое время и по низкой цене является основной целью в производстве. Чтобы избежать проб и ошибок, симуляция процессов формования листового металла все чаще используется в штамповочной промышленности для оценки путей деформации и дефектов формования, таких как разрушение и смятие. Многие исследовательские группы продолжают разрабатывать и совершенствовать программы конечных элементов для анализа, когда уже выполнен первоначальный проект заготовки и инструмента, а условия формования определены [1, 2].

Инструменты анализа основаны на мембранных, оболочечных или даже твердых элементах, с использованием статических или динамических, неявных или явных методов. Эти инструменты анализа могут быть весьма точными при использовании квалифицированными инженерами, но они являются трудоемкими и требуют дорогих вычислительных ресурсов. Компьютерное моделирование также может быть очень привлекательным и полезным для инженеров по процессам и инструментам при определении начальной заготовки (толщина, контур и поверхность), некоторых параметров процесса (граничные условия, силы зажима, условия смазки, типы и положения вытягивания и т. д.) и свойств материала (предел текучести, упрочнение, анизотропия и т. д.). В последнем десятилетии было разработано множество методов. Они в основном основаны на том, что форма желаемой детали известна. Затем проводится сравнение с первоначальной плоской заготовкой для оценки деформации конечного изделия с учетом простых конститутивных уравнений и предположений относительно действия инструмента. Эти упрощенные процедуры получили различные названия: «метод геометрического отображения», «одно- и многоэтапные формовочные рецептуры», «одноэтапное решение», «идеальная теория формования», «обратный подход» и «упрощенный подход».

Существует аналитический метод, называемый «Различные методы деформации». Рисунок 1 показывает различные режимы деформации, которые могут возникнуть при вытягивании чашки. Принимается что любой тип деформации в листе может быть представлен точкой на диаграмме ε_p против ε_θ , где ε_p – это главная деформация в плоскости листа, а ε_θ – деформация, перпендикулярная ε_p . Деформация толщины ε_z определяется по закону сохранения объема. Эта диаграмма показывает различные типы деформации, возможные при вытяжке. Режим деформации визуально представлен на графике через деформацию круга. На

практике величина и режим деформации компонента измеряются с помощью оптического метода, используя полный рисунок кругов или точек, напечатанных на заготовке до деформации.

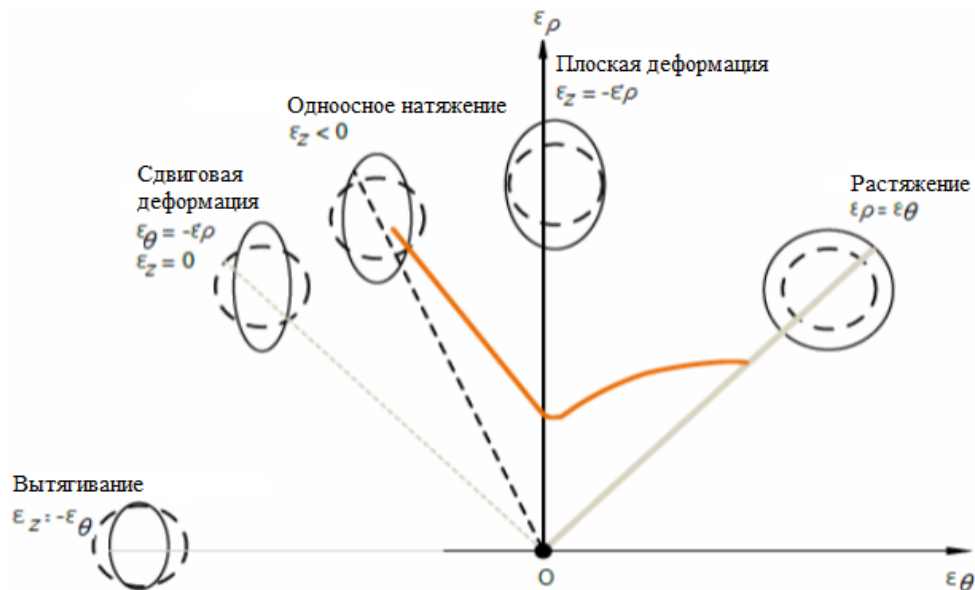


Рисунок 1 – Диаграмма деформации при формовании стали, показывающая типичную предельную кривую формования стальных заготовок

Характерные случаи или режимы деформации включают:

1) Растяжение или биаксиальное натяжение: сопровождается уменьшением толщины и обычно происходит в сферических формах, таких как на носике штампа. Величина деформации в основном определяется формой и сжимающей силой, действующей на фланец, оказываемой зажимом заготовки.

2) Плоская деформация в натяжении: обычно происходит в вертикальных стенках детали, из-за растягивающего напряжения, вызванного удержанием под зажимом заготовки, или непосредственно перед окончанием формования, когда скольжение в инструменте ограничено.

3) Одноосное натяжение: это ситуация, встречающаяся при проведении испытания на растяжение образца, и она возникает в переходных зонах между областями плоской деформации в натяжении и плоской деформации в сжиме.

4) Сдвиговая деформация: представляет собой идеальный режим формования; здесь все растягивающие деформации компенсируются сжимающими деформациями, так что толщина остается постоянной. Этот тип деформации может происходить под зажимом заготовки, если поток материала равномерный (осесимметричное вытягивание).

5) Вытягивание: связано с утолщением из-за уменьшения ширины (окружности). Обычно это неизбежно при глубоком вытягивании, но может быть контролируемо под зажимом заготовки. Однако его возникновение в неподдерживаемых областях приведет к образованию смятий или складок. [3]

Существует так же экспериментальный метод. Листовой металл, использованный в данном исследовании, был 2 мм толщиной и имел диаметр 148,5 мм, изготовлен из углеродистой стали по немецкому стандарту DIN-EN10130-FePO4-(St14).

Матрица была изготовлена из стали СК 45 средней углеродистости, при этом поверхность штампа и матрицы была нитридирована для повышения твердости. В качестве смазки использовалась полиэтиленовая бумага (нейлон). Исходный размер листа был 148,5 см в диаметре, что определяло направление прокатки. После вытягивания были вычислены

деформации в направлении прокатки. Процесс вытягивания показан на рисунке 2. Для вытягивания чашек использовался гидравлический пресс мощностью 50 тонн.

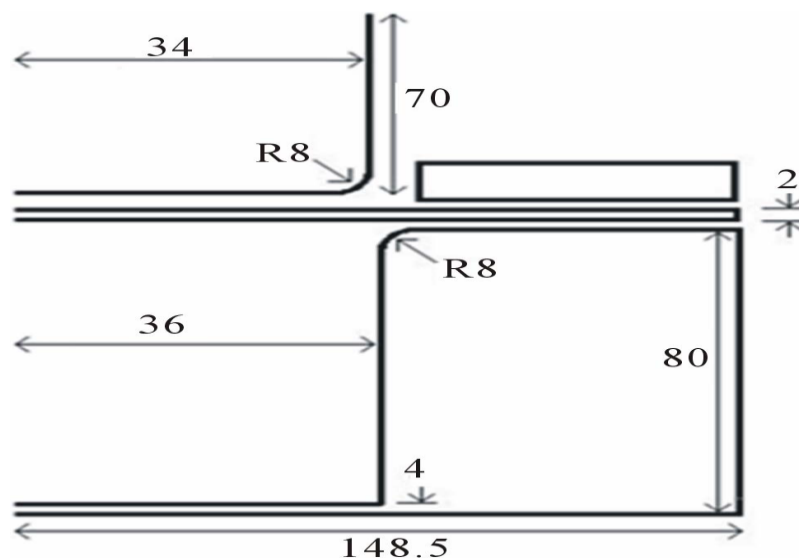


Рисунок 2 – Схема процесса вытяжки цилиндрической чашки

После процесса вытяжки вытянутые детали были нарезаны в направлении прокатки, и толщина измерялась в соответствии с рисунком 3.

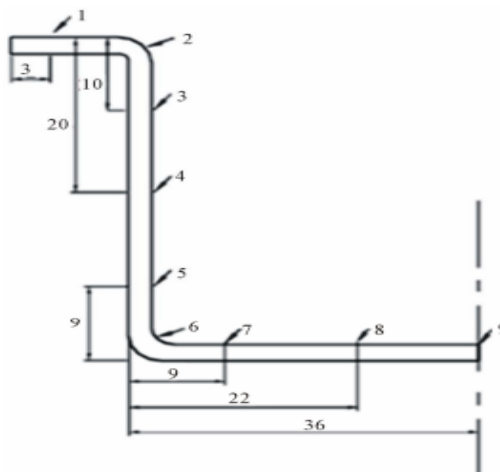


Рисунок 3 – Измерения позиций после вырезания вытянутых чашек

Согласно результатам этого исследования, для заготовки толщиной 2 мм максимальное утончение в вытянутых чашках происходит в позиции 6 и составляет около 18% от толщины заготовки. Максимальное утолщение происходит в позиции 1 и составляет около 11% от толщины заготовки. Схематические изменения толщины в вытянутой чашке в процессе глубокого вытягивания показаны на рисунке 4 [4].

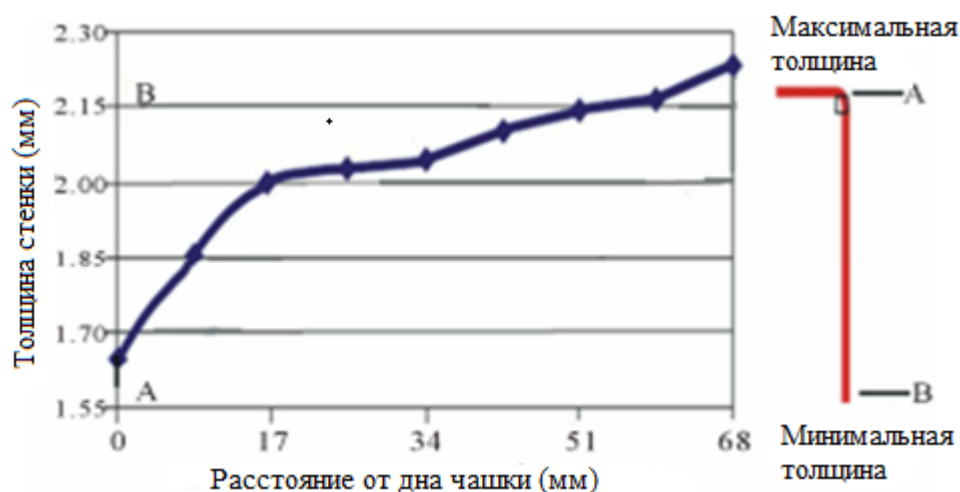


Рисунок 4 – Схематическое изображение изменения толщины в процессе вытягивания чашки

По итогу была рассмотрена диаграмма, отображающая различные возможные типы деформации. Были проведены эксперименты для сопоставления результатов с аналитическим методом. Результаты экспериментов совпадают с теоретическими данными. Этот анализ полезен для предсказания изменения толщины продукции до проведения реального процесса вытягивания. Он может быть использован для оценки критической толщины, при которой происходит разрушение продукции, а также для определения минимального зазора между матрицей и пуансоном для последующего процесса металлообработки.

Список использованных источников

- 1 Metal forming process simulation in industry : papers from Intern. Conf. and Workshop., Baden, 28 – 30 Sept. 1994 / Germany ; ed.: B. Kroplin [et al.]. – Baden : Univ. of Stuttgart, 1994. – 30 p.
- 2 Sheet Metal forming simulations with a friction model based on local contract conditions : papers from the 3rd Intern. conf. on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes., Dearborn, 29 Sept.–3 Oct. 1996 / Univ. of Ohio ; ed.: G. L. Kinzel [et al.]. – Columbus : Univ. of Ohio, 1996. – 135 p.
- 3 ArcelorMittal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fce.arcelormittal.com/repository/fce/PDF-technical-chapters/Prcat_Deepdrawing.pdf. – Дата доступа: 23.04.2025.
4. ResearchGate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/272667920_Theoretical_and_Experimental_Analysis_of_Deep_Drawing_Cylindrical_Cup. – Дата доступа: 23.04.2025.

Гидропрессование

Студент гр. 10402221 Гирицкий А. И.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Гидропрессование – это технологический процесс, используемый для формирования и обработки материалов под высоким давлением жидкости. Этот метод широко применяется в различных отраслях промышленности, включая производство деталей для автомобильной, авиационной и других отраслей. В данной работе будет рассмотрен обзор выполнения процесса гидропрессования, его основные этапы и применение.

Метод основан на принципе передачи давления через жидкость. В процессе используется герметичная камера, заполненная жидкостью, которая окружает обрабатываемую деталь. При применении давления жидкость передает его детали, что позволяет равномерно распределить нагрузку по всей поверхности. Этот метод позволяет производить детали сложной формы с высокой точностью и качеством.

Жидкость обеспечивает равномерное воздействие на всю поверхность детали, что особенно важно при обработке материалов сложной формы. Гидропрессование позволяет производить детали с точностью до $\pm 0,1$ мм. Кроме того, процесс может быть более экономичным по сравнению с традиционными методами обработки, особенно при производстве небольших партий [1].

Технология гидропрессования представляет собой процесс формовки заготовок под высоким давлением рабочей жидкости. Перед началом работ необходимо подготовить оборудование: гидропресс проверяют на герметичность и калибруют, а заготовки очищают от загрязнений и проверяют на соответствие заданным параметрам. Особое внимание уделяют форме (матрице), поскольку от ее точности напрямую зависит качество готовой детали.

На следующем этапе подготовленную заготовку помещают в матрицу, которую затем фиксируют в гидрокамере. После этого камеру заполняют рабочей жидкостью, и с помощью насоса создают высокое давление, достигающее сотен мегапаскалей. Под действием этого давления жидкость равномерно воздействует на заготовку, придавая ей необходимую форму.

Для завершения процесса заготовку выдерживают под давлением в течение определенного времени, которое зависит от материала и сложности детали. Это позволяет добиться стабильной структуры и точного соответствия форме. Затем давление плавно снижают, готовую деталь извлекают из камеры и при необходимости подвергают финишной обработке. Такой метод обеспечивает высокую точность изготовления и используется для производства сложных металлических и композитных деталей [2].

Гидропрессование широко используется в различных отраслях промышленности. В авиационной и космической промышленности оно применяется для производства деталей сложной формы из легких сплавов, таких как алюминий и титан. Эти детали используются в конструкции самолетов и космических кораблей. В автомобильной промышленности гидропрессование используется для изготовления деталей кузова и других компонентов. Гидропрессование позволяет производить детали с высокой точностью и качеством, что важно для безопасности и внешнего вида транспортных средств.

В медицинской промышленности гидропрессование используется для производства имплантатов и других медицинских изделий. Гидропрессование позволяет создавать детали сложной формы, которые необходимы для современных медицинских технологий.

Гидропресс состоит из нескольких ключевых компонентов: гидрокамеры, насоса и формы или матрицы. Гидрокамера – это герметичная камера, в которой происходит процесс формирования. Насос используется для создания высокого давления. Форма или матрица

определяет окончательную форму детали. Схема устройства для гидропрессования показана на рисунке 1. Гидропрессование может применяться к различным материалам, включая металлы, полимеры и композиты. Выбор материала зависит от требований к детали и области применения.

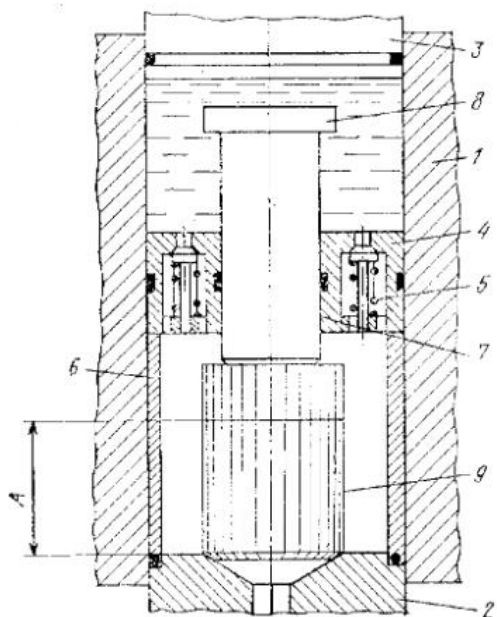


Рисунок 1 – Схема установки для гидропрессования:

1 – контейнер; 2 – матрица; 3 – пресс-штемпель; 4 – шайба; 5 – подзапорный клапан;
6 – распорная втулка; 7 – осевое отверстие; 8 – стержень; 9 – заготовка

Гидропрессование является эффективным методом обработки материалов, позволяющим производить детали высокой точности и качества. Его применение в различных отраслях промышленности обусловлено способностью равномерно распределять нагрузку и формировать сложные формы. Дальнейшее развитие технологий гидропрессования будет способствовать расширению его применения в новых областях промышленности.

Список использованных источников

- 1 Металлургия: справочник / А.И. Целиков [и др.]; под общ. ред. В.И. Зюзина., А.В.Третьякова. – Москва, 1982. – 335 с.
- 2 Колпашников, А.И. Гидропрессование металлов. / А.И. Колпашников, В.А. Вялов. – Москва, 1973. – 296 с.

Штамповка взрывом

Студент гр. 10402221 Юнчиц А. А.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Штамповка взрывом – это уникальный метод обработки металлов давлением, основанный на использовании энергии взрыва для придания заготовке формы матрицы. Этот метод применяется в различных отраслях промышленности, включая авиационную, судостроительную и машиностроительную. Его основное преимущество заключается в возможности обработки крупногабаритных деталей и материалов с высокой прочностью, которые сложно поддаются традиционным методам штамповки [1].

Суть взрывной штамповки заключается в воздействии ударной волны, образующейся при детонации взрывчатого вещества (ВВ), на металлическую заготовку. Взрывная волна передает энергию через промежуточную среду (воду, песок или воздух), используя пластическую деформацию металла и его формирование по контуру матрицы [2]. На рисунке 1 представлена схема штамповки взрывом.

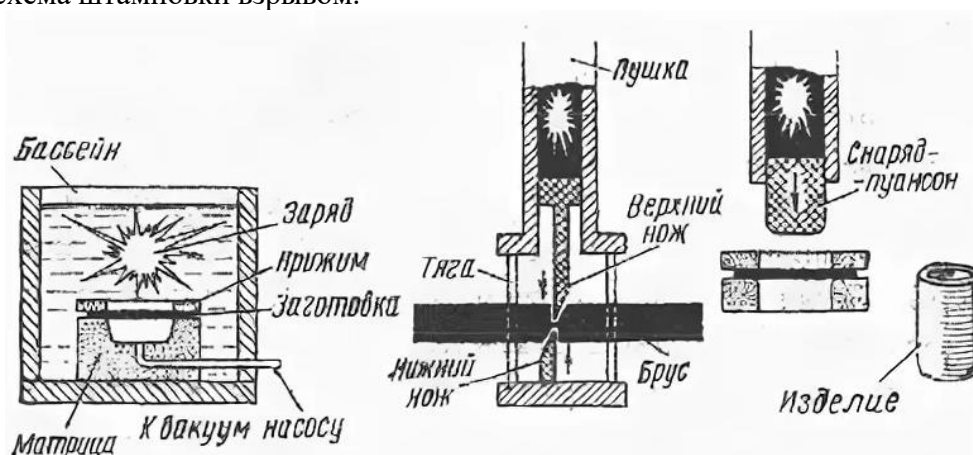


Рисунок 1 – Схема штамповки взрывом

Основными этапами процесса являются: подготовка заготовки и матрицы, установка заготовки на матрицу и размещение заряда ВВ, детонация заряда, создание ударной волны. Деформация заготовки под действием энергии взрыва, охлаждение и извлечение готовой детали.

Для взрывной штамповки обычно применяются бризантные взрывчатые вещества, такие как тротил (тринитротолуол). Эти вещества обладают высокой скоростью детонации (до 7000 м/с) и создают значительное давление (до 133 000 кгс/см²).

Матрицы для взрывной штамповки изготавливаются из различных материалов в зависимости от размеров и сложности деталей: металлические матрицы (для небольших деталей), железобетонные или деревянные матрицы с облицовкой стеклопластиком (для крупногабаритных деталей).

Чаще всего используется вода, которая эффективно передает энергию взрыва и снижает воздействие ударной волны на окружающую среду. Также применяются песок или воздух для специфических задач.

Преимуществами метода можно отметить: стоимость оборудования для взрывной штамповки значительно ниже, чем гидравлических прессов аналогичной мощности, метод позволяет работать с высокопрочными и труднообрабатываемыми сплавами, такими как

титановые или молибденовые, универсальность: возможность изготовления крупногабаритных деталей сложной формы без необходимости сварки [2].

К недостаткам данного метода можно отнести: невозможность серийного производства из-за длительной подготовки процесса; высокие требования к безопасности при работе с ВВ; ограничения по глубине вытяжки за одну операцию.

Не смотря на недостатки данный метод широко используется для: формирования крупногабаритных оболочек, например, днищ резервуаров; для обработки высокопрочных сплавов в авиационной промышленности; также, для резки толстых листов металла кумулятивными зарядами.

Таким образом штамповка взрывом представляет собой эффективный метод обработки металлов давлением, который сочетает высокую производительность с низкими затратами на оборудование. Несмотря на ограничения, связанные с безопасностью и подготовкой процесса, этот метод остается востребованным благодаря своим уникальным возможностям. Развитие технологий взрывной штамповки способствует расширению её применения в различных отраслях промышленности.

Список использованных источников

1 Самохвало, В. Н. Высокоэнергетические методы размерной и упрочняющей обработки: учеб. пособие / В. Н. Самохвалов. – Самарский университет, 2019. – 73 с.

2 Штамповка взрывом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/129377/65-69.pdf?sequence=1>. – Дата доступа: 20.03.2025.

Технологический процесс изготовления шатунов на горизонтально-ковочной машине

Студент гр. 10402221 Вашкевич А. А.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национально технический университет
г. Минск

Горизонтально-ковочная машина (ГКМ) – предназначена для штамповки поковок в многоручьевых штампах (наборный, формовочный, прошивной, обрезающей). На ГКМ можно изготавливать поковки такой конфигурации, какую нельзя получить ни на какой другой кузнечной машине. Только некоторые из них можно получить штамповкой на молоте и прессе, да и то с очень большими отходами металла в заусенец (облой) или с большими напусками.

На ГКМ можно делать поковки с глубокими выемками и отверстиями, тонкими стенками; выступы и буртики на внешних поверхностях поковок можно выполнять небольшой высоты. Благодаря наличию у горизонтально-ковочных машин двух плоскостей разреза штампов уклоны назначаются только на тех поверхностях поковок, которые при нахождении их в пуансоне или в матрице перпендикулярны направлению действия удара. Величина уклонов обычно не превышает $1-2^\circ$. Получаемые на горизонтально-ковочной машине поковки по форме и размерам очень близки к готовой обработанной детали что позволяет получать заготовки с минимальными припусками.

Шатуны изготавливаются из легированных конструкционных сталей: 40Х, 38ХГМ, 38ХНЗМФА (ГОСТ 4543-2019) – для стандартных ДВС; 38ХМ, 38ХНЗМФА, 40ХН2МА (ГОСТ 4543-2019) – для высоконагруженных двигателей (авиационных, спортивных).

Первым этапом для изготовления шатуна резка, исходный материал – калиброванный прокат (круглый или шестигранный прутки). Резка выполняется:

- 1 Гильотинными ножницами (для малых серий);
- 2 Индукционной резкой (точный размер + отсутствие деформации);
- 3 Пилами-автоматами (для крупных заготовок).

После резки заготовку нагревают до $1100-1200^\circ\text{C}$ (зависит от марки стали) используя индукционные печи (быстрый нагрев, точный контроль температуры), газовые печи (для крупных партий, но менее точные), электропечи сопротивления (равномерный нагрев) [1].

Нагрев заготовку до нужной температуры отправляется на ГКМ для проведения дальнейших операций. Первой операцией идет осадка – уменьшение высоты болванки за счёт увеличения площади поперечного сечения. Заготовка помещается в первый ручей штампа, ползун сжимает металл формируя уширение в зоне будущих головок шатуна. После осадки уменьшается длина, увеличивается диаметр в зоне обработки.

Следующая операция протяжка (удлинение стержня шатуна), заготовка перекладывается во второй ручей, металл выдавливается в осевом направлении, формируя стержень шатуна. Следующей операцией заготовка перемещается в финишный ручей под высоким давлением формируются верхняя и нижняя головки (с необходимыми радиусными переходами), тело шатуна (с рёбрами жёсткости, если требуется), облой (избыток металла по линии разреза). После последнего этапа штамповки делается обрезка облоя штампованная заготовка имеет литниковый остаток. Обрезка выполняется в отдельном ручье ГКМ (если машина многопозиционная) также может на обрезающем прессе (кривошипном или гидравлическом). Схема всех операций по изготовлению шатунов приведено на рисунке 1:

- 1 Резка материала на заготовки;
- 2 Нагрев заготовки в печи;
- 3 Штамповка (переход 1);
- 4 Штамповка (переход 2);

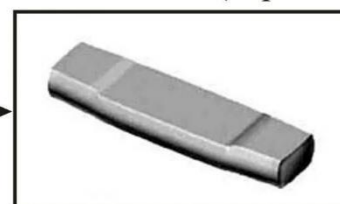
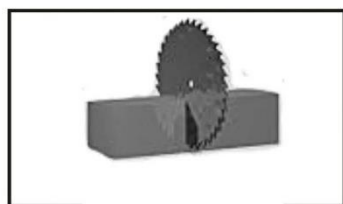
5 Штамповка (переход 3);

6 Удаление облоя и дополнительная обработка [2].

1. Резка мерных заготовок

2. Нагрев заготовки

3. Штамповка (переход 1)



4. Штамповка (переход 2)

5. Штамповка (переход 3)

6. Удаление облоя и дополнительные обработки

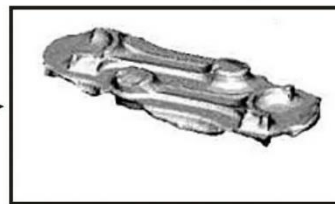


Рисунок 1 – Схема изготовления шатунов

Список использованных источников

1 Семенов, Е. И. Ковка и горячая штамповка: учебник / Е. И. Семенов. – М.: МГИУ, 2011. – 414 с.

2 Studfiles файловый архив студентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6328644/page:3/>. – Дата доступа: 10.04.2025.

Анализ деформации металла при глубокой вытяжке

Студент гр. 10402221 Лебедев Д. В.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Глубокая вытяжка – это процесс обработки металлов давлением, при котором плоская заготовка (обычно листовая) преобразуется в полое изделие (например, стакан, корпус детали и т. д.) под действием пуансона и матрицы. Этот метод широко применяется в автомобилестроении, авиации, производстве бытовой техники и других отраслях (рисунок 1).

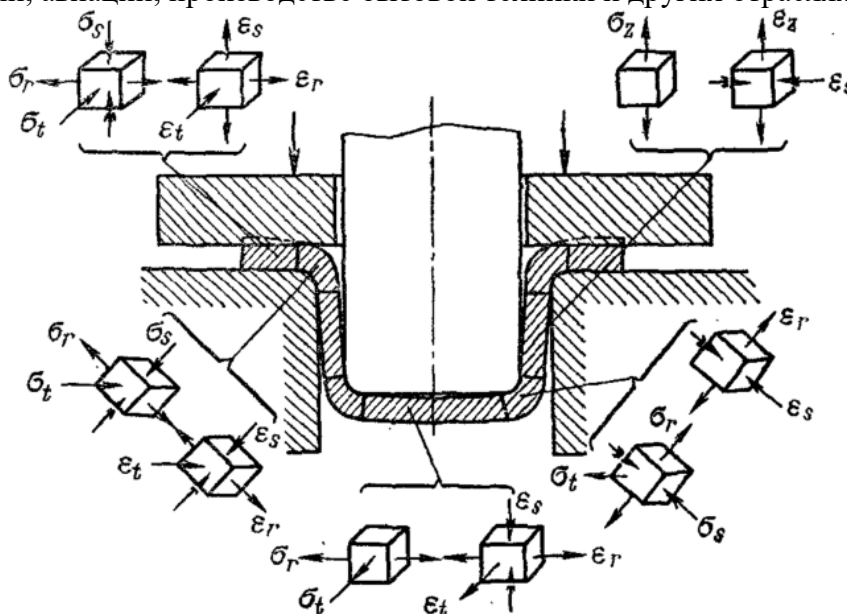


Рисунок 1 – Процесс вытяжки листовых металлов

Одной из ключевых проблем глубокой вытяжки является контроль деформации металла, так как неравномерное распределение напряжений может привести к дефектам (разрывам, гофрообразованию, утоньшению стенок). В данной статье рассматриваются основные аспекты деформации металла при глубокой вытяжке, методы её анализа и способы оптимизации процесса.

В процессе вытяжки металл подвергается сложному напряжённно-деформированному состоянию, включающему: радиальную деформацию – растяжение материала в радиальном направлении, тангенциальную деформацию – сжатие в окружном направлении, что может привести к образованию складок, деформацию утоньшения – уменьшение толщины стенки изделия, особенно в зоне перехода от дна к стенке. Наибольшие деформации наблюдаются в зоне фланца и радиуса вытяжки.

Для изучения деформации металла при глубокой вытяжке применяются следующие методы: экспериментальные методы: использование сетки (метод нанесения координатной сетки) – на заготовку наносится мелкая сетка, которая деформируется вместе с металлом, позволяя визуализировать распределение деформаций, цифровая корреляция изображений (DIC) – оптический метод, основанный на анализе изменений текстуры поверхности с помощью высокоскоростных камер, измерение толщины стенок – ультразвуковые или механические методы контроля толщины после вытяжки.

Численное моделирование (МКЭ) – метод конечных элементов (МКЭ) позволяет прогнозировать распределение напряжений и деформаций в процессе вытяжки. Популярные

программные комплексы: ANSYS, LS-DYNA, AutoForm, Deform – моделируют процесс с учётом пластичности материала, трения и геометрии инструмента.

Аналитические расчёты: использование формул, учитывающих коэффициент вытяжки

$$K = D_0 / d,$$

где D_0 – диаметр заготовки, мм.;

d – диаметр пуансона, мм., предельные степени деформации (определяются по диаграммам предельных деформаций).

На характер деформации при глубокой вытяжке влияют: свойства материала (коэффициент анизотропии, показатель упрочнения, предельная пластичность), геометрия инструмента (радиусы закругления матрицы и пуансона, зазор между ними), условия трения (смазка, шероховатость поверхностей), скорость деформирования (влияет на нагрев и пластичность)

Дефекты глубокой вытяжки и способы их предотвращения: разрыв – возникает при превышении допустимой степени деформации. Решение: оптимизация коэффициента вытяжки, улучшение смазки, гофрообразование – следствие потери устойчивости фланца. Решение: применение прижимных плит, увеличение радиуса матрицы, утоньшение стенок – корректируется выбором материала с высокой пластичностью и оптимизацией режимов вытяжки [2].

Анализ деформации металла при глубокой вытяжке позволяет оптимизировать технологический процесс, снизить количество брака и повысить качество изделий. Современные методы (экспериментальные, численные и аналитические) дают возможность точно прогнозировать поведение материала и выбирать оптимальные параметры вытяжки.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых композитных материалов и усовершенствование методов моделирования для сложных асимметричных деталей.

Список использованных источников

1 Семенов, Е. И. Методы ОМД: учебное пособие / Е. И. Семенов. – М.: Московский государственный технический университет, 2013. – 164 с.

2 Интернет-журнал «Proplast» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proplast.ru/articles/press-formyi/>. – Дата доступа: 24.03.2025.

Использование ультразвука при поперечной прокатке

Студент гр. 10402221 Лукашевич В. В.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национально технический университет
г. Минск

Ультразвуковые технологии активно внедряются в металлургию и машиностроение для интенсификации процессов и повышения качества продукции. В частности, их применение в поперечной прокатке – методе обработки металлов, где валки вращаются в одном направлении, придавая заготовке вращательное движение – открывает новые возможности для управления структурой материала и снижения энергозатрат [1]. Статья анализирует роль ультразвука в этом процессе, основываясь на экспериментальных данных и существующих исследованиях.

1 Механизм воздействия ультразвука на процесс прокатки

Ультразвуковые волны в поперечной прокатке генерируются специальными устройствами, создающими высокочастотные вибрации. Эти колебания оказывают следующие эффекты:

- уменьшение сил трения между валками и заготовкой за счет акустической кавитации, что снижает энергопотребление;
- модификация структуры металла: ультразвук способствует дегазации, ускоряет кристаллизацию и улучшает распределение легирующих элементов;
- снижение износа валков благодаря уменьшению контактных напряжений, что подтверждается исследованиями литых секторов в горячей прокатке.

Применение ультразвука в технологических процессах

- при поперечной прокатке ультразвук улучшает пластичность материала, позволяя достигать более высоких степеней деформации без разрушения. Это особенно актуально для труднообрабатываемых сплавов;
- ультразвуковой контроль (УЗК) используется для выявления внутренних дефектов в прокате, таких как трещины или неметаллические включения. Для поперечной прокатки критически важно учитывать анизотропию свойств металла, что требует адаптации методик контроля [2];
- ультразвук эффективно удаляет окалину и загрязнения валков и заготовок, повышая чистоту поверхности проката. Это сокращает количество брака и увеличивает межремонтные периоды оборудования.

2 Преимущества и недостатки

Преимущества:

- снижение энергозатрат на 15–20 % за счет уменьшения коэффициента трения;
- повышение износостойкости инструмента на 30–40 %;
- улучшение механических свойств проката (прочность, вязкость).

Недостатки:

- высокая стоимость ультразвуковых установок;
- сложность интеграции в существующие прокатные станы;
- ограниченные данные по долгосрочным эффектам ультразвука на микроструктуру металлов [3].

Использование ультразвука в поперечной прокатке демонстрирует значительный потенциал для модернизации металлургического производства. Однако для масштабного внедрения требуются дальнейшие исследования в области оптимизации параметров ультразвукового воздействия и разработки экономически доступных технологий.

Список использованных источников

1 Технология ультразвуковой обработки металлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/tehnologiya-ultrazvukovoy-obrabotki-metallov/>. – Дата доступа: 19.04.2025.

2 Практическое применение высокоинтенсивных ультразвуковых колебаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://u-sonic.ru/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/ultrazvukovye-kolebaniya/prakticheskoe-primenenie-vysokointensivnykh-ultrazvukovykh-kolebaniy/>. – Дата доступа: 19.04.2025.

3 Выставка металлообработки NMF-2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nmf-expo.ru/articles/tekhnologii-ultrazvukovoj-obrabotki-metallov>. – Дата доступа: 19.04.2025.

Использование метода горячего формования для производства сложных деталей

Студент гр. 10402221 Кусиков А. С.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Метод горячего формования – это технологический процесс, применяемый для производства сложных деталей из металлов, композиционных материалов или термопластов путем нагрева заготовки до высокой температуры с последующим формованием под давлением.

Основные этапы горячего формования: материал нагревается до температуры, при которой он становится пластичным (ниже температуры плавления). Размягченная заготовка помещается в пресс-форму и подвергается давлению (гидравлическим, механическим или пневматическим прессом). Возможны методы: штамповка (для металлов), вакуумное формование (для полимеров), изостатическое прессование (для сложных композитов).

Охлаждение и фиксация формы: деталь охлаждается в форме для сохранения геометрии. Для металлов может применяться закалка.

Механическая обработка (при необходимости): удаление облоя, сверление отверстий, шлифовка.

Преимуществами метода является возможность изготовления сложных 3D-деталей с высокой точностью, улучшение механических свойств материала за счет горячей деформации (упрочнение, снижение внутренних напряжений), снижение усилия формования по сравнению с холодными методами, минимизация пористости в готовых изделиях.

Недостатками метода являются высокие энергозатраты на нагрев, необходимость использования термостойких пресс-форм (дорогие материалы, например, жаропрочная сталь), возможность окисления материала при нагреве (требуется защитная атмосфера).



Рисунок 1 – Процесс горячего формования [1]

Важным аспектом горячего формования является контроль за условиями процесса, поскольку неправильные параметры могут привести к недостаточной прочности изделия или

возникновению дефектов. Например, слишком быстрое охлаждение может вызвать внутренние напряжения и трещины, что недопустимо для деталей, подверженных высоким нагрузкам. Поэтому на этапе разработки технологий горячего формования важно тщательно планировать режимы нагрева, давления и времени обработки.

Горячее формование находит применение в различных отраслях, включая авиастроение, автомобилестроение и производство энергетического оборудования. В частности, детали, такие как силовые агрегаты, трубопроводы и компоненты трансмиссий, могут быть произведены с помощью этого метода. Также технологии горячего формования активно применяются для создания элементов под давлением, таких как колеса автомобилей, компоненты колесных пар для железнодорожных транспортных средств и многое другое.

Процесс горячего формования не только повышает качество и надежность выпускаемой продукции, но и способствует снижению себестоимости. Использование этой технологии позволяет уменьшить количество отходов, а также минимизировать количество последующих операций обработки, таких как механическая обработка или сварка. Это кардинально меняет подход к проектированию изделий, а также к планированию производственных процессов, позволяя оптимизировать временные и материальные затраты.

Например, в авиационной промышленности, где требования к прочности и легкости материалов особенно высоки, горячее формование позволяет создавать прочные и легкие детали, минимизируя дополнительную механическую обработку. Это значительно ускоряет время вывода продукции на рынок и увеличивает конкурентоспособность компании.

В заключение, метод горячего формования – это высокоэффективная и адаптивная технология, способная удовлетворить современные требования к производству сложных деталей. Применение этой технологии позволяет значительно повысить качество изделий, снизить затраты и сократить время на их производство. Таким образом, горячее формование продолжает оставаться ключевым процессом в производственной индустрии, открывая новые горизонты для производственной эффективности и инноваций [2].

Список использованных источников

1 Горячее формование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inteso.ru/services/goryachee-i-sverkhplastichnoe-formovanie>. – Дата доступа: 24.03.2025.

2 Метод горячего формования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1485. – Дата доступа: 24.03.2025.

**Виды химико-термической обработки (ХТО) и покрытия
пуансонов для повышения износостойкости**

Студент гр. 10402221 Багнюк Н. А.
Научный руководитель – Жогло А. Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Химико-термическая обработка (ХТО) и нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности пуансонов являются ключевыми методами повышения их износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости. В данной работе рассмотрены основные виды ХТО и современные методы нанесения покрытий, применяемые для инструмента холодной штамповки.



Рисунок 1 – Сравнение изношенного пуансона, пуансона после ХТО и нанесения покрытия

Основные виды химико-термической обработки (ХТО)

ХТО включает процессы диффузионного насыщения поверхностного слоя инструмента различными элементами.

1 Цементация

Цементация – это процесс химико-термической обработки, при котором поверхностный слой насыщается углеродом для повышения твёрдости и износостойкости при сохранении вязкой сердцевины.

В изношенном пуансоне (без обработки):

- видны задиры, выкрашивание кромок, абразивный износ;
- поверхность матовая, с глубокими царапинами;
- после цементации и покрытия (TiN, CrN и др.);
- поверхность гладкая, с характерным золотистым (TiN) или серо-металлическим (CrN) оттенком;

– износ равномерный, без глубоких повреждений.

Насыщение поверхности углеродом (C) происходит при температуре 850–950 °С, приводит к повышению твёрдости до 60–64 HRC.

2 Азотирование

Азотирование – это процесс химико-термической обработки, при котором поверхность стальных пуансонов насыщается азотом для повышения их эксплуатационных характеристик.

Азотирование происходит при температуре 500–600 °С, на протяжении 10–90 часов, глубина слоя: 0,2–0,8 мм, твёрдость увеличивается до 68–74HRC.

Преимущества азотирования: повышение износостойкости в 2–3 раза, увеличение усталостной прочности, сохранение точности размеров (минимальные деформации), улучшение антифрикционных свойств, повышение коррозионной стойкости.

Виды азотирования:

- газовое (наиболее распространенное);
- ионно-плазменное (более эффективное);

– жидкостное (в расплавах солей).

Азотирование особенно эффективно для пуансонов, работающих в условиях повышенного износа и умеренных ударных нагрузок. Процесс позволяет увеличить срок службы инструмента в 2–5 раз по сравнению с необработанными образцами.

3 Борирование

Борирование – это процесс химико-термической обработки, при котором поверхность насыщается бором, что приводит к образованию сверхтвердых боридов железа (FeB , Fe_2B).

Диффузия атомов бора происходит при температуре 850–1050 °С, толщина слоя: 50–200 мкм, твердость: 80–88HRC

Методы борирования:

- жидкостное;
- электролизное;
- газовое.

Борирование особенно эффективно для пуансонов, работающих в условиях экстремального абразивного износа и высоких контактных нагрузок, но требует тщательного подхода к выбору режимов обработки и последующей эксплуатации.

4 Цианирование

Цианирование – это процесс химико-термической обработки (ХТО), при котором поверхность стали насыщается одновременно углеродом (С) и азотом (N). Этот метод применяется для повышения износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости пуансонов и других инструментов холодной штамповки.

Цианирование происходит при температуре 500–950 °С, твердость повышается 60–80 HRC, глубина слоя 0,1–2,0 мм

Методы цианирования;

- жидкостное цианирование;
- газовое цианирование;
- вакуумное (ионно-плазменное) цианирование.

Преимущества: комбинированный эффект (твердость, износостойкость и антикоррозионные свойства), меньшая хрупкость, возможность обработки сложнопрофильных деталей [1].

Покрытия для пуансонов

Для дополнительной защиты применяют следующие типы покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Покрытия для пуансонов

Тип покрытия	Метод нанесения	Толщина (мкм)	Твердость (HV)
TiN (нитрид титана)	PVD (физическое осаждение)	2–5	2300–2500
TiAlN (титан-алюминий-нитрид)	CVD (химическое осаждение)	3–6	2800–3000
DLC (алмазоподобный углерод)	Ионно-плазменное напыление	1–3	3000–4000
CrN (нитрид хрома)	Гальваническое осаждение	4–8	1800–2200

Преимущества покрытий: уменьшение трения, защита от адгезии материала заготовки, повышение стойкости в 3–5 раз.

Пример применения

Для пуансонов, работающих с нержавеющей сталью, оптимально сочетание:

- азотирование (глубина слоя 0,2–0,3 мм);
- покрытие TiAlN (толщина 4 мкм).

Результат: срок службы инструмента увеличивается с 50 000 до 200 000 циклов. ХТО и современные покрытия позволяют значительно повысить ресурс пуансонов, снизить затраты на замену инструмента и улучшить качество штампованных деталей [2].

Список использованных источников

- 1 Гуляев, А. П. Химико-термическая обработка металлов / А. П. Гуляев – М.: Машиностроение, 2020. – 320 с.
- 2 Официальный сайт компании Oerlikon Balzers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oerlikon.com>. – Дата доступа: 10.04.2025.

**Оптимизация процессов горячей объемной штамповки
алюминиевых сплавов через компьютерное моделирование**

Студент группы 10402221 Мусский А. А.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минска

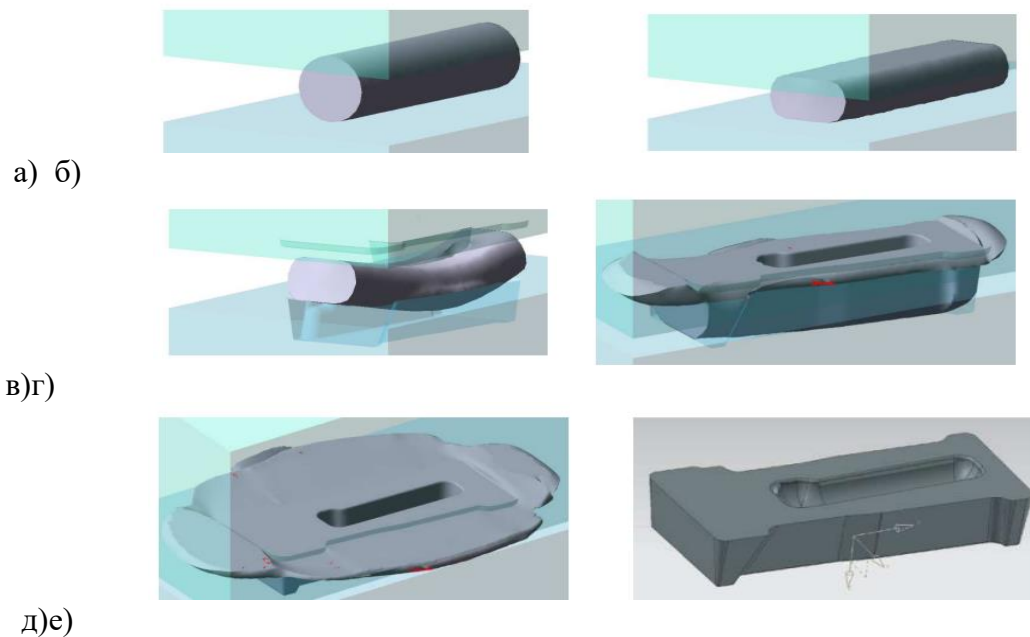
Эффективным инструментом при проектировании процессов обработки металлов давлением служит компьютерное моделирование. Так, для горячей объемной штамповки часто используют программный комплекс QFORM основанный на методе конечных элементов (МКЭ). В работах [1–4] показано, что применение компьютерного моделирования позволяет виртуально проследить картину деформирования металла, найти границы изменения энергосиловых параметров процесса штамповки, проиллюстрировать распределение напряжений и деформаций по объему деформируемого металла, определить причины брака получаемой продукции и т.д. При этом адекватность результатов моделирования в основном зависит от правильности выбора, полноты и точности вводимых граничных условий. Поэтому моделирование при разработке технологических процессов горячей объемной штамповки актуально, т.к. способно снизить затраты на проектирование и модернизацию технологий, подтвердить их экономическую целесообразность. При этом важным является соблюдение определенного порядка проведения работ по совершенствованию технологий.

На рисунке 1 представлена модель пластической деформации заготовки в процессе штамповки по существующей технологии [5]. Так же, виден сложный характер формоизменения заготовки в процессе первой окончательной штамповки, когда одновременно проходят процессы осадки, обратного выдавливания и гибки. Такая схема деформации не обеспечивала надлежащего оформления поковки и часто сопровождалась такими видами брака, как не заполнение, зажимы, прострелы и др.

Для совершенствования технологии предложено уменьшить объем заготовки приблизительно на величину облоя, обрезаемого после первой окончательной штамповки, что снижает массу заготовки приблизительно на 12%. После корректировки длина заготовки при том же диаметре стала на 10–12 мм меньше длины ручья штампа, что обеспечило хорошую центровку заготовки при подаче в ручей штампа.

Таким образом, изменив только размеры заготовки, далее вводили те же самые температурные, скоростные и силовые режимы деформирования и включали процессор [6]. В результате получили компьютерную модель процесса (новая технология), в котором было исключено расплющивание, а штамповку в окончательном ручье проводили за одну операцию. Как следует из рисунка 2, в этом случае формоизменение заготовки происходит за счет осадки и выдавливания.

Для подтверждения результатов моделирования было проведено опробование новой технологии в промышленных условиях. После первой штамповки было обнаружено, что уголки поковки не оформлялись, поэтому до полного заполнения операцию окончательная штамповка выполняли за два жима, при этом для устранения скопления воздуха в нижнем ручье штампа были выполнены газоотводящие каналы в количестве 4 штук диаметром 6мм [7]. После указанной доработки штампа повторное опробование штамповки «Кронштейн» дало положительный результат, т.е. форма и размеры штампованной поковки полностью соответствовали чертежу.



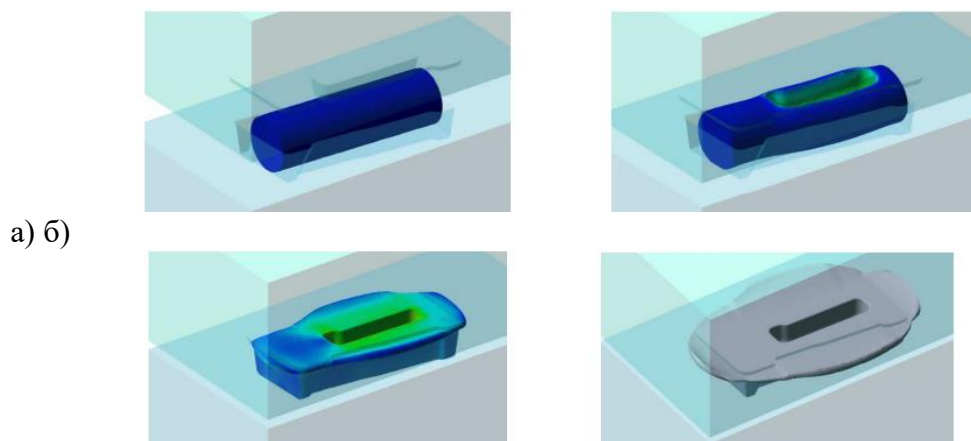
а) б)

в) г)

д) е)

Рисунок 1 – Формоизменение заготовки «Кронштейн» из сплава АК6 по существующей технологии, смоделированной в QFORM:

а – исходная заготовка; б – расплющивание; в – гибка;
г – первая окончательная штамповка; д – вторая окончательная штамповка;
е – готовая штампованная поковка



а) б)

в) г)

Рисунок 2 – Формоизменение заготовки «Кронштейн» из сплава АК6 по новой технологии, смоделированной в QFORM:

а – исходная заготовка; б – формирование полости выдавливанием;
в – образование облоя; г – окончание штамповки

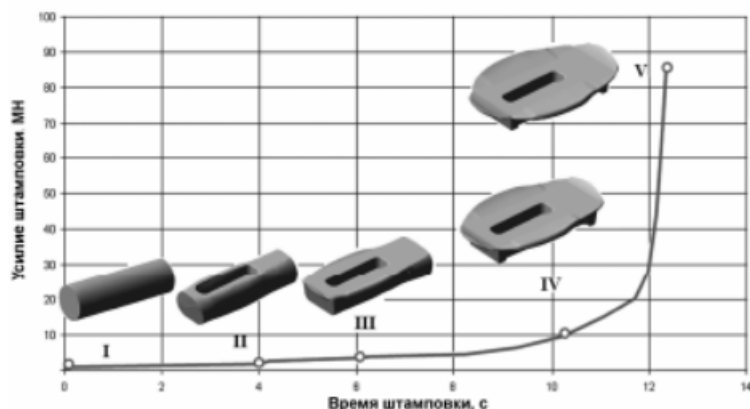


Рисунок 3 – Изменение силы штамповки и формы заготовки при моделировании по новой технологии

Как следует из рисунка 3, в данном случае формоизменение заготовки происходит за счет осадки и выдавливания.

Таким образом, компьютерное моделирование позволило обосновать внесение изменений в технологический процесс-аналог. В результате штамповки по новой технологии были получены поковки, геометрия и свойства которых удовлетворяли требованиям нормативных документов, а снижение расхода металла составило 5 % при уменьшении себестоимости поковок приблизительно на 30 %.

Список использованных источников

- 1 Элингхаузен, Т. QForm 7 – новое слово в моделировании процессов обработки металлов давлением / Т. Элингхаузен, С.А. Стебунов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2014. – №2. – С. 31–34.
- 2 Лисуец, Н. Л. Объемная штамповка алюминиевых заготовок / Н. Л. Лисуец, К. Н. Соломонов, М. А. Цепин. – М.: Машиностроение, 2009. – 171 с.
- 3 Кононов, В. В. Новые возможности в области моделирования процессов штамповки / В.В. Кононов, Л.И. Егорова // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. – № 7. – С. 35 – 38.
- 4 Оптимизация процесса горячей объемной штамповки путем моделирования в программном комплексе QFORM / А. К. Шмаков [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – №4. – С. 28–31.
- 5 Константинов И.Л. Компьютерное моделирование технологического процесса изотермической штамповки сложно-профильных панелей из алюминиевых сплавов/ И. Л. Константинов, И. Ю. Губанов, Ю. В. Горохов // Изв. вузов. Цветная металлургия. – №2. – 2013. – С. 46 – 50.
- 6 Моделирование процесса горячей объемной штамповки поковок из алюминиевого сплава АК6 / И.Л. Константинов [и др.] // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2015. – № 1. – С. 45–48.
- 7 Константинов, Д.В. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением / Д. В. Константинов, А. Г. Корчунов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2015. – №1. – С. 36–43.

Специальные виды радиальной штамповки

Студент гр. 10402221 Германович М. С.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Специальные виды радиальной штамповки представляют собой группу технологических процессов, отличающихся от классической радиальной штамповки по своим конструктивным или технологическим особенностям. Они позволяют расширить возможности метода и изготавливать детали с более сложной геометрией и функциональными характеристиками. Радиальная штамповка с переменным сечением используется для производства деталей, диаметр которых изменяется по длине. Примерами могут служить валы, оси и другие детали, требуется точное управление формой и размерами. Радиальная штамповка с обратным выдавливанием применяется для изготовления полых деталей, таких как гильзы, стаканы и трубы. Процесс позволяет получать изделия с высокой точностью размеров и минимальной толщиной стенок. Радиальная штамповка с формированием внутренних профилей: Этот метод используется для создания внутренних элементов, таких как зубчатые соединения и шлицы. Он обеспечивает высокую точность и качество поверхности внутренних профилей. Радиальная штамповка с использованием нагрева применяется для обработки труднодеформируемых материалов, таких как титановые сплавы и высоколегированные стали. Нагрев заготовки снижает сопротивление деформации и повышает пластические характеристики изделия. Радиальная штамповка с ЧПУ обеспечивает высокую точность и повторяемость процесса благодаря использованию систем числового программного управления (ЧПУ). Он позволяет изготавливать сложные детали с минимальными отклонениями от заданных размеров [1].

Основным оборудованием для специальных видов радиальной штамповки являются радиально-ковочные машины (РКМ). Они бывают различных типов, в зависимости от конструкции и принципа действия. В этих машинах ковочные бойки расположены горизонтально. Они подходят для обработки длинных заготовок, таких как валы и трубы. В РКМ бойки расположены вертикально. Они используются для обработки коротких заготовок, таких как фланцы и диски (рисунок 1).



Рисунок 1– Цех с прессами радиальной штамповки

Конструкция штампового инструмента играет важную роль в процессе радиальной штамповки. Штампы изготавливаются из высокопрочных и износостойких сталей, таких как X12МФ и P6M5. Геометрия штампов должна обеспечивать равномерное распределение деформации и предотвращать образование дефектов. Штампы должны обладать высокой износостойкостью, чтобы выдерживать большие нагрузки и температуры.

Современные РКМ оснащаются системами управления и автоматизации, которые включают датчики, контроллеры и программное обеспечение. Эти системы позволяют контролировать и регулировать параметры процесса штамповки, такие как усилие ковки, частота ударов и температура заготовки.

Примеры современного оборудования включают РКМ от ведущих производителей, таких как SMS group и GFM. Эти машины отличаются высокой производительностью, точностью и надежностью.

В радиальной штамповке используется широкий спектр материалов, выбор которых зависит от требований к готовой детали. Углеродистые, легированные и нержавеющей стали широко применяются для изготовления различных деталей, таких как валы, оси и зубчатые колеса. Алюминиевые сплавы используются для производства легких и прочных деталей, применяемых в авиационной и автомобильной промышленности. Титановые сплавы обладают высокой прочностью и жаростойкостью, что делает их идеальными для изготовления деталей авиадвигателей и медицинских имплантатов. Медные сплавы используются для изготовления деталей с высокой электропроводностью и коррозионной стойкостью, таких как контакты и теплообменники.

Предварительная термообработка может значительно влиять на процесс деформации. Например, отжиг может улучшить пластичность материала, а закалка – повысить его прочность.

Примеры конкретных марок материалов включают сталь 40X для валов и титановый сплав BT6 для деталей авиадвигателей. Выбор конкретной марки зависит от требований к готовой детали и условий эксплуатации.

Технологический процесс радиальной штамповки включает несколько этапов: Заготовка отрезается от прутка или трубы, нагревается до заданной температуры и очищается от окалины. Определяются оптимальные параметры деформации, такие как усилие, скорость и температура, чтобы обеспечить качественное формирование детали. Используются специальные смазки для снижения трения между инструментом и заготовкой, а также для охлаждения инструмента. Измеряются размеры детали и проводится дефектоскопия для выявления дефектов.

Оснастка должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать большие нагрузки, возникающие в процессе штамповки. Материалы для оснастки должны обладать высокой прочностью, износостойкостью и теплостойкостью [2].

Специальные виды радиальной штамповки находят широкое применение в различных отраслях промышленности: Автомобилестроение (производство валов, осей, зубчатых колес и других деталей трансмиссии и двигателя). Авиационная промышленность (изготовление деталей двигателей, элементов шасси и других конструктивных элементов самолетов). Медицинская промышленность (производство имплантатов, хирургических инструментов и других медицинских изделий). Энергетика (изготовление роторов турбин, деталей генераторов и других энергетических установок (рисунок 2)).



Рисунок 2 – Пример изготавливаемой продукции

Примеры конкретных деталей и узлов, изготавливаемых методом радиальной штамповки, включают: валы и оси для автомобилей и станков, лопатки турбин для авиационных двигателей и энергетических установок, имплантаты для замены суставов, зубчатые колеса для редукторов и трансмиссий.

В заключение, специальные виды радиальной штамповки представляют собой перспективный метод обработки металлов давлением, который будет продолжать развиваться и находить все большее применение в различных отраслях промышленности. Благодаря своим преимуществам, таким как высокая точность, малая шероховатость поверхности и экономия материала, радиальная штамповка будет играть важную роль в производстве деталей сложной формы и высокой точности.

Список использованных источников

1 Особенности радиальной штамповки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/16002/346.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. – Дата доступа: 20.03.2025.

2 Детали, изготовленные прецизионной штамповкой и область ее применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library.voenmeh.ru/cnau/1m3k3rpL9bWV3gE.pdf>. – Дата доступа: 24.03.2025.

Влияние ультразвука при прокатке

Студенты гр.10402221 Кашмель А. В.
Научный руководитель – Жогло А. Г.
Белорусский национальный технический
университет г.Минск

Прокатка является важным процессом в металлообработке, который используется для формирования металлических изделий с заданными формами и свойствами. В последние годы исследуется возможность применения ультразвука для улучшения характеристик процесса прокатки. Ультразвук, представляющий собой звуковые колебания с частотой выше 20 кГц, может оказывать значительное влияние на физические и механические свойства материалов [1].

Применение ультразвука в прокатке может привести к нескольким положительным эффектам. Прежде всего, ультразвук способствует увеличению пластичности металлов, снижая внутренние напряжения и улучшая текучесть. Это позволяет уменьшить силу, необходимую для прокатки, что, в свою очередь, снижает энергетические затраты. Кроме того, ультразвук может уменьшить коэффициент трения между валками и прокатываемым материалом, что также способствует повышению эффективности процесса.

Для изучения влияния ультразвука на прокатку используют частоту ультразвука 40 кГц. Применение ультразвука значительно улучшает механические свойства прокатного изделия. При использовании частоты 40 кГц увеличивается предел текучести. Уменьшение коэффициента трения составляет 10–20 %, что позволяет снижать потребность в энергии на 5–10 %. Микроструктурный анализ показывает равномерное распределение зерен, что привело к увеличению твердости на 12 % (рисунок 1).

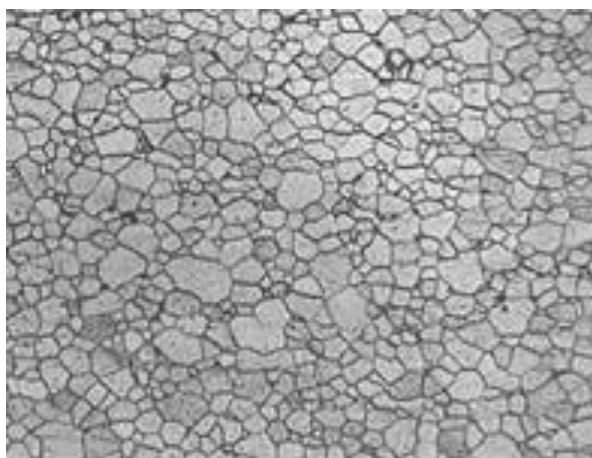


Рисунок 1 – Равномерное распределение зерен

Эти данные подтверждают гипотезу о положительном влиянии ультразвука на процессы прокатки. Уменьшение трения и увеличение пластичности позволяют не только повысить производительность, но и улучшить качество конечного продукта. Однако необходимо учитывать, что оптимальные параметры ультразвукового воздействия могут различаться в зависимости от типа материала и условий прокатки [2].

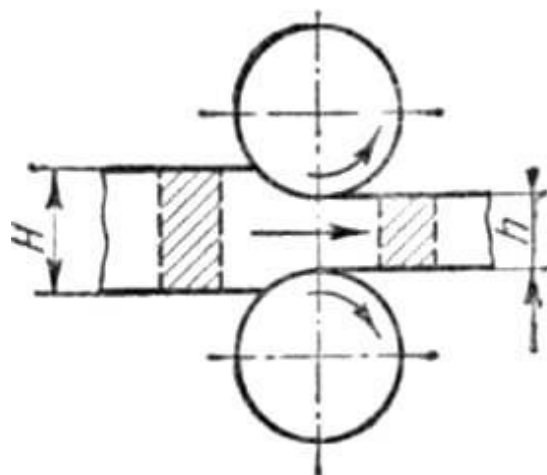


Рисунок 2 – Процесс прокатки

Применение ультразвука в процессе прокатки (рисунок 2) представляет собой перспективное направление, способное значительно улучшить характеристики прокатных изделий. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке новых технологий, которые позволят эффективно использовать ультразвук в промышленных условиях.

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.

Автоматизация листовой штамповки

Студент гр.10402221 Лыщик Е. Н.
Научный руководитель – Жогло А. Г.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Листовая штамповка является одним из ключевых процессов в производственной индустрии, особенно в таких отраслях, как автомобилестроение, авиастроение и производство бытовой техники. С увеличением требований к качеству и скорости производства, автоматизация процессов листовой штамповки становится необходимостью для повышения эффективности и снижения затрат. Для автоматизации могут использовать программируемые логические контроллеры (ПЛК), числовое программное управление (ЧПУ), роботизированные системы (рисунок 1).

ПЛК являются основным компонентом автоматизированных систем управления в процессе листовой штамповки. Они обеспечивают управление движением прессов, мониторинг параметров процесса и взаимодействие с другими устройствами.



Рисунок 1 – Программируемый логический контроллер ПЛК110-220.60.P-M

ОВЕН ПЛК110 – линейка программируемых моноблочных контроллеров с дискретными входами/выходами на борту для автоматизации средних систем. Оптимальны для построения систем автоматизации среднего уровня и распределенных систем управления.

Выделяют несколько видов ПЛК контроллеров. По конструкции различают оборудование с закрытой и открытой архитектурой. Первые обычно имеют предустановленное программное обеспечение, возможности использования прикладного ПО ограничены производителем. Подключение дополнительных модулей, как правило, невозможно или сводится к установке одного, двух блоков того же производителя [1].

В контроллерах с открытой архитектурой предусмотрена установка прикладных программ, их самостоятельная доработка. Такие устройства совместимы с дополнительным оборудованием сторонних производителей. Устройства для автономного управления простым оборудованием и малыми автоматизированными системами. ПЛК имеют до 100 входов и выходов. Оборудование для средних АСУТП. Количество выходов и входов составляет 100–300. Программируемые логические контроллеры для сложных автоматизированных систем. Число входов выходов устройств составляет от 300 до 2000 и больше.

ПЛК основывается на выполнении программ, которые управляют различными процессами и оборудованием в автоматизации. ПЛК получает данные от различных датчиков и устройств ввода. Это могут быть сигналы от кнопок, датчиков температуры, давления и

других устройств. После сбора данных ПЛК выполняет программу, которая была загружена в его память. Программа состоит из логических операций и алгоритмов, которые определяют, как реагировать на входные сигналы. На основе результатов обработки данных ПЛК управляет исполнительными устройствами, такими как реле, моторы, клапаны и т.д. ПЛК работает в цикле: он постоянно считывает входные данные, обрабатывает их и обновляет выходные сигналы. Этот процесс может происходить с очень высокой частотой. Многие ПЛК поддерживают различные протоколы связи для взаимодействия с другими устройствами и системами, что позволяет интегрировать их в более сложные системы автоматизации.

ЧПУ используется для управления перемещением инструментов и прессов с высокой точностью. Эта технология позволяет программировать сложные операции, что особенно актуально для производства деталей с нестандартными формами. ЧПУ также обеспечивает возможность быстрой перенастройки на производство новых изделий.

Роботы активно внедряются в процессы загрузки и выгрузки штампованных деталей, а также в операции по обработке и сборке. Использование роботизированных систем снижает риск травматизма на производстве и повышает общую производительность.

Наиболее распространенные в машиностроении роботы состоят из следующих основных частей: исполнительное устройство, манипулятор, устройство передвижения, устройство управления, рабочий орган робота.

По специализации промышленные роботы бывают следующих видов: универсальные ПР; специализированные ПР; специальные ПР

Принцип работы промышленных роботов основан на сочетании механики, электроники и программного обеспечения, что позволяет им выполнять автоматизированные задачи с высокой точностью и эффективностью. Манипуляторы: Промышленные роботы обычно имеют манипуляторы, состоящие из нескольких звеньев (или суставов), которые могут двигаться в различных направлениях. Эти звенья обеспечивают гибкость и возможность выполнения сложных движений. Энд-эффекторы: на конце манипулятора расположены инструменты или захваты (энд-эффекторы), которые выполняют конкретные задачи, такие как сварка, сборка, упаковка или покраска.

Шарнирный промышленный робот BRTIRUS1510A – это мощное и надежное роботизированное решение для различных промышленных применений, 6 координатная модель разработана для обеспечения максимальной гибкости и точности, с диапазоном 200Т-600Т, подходящим для литьевых машин (рисунок 2) [2].



Рисунок 2 – Шарнирный промышленный робот BRTIRUS1510A

Модель с максимальной грузоподъемностью 10 кг и радиусом действия 1500 мм обеспечивает превосходную досягаемость для задач погрузки, разгрузки, сборки, сварки, покраски и опрессовки.

Робот манипулятор также обладает впечатляющей повторяемостью в 0,05 мм для точных и стабильных результатов. Благодаря классу защиты IP54/IP50 робот BRTIRUS1510A способен выдерживать жесткие промышленные условия, обеспечивая при этом надежную работу.

Современные системы автоматизации обеспечивают высокую точность выполнения операций, что приводит к снижению брака и повышению качества готовой продукции. Кроме того, снижение брака и повышение качества продукции также способствуют экономии средств. Внедрение автоматизированных систем требует значительных первоначальных вложений в оборудование и программное обеспечение. Это может стать серьезным препятствием для малых и средних предприятий. Для эффективного управления автоматизированными системами требуется наличие высококвалифицированного персонала, способного не только управлять оборудованием, но и проводить его обслуживание и ремонт.

Быстрое изменение технологий и требований рынка требует от предприятий гибкости в адаптации своих производственных процессов. Это может быть сложно реализовать в условиях устаревшего оборудования или недостатка ресурсов [3–4].

ПЛК, ЧПУ играют ключевую роль в автоматизации процессов листовой штамповки. ПЛК и ЧПУ могут выполнять операции с высокой скоростью и точностью, что значительно увеличивает производительность по сравнению с ручным трудом. Автоматизация позволяет оптимизировать последовательность операций, минимизируя время простоя оборудования. Автоматизированные системы обеспечивают высокую точность в выполнении операций, что снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Автоматизированные системы обеспечивают высокую точность в выполнении операций, что снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Автоматизация процессов позволяет сократить количество необходимых рабочих рук, что снижает затраты на труд. Высокая точность обработки способствует снижению количества бракованных деталей, что также уменьшает затраты на сырье. Автоматизация листовой штамповки с использованием ПЛК, роботов и ЧПУ позволяет значительно улучшить производственные процессы, повысить качество продукции и обеспечить безопасность на рабочем месте. Эти технологии являются основой современных производственных систем и способствуют развитию промышленности в целом.

Список использованных источников

- 1 Бобровский, И. И. Автоматизация производственных процессов / И. И. Бобровский, А. А. Сидоров. – Москва : МГТУ, 2020. – 15 с.
- 2 Иванов, П. П. Современные технологии листовой штамповки: проблемы и решения. / П. П. Иванов, А. М. Смирнова // Металлообработка. – 2019. – 45–52 с.
- 3 Кузнецов, В. В. Роботизация в производстве: новые горизонты и вызовы / В. В. Кузнецов, Е. А. Петрова // Инновационные технологии. – 2021. – . – Т. 1, № 15. – С. 34–40.
- 4 POWER COUP ELECTRIC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://powercoup.by/novyie-tehnologii/promyishlennyye-robotyi?ysclid=m9jtrc3fv8134513530>. – Дата доступа: 16.04.2025.

Микроструктурные изменения при пластической деформации и их влияние на свойства конструкционных деталей

Студент гр. 10402221 Василевская Е. Д.

Научный руководитель – Томило В. А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Пластическая деформация широко применяется при производстве металлических деталей. В процессе обработки происходит интенсивное изменение микроструктуры материала, что оказывает значительное влияние на его прочностные, пластические и эксплуатационные характеристики. Понимание микроструктурных процессов, таких как упрочнение, рекристаллизация и формирование текстуры, позволяет оптимизировать технологические режимы и повысить надёжность изделий.

Одним из ключевых механизмов изменения структуры при деформации является накопление дислокаций. С увеличением степени деформации плотность дислокаций возрастает, что приводит к дислокационному упрочнению материала. На начальной стадии деформации зерна сохраняют форму, однако при интенсивной обработке они дробятся, формируя субструктуру, а затем и мелкозернистую структуру (рисунок 1) [1].

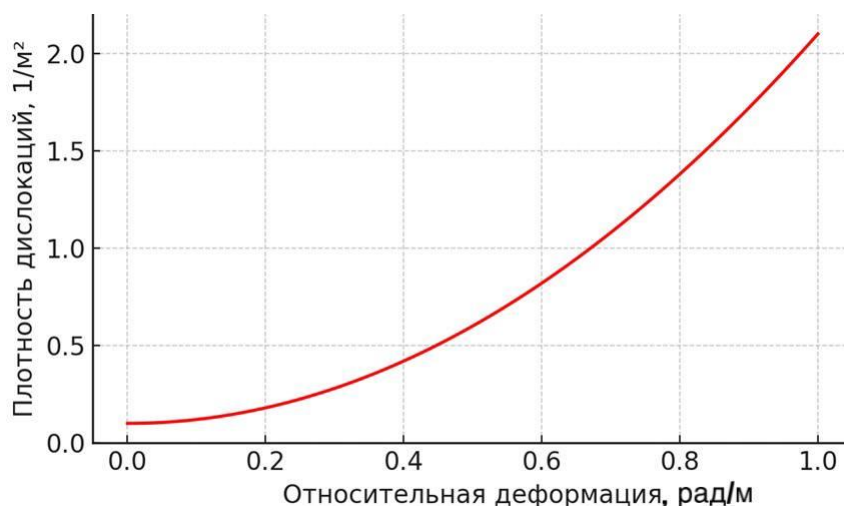


Рисунок 1 – Рост плотности при дислокации

Также при деформации происходит ориентировка кристаллов в направлении главных напряжений, что приводит к формированию текстуры. Это создаёт анизотропию механических свойств: в разных направлениях прочность и пластичность материала могут значительно отличаться [2].

Измельчение зёрен приводит к увеличению числа границ, препятствующих движению дислокаций. Это явление описывается уравнением Холла – Петча, согласно которому предел прочности возрастает с уменьшением размера зерна. Таким образом, микроструктурное совершенствование позволяет добиться значительного упрочнения материала (рисунок 2) [3].

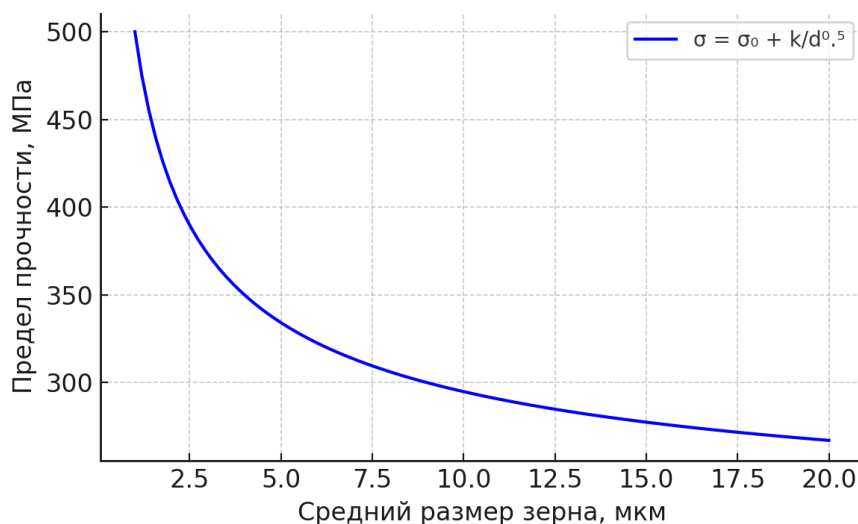


Рисунок 2 – Эффект Холла – Петча: рост прочности при уменьшении размера зерна

При деформации на высоких температурах или при последующем отжиге происходит рекристаллизация – образование новых, дефектно-свободных зерен. Этот процесс позволяет уменьшить внутренние напряжения и восстановить пластичность материала. Температура начала рекристаллизации зависит от степени деформации, состава материала и его исходной структуры (рисунок 3) [3].

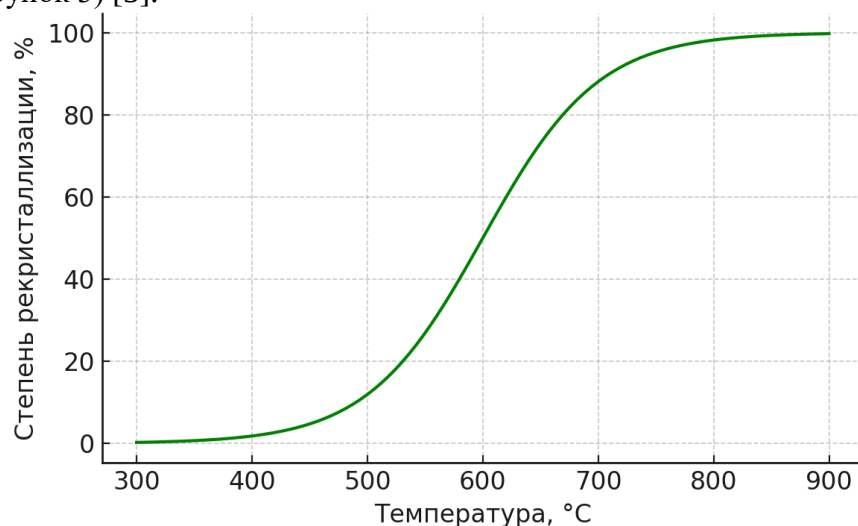


Рисунок 3 – Влияние температуры на степень рекристаллизации

Микроструктурные изменения при пластической деформации играют ключевую роль в формировании свойств конструкционных материалов. Управление этими процессами позволяет направленно изменять свойства деталей и обеспечивать их высокую прочность, износостойкость и надёжность. Комплексное понимание закономерностей структурных превращений необходимо при разработке и совершенствовании технологических процессов.

Список использованных источников

- 1 Ермаков, А. Е. Основы термомеханической обработки металлов / А. Е. Ермаков. – М.: Машиностроение, 2012. – 76 с.
- 2 Колачев, Б. А. Металловедение / Б. А. Колачев. – М.: МИСиС, 2010. – 126 с.
- 3 Халл, Х. М. Физика и свойства металлов / Х. М. Халл. – М.: Мир, 2004. – 187 с.

Обзор промышленного робота Kawasaki BX100N

Студент гр. 10402221 Петрушенко М. М.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Робот-манипулятор – это устройство нового типа, разработанное в процессе механизации и автоматизации. В зависимости от режима работы его можно разделить на гидравлический, пневматический, электрический и механический.

Роботы-манипуляторы представляют собой сложные системы с высокой точностью, несколькими входами и выходами, высокой нелинейностью и сильной взаимосвязью. Благодаря своей уникальной эксплуатационной гибкости они широко используются в промышленной сборке, взрывозащищённом оборудовании и других областях.

Особенность заключается в том, что его можно запрограммировать на выполнение различных ожидаемых операций, а его структура и производительность сочетают в себе преимущества как человека, так и роботизированной машины. Он может экономить рабочую силу, повышать эффективность, сокращать расходы, улучшать качество продукции, повышать безопасность и улучшать имидж завода.

В этой статье будет рассмотрен промышленный робот Kawasaki BX100N. Будут произведены сравнения с другими промышленными роботами этого класса, также рассмотрим отличительные особенности данной модели и области её применения.

Kawasaki BX100N – универсальный робот напольного типа с 6-ю степенями подвижности, подходит для таких работ, как: перемещение объектов, обслуживание станков, точечная сварка, очистка заготовок и т. п. BX100N отличается высокой скоростью и точностью позиционирования, имеет средний рабочий диапазон 2200 мм (таблица 1). Особенности: полая и компактная конструкция; высокая скорость и точность позиционирования; рабочий диапазон 2200 мм; грузоподъемность 100 кг [1].

Таблица 1 – Характеристика робота Kawasaki BX100N

Тип конструкции	Сочленённый
Число степеней подвижности	6
Зона досягаемости	2200 мм
Масса манипулятора	740 кг
Рабочая температура	от 0 до +45°C
Уровень влажности	35-85%
Максимальная грузоподъёмность	100 кг
Способ установки	Напольный
Тип контролера	E42
Точность/повторяемость	±0,06 мм
Страна-производитель	Япония

На фоне своих конкурентов Kawasaki BX100N отличается своей небольшой массой и сравнительно небольшими габаритами. Например, робот манипулятор ABB IRB 6400R 2 при максимальной грузоподъемности 75 кг имеет массу 1400 кг и точность $\pm 0,1$ мм, а у рассматриваемой модели Kawasaki BX100N грузоподъемность составляет 100 кг при массе в 740 кг.

Главной отличительной чертой Kawasaki BX100N является универсальность. Он может быть настроен для выполнения более 20 типов операций (перемещение объектов, обслуживание станков, точечная сварка, очистка заготовок, сборка, сварка, упаковка и т.д.), в

то время как некоторые конкуренты, например, **Fanuc R-2000iB/100H**, ограничены 10–15 типами.

Также у обозреваемого робота–манипулятора есть и недостатки. В сравнении с другими роботами Kawasaki BX100N обладает не самым большим рабочим диапазоном в 2200 мм. При грузоподъемности в 110 кг и точности позиционирования $\pm 0,07$ мм, итальянский робот COMAU SMART-5NJ-110-3.0 имеет рабочий диапазон 2980 мм.

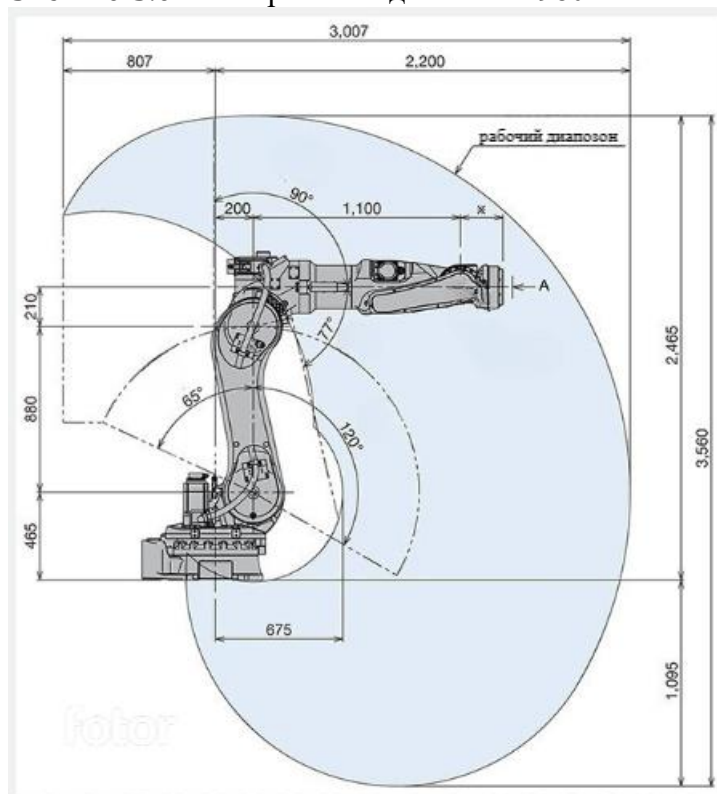


Рисунок 1 – Размеры и диапазоны движения Kawasaki BX100N

Стоит отметить, что у ряда роботов-манипуляторов Kawasaki, в том числе и модели BX100N, есть технологические просветы (отверстия) вдоль оси вращения, что фактически позволяет подвести элементы коммутации (провода датчиков, пневмо- и гидрошланги, шины сварочного оборудования). Возможность такого «внутреннего» расположения элементов снижает их износ в 5–10 раз, по сравнению с наружным креплением, которое не исключает механические воздействия [2].

Робот-манипулятор, как новый тип устройства, играет важную роль в механизации и автоматизации различных процессов. Kawasaki BX100N – универсальный робот-манипулятор с грузоподъемностью 100 кг и точностью $\pm 0,06$ мм, подходящий для выполнения более 20 типов операций. Его масса в 740 кг делает его легким и мобильным по сравнению с конкурентами. Однако рабочий диапазон в 2200 мм уступает некоторым аналогам, что стоит учитывать при выборе. Технологические просветы повышают надежность эксплуатации, снижая износ компонентов.

Список использованных источников

1 Промышленный робот Kawasaki BX100N [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotec.ru>. – Дата доступа: 01.04.2025.

2 Промышленные роботы, их определение, классификация и порядок выбора требуемой модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsia.com>. – Дата доступа: 01.04.2025.

**Состояние и перспективы использования
прецизионной штамповки в машиностроении**

Студент гр. 10402221 Евстратовский А. В.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В качестве детали-представителя выбрана поковка корпус регулировочного рычага для грузового автомобиля. Типовая технология изготовления поковки корпуса регулировочного рычага включает в себя следующие операции: отрезка заготовки сталь 35 на прессе-ножницах, индукционный нагрев перед штамповкой до 1100-1170 °С, вальцовка на ковочных вальцах, штамповка за 2 перехода на КГШП, обрезка облоя и прошивка отверстия. Вариабельность размеров полуфабриката после ГОШ находится в пределах допуска на штамповку, соответствующего ГОСТ 7505-89. Получение в готовой детали рабочих поверхностей с размерами 11,8±0,35 мм и 32±0,35 мм. осуществляется механической обработкой. Для обеспечения повышенной точности и чистоты рабочих поверхностей предлагается использовать два этапа формообразования: горячая объемная штамповка и калибровка в окончательный размер с исключением последующей механической обработки (рисунок 1).

Как показал анализ, проведенный экспертами, значительное влияние на окончательную точность геометрии изделия, получаемого прецизионной штамповкой, оказывает постоянство значения закрытой высоты пресса. Вариабельность факторов технологического процесса влечет за собой изменение величины силы деформирования. К примеру, по результатам моделирования процесса горячей объемной штамповки поковки-представителя в программном комплексе Qform для различных значений объема исходной заготовки показало, что различие силы деформирования достигает порядка 12 %.

$$P_{V \max} = 1.12 P_{V \min}$$

где $P_{V \max}$ – сила деформирования заготовки максимально возможного в пределах допуска объема;

$P_{V \min}$ – сила деформирования заготовки минимально возможного в пределах допуска объема.

При проектировании технологии штамповки, оборудования подбираются исходя из условий достаточности силы деформирования [1], т.е. превентивно. Управление параметрами, имеющими наибольший вес согласно матрице значимости, на операции калибровка позволит обеспечить точность размеров изделия, соизмеримую значениям, получаемым при механической обработке. Характерной особенностью холодной калибровки является лучшее качество калиброванной поверхности по сравнению с горячей калибровкой. Для холодной калибровки наиболее весомыми параметрами с точки зрения получаемой точности являются: химический состав и механические свойства материала, объем исходной заготовки (полуфабриката после ГОШ), жесткость пресса, упругие деформации штампа, точность изготовления оснастки. Вариабельность перечисленных факторов оказывает непосредственное влияние на силу деформирования и, следовательно, на точность поковки после холодной калибровки. Зависимость упругой деформации системы «Пресс-штамп» от силы деформирования представлена в работе [2]. Причем все перечисленные факторы, кроме объема исходной заготовки, предполагают превентивное управление на этапе проектирования технологии. Объем исходной заготовки при холодной калибровке зависит от точности получаемой при горячей объемной штамповки и предполагает значительную вариабельность. Для установления зависимости изменения силы калибровки от высоты заготовки, подаваемой

на калибровку, было проведено имитационное моделирование процесса холодной калибровки поковки-представителя в программе Qform (рисунок 1).

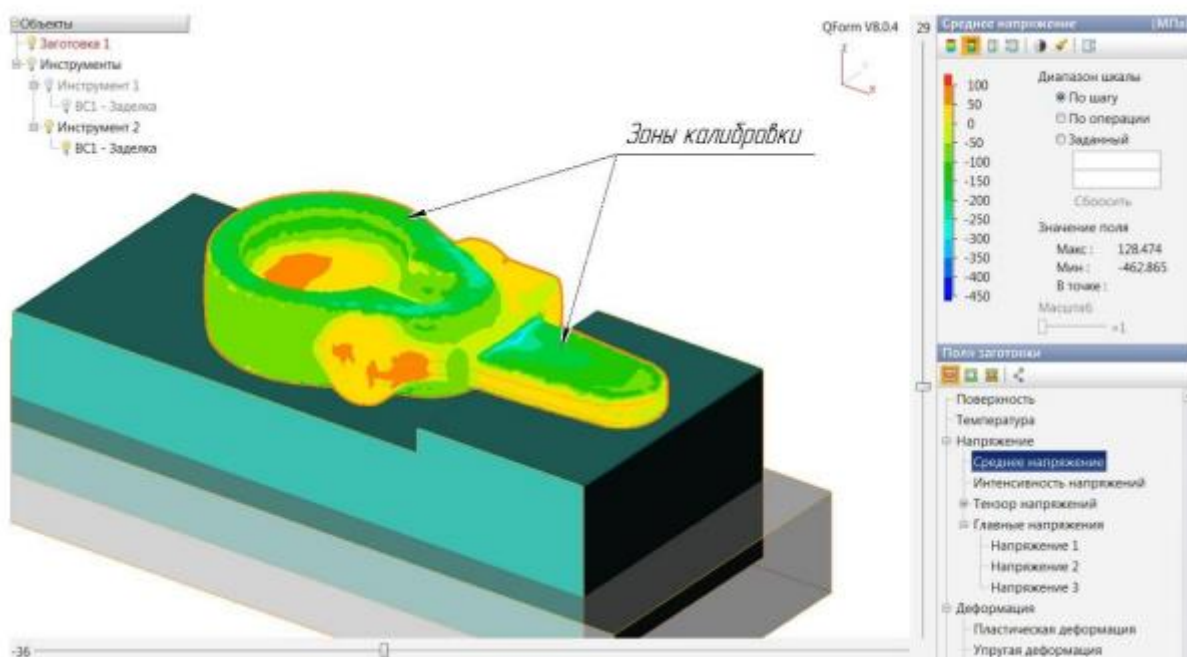


Рисунок 1 – Результаты моделирования холодной калибровки

Влияние высоты полуфабриката на усилие калибровки приведено на рисунке 2. Установлено, что изменение высоты исходной заготовки в пределах допуска на горячештампованный полуфабрикат, вызывает изменение силы деформирования более чем на 12 %.

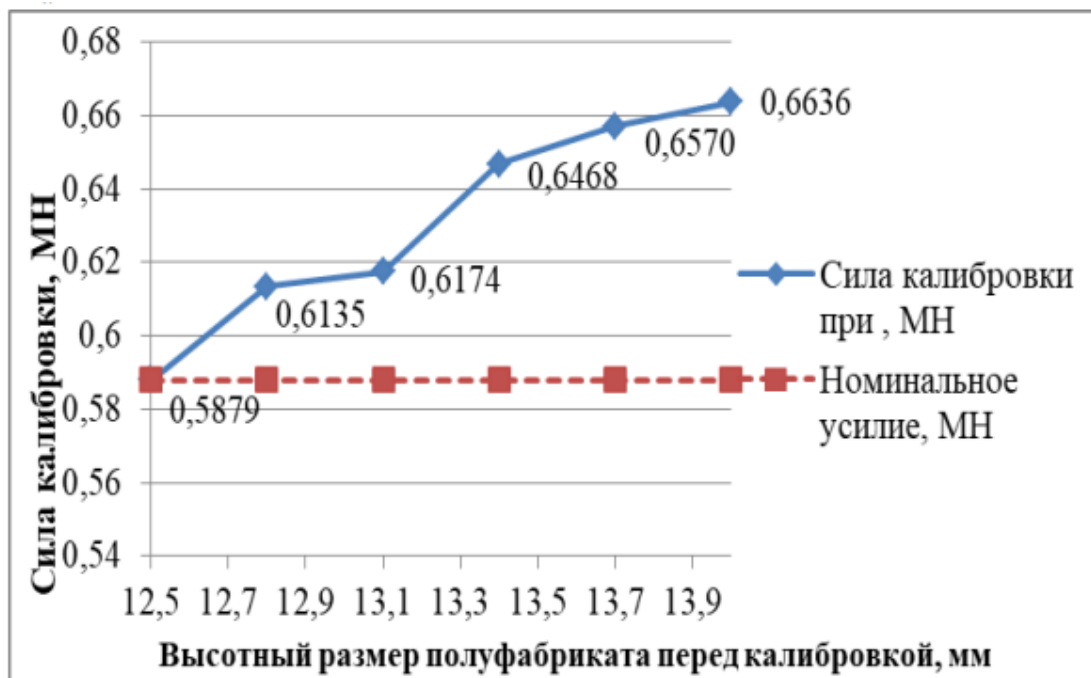


Рисунок 2 – График зависимости силы калибровки от высоты полуфабриката перед калибровкой

Изменение силы деформирования вызывает изменение закрытой высоты в процесс калибровки. Для снижения влияния вариальности факторов технологического процесса на

точность получаемого изделия предлагается в процессе калибровки вести адаптивное управление закрытой высотой штампа. Данный вид управления предпочтительно реализовывать на гидравлическом прессе.

В качестве метода, обеспечивающего получение рабочих поверхностей детали без применения механической обработки, выбрана схема технологического процесса, состоящая из горячей объемной штамповки и последующей холодной калибровки поковки.

Имитационным моделированием установлено, что возрастание высоты горячештампованного полуфабриката, подаваемого на холодную калибровку, ведет к росту зоны и величины сжимающих напряжений на поковке и росту силы деформирования в процессе калибровки, что в свою очередь вызывает изменение упругих отжатий системы «Пресс-штамп» и ухудшение точности поковок.

Снижение влияния вариабельности параметров элементов системы МЗОТИПС и повышение точности получаемых размеров детали после калибровки возможно путем применения гидравлического пресса, оснащенного датчиком закрытой высоты.

Список использованных источников

1 Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка: справочник /под ред. Е.И. Семенова: В 2 т. – М.: Машиностроение, 1986. – Т2. – 563 с.

2 Дибнер, Ю. А. Вариант подналадки горячештамповочных прессов при нелинейной системе «пресс-штамп-поковка» / Ю. А. Дибнер, Р. Н. Пруцков // КШП ОМД. – 2003. – №10 – С. 29–33.

Поперечное выдавливание

Студент гр.10402221 Мартынов А. Л.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Поперечное выдавливание – это процесс деформации металла, при котором заготовка помещается в матрицу, а пуансон прилагает усилие, заставляя металл течь в поперечном направлении через отверстие матрицы, формируя деталь нужной формы. Схема процесса включает заготовку, матрицу, пуансон и направление движения металла. Этот метод широко применяется для изготовления деталей сложной формы, требующих высокой точности размеров и качества поверхности. Преимущества поперечного выдавливания включают высокую производительность, экономию материала и хорошее качество поверхности готовых изделий [1].

При продольном выдавливании металл течет в том же направлении, что и движение пуансона, то есть вдоль оси приложения силы. Заготовка помещается в контейнер, и пуансон, двигаясь вперед, проталкивает металл через отверстие матрицы, формируя изделие нужного профиля. Этот метод часто используется для производства длинномерных изделий, таких как прутки, трубы и профили сложной формы. Продольное выдавливание может быть прямым (когда пуансон и изделие двигаются в одном направлении) и обратным (когда изделие выдавливается в направлении, противоположном движению пуансона). В отличие от продольного, при поперечном выдавливании металл течет перпендикулярно направлению движения пуансона. Заготовка также помещается в контейнер, но пуансон давит на нее сбоку, заставляя металл выдавливаться через боковое отверстие матрицы. Этот метод применяется для производства коротких изделий с относительно сложной формой, таких как зубчатые колеса, шестерни и другие детали машиностроения. Поперечное выдавливание позволяет получать изделия с более сложной геометрией и лучшими механическими свойствами по сравнению с продольным.

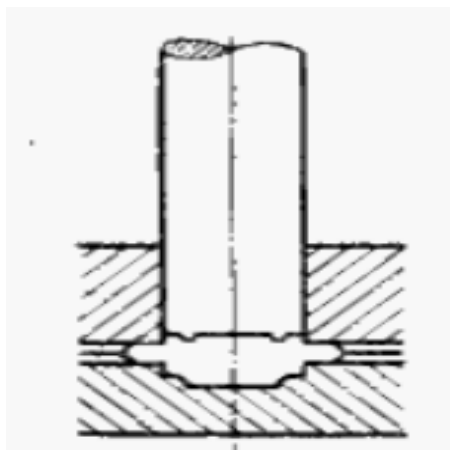


Рисунок 1 – Поперечное выдавливание

Заготовка вдавливается в форму при помощи внешней силы, при этом происходит деформируется в деталь сложной формы горизонтально движению наружной силы

Технология поперечного выдавливания состоит из подготовки заготовки (резка заготовки до нужных размеров, очистка от загрязнений и окалины, а также нагрев для улучшения пластичности металла). Смазка (нанесение смазочных материалов на заготовку и инструмент для уменьшения трения и износа, что способствует более равномерному течению

металла). Установка заготовки в матрицу (точное позиционирование заготовки в матрице для обеспечения правильной формы и размеров детали). Процесс выдавливания (приложение усилия пуансоном к заготовке, заставляя металл течь через отверстие матрицы и формируя деталь). Извлечение детали (отделение готовой детали от остатков материала и извлечение ее из матрицы).

Оборудование для поперечного выдавливания: прессы для поперечного выдавливания, матрицы и пуансоны. системы автоматизации, контрольно-измерительное оборудование.

Для поперечного выдавливания используются алюминиевые сплавы (легкость, коррозионная стойкость и высокая пластичность). Медные сплавы (высокая электропроводность и теплопроводность, а также хорошая пластичность). Стали (углеродистые и легированные, используются для изготовления прочных и износостойких деталей). Титановые сплавы (высокая прочность и низкая плотность делают титановые сплавы незаменимыми в авиационной и космической промышленности) [2].

Детали, получаемые поперечным выдавливанием: шестерни (производство шестерен с высокой точностью). Фланцы (изготовление фланцев для соединения труб и других элементов). Валы (производство валов различных размеров и форм) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Примеры изготавливаемой продукции:
1 – шестерня; 2 – валы; 3 – фланец

Метод поперечного выдавливания позволяет получать детали с точными размерами, сложной формой и хорошим качеством поверхности. Сравнение с деталями, изготовленными другими методами, показывает, что поперечное выдавливание часто обеспечивает более высокую производительность и экономию материала.

Список используемых источников

1 Поперечное выдавливание [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/116016/173-175.pdf?sequence=1> .– Дата доступа: 05.04.2025.

2 Технология объёмной штамповки [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://masters.donntu.ru/2010/fmf/termenzhy/library/aliev.pdf> .– Дата доступа: 07.04.2025.

Автоматизация кузнечно-штамповочного прессования

Студент гр. 10402221 Яцукевич В. А.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Автоматизация кузнечно-штамповочного прессования – это процесс внедрения современных технологий, таких как робототехника и интеллектуальные системы управления, предприятия получили возможность значительно сократить время производственных циклов и уменьшить затраты на трудозатраты.

Автоматизация кузнечно-штамповочного процесса обеспечивает ряд значительных преимуществ, которые кардинально меняют производственные возможности. Одним из главных является существенное повышение производительности: скорость обработки заготовки, что позволяет значительно нарастить выпуск продукции без пропорционального увеличения трудовых ресурсов. Кроме того, автоматизация снижает количество необходимых операторов, что уменьшает ошибки, связанные с человеческим фактором, и уменьшает затраты на оплату труда. Это также способствует повышению безопасности труда, так как автоматизированные системы минимизируют контакт операторов с опасными механизмами, что снижает риск производственных травм.

В современном автоматизированном КШП применяются разнообразные технологии, обеспечивающие максимальную эффективность и надежность процессов. Гидравлические и механические пресса – являются основой производства, позволяя осуществлять высокоточные операцииковки и штамповки с программируемыми параметрами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Автоматизированный штамповочный пресс

Промышленные роботы применяются для автоматизации сложных и опасных операций, таких как загрузка и выгрузка заготовок, перемещение изделий между этапами обработки. Это не только ускоряет процесс, но и снижает риск повреждения продукции и травматизма [1].

Системы автоматической подачи материала позволяют безостановочно снабжать станки прутками, полосами или другими типами заготовок, исключая задержки и повышая производительность. Одновременно с этим системы контроля и управления, включающие разнообразные датчики, контроллеры и специализированное программное обеспечение,

обеспечивают качественный мониторинг и регулирование технологических параметров в реальном времени.

Ключевым элементом эффективной автоматизации КШП являются системы контроля, основанные на применении различных датчиков и технологий измерения. Датчики температуры критично важны для контроля нагрева заготовок, обеспечивая оптимальный температурный режим для достижения идеальной пластичности материала и предотвращения дефектов. Датчики усилия мониторят нагрузку на пресс, помогая не только предотвратить поломки оборудования, но и обеспечить однородность обработки детали. Это увеличивает долговечность станков и улучшает качество продукции. Современные системы технического зрения применяются для контроля размеров и формы изделий в процессе производства, автоматически выявляя отклонения от заданных параметров и исключая браковку на ранних этапах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Автоматизированная линия с промышленным роботом

Современные автоматизированные линии КШП требуют интеграции с программным обеспечением для проектирования, управления и оптимизации процессов. CAD/CAM системы позволяют создавать точные проекты штампов и программировать траектории движения промышленных роботов и автоматических прессов, что обеспечивает воспроизводимость и точность изготовления деталей.

Автоматизация производственных процессов требует значительных первоначальных затрат, включая приобретение оборудования, монтаж, пусконаладочные работы и обучение персонала. Однако более высокая производительность и снижение издержек способны обеспечить быструю окупаемость инвестиций [2].

Повышение скорости производства и снижение брака приводит к значительному сокращению себестоимости единицы продукции, а уменьшение численности операторов снижает расходы на оплату труда. Все эти факторы в совокупности создают положительный экономический эффект.

Список использованных источников

1 Прецизионная листовая штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000017/st020.shtml>. – Дата доступа: 06.04.2025.

2 Детали изготовленные прецизионной штамповкой и область ее применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/8/37.htm>. – Дата доступа: 09.04.2025.

Технологические особенности пробивки

Студенты гр.10402221 Яцукевич В. А., гр. 10402223 Пенязь Е.Н.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Пробивка является одним из наиболее распространенных методов обработки материалов давлением, основной на образовании отверстий или контуров с помощью пуансона и матрицы. Основное значение выбора зазора между элементами связано с обеспечением качества точности изделия.

Пробивку производят в штампах, рабочими органами которых являются пуансон и матрица. Между пуансоном и матрицей устанавливается определенный зазор.

Лист или полосу устанавливают на матрицу, имеющую острые кромки. Пуансон, также имеющий острые кромки, опускаясь вместе с верхней частью штампа, внедряется в лист. При этом, как и при отрезке и резке, происходит относительное смещение металла листа в матрицу, которое заканчивается разрушением металла в зазоре, т.е. пробивкой. Определенная часть листа проваливается в отверстие матрицы, а отход при ходе пуансона вверх снимается с пуансона съемник. Схема простейшего штампа для пробивки представлена на рисунке 1.

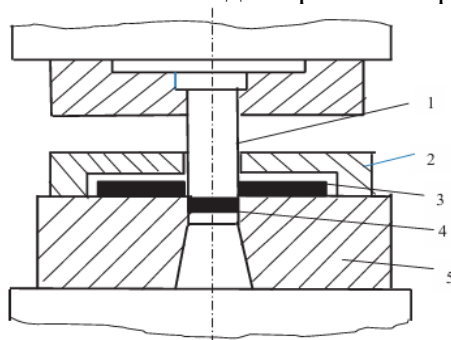


Рисунок 1 – Штамп для пробивки:

1 – пуансон; 2 – съемник; 3 – лист (полоса); 4 – отход; 5 – матрица

Процесс пробивки состоит из трех последовательных стадий: упругой деформации, пластической деформации и разрушения (скалывания). Процесс начинается с упругой деформации, когда пуансон входит в соприкосновение с листом (заготовкой) и образуется поверхность контакта. На первой стадии, в момент внедрения пуансона в металл заготовки и вдавливания ее в отверстие матрицы, происходит изгиб поверхности заготовки около режущих кромок, потеря плоскостности детали вследствие действия изгибающих моментов, вызванных силами резания.

Оптимальный зазор

Зазор – это разность диаметральных размеров пуансона и отверстия матрицы. Удовлетворительное качество деталей обеспечивается правильными и равномерными зазорами и параллельностью режущих кромок.

При выборе зазора, кроме качества поверхности среза, необходимо еще учитывать желаемую стойкость инструмента, на которую существенное влияние оказывает зазор, а также требования, предъявляемые к параметрам точности штампуемой детали. Величина оптимального зазора зависит от механических свойств материала заготовки, скорости деформирования, а также условий нагружения поверхностей заготовки вблизи поверхности среза и от размеров и формы деталей (отверстия). Отсюда выбор рациональных зазоров между пуансоном и матрицей при пробивке является многофакторной задачей с несколькими критериями оптимизации.

Усилие пробивки

Усилие пробивки – деформирующее усилие, зависит от следующих факторов:

- сопротивление материала заготовки срезу;
- толщины материала s ;
- длины отделяемого контура;
- формы и состояния рабочих кромок пуансона и матрицы;
- зазора между пуансоном и матрицей;
- скорости деформирования;
- глубины проникновения (внедрения) пуансона в металл в момент возникновения скалывающей трещины.

При расчете усилия вырубки и пробивки приближенно определяют как произведение площади боковой поверхности F , отделяемой части металла, на сопротивление срезу $\sigma_{ср}$. Однако действительные значения толщины листового металла отличаются от номинальных, и допуск на толщину может составлять 5–10 % от номинального значения. Кроме того, по мере притупления режущих кромок, усилие деформирования несколько увеличивается. Влияние этих факторов на усилие может быть учтено, путем введения коэффициента $k = 1,1 \dots 1,3$.

Формула для определения усилия деформирования с учетом последнего замечания принимает вид

$$P = kF\sigma_{ср} = kLs\sigma_{ср}, \quad (1)$$

где P – усилие деформирования, кН;

k – коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок ножей, неравномерность толщины разрезаемого материала и его механических свойств, $k = 1,1 \dots 1,3$;

F – площадь боковой поверхности, мм^2 ;

$\sigma_{ср}$ – сопротивление срезу, МПа;

s – толщины материала, мм;

L – длина линии реза, мм.

Из формулы следует, что максимальное усилие возникает в начале пробивки, когда площадь F максимальна.

В реальных условиях деформирования усилие вырубки (рисунок 2), изменяется от нуля в самом начале процесса до максимума, а затем уменьшается в момент появления скалывающих трещин.

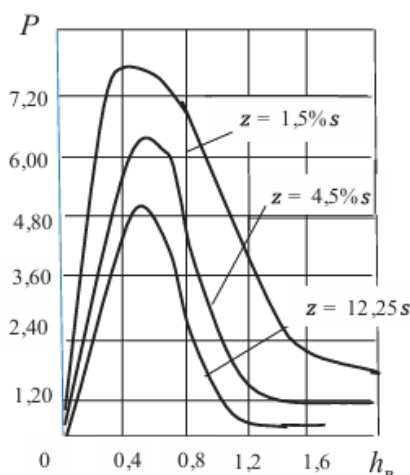


Рисунок – 2 Изменение усилий пробивки стали 08 кп, с $s = 2$ мм, в зависимости от глубины внедрения h_B пуансона при различном технологическом зазоре z (скорость деформирования 275 мин^{-1})

Список используемых источников

1 Основы теории обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/12503>. – Дата доступа: 26.10.2024.

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. – 400 с.

Технологии интенсивной пластической деформации (НКУ – обработка) для получения ультрамелкозернистых материалов

Студент гр. 10402222 Юрцевич М. А.
Научный руководитель – Боярчук А. Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современные материалы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой обладают уникальными механическими и физическими свойствами: высокой прочностью, пластичностью, усталостной долговечностью и коррозионной стойкостью. Одним из наиболее эффективных методов получения таких материалов является интенсивная пластическая деформация (ИПД), в частности равноканальное угловое прессование (НКУ-обработка, РКУП). Цель данной работы – рассмотреть принципы НКУ-обработки, её влияние на структуру материалов и перспективы применения [1].

Среди основных методов ИПД можно выделить: равноканальное угловое прессование (НКУ) – наиболее распространённый метод, кручение под высоким давлением (КВД/НРТ) и многопроходную прокатку (АРБ). НКУ – обработка представляет собой процесс пропускания заготовки через специальную матрицу с пересекающимися каналами под углом (обычно 90° – 120°), что вызывает значительную деформацию сдвига без изменения сечения образца.

Механизм деформации при НКУ – обработке заключается в том, что заготовка последовательно проходит через матрицу, накапливая деформацию сдвига. При каждом проходе зерна дробятся, формируя субмикронную структуру. Количество проходов и схема существенно влияют на конечные свойства материала. Ключевыми параметрами процесса являются: угол каналов, который определяет степень деформации; температура обработки, влияющая на динамическую рекристаллизацию; и скорость прессования, которая может вызывать нагрев образца [2].

УМЗ – материалы, полученные методом НКУ – обработки, обладают рядом преимуществ. Они демонстрируют сверхпрочность (например, у меди после НКУ – до 400 – 500 МПа), повышенную усталостную стойкость и суперпластичность при повышенных температурах. Благодаря этим свойствам такие материалы находят применение в авиакосмической промышленности (лёгкие и прочные сплавы), медицине (имплантаты с улучшенной биосовместимостью) и микроэлектронике (нанопроводящие элементы) [3].

Таким образом, НКУ-обработка является одним из самых эффективных методов получения ультрамелкозернистых материалов. Благодаря контролируемой деформации сдвига удаётся достичь уникального сочетания прочности и пластичности. Перспективы технологии связаны с оптимизацией режимов обработки и внедрением новых сплавов, что открывает широкие возможности для создания материалов нового поколения с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Список использованных источников

- 1 Валиев, Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Академкнига, 2007. – 398 с.
- 2 Смирнов, Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию / Г. А. Смирнов. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 264 с.
3. Кайбышев, О. А. Сверхпластичность промышленных сплавов / О. А. Кайбышев. – М. : Металлургия, 1984. – 264 с.

Методы снижения деформационного упрочнения и коробления

Студент гр. 10402222 Рожков В. А.

Научный руководитель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Деформационное упрочнение (наклеп) и коробление являются распространенными проблемами в металлообработке, литье, сварке и аддитивном производстве. Эти явления ухудшают механические свойства и геометрическую точность деталей, что приводит к увеличению брака и себестоимости продукции.

Теоретические основы деформационного упрочнения и коробления:

1) деформационное упрочнение.

Деформационное упрочнение (наклеп) – это увеличение прочности и твердости материала вследствие пластической деформации.

Оно возникает из-за:

- дислокационных взаимодействий;
- искажения кристаллической решетки;
- образования субзеренной структуры;
- основные последствия;
- повышение хрупкости;
- снижение пластичности;
- увеличение остаточных напряжений.

Существует довольно много способов снижения остаточных напряжений, вызывающих коробления и поводки отштампованных деталей. В основном, это способы термического или термомеханического воздействия на изготовленные детали. На этом фоне выделяется несколько способов, основанных на наложении на листовые детали различных физических полей, например, ультразвуковых определённой частоты, импульсных магнитных полей и др. Чаще всего эти способы реализуются как отдельная операция, выполняемая после операций формоизменения. В общем, такие технологические процессы усложняют производство и увеличивают его затраты. Необходимо стремиться к созданию таких технологических процессов, которые совмещали бы формоизменение и релаксацию остаточных напряжений. Коробление листовой детали или потеря её генеральной формы – это проявление технологической наследственности, определяемое наличием в материале детали неравномерных полей упругих напряжений [1].

2) коробление

Коробление – это неконтролируемое изменение формы детали из-за неравномерного охлаждения, остаточных напряжений или анизотропии свойств материала [2].

Причины:

- термические градиенты при нагреве/охлаждении;
- фазовые превращения (например, при закалке);
- механические нагрузки (прокатка, штамповка).

Методы снижения деформационного упрочнения:

1) термическая обработка: отжиг – нагрев до температур рекристаллизации с последующим медленным охлаждением для снятия напряжений; нормализация – улучшение структуры металла за счет нагрева и охлаждения на воздухе.

2) динамическое деформирование: вибрационная обработка – снижение дислокационной плотности за счет приложения колебательных нагрузок; ультразвуковая обработка – ускорение релаксации напряжений [3].

3) оптимизация режимов обработки: снижение степени деформации за один проход;

использование промежуточных отжигов; применение гидростатического давления для уменьшения трещинообразования.

Методы снижения коробления:

- контроль термических процессов: равномерный нагрев и охлаждение (например, в печах с защитной атмосферой); ступенчатый отпуск для снятия напряжений;
- конструктивные меры: симметричное проектирование деталей; использование ребер жесткости;
- механические способы: правка и калибровка;
- перспективные технологии: лазерная ударная обработка – локальное снятие напряжений; аддитивные технологии с контролем термоциклирования; искусственный интеллект в прогнозировании деформаций.

Многоимпульсная электрогидравлическая штамповка с определённым образом настроенными параметрами пространственного и временного (с заданным периодом импульса) нагружения позволяет изготавливать крупногабаритные листовые детали с минимальным (полным) отсутствием коробления [4]. Наиболее эффективны такие техпроцессы для изготовления деталей из современных деформационно-упрочняемых материалов, например, автокузовных панелей. Реализация таких техпроцессов возможна на многоэлектродных электрогидравлических прессах с пространственно-временным управлением нагружения и высокой запасаемой энергией. Очевидно, проблема большого коробления отштамповок, особенно из современных деформационно-упрочняющихся материалов, не может быть устранена только технологическими способами. Необходима разработка требований к технологичности конструкции детали, позволяющих снизить коробление. Для уменьшения остроты проблемы коробления необходимы углубленные исследования физического механизма релаксации остаточных напряжений при реализуемых значениях деформаций и их скоростях порядка.

В ходе исследования было замечено, что снижение деформационного упрочнения и коробления требует комплексного подхода, включающего термическую обработку, оптимизацию технологических процессов и применение современных методов контроля. Наиболее перспективными направлениями являются комбинированные методы, сочетающие механическое и тепловое воздействие, а также цифровое моделирование.

Список использованных источников

- 1 Исаченков, Е. И. Штамповка резиной и жидкостью / Е. И. Исаченков. – М. Машгиз, 1962. – 328 с.
- 2 Лесников, А. В. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением / А. В. Лесников. А. П. Агеев, Д. П. Кузнецов [и др.]. – С-Пб.: Внешторгиздат, 1995. – 527 с.
- 3 Северденко, В. П. Листовая штамповка с ультразвуком / В. П. Северденко, В. С. Пашенко, В. С. Кососбужский. – Минск: Наука и техника, 1975. – 192 с.
- 4 Толстой, А. В. Технологический метод снижения коробления изделий малой жесткости / А. В. Толстой // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов / редкол.: И. А. Иванов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ. – С. 112–127.

Моделирование текстурных изменений и их влияние на предельную деформацию

Студент гр. 10402222 Каминский А. В.

Научный руководитель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Текстура материалов играет ключевую роль в определении их механических свойств, таких как прочность, пластичность и предельная деформация. Текстурные изменения происходят в результате различных процессов обработки, таких как ковка, прокатка, сварка и термическая обработка. Понимание механизмов формирования текстуры и их влияния на предельную деформацию является важной задачей в материаловедении и инженерии.

Текстура - это распределение кристаллографических ориентаций в материале. Она может быть описана с помощью различных параметров, таких как плотность зерен, ориентация кристаллов и степень упорядоченности.

Влияние текстурных изменений на предельную деформацию

Предельная деформация - это максимальная деформация, которую материал может выдержать перед разрушением. Текстура оказывает значительное влияние на этот параметр.

Исследования показывают, что материалы с однородной и благоприятной текстурой имеют более высокую предельную деформацию по сравнению с материалами с неоднородной или неблагоприятной текстурой:

1 Стали: в работах было показано, что сталь с определенной текстурой может выдерживать до 20% больше деформации перед разрушением.

2 Алюминиевые сплавы: исследования показывают, что алюминиевые сплавы с однородной текстурой могут демонстрировать значительно лучшие механические свойства по сравнению с теми, у которых наблюдается высокая степень неоднородности.

Температура обработки и скорость деформации также играют важную роль в формировании текстуры:

Температура: при высоких температурах рекристаллизация происходит быстрее, что может привести к образованию более мелких зерен и улучшению пластичности.

Скорость деформации: высокая скорость деформации может привести к образованию более жесткой структуры с неблагоприятной текстурой [1].

Механизмы формирования текстуры

Пластическая деформация: при механической обработке материала происходит перераспределение кристаллических зерен под действием внешних сил. Это приводит к изменению их ориентации и формированию новой текстуры.

Рекристаллизация: процесс, при котором новые кристаллы образуются из деформированных зерен при нагреве или длительном воздействии напряжений. Рекристаллизация может привести к уменьшению размеров зерен и улучшению механических свойств.

В некоторых материалах (например, в сплавах) может происходить упорядочение атомов, что также влияет на текстуру и механические свойства.

Моделирование текстурных изменений

Кинетические модели описывают динамику изменения текстуры во времени с учетом различных факторов, таких как температура, скорость деформации и начальная структура материала. Эти модели позволяют прогнозировать изменение текстуры в процессе обработки.

Методы конечных элементов (МКЭ) используются для анализа распределения напряжений и деформаций в материале с учетом его текстуры. Моделирование с

использованием МКЭ позволяет исследовать влияние различных параметров обработки на механические свойства материала.

Примеры применения моделирования

Моделирование текстурных изменений активно используется в промышленности для оптимизации процессов обработки:

1 Автомобильная промышленность: оптимизация процессов штамповки для достижения необходимых механических свойств кузовных деталей.

2 Аэрокосмическая отрасль: разработка легких сплавов с высокой прочностью для использования в конструкциях самолетов.

Моделирование текстурных изменений является важным инструментом для прогнозирования механических свойств материалов. Понимание влияния этих изменений на предельную деформацию позволяет оптимизировать процессы обработки и улучшать характеристики конечного продукта [2].

Список использованных источников

1 Федоров, А.А. Влияние текстуры на механические свойства сталей / А. А. Федоров // Материаловедение. – 2020. – №4(15). – С. 45–52.

2 Иванов, И. И. Моделирование процессов рекристаллизации в металлических сплавах / И. И. Иванов, П. П. Петров. – Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 112-118 с.

Экструзия меди – важный технологический процесс в металлургии, применяемый для изготовления проволоки, труб и профильных изделий. Традиционные смазочные материалы (графитовые пасты, минеральные масла) обладают высокой токсичностью и негативно влияют на окружающую среду. В связи с ужесточением экологических требований в РФ и Республике Беларусь актуальной задачей является разработка биоразлагаемых и нетоксичных смазок, обеспечивающих эффективное снижение трения и износа инструмента.

Анализ современных экологических смазочных материалов

1 Водорастворимые смазки.

Водорастворимые смазки на основе полиэтиленгликолей и сложных эфиров представляют собой перспективное направление в разработке экологических технологических жидкостей. По данным исследований Горбунова А. В., такие составы демонстрируют ряд преимуществ:

– снижение коэффициента трения на 15–25 % по сравнению с традиционными минеральными маслами;

– высокую биоразлагаемость (до 90 % за 28 дней);

– отличные охлаждающие свойства;

– упрощенную систему утилизации.

Однако следует отметить, что водорастворимые смазки требуют тщательного подбора ингибиторов коррозии и могут проявлять недостаточную стабильность при длительном хранении [1].

2 Смазки на основе растительных масел

В Республике Беларусь активно ведутся исследования по применению растительных масел (рапсового, льняного, подсолнечного) в качестве базовых компонентов смазочных материалов. Петров С. И. в своих работах отмечает следующие особенности таких составов:

– естественная биоразлагаемость и нетоксичность;

– хорошие смазывающие свойства благодаря полярной структуре молекул;

– возможность модификации антиоксидантами для работы при повышенных температурах (до 500 °С);

Основными проблемами, требующими решения, остаются:

– ограниченный температурный диапазон применения;

– склонность к окислению;

– необходимость разработки эффективных пакетов присадок [2].

3 Твердые смазки (полимерные покрытия, дисульфид молибдена).

В Российской Федерации значительное внимание уделяется разработке твердых смазочных материалов на основе дисульфида молибдена (MoS_2), политетрафторэтилена (PTFE) и их композиций. Иванов К. Л. в своих исследованиях показал, что такие материалы обладают рядом уникальных свойств:

– крайне низкий коэффициент трения (0,03–0,08);

– высокая термическая стабильность (до 600 °С);

– отличная адгезия к металлическим поверхностям;

– длительный срок службы.

Применение таких покрытий позволяет:

– снизить износ инструмента на 30–40 %;

- увеличить стойкость инструмента;
- уменьшить энергозатраты на процесс экструзии [3].

Для оценки эффективности экологичных смазок проведены испытания на лабораторном экструдере. Использовались медные заготовки диаметром 10 мм. Сравнивались три типа смазок:

- 1 Водорастворимая (полиэтиленгликоль).
- 2 Растительная (рапсовое масло с антиоксидантами).
- 3 Твердая (покрытие MoS_2).

Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования

Смазочный материал	Коэффициент трения	Температура экструзии, °C	Износ инструмента, мкм
Водорастворимая	0,08	450	25
Растительная	0,10	480	30
Твердая MoS_2	0,05	500	15

Разработка экологичных смазочных материалов для экструзии меди – перспективное направление в РФ и Республике Беларусь. Наиболее эффективны твердые смазки (MoS_2), но водорастворимые и растительные аналоги также могут применяться при оптимизации состава.

Список использованных источников

- 1 Горбунов, А. В. Экологичные смазочные материалы в металлообработке / А. В. Горбунов. – М. : Машиностроение, 2020. – 215 с.
- 2 Петров, С. И. Перспективы применения растительных масел в качестве смазок / С. И. Петров. – Минск: Наука и техника, 2019. – 184 с.
- 3 Иванов, К. Л. Композитные покрытия для снижения трения в процессах обработки металлов / К. Л. Иванов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2021. – 276 с.

Исследование влияния скорости деформации и температуры на формирование структуры и механических свойств

Студенты гр. 10402222: Кучинский В. А., Баханович А. А.

Научный руководитель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современные технологии обработки материалов требуют глубокого понимания взаимосвязи между параметрами деформации, температурными режимами и формированием структуры материала, которая определяет его механические свойства. Скорость деформации и температура являются ключевыми факторами, влияющими на процессы рекристаллизации, текстурообразования и дислокационного упрочнения. Исследование этих параметров позволяет оптимизировать технологические процессы, такие как прокатка,ковка или магнитно-импульсная обработка, для достижения требуемых характеристик материала [1].

Целью данной работы является исследование взаимосвязи между скоростью деформации, температурой и конечными свойствами материалов.

Для проведения исследований были выбраны образцы из углеродистой стали 45 ГОСТ 1050–2013 и алюминиевого сплава Д16 ГОСТ 1583–93. Эксперименты проводились на универсальной испытательной машине с возможностью регулировки скорости деформации ($0,1\text{--}10\text{ с}^{-1}$) и температуры ($20\text{--}600\text{ °C}$) [2].

Основные этапы работы:

- 1 Подготовка образцов: механическая обработка, шлифовка.
- 2 Проведение деформации при различных скоростях и температурах.
- 3 Анализ микроструктуры с помощью оптического и электронного микроскопов.
- 4 Измерение механических свойств (твердость по Виккерсу, предел прочности) [3].

При увеличении скорости деформации от $0,1$ до 10 с^{-1} наблюдалось повышение предела прочности на $15\text{--}20\%$ для стали 45 и на 10% для сплава Д16 [1]. Это связано с уменьшением времени для дислокационных процессов, что приводит к упрочнению материала. Однако при скоростях выше 5 с^{-1} отмечалось образование микротрещин из-за локализации напряжений [2].

Нагрев образцов до 400 °C способствовал снижению предела прочности на 25% для стали и 30% для сплава Д16 из-за рекристаллизации и роста зерен [3]. При температурах выше 500 °C для стали наблюдалось резкое падение твердости (закон Кюри) [1], в то время как алюминиевый сплав сохранял стабильность до 600 °C [2].

Микрофотографии показали, что при низких температурах и высоких скоростях деформации структура материала становится более мелкозернистой, что объясняет увеличение прочности [3]. Нагрев приводит к коагуляции зерен и снижению механических свойств [1].

Проведенные исследования позволили установить оптимальные режимы деформации для стали 45 и сплава Д16:

- для стали: скорость деформации до 5 с^{-1} , температура не выше 400 °C [2].
- для сплава Д16: скорость до 7 с^{-1} , температура до 600 °C [3].

Применение этих режимов обеспечивает повышение прочности и износостойкости материалов без риска образования дефектов.

Список использованных источников

1 Горелик, С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик. – М.: Металлургия, 2005. – 432 с.

- 2 Ломакин, В. А. Механические свойства материалов при динамических нагрузках / В. А. Ломакин. – СПб.: Наука, 2010. – 215 с.
- 3 Фридман, Я. Б. Механические свойства металлов / Я. Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 2014. – 368 с.

Моделирование методом конечных элементов (МКЭ) процессаковки авиационных деталей

Студенты гр. 10402222 Богославчик А. А., Корнилов Д.С.

Научный преподаватель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Моделирование методом конечных элементов (МКЭ) является незаменимым инструментом при проектировании и совершенствовании технологииковки авиационных деталей. Этот метод позволяет инженерам «заглянуть» внутрь материала во время деформации, предсказать, как он будет вести себя под нагрузкой, и избежать ошибок, которые могут привести к браку [1]. В авиации, где каждая деталь должна выдерживать экстремальные нагрузки и температуры, такие расчеты критически важны. Например, при создании лопаток турбин или элементов фюзеляжа даже небольшая неточность в форме или структуре материала может стать причиной катастрофы. МКЭ заменяет дорогостоящие физические эксперименты виртуальными тестами, экономя время и ресурсы.

Процессковки включает нагрев металлической заготовки до высоких температур (часто выше 1000 °С) и ее деформацию с помощью пресса или молота [2]. При этом возникают сложные физические явления: материал течет неравномерно, в одних зонах сжимается, в других растягивается, а температура распределяется нелинейно из-за трения и контакта с инструментом. МКЭ разбивает деталь на тысячи мелких «кусочков» – конечных элементов, для каждого из которых решаются уравнения, описывающие деформацию, теплообмен и изменение структуры. Это позволяет увидеть, где могут появиться трещины, складки или участки с повышенным износом штампа. Например, при ковке диска компрессора двигателя важно, чтобы металл заполнил все углубления штампа без образования пустот. Моделирование помогает подобрать оптимальную скорость пресса, силу удара и температуру заготовки, чтобы добиться идеального результата.

Одной из ключевых задач является учет свойств материала. Авиационные сплавы, такие как титановый ВТ6 или никелевый Инконель, обладают высокой прочностью, но их поведение при ковке сильно зависит от температуры и скорости деформации. Например, если нагреть заготовку недостаточно, металл станет хрупким, а при перегреве – потеряет нужные свойства. МКЭ позволяет «проиграть» разные сценарии, чтобы найти баланс: при какой температуре сплав становится достаточно пластичным, но не перегревается, как скорость деформации влияет на размер зерен в структуре и, следовательно, на прочность готовой детали. Эти данные закладываются в модель в виде математических зависимостей, полученных из лабораторных испытаний.

Особенно сложным этапом становится моделирование контактного взаимодействия между заготовкой и инструментом. Во времяковки поверхности трутся друг о друга, что вызывает нагрев и износ штампа. В программах на основе МКЭ, таких как DEFORM или QForm, можно задать коэффициент трения, теплопроводность материалов и даже учесть смазку, которая снижает сопротивление. Это помогает продлить срок службы дорогостоящих штампов и сократить затраты на их замену. Например, при ковке крупногабаритных деталей шасси самолета неравномерный износ инструмента может привести к отклонениям в геометрии. Моделирование заранее показывает «слабые» места процесса, позволяя скорректировать конструкцию штампа или изменить технологические параметры.

Термические процессы – еще один важный аспект. При ковке часть энергии деформации превращается в тепло, что дополнительно нагревает заготовку. МКЭ учитывает это, рассчитывая, как температура распределяется по объему детали, как быстро она остывает после снятия нагрузки и какие остаточные напряжения возникают. Например, быстрое

охлаждение может привести к короблению тонкостенных элементов, а медленное – к нежелательному росту зерен в структуре. Точный прогноз этих явлений позволяет выбрать оптимальный режим охлаждения или добавить термообработку для снятия напряжений [2].

Верификация моделей – обязательный этап. Для этого результаты расчетов сравнивают с реальными данными, полученными в ходе испытаний. Например, на производстве устанавливают датчики на пресс, чтобы замерить усилиековки, или используют термопары для контроля температуры заготовки. После изготовления детали ее исследуют рентгеновскими методами или ультразвуком, чтобы обнаружить скрытые дефекты. Если модель предсказала их расположение, это подтверждает ее точность. Такая обратная связь позволяет постоянно улучшать алгоритмы и накапливать базу знаний для будущих проектов.

Сегодня МКЭ активно интегрируется в концепцию «цифровых двойников» – виртуальных копий реальных производственных процессов. Это позволяет не только проектировать детали, но и оптимизировать всю цепочку: от выбора сырья до контроля качества. Например, на заводе можно создать цифровую модель цеха, где будут тестироваться разные сценарииковки без остановки производства. Это сокращает время на переналадку оборудования и снижает риск человеческих ошибок.

Однако у метода есть и ограничения. Трехмерные модели требуют мощных компьютеров и долгого времени расчета, особенно для крупных деталей. Точность результатов зависит от качества входных данных: если свойства материала или условия трения заданы неправильно, прогноз будет ошибочным [3]. Поэтому развитие МКЭ идет в сторону упрощения интерфейсов, автоматизации сбора данных и использования нейросетей для ускорения расчетов. Например, искусственный интеллект может анализировать исторические данные моделирования и предлагать оптимальные параметры для новых задач.

Список использованных источников

1 Трегубов, В. И. Моделирование процессовковки и штамповки авиационных деталей методом конечных элементов / В. И. Трегубов, А. Д. Матвеев. – М.: Машиностроение, 2015. – 256 с.

2 Попов, Е. А. Численные методы в обработке металлов давлением / Е. А. Попов, С. Н. Григорьев. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 412 с.

3 Колпаков, С. В. Компьютерное моделирование в кузнечно-штамповочном производстве / С. В. Колпаков, А. М. Белов. – Минск: БНТУ, 2019. – 198 с.

**Повышение энергоэффективности процессов прессования за счет
адаптивного управления**

Студенты гр. 10402222 Кучинский В. А., Баханович А. А.

Научный руководитель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Прессование является одним из наиболее энергоемких процессов в металлургии и машиностроении, что обусловлено высокими энергетическими затратами на поддержание оптимальных условий работы прессов и минимизацию потерь энергии [1].

Внедрение адаптивных систем управления представляет собой эффективный инструмент для достижения значительных улучшений в этой области. Такие системы позволяют динамически регулировать параметры прессования в зависимости от текущих условий, что способствует снижению потребления энергии, улучшению производительности и повышению качества продукции [2].

Прессование в металлургической и машиностроительной отраслях включает широкий спектр технологических процессов, таких как штамповка, выдавливание и экструдирование. Эти процессы требуют значительных энергетических затрат, так как необходимо поддержание высокого давления и температуры для достижения нужных характеристик готовых изделий. В зависимости от типа материала, геометрии изделия и типа пресса параметры процесса могут значительно варьироваться. Это создает трудности в оптимизации энергетических затрат, поскольку традиционные методы управления не всегда обеспечивают нужную гибкость и адаптивность.

Адаптивное управление – это метод управления, при котором параметры процесса, такие как давление, температура и скорость деформации, настраиваются в реальном времени на основе анализа текущего состояния технологического процесса. Такие системы управления позволяют автоматически подстраиваться под изменения внешних факторов (например, вариации в качестве материала) и внутренние изменения (например, износ инструмента). Это достигается путем применения интеллектуальных алгоритмов, способных анализировать данные с датчиков, таких как температурные и прессовые датчики, и на основе этих данных управлять параметрами работы пресса.

Основные технологии адаптивного управления. Мониторинг параметров процесса: использование современных сенсоров и датчиков для измерения температуры, давления и других параметров в реальном времени; применение таких технологий позволяет получать точные данные о процессе и оперативно корректировать параметры [3].

Использование интеллектуальных алгоритмов: применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта для обработки данных, что позволяет предсказать изменения в параметрах процесса и принять решения, которые минимизируют потери энергии и повышают эффективность процесса [4].

Автоматическое регулирование: системы управления могут включать автоматическое изменение режима работы прессового оборудования в зависимости от изменений в параметрах процесса, что значительно снижает ручное вмешательство и повышает точность настройки.

Эффективность адаптивных систем управления. Реализация адаптивных методов управления приводит к значительному сокращению энергозатрат и улучшению производственных показателей. Внедрение интеллектуальных систем регулирования температуры и давления прессования на ряде предприятий позволило достичь сокращения энергозатрат на 15–20 % и одновременно повысить стабильность качества продукции. В результате таких изменений снижается износ инструмента, улучшается качество конечных изделий и увеличивается срок службы оборудования [5].

Примеры внедрения адаптивных систем в промышленности. Применение адаптивных систем управления уже продемонстрировало свою эффективность на различных промышленных предприятиях. В частности, внедрение таких систем в процесс производства профилей из алюминиевых сплавов позволило снизить потребление энергии и увеличить производительность без ухудшения качества продукции. Также известно о случаях успешного применения адаптивного управления в прессах для производства металлических заготовок, где благодаря динамическому регулированию температуры и давления удалось уменьшить расход энергии на 18% [6].

Внедрение адаптивных систем управления в процессы прессования является перспективным направлением для повышения их энергоэффективности. Современные методы мониторинга, интеллектуальной обработки данных и автоматического регулирования позволяют существенно сократить энергозатраты, повысить производительность и улучшить стабильность качества продукции. Внедрение этих технологий будет способствовать не только повышению эффективности производства, но и значительному сокращению воздействия на окружающую среду, за счет снижения уровня потребления энергии. Эти изменения становятся особенно важными в условиях современной экономической ситуации, где эффективное использование ресурсов играет ключевую роль в конкурентоспособности предприятий.

Список использованных источников

- 1 Гришин, А. Д. Современные методы повышения энергоэффективности в производственных процессах / А. Д. Гришин. – М.: Московский институт энергетике, 2024. – С. 5–22
- 2 Киселев, А. Л. Повышение эффективности производства профилей из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса / А. Л. Киселев. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. – 180 с.
- 3 Юсупов, О. Я. Технологии повышения энергоэффективности производственных процессов в промышленности / О. Я. Юсупов. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2023. – С. 50–55.
- 4 Иванов, А. Н. Современные интеллектуальные системы управления в производственных процессах / А. Н. Иванов, С. А. Петров. – Минск: Национальная академия наук Беларуси, 2022. – С. 35–42.
- 5 Павлов, С. В. Влияние адаптивных технологий на энергоэффективность металлургического производства / С. В. Павлов. – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет, 2021. – С. 22–28.
- 6 Соловьев, И. В. Интеллектуальные системы управления и их применение в металлургии / И. В. Соловьев. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2020. – С. 45–51.

Сравнение эффективности традиционных и биоразлагаемых смазок

Студент гр. 10402222 Давыдов В. И.

Научный преподаватель – Боярчук А. Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Смазочные материалы являются неотъемлемой частью современных механизмов и оборудования. Их основная функция заключается в снижении трения между соприкасающимися поверхностями, уменьшении износа деталей и предотвращении перегрева. Однако традиционные смазочные материалы, производимые из нефтепродуктов, обладают существенным недостатком – они крайне медленно разлагаются в природной среде и могут оказывать токсичное воздействие на экосистемы.

В последние годы всё большее внимание уделяется разработке и применению биоразлагаемых смазок, созданных на основе возобновляемого сырья, такого как растительные масла (рапсовое, подсолнечное) и синтетические эфиры. Такие смазки обладают высокой экологичностью, но их эффективность в различных условиях эксплуатации требует детального изучения [1].

В данной работе мы хотим провести сравнительный анализ эффективности традиционных нефтебазовых и биоразлагаемых смазок по ключевым параметрам: смазывающей способности, термической и окислительной стабильности, коррозионной активности и степени биоразлагаемости.

Для проведения сравнительного анализа были выбраны два типа смазочных материалов:

- традиционная смазка – минеральное масло ISO VG 68, широко применяемое в промышленности;
- биоразлагаемая смазка – полиолэфирное масло на основе рапсового масла с добавлением экологически безопасных присадок [2].

В ходе исследования мы решили выделить следующие этапы:

1 Оценка смазывающей способности:

- испытания проводились на трибометре по методу «шар-диск» для определения коэффициента трения и износа;
- Измерялась толщина смазывающей плёнки при различных скоростях и нагрузках.

2 Определение термической и окислительной стабильности:

- Термогравиметрический анализ (ТГА) для оценки температурного предела работоспособности;
- Испытание на окисление по методу ASTM D943 (индукционный период окисления).

3 Тестирование биоразлагаемости:

- Применялся стандартный тест OECD 301B для определения степени разложения смазки в водной среде за 28 дней.

4 Коррозионная активность:

- Испытание на медную пластину по ASTM D130 для оценки воздействия смазки на металлы.

В ходе проведения исследования мы получили следующие результаты:

1 Смазывающая способность:

- Биоразлагаемая смазка продемонстрировала более низкий коэффициент трения (на 15-20 % меньше, чем у минерального масла) благодаря полярной структуре молекул, обеспечивающей лучшую адгезию к металлическим поверхностям;

– Однако при экстремальных давлениях (свыше 300 МПа) её противоизносные свойства уступают традиционным смазкам из-за меньшей термической стабильности.

2 Термическая и окислительная стабильность:

– Минеральное масло сохраняло стабильность до 180–200 °С, тогда как биоразлагаемый аналог начинал разлагаться уже при 150–160 °С;

– Индукционный период окисления у биоразлагаемой смазки оказался короче, что указывает на её меньшую устойчивость к длительному нагреву в присутствии кислорода.

3 Биоразлагаемость:

– По результатам теста OECD 301B, биоразлагаемая смазка разложилась на 85 % за 28 дней, в то время как минеральное масло – лишь на 25–30 %.

4 Коррозионная активность:

– Оба типа смазок показали минимальную коррозионную активность (класс 1A по ASTM D130), что делает их безопасными для большинства металлических деталей [3].

В ходе исследования мы определили:

1 Биоразлагаемые смазки обладают рядом преимуществ перед традиционными, включая более высокую экологичность и лучшую смазывающую способность в стандартных условиях эксплуатации;

2 Основными ограничениями биоразлагаемых смазок являются их относительно низкая термическая стабильность и меньшая устойчивость к экстремальным нагрузкам;

3 Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку новых присадок, способных улучшить термоокислительную стабильность биоразлагаемых смазок без ущерба для их экологических свойств;

4 Внедрение биоразлагаемых смазок особенно актуально в отраслях с высокими требованиями к экологической безопасности, таких как сельское хозяйство, судоходство и пищевая промышленность.

Список использованных источников

1 Баранов, Ю. В. Физические основы прокатной обработки и новые материалы / Ю. В. Баранов. – М: МГИУ, 2011. – 763 с.

2 Школьников, В. М. Справочник по смазочным материалам и техническим жидкостям / В. М. Школьников. – Москва: Изд-во Химия, 1989. – 76 с.

3 Глущенко, В. А. Специальные виды смазок: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 76 с.

Обработка титана и его сплавов имеет много важных особенностей. Титан и его сплавы требуют узкого диапазона температуры для обработки. Титан может нагреваться в электрических или пламенных печах, где он изолируется от прямого контакта с огнем. Температура аллотропического превращения для чистого титана равна 882–885 °С. α -титан пластичнее β -титана, что объясняется особенностями кристаллической структуры. Примеси в титане (кислород, азот, водород и др.) значительно ухудшают его пластичность. Все это следует учитывать при разработке технологииковки, штамповки, прессования и прокатки технического титана.

Из-за высоких значений предела прочности и текучести, а также низких антифрикционных свойств холодная пластическая деформация титановых листов является более трудной операцией, чем стальных. Ввиду большой прочности титана и повышенных сил трения требуется более мощное оборудование и происходит быстрый износ штампов. На заготовках под штамповку не допускаются зазубрины, выбоины, разрезы и пр., так как титан очень чувствителен к концентраторам напряжений, которые во время деформирования могут привести к трещинам и разрывам. Кромки заготовок приходится тщательно зачищать и округлять. При нагреве заготовок необходимо учитывать возможную анизотропию свойств титановых листов [1].

Вследствие роста зерен при высоких температурах (особенно выше 870 °С) пластичность титана снижается. Поэтому большую часть операций по обработке титана и его сплавов производят при температуре 790 °С, чтобы не снижать их механические свойства. Для улучшения свойств готовую поковку подвергают отжигу.

Титан и его сплавы обрабатывают свободной ковкой на том же оборудовании, что и сталь, но при меньшей скорости деформации. Объемная штамповка титана отличается от объемной штамповки стали. При построении штампов для титана необходимо применять большие уклоны (10 %) и большие радиусы в переходах. Заготовки из титана и его сплавов нагреваются до 870–980 °С, что обеспечивает хорошее заполнение штампов.

Прокатка титана и его сплавов для изготовления листов, фасонных профилей из проката и труб. Оборудование для прокатки титана такое же, как и для прокатки стали. Листы получают горячей и холодной прокаткой заготовок. Толстые и плотные листы прокатывают из кованных сутунок на линейных и непрерывных станциях. При прокатке толстых листов заготовки нагревают до 1050–1100 °С, а тонкие – не выше 1000 °С. Простые профили (круг, квадрат, уголок) прокатывают на сортовых станках по той же технологической схеме, как и нержавеющую сталь [2].

При штамповке применяют выколотку как вспомогательную операцию. Производят выколотку на пневматических выколоточных молотах и ручным способом при помощи молотка и специального инструмента. Выколотку пластичных титановых сплавов (BT1-0, OT4-0) можно производить в холодном состоянии с промежуточными отжигами или с нагревом до 300–500 °С и окончательным отжигом после изготовления. Остальные сплавы для выколотки требуют обязательного нагрева на 550–700 °С. Вытяжку титана обычно сопровождают использованием графитовой смазки (50 % графита и 50 % масла). При прессовании титановых сплавов смазкой служит смесь, содержащей графит, слюду и другие добавки. Матрицы, изготовленные из карбида титана, устраняют налипание металла к их поверхности и обеспечивают хорошее качество изделий.

Список использованных источников

1 Юркевич С.Н., Люцкевич А.И., Константинов В.М., Юркевич К.С. Применение магнито-импульсной обработки для улучшения шероховатости поверхности деталей из титановых и алюминиевых сплавов // Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума: – Витебск: ВГТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 76 – 78.

2 Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О. Исследование влияния комбинированной магнито-импульсной обработки на качество твёрдосплавного инструмента // Обработка металлов. – 2011. – №3 (52). – С. 95 – 98.

Электрогидравлическая обработка материалов

Студенты гр. 10402222 Овсепян Д. З., Костевич В. С.
 Научный руководитель – Шкурдюк П. А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Электрогидравлическая обработка материалов представляет собой инновационный метод, который сочетает в себе механические и электрические процессы для достижения высокой точности и качества обработки. Этот метод получил широкое применение в различных отраслях, включая автомобилестроение, авиастроение и микроэлектронику.

Электрогидравлическая обработка основана на использовании электрических разрядов для создания высокочастотных колебаний в жидкой среде.[1].

1 Процесс разряда: электрический разряд между электродами проходит в водной среде, что вызывает значительное мгновенное повышение температуры и давления. Появление паровых пузырьков создает ударные волны, способные разрушать материал.

2 Оборудование: Системы Электрогидравлическая обработка обычно включают высоковольтные источники энергии, камеры для обработки и системы управления.

В основе электрогидроимпульсных технологий лежат физические явления высоковольтного электрического разряда в жидкости. Электрогидравлический эффект представляет собой комплекс явлений, сопровождающих разряд в жидкости. Для его создания используется генератор импульсных токов (ГИТ). (рисунок 1).

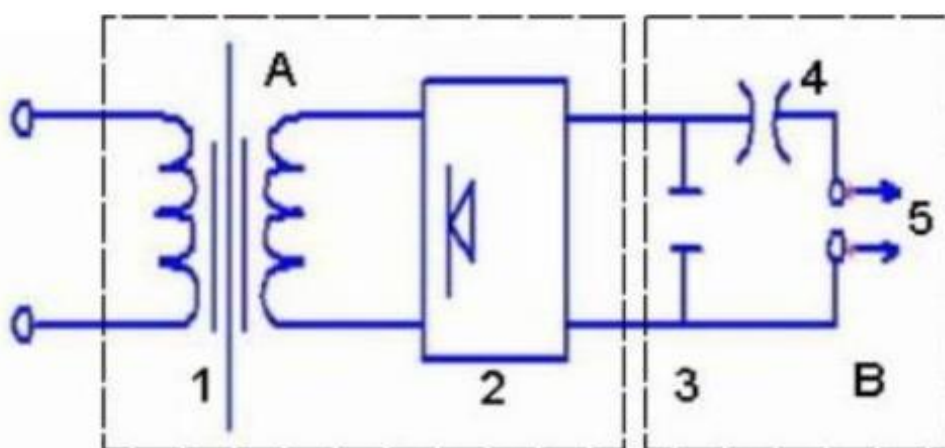


Рисунок 1 – Блок схема генератора импульсных токов:

А – зарядное устройство; В – устройство цепи разряд;

1 – повышающий трансформатор; 2 – выпрямительный блок; 3 – батарея конденсаторов; 4 – разрядник-выключатель; 5 – выходные клеммы

ГИТ состоит из двух устройств: зарядного А и цепи разряд В. Зарядное устройство состоит из повышающего трансформатора 1 и выпрямительного блока 2, а цепь разряда – батарей конденсаторов 3, разрядника-выключателя 4 и выходных клемм 5.

Генератор импульсных токов является ключевым элементом электрогидравлической обработки металлов. Он обеспечивает создание высоковольтных импульсов, необходимых для инициирования электрических разрядов в рабочей среде. Эти разряды в свою очередь создают ударные волны, способные разрушать материал, что делает этот метод высокоэффективным для обработки различных типов материалов [2].

Генераторы импульсных токов работают на принципе накопления и быстрого разряда электрической энергии:

1 Накопление энергии: генератор заряжает конденсатор, который накапливает электрическую энергию. Это происходит в течение определенного времени.

2 Импульсный разряд: после достижения необходимого напряжения конденсатор разряжается через электроды, создавая импульсный ток. Импульсы могут иметь высокую напряженность, выражающуюся в киловольтах, и короткую продолжительность, что делает процесс одновременно быстрым и эффективным.

3 Создание ударных волн: Разряды в жидкости (чаще всего в водной среде) создают ударные волны, которые передаются в обрабатываемый материал, приводя к его разрушению.

Генераторы импульсных токов находят широкое применение в различных отраслях:

1 Обработка твердых сплавов: позволяет обрабатывать детали, которые подвержены высокой механической нагрузке, например, в автомобилестроении.

2 Нанотехнологии: используются в производстве микро- и наноструктур, где необходима высокая точность обработки.

3 Производство инструментов: применяются для создания специализированных инструментов, которые требуют высокой износостойкости и жесткости. [3].

Электрогидравлическая обработка металлов представляет собой революционный метод, который открывает новые возможности для обработки материалов с высокой точностью и качеством. Несмотря на некоторые ограничения, преимущества данного метода делают его перспективным в высокотехнологичных отраслях. Будущее электрогидравлической обработки металлов, вероятно, будет связано с дальнейшим развитием технологий и оборудования, что позволит расширить ее область применения и повысить эффективность.

Список использованных источников

1 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара : Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

2 Суворин, А. С. Электротехнологические установки / А. С. Суворин – Сибирь: Изд-во СФУ, 2011. – 280 с.

3 Гарифуллин, Ф. А. Обработка материалов давлением / Ф. А. Гарифуллин, В. Н. Кузнецов, Г. С. Дьяконов. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – 116 с.

**Прогнозирование трещинообразования при холодной объемной штамповке
высокоуглеродистых сталей**

Студент гр. 10402222 Корневский А. Р.
Научный преподаватель – Боярчук А. Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Холодная объемная штамповка (ХОШ) является одним из наиболее эффективных методов получения деталей высокой точности с минимальными потерями материала. Однако при обработке высокоуглеродистых сталей возникает риск трещинообразования из-за их низкой пластичности и высокой склонности к хрупкому разрушению [1].

Цель данной работы – анализ факторов, влияющих на образование трещин при холодной штамповке высокоуглеродистых сталей, и разработка методов прогнозирования дефектов для повышения качества готовых изделий.

При холодной штамповке высокоуглеродистых сталей трещины формируются под действием следующих факторов:

1 Высокие напряжения – при деформации возникают значительные растягивающие напряжения, превышающие предел прочности материала.

2 Низкая пластичность – высокоуглеродистые стали имеют ограниченную способность к пластической деформации из-за наличия карбидной фазы.

3 Концентрация напряжений – острые углы, резкие переходы и дефекты поверхности способствуют локальному разрушению.

4 Остаточные напряжения – неравномерное охлаждение и наклеп могут провоцировать растрескивание после штамповки[2].

Для предупреждения дефектов применяются следующие подходы:

1 Численное моделирование (МКЭ)

Использование программного обеспечения (например, Deform, QForm) позволяет:

- анализировать распределение напряжений и деформаций;
- выявлять критические зоны с высокой вероятностью разрушения;
- оптимизировать геометрию штампа и режимы деформирования.

1 Критерии разрушения

Применяются различные критерии для оценки предельных деформаций:

– Критерий Кулона-Мора – учитывает влияние гидростатического давления на разрушение.

– Критерий Кокса-Клифтона – используется для хрупких материалов.

– Модифицированный критерий Формозова – учитывает влияние скорости деформации.

3 Экспериментальные методы

– Испытания на осадку – определение предельной степени деформации до появления трещин.

– Анализ микроструктуры – выявление зон с повышенной концентрацией карбидов и микропустот.

Для повышения качества штамповки рекомендуется:

1 Оптимизация режимов деформации – снижение скорости штамповки, применение промежуточного отжига.

2 Улучшение смазки – уменьшение трения и локальных перегревов.

3 Модификация состава стали – легирование элементами, повышающими пластичность (Mn, Cr).

4 Контроль качества заготовок – устранение дефектов поверхности перед штамповкой.

Прогнозирование трещинообразования при холодной объемной штамповке высокоуглеродистых сталей требует комплексного подхода, включающего численное моделирование, экспериментальные исследования и применение критериев разрушения. Оптимизация технологических параметров позволяет минимизировать риск дефектов и повысить эффективность процесса.

Список использованных источников

1 Баранов, Ю. В. Физические основы прокатной обработки и новые материалы / Ю. В. Баранов. – М: МГИУ, 2011. – 446 с.

2 Школьников В. М. Способ холодной штамповки высокоуглеродистых сталей / В. М. Школьников. – Самара: Изд-во Химия, 1989. – 122 с.

3 Глущенко, В. А. Теория обработки металлов давлением: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 76 с.

Анализ остаточных напряжений в деталях, полученных гидроимпульсной штамповкой

Студент гр. 10402222 Прокопеня А. В.
Научный руководитель – Боярчук А. Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Гидроимпульсная штамповка (ГИШ) представляет собой современный метод обработки металлов давлением, который сочетает высокую скорость деформации с импульсным воздействием жидкости. Этот метод нашел широкое применение в аэрокосмической и автомобильной промышленности, где требуется изготовление деталей сложной геометрии, таких как лопатки турбин, элементы кузова или детали топливных систем [1]. Основным преимуществом ГИШ является возможность достижения высокой точности формования при минимальном времени обработки, однако ключевой проблемой остаются остаточные напряжения, возникающие в материале из-за неоднородности пластической деформации, температурных градиентов и фазовых превращений [2]. Эти напряжения могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние: например, сжимающие напряжения в поверхностных слоях повышают усталостную прочность деталей, тогда как растягивающие напряжения в глубине материала способствуют короблению или образованию трещин [3].

Для анализа остаточных напряжений применяются несколько методов. Рентгеновская дифрактометрия основана на измерении изменений межплоскостных расстояний кристаллической решетки, что позволяет определить напряжения в поверхностном слое с точностью до ± 10 МПа, однако глубина анализа ограничена 50 мкм, что делает метод непригодным для оценки напряжений в объемных деталях [1]. Метод отверстий предполагает локальное высверливание материала и регистрацию возникающих деформаций с помощью тензодатчиков; этот подход позволяет измерить напряжения в глубине материала, но является инвазивным и требует сложной калибровки при неоднородном распределении напряжений [2]. Ультразвуковая эхометрия использует зависимость скорости распространения ультразвуковых волн от напряженного состояния материала, что обеспечивает быстроту измерений, однако метод чувствителен к микроструктуре материала и требует предварительной калибровки для каждого типа сплава [3]. Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет прогнозировать распределение напряжений на этапе проектирования, учитывая параметры процесса, свойства материала и геометрию детали, но его точность напрямую зависит от корректности входных данных, таких как кривые упрочнения или коэффициент трения между заготовкой и инструментом [1].

Остаточные напряжения в деталях после гидроимпульсной штамповки формируются под влиянием нескольких ключевых факторов. Параметры технологического процесса, такие как давление жидкости, скорость деформации и количество импульсов, определяют характер распределения напряжений. Свойства обрабатываемого материала, в частности предел текучести и модуль упругости, существенно влияют на уровень остаточных напряжений. Материалы с высокой прочностью склонны к накоплению напряжений, тогда как более пластичные сплавы демонстрируют лучшую релаксацию [3]. Особое значение имеет геометрия детали - наличие острых углов, отверстий и перепадов толщины создает зоны концентрации напряжений, что особенно важно учитывать при проектировании ответственных конструкций [1].

Для минимизации негативного влияния остаточных напряжений применяются дополнительные технологические операции. Термическая обработка (отпуск) предполагает нагрев детали с последующим медленным охлаждением, что позволяет снизить напряжения

на 30-70% за счет рекристаллизации и диффузии атомов [2]. Дробеструйная обработка, при которой поверхность детали подвергается воздействию стальной или керамической дроби диаметром 0,1-1 мм, формирует сжимающие напряжения в поверхностном слое, повышая усталостную прочность и коррозионную стойкость [3]. Вибрационная обработка, основанная на применении низкочастотных колебаний (20-200 Гц), способствует перераспределению остаточных напряжений за счет микропластических деформаций, однако ее эффективность зависит от амплитуды и частоты вибрации [1].

Перспективные направления исследований в данной области включают совершенствование методов контроля остаточных напряжений. Особый интерес представляет комбинирование численного моделирования с неразрушающими методами контроля, что позволяет оптимизировать технологические процессы [2]. Разработка новых материалов с улучшенными характеристиками пластичности, а также усовершенствование оборудования для гидроимпульсной штамповки открывают возможности для снижения уровня остаточных напряжений на этапе формообразования [3]. Важное значение имеет адаптация существующих технологий к обработке деталей сложной геометрии, что подтверждается современными исследованиями в области обработки металлов давлением [1].

Список использованных источников

1 Барвинок В.А., Самохвалов В.П., Кирилин А.Н. Магнитоимпульсная обработка деталей летательных аппаратов из труднодеформируемых материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 1999. – №2. – С. 319 – 324.

2 Юркевич С.Н., Люцкевич А.И., Константинов В.М., Юркевич К.С. Применение магнито-импульсной обработки для улучшения шероховатости поверхности деталей из титановых и алюминиевых сплавов // Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума: – Витебск: ВГТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 76 – 78.

3 Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О. Исследование влияния комбинированной магнито-импульсной обработки на качество твёрдосплавного инструмента // Обработка металлов. – 2011. – №3 (52). – С. 95 – 98.

**Оптимизация режимов прокатки для улучшения качества
тонколистовой стали путем использования полиуретановых валков**

Студент гр. 10402222 Абакумов Е. А.
Научный руководитель – Боярчук А. Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современные требования промышленности к качеству тонколистовой стали, особенно в автомобилестроении и электротехническом производстве, обуславливают необходимость совершенствования технологии прокатки [1]. Особое значение имеет качество поверхности, так как оно непосредственно влияет на последующие операции обработки и эксплуатационные характеристики изделий [2]. Традиционно используемые стальные валки часто вызывают дефекты поверхности из-за высокого контактного давления и недостаточных демпфирующих свойств. Перспективной альтернативой являются полиуретановые валки, обладающие рядом преимуществ, включая сниженный коэффициент трения и улучшенные демпфирующие характеристики. В работе рассмотрены теоретические аспекты применения полиуретановых валков для улучшения качества тонколистовой стали. Проанализированы механизмы влияния полиуретановых валков на процесс прокатки и качество поверхности.

Теоретические основы

1 Механизм взаимодействия валков с металлом

При прокатке полиуретановые валки демонстрируют принципиально иной характер взаимодействия с металлом по сравнению с традиционными стальными валками [3]. В процессе прокатки качество поверхности металла определяется комплексом факторов, среди которых важнейшую роль играют:

- контактные напряжения в зоне деформации;
- коэффициент трения между валком и металлом;
- упругие свойства материала валков.

Полиуретановые валки, обладая модулем упругости на 2–3 порядка ниже, чем у стальных (10–15 МПа против 200–210 ГПа), обеспечивают:

- более равномерное распределение контактных напряжений;
- снижение пиковых нагрузок на 20–30 %;
- уменьшение коэффициента трения на 15–20 %.

2 Влияние на качество поверхности

Согласно теории обработки металлов давлением, применение полиуретановых валков позволяет:

- минимизировать образование задиров и микротрещин;
- снизить шероховатость поверхности на 15–25 %;
- уменьшить вероятность возникновения волнистости и коробления.

3 Энергетические аспекты

Теоретические расчеты показывают, что использование полиуретановых валков способствует:

- снижению энергозатрат на 5–8 % за счет уменьшения трения;
- более равномерному распределению энергетической нагрузки по длине валка.

Оптимизация режимов прокатки

На основании теоретических исследований можно выделить следующие оптимальные параметры:

1 Скорость прокатки: 5–8 м/с

- обеспечивает баланс между производительностью и качеством поверхности.

2 Степень обжатия: 15–25 %

– оптимальный диапазон для сохранения качества при максимальной производительности.

3 Температурный режим: 50–70 °С

– поддерживает оптимальные реологические свойства полиуретана.

Теоретический анализ подтверждает перспективность применения полиуретановых валков для улучшения качества тонколистовой стали. Основные преимущества:

1 Улучшение качества поверхности за счет снижения контактных напряжений.

2 Снижение энергозатрат благодаря уменьшению трения.

3 Возможность оптимизации технологических параметров прокатки.

Перспективным направлением является разработка математических моделей для более точного прогнозирования результатов применения полиуретановых валков.

Список использованных источников

1 Гуляев, А. П. Теория обработки металлов давлением / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 2018. – 456 с.

2 Johnson, K. L. Contact Mechanics / K. L. Johnson. - Cambridge University Press, 2003. – 452 p.

3 Петров, В. С. Механика процессов прокатки / В.С. Петров. – М.: Машиностроение, 2019. – 320 с.

Подготовка материала к волочению. Химическая очистка

Студент гр.30402122 Полуян Н.Р.

Научный руководитель – Галимская П.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Волочение – обработка металлов давлением, состоящая в протягивании обычно в холодном состоянии – изделий круглого или фасонного профиля (гл. обр. прутков, катанки, труб), через отверстие (фильеру), площадь выходного сечения которого меньше площади сечения исходного изделия. В результате поперечные размеры изделий уменьшаются, а длина увеличивается. В. производят на волочильных станах, имеющих несколько фильер для одновременной обработки нескольких заготовок (рисунок 1) [1].

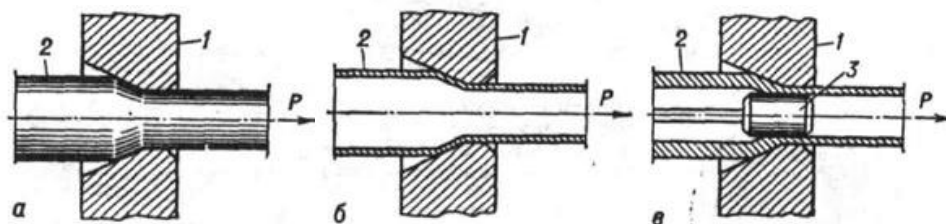


Рисунок 1 – Схема процесса волочения:

а – проволоки и прутков круглого сечения; б – труб без утонения стенки;

в – труб с утонением стенки

1 – волока; 2 – протягиваемое изделие; 3 – оправка

Исходным материалом для волочения служит сортовой прокат простых профилей (круг, квадрат, полоса, проволока-катанка), а также трубы. В результате волочения можно получить сплошные профили простых и сложных сечений, трубы обычные и некруглого сечения. Очень часто в производственных условиях некоторые изделия, полученные прокаткой (проволока, прутки, трубы), должны иметь точные сечения по длине и чистую поверхность. Например: заготовки для штамповки на горизонтально-ковочных машинах или на холодно-высадочных автоматах. В этом случае применяется калибровка – волочение с очень незначительным обжатием (8–12 %).

Перед началом процесса волочения тщательно готовят исходный материал, который может быть в виде прутков или рулонной катанки. Металл должен соответствовать требованиям по химическому составу и механическим свойствам. Для этого осуществляется проверка на наличие дефектов, таких как:

- трещины;
- коррозия;
- неровности.

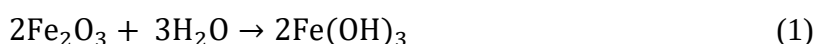
Они могут негативно повлиять на качество конечного продукта. В некоторых случаях металл обязательно подвергается предварительной механической обработке, чтобы обеспечить необходимую форму и размер [2].

Химическое травление нержавеющей стали — это процесс, который используется для удаления оксидов и других загрязнений с поверхности металла, что улучшает его внешний вид и коррозионную стойкость. Этот метод особенно важен после сварки, так как сварные швы часто содержат оксиды и другие примеси, которые могут снизить качество и долговечность изделия.

Эффективность химической очистки высокая, качество стабильное, процесс волочения подходит для очистки небольших размеров, серийного производства заготовки. Можно использовать метод погружения и скрабирования. Используйте ацетон, бензин, керосин и другие растворители для удаления масла с поверхности, используйте 5 % или 10 % раствор NaOH при 40–70 °С для щелочной промывки в течение 3–7 минут (чистый алюминий в течение немного более длительного времени, но не для профилей из алюминиевого сплава более 20 минут), промойте проточной водой, затем используйте 30% раствор HNO₃ при комнатной температуре до 60° для травления в течение 1–3 минут и промойте проточной водой.

Скорость движения проволоки при обработке составляет от 30 до 500 м/мин. Проволоку после щелочного раствора могут подвергать промывке и травлению. Травление проводят химическим способом в кислой среде или электрохимическим способом в кислом или нейтральном растворе.

Закись железа растворима в горячем щелочном растворе, однако окислы, содержащие трехвалентное железо, реагируют лишь при высокой температуре, например, в момент погружения горячей проволоки в щелочной раствор.



Процесс щелочной очистки сопровождается накоплением в рабочем растворе гидроксидов железа. Как следует из уравнения реакции, щелочь в процессе очистки участвует в образовании лишь промежуточных продуктов реакции, и расходуется только на вынос в промывки.

В предлагаемой технологии снижается нагрузка на ванны травления, так как окислы железа, образующиеся после обработки проволоки в расплаве, удаляются в процессе ее охлаждения в растворе щелочной очистки.

Снижение нагрузки на ванны травления увеличивает продолжительность работы травильного раствора, снижает затраты на его регенерацию, улучшает условия труда травильщиков. В варианте с электрохимическим травлением – уменьшение токовых нагрузок, для химического – сокращение продолжительности травления. Щелочной раствор нагревается в процессе работы за счет тепла проволоки, следовательно, для его охлаждения необходимы теплообменники [3].

Оптимальные технологические параметры щелочной очистки при производстве бортовой бронзированной проволоки:

- температура расплава 400–500 °С. При большей температуре значительно возрастает количество окислов на проволоке и, как следствие, снижается качество щелочной очистки;
- концентрация NaOH 120–300 г/дм³;
- скорости обработки проволоки от 40 до 200 м/мин и более при длине погружения проволоки в щелочной раствор 0,7–2 м;
- для повышения эффективности очистки расстояние между выходом проволоки из расплава до входа в раствор щелочи должно быть минимальным, зависимости от скорости проволоки составлять 0,5–7 м.

Технико-экономическая эффективность изобретения:

- расширение технических возможностей очистки, например, возможность очистки стальной проволоки большего диаметра после сухого волочения;
- удешевление технологии очистки проволоки перед нанесением покрытия;
- очистка поверхности проволоки от окислов железа;
- улучшение условий труда [3].

Список использованных источников

- 1 Большой энциклопедический политехнический словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/1532>. – Дата доступа: 21.01.2025.
- 2 Технология производства стальной проволоки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.neva-stal.ru/tehnologiya_proizvodstva_stalnoy_pr. – Дата доступа: 21.01.2025.
- 3 Способ очистки поверхности стальной проволоки: пат. RU2276203C2 / И. И. Крымчанский, Н. В. Андрианов, А. Н. Савенюк. – Оpubл. 05.10.2006.

Ковка в штампах

Студент гр.30402122 Голышев С. В.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Ковка – это совокупный производственный процесс формовки металла через чередование специфических технологий: осадку, протяжку, прошивку, отрубку, гибку и кручение. Данная технология может реализовываться с использованием механического воздействия – ударного усилия молотка или штампа. Особое значение в процессе ковки занимает ковка металла в штампах, подразделяемая на два основных типа: в открытых штампах (рисунок 1 (а)) и закрытых штампах (рисунок 1 (б)).

Основные требования для штампов включают:

- высокую твердость;
- износостойкость материала;
- прочностные характеристики, обеспечивающие устойчивость к разрушению под воздействием нагрузок;
- сопротивление деформациям;
- улучшенную ударную вязкость для эффективного рассеивания энергии [1].

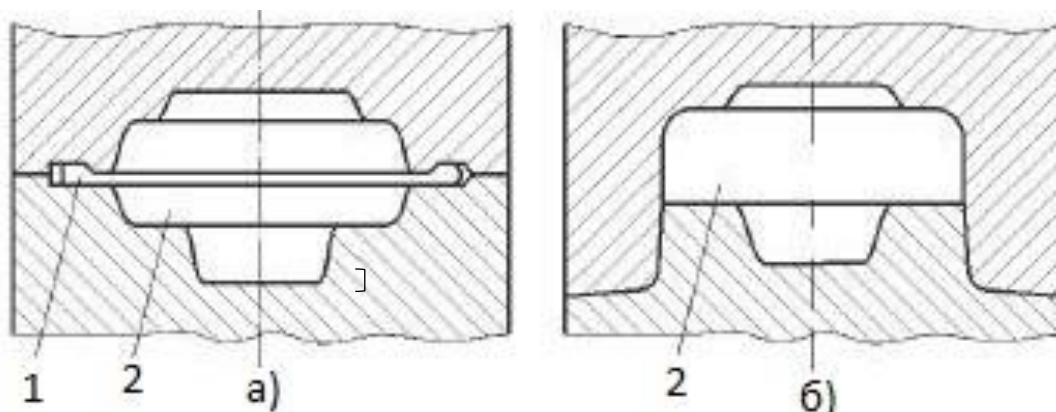


Рисунок 1 – Открытый (а) и закрытый (б) штампы:

1 – облойная канавка; 2 – полость штампа

Процесс закрытой штамповки (или ковки) заключается во формировании металла между двумя полностью охватывающими его половинками, помещенными в матрицу. Преимущества данной технологии:

1 Высокая точность: благодаря точной форме и полному окружению заготовки.

2 Эффективность производства: возможность создания сложных конструкций с минимальными отходами;

3 Оптимальна для крупносерийного выпуска, обеспечивая экономию ресурсов.

Однако есть и недостатки:

1 Ограниченная вариативность форм из-за необходимости индивидуальной штамповки каждой детали.

2 Высокая стоимость: проектирование, производство сложных штампов и их изготовление увеличивают общие затраты.

В отличие от этого, ковка в открытых штампах (также известная как свободная или кузнечная) характеризуется:

- гибкостью формования: разнообразие возможных конфигураций;

- экономичностью благодаря простоте и минимальной дополнительной обработке изделий, особенно крупногабаритных;
- возможностью производства деталей больших размеров.

Однако к недостаткам относятся:

1 Снижение точности: ручная установка заготовки между штампами приводит к менее точным результатам по сравнению с закрытой технологией.

2 Большой объем отходов из-за меньшей степени детализации и больших размеров исходного материала.

Выбор методаковки напрямую зависит от специфических задач производства: приоритеты ставятся на точность, серийность (закрытые штампы) или гибкость, экономичность и крупногабаритные изделия (открытые). Баланс между бюджетом, объемами выпуска и сложностью деталей определяет оптимальный подход к процессу [2].

Список использованных источников

1 Чигринова, Н. М. Конструкторско-технологическое обеспечение производства: учебное пособие / Н. М. Чигринова, О. В. Дьяченко. – Минск : БНТУ, 2022. – 125 с.

2 Клименков, С. С. Формообразующий инструмент в машиностроении. Расчет и конструирование: учебное пособие / С. С. Клименков. – Минск: Новое знание; ИНФРА-М, 2016. – 671 с.

Поперечно-винтовая прокатка. Особенности и технологический процесс

Студенты гр. 30402122 Маглич А. Р., Лис М. Ю.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Поперечно-винтовая прокатка (ПВП) – один из самых современных методов пластической обработки металлов давлением, широко применяемый в металлургии и машиностроении. Этот процесс основан на одновременном вращательном и поступательном движении заготовки между валками, что обеспечивает эффективное формирование изделий сложной формы.

Поперечно-винтовая прокатка представляет собой процесс деформирования металлической заготовки между двумя или более валками, имеющими винтовую канавку. Заготовка вращается и продвигается вдоль своей оси под воздействием вращающихся валков, подвергаясь значительной пластической деформации (рисунок 1).

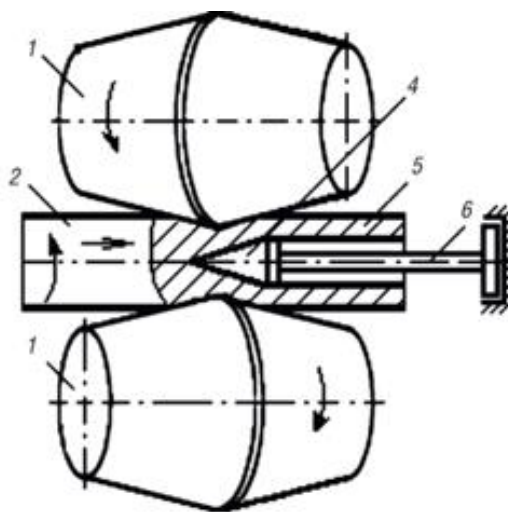


Рисунок 1 – Поперечно винтовая прокатка заготовки трубы (гильзы):

1 – валок; 2 – заготовка; 3 – направляющий холостой валок;
4 – оправка (прошивень); 5 – гильза; 6 – стержень

Основными параметрами, влияющими на процесс прокатки, являются:

- угол наклона оси валков,
- скорость вращения валков,
- температурный режим прокатки,
- форма и глубина винтовых канавок на валках [1].

Существует несколько типов ПВП, различающихся конструкцией прокатных валков и характером движения заготовки:

- поперечно-винтовая прокатка с гладкими валками – применяется для предварительной обработки заготовок, улучшения их структуры перед последующей обработкой.
- поперечно-винтовая прокатка с калиброванными валками – позволяет получать изделия с высокой точностью формы, используется для изготовления осей, валов, труб и других деталей.
- процесс Шеффилда (Шеффилдская прокатка) – метод, при котором заготовка одновременно подвергается кручению и осевому растяжению, что способствует улучшению механических свойств.

Преимущества ПВП:

– высокая производительность – процесс позволяет обрабатывать большое количество заготовок за короткое время.

– улучшенные механические свойства металла – благодаря пластической деформации структура металла становится более однородной, снижается вероятность внутренних дефектов.

– экономичность – сокращается расход материала по сравнению с другими методами обработки.

Гибкость – возможность обработки различных видов металлов, включая сталь, алюминий, титан и их сплавы.

Недостатки ПВП:

– сложность оборудования – для реализации процесса требуется специальное прокатное оборудование.

– ограничения по размеру заготовок – процесс наиболее эффективен при обработке средних и небольших заготовок.

– требования к точному контролю параметров – неправильный выбор режимов может привести к браку продукции.

Поперечно-винтовая прокатка активно применяется в различных отраслях промышленности:

– металлургия – производство труб, осей, валов, заготовок для последующейковки и штамповки.

– авиационная и автомобильная промышленность – изготовление деталей с высокой прочностью и устойчивостью к нагрузкам.

– судостроение – производство элементов двигателей, гребных валов и крепежных деталей.

– энергетика – создание элементов турбин, генераторов и роторов [2].

Поперечно-винтовая прокатка – эффективный метод ОМД, позволяющий получать изделия с улучшенными механическими свойствами и высокой точностью. Развитие технологий и совершенствование оборудования способствует расширению применения этого метода в промышленности. Несмотря на сложность оборудования и высокие требования к параметрам процесса, его преимущества делают его незаменимым в производстве изделий для машиностроения, металлургии и других отраслей [3].

Список использованных источников

1 Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 2010. – 272 с.

2 Смирнов, В. В. Обработка металлов давлением / В. В. Смирнов. – СПб.: Политехника, 2012. – 170 с.

3 Кучук-Яценко, С. И. Поперечно-винтовая прокатка и ее применение / С. И. Кучук-Яценко – Киев: Наукова думка, 2015. – 300 с.

Магнитно-импульсная штамповка в сравнении с холодной объёмной штамповкой

Студент гр.30402122 Хрущ М. А., Жамойда А. Ю.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) и холодная объёмная штамповка (ХОШ) – это два метода обработки металлов давлением, которые имеют свои особенности, преимущества и ограничения.

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) (рисунок 1)

МИШ основана на использовании электромагнитного поля для создания импульсного давления, которое деформирует металл. Этот метод применяют для обработки цветных металлов (например, алюминия, меди).

Преимущества:

1 Бесконтактная обработка: инструменты не соприкасаются с деталью, что снижает их износ.

2 Высокая скорость деформации: позволяет обрабатывать металл за доли секунды.

3 Сложные формы: легче формировать тонкостенные изделия и детали сложной геометрии.

4 Отсутствие нагрева: уменьшение энергетических затрат и сохранение исходных свойств материала.

5 Минимум отходов: уменьшается количество стружки и отходов.

Недостатки:

1 Ограничения по материалу: в основном применяется для цветных металлов.

2 Высокие затраты на оборудование (генераторы импульсов, катушки).

3 Ограничение по толщине обрабатываемого материала.

4 Трудности в обработке стали и других высокопрочных материалов.

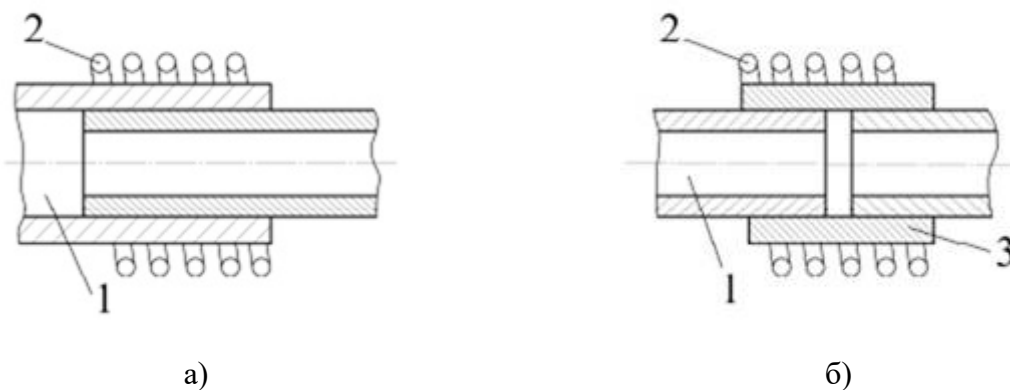


Рисунок 1 – Схема магнитно-импульсной обработки:
а – соединение концов труб; б – соединение труб муфтой
1 – заготовки; 2 – соленоид; 3 – муфта

Холодная объёмная штамповка (ХОШ) (рисунок 2)

ХОШ – это процесс обработки металлов при температуре ниже температуры рекристаллизации, что позволяет сохранить высокую прочность материала.

Преимущества:

1 Универсальность: применяется к широкому спектру металлов, включая стали и их сплавы.

1 Высокая точность: обеспечивает минимальные допуски и высокую чистоту поверхности.

2 Механические свойства: увеличивает прочность и твёрдость за счёт упрочнения металла (наклёпа).

3 Массовое производство: экономически выгодна для серийного выпуска деталей.

Недостатки:

1 Износ инструмента: большие нагрузки на штампы требуют применения высокопрочных материалов для оснастки.

2 Ограничение по сложности деталей: труднее изготавливать тонкостенные или сложные формы.

3 Высокие усилия: необходимы мощные прессы и дополнительная энергия.

4 Ограничение по пластичности: Некоторые материалы могут разрушаться при низких температурах обработки.

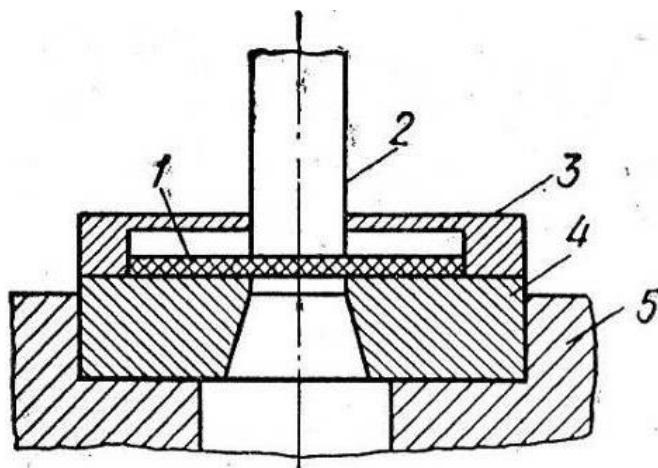


Рисунок 2 – Схема штампа для вырубki:

1 – заготовка; 2 – пуансон; 3 – съемник; 4 – матрица; 5 – матрицедержатель

Сравнение

Принцип работы

МИШ: деформация происходит за счет электромагнитного импульса, создающего мощное кратковременное давление на материал.

ХОШ: используется механическое давление, создаваемое прессами или молотами, без нагрева материала.

Материалы

МИШ: применяется в основном для цветных металлов (алюминий, медь, латунь), так как они хорошо поддаются воздействию электромагнитных полей.

ХОШ: позволяет работать с широким спектром металлов, включая различные марки сталей и их сплавов.

Толщина обрабатываемого материала

МИШ: эффективен при работе с тонкими листами и заготовками ограниченной толщины.

ХОШ: позволяет штамповать массивные заготовки, включая толстостенные и крупные детали.

Сложность создаваемых деталей

МИШ: хорошо подходит для изготовления сложных и тонкостенных деталей, а также полых конструкций.

ХОШ: ограничен в создании деталей со сложной геометрией, но обеспечивает высокую точность и качество поверхности.

Точность обработки

МИШ: умеренная точность, зависит от конфигурации импульса и оснастки.

ХОШ: высокая точность, особенно при серийном производстве, где минимизируются допуски.

Скорость процесса

МИШ: процесс занимает доли секунды за счет мгновенного импульса.

ХОШ: более продолжительный процесс, зависящий от характеристик материала и конструкции штампа.

Затраты на оборудование

МИШ: дорогостоящее оборудование, включая генераторы импульсов, катушки и специальные формы.

ХОШ: средний уровень затрат, требуется мощное механическое оборудование и оснастка.

Энергоэффективность

МИШ: высокая, так как отсутствует контактный износ инструмента и не требуется нагрев.

ХОШ: энергопотребление зависит от мощности прессы и применяемых материалов, но в целом может быть выше, чем у МИШ [1-2].

В результате проведенной научно-исследовательской работы МИШ лучше подходит для обработки тонкостенных деталей, деталей сложной формы и цветных металлов, где важны скорость и бесконтактная обработка.

ХОШ используется для массового производства более прочных и крупных деталей из различных металлов, включая стали, но требует больших усилий и более сложной оснастки.

Выбор между методами зависит от конкретных требований к деталям, материалу и экономической целесообразности.

Список использованных источников

1 Бурдуковский, В. Г. Технология процессов объемной штамповки: учебное пособие / В.Г. Бурдуковский, Е.А. Андрюкова. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2023. – 388 с.

2 Шиманович, О. А. Технология холодной объемной штамповки: учебно-методическое пособие / О.А. Шиманович, В.А. Томило, А.В. Мазурёнок, А.Н. Белый. – Минск: БНТУ, 2021. – 51 с.

Износ инструмента в листовой штамповке

Студенты гр.30402122 Бусел И. А., Сучкевич А. П.
Научный руководитель – Галимская П. В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Проблема повышения стойкости разделительных штампов листовой штамповки является весьма сложной, и для решения ее необходимо дальнейшее развитие теории трения и износа, которая отражала бы специфические условия работы режущих элементов штампов. Это обуславливается тем, что условия трения и износа режущих элементов штампов весьма специфичны и имеют свои особенности по сравнению с общим случаем трения деталей машин (машинным трением). Экономическое значение этой проблемы очевидно. Так, например, повышение стойкости разделительных штампов на 20–30 % в отрасли электромашиностроения обеспечивает получение экономического эффекта около 1 млн. руб.

В разделительных операциях листовой штамповки в зависимости от рода штампуемого металла и штампового инструмента, а также условий деформирования рабочие части штампа (пуансоны и матрицы) подвергаются следующим видам изнашивания: механическому, молекулярно-механическому, абразивному, усталостному, окислительному и изнашиванию при заедании.

Механическое – изнашивание в результате механических воздействий.

Молекулярно-механическое – изнашивание в результате одновременного воздействия механических и молекулярных или атомарных сил.

Абразивное – изнашивание материалов под действием высокопрочных частиц, содержащихся в различных технологических жидкостях.

Усталостное – изнашивание поверхности трения или отдельных, ее участков в результате повторного деформирования микрообъемов материала, приводящего к возникновению трещин и отделению частиц.

Окислительное – изнашивание при наличии на поверхности трения защитных пленок, образовавшихся в результате взаимодействия материала с кислородом.

Изнашивание при заедании – в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникающих неровностей на сопряженную поверхность.

О правильности выбора инструмента и режимов обработки можно судить по признакам износа инструмента. В статье на примере твердосплавных пластин показаны некоторые характерные изменения, которые помогают оценить происходящие процессы и предпринять меры для повышения эффективности обработки.

Каждый, кто занимается металлообработкой, сталкивается с таким явлением, как износ инструмента (рисунок 1). Это абсолютно нормальный и естественный процесс, возникающий в процессе обработки металлов резанием из-за взаимодействия режущей кромки и обрабатываемой поверхности. При этом режущая кромка подвергается сразу нескольким видам воздействия: механическому, температурному, химическому, фрикционному и др.

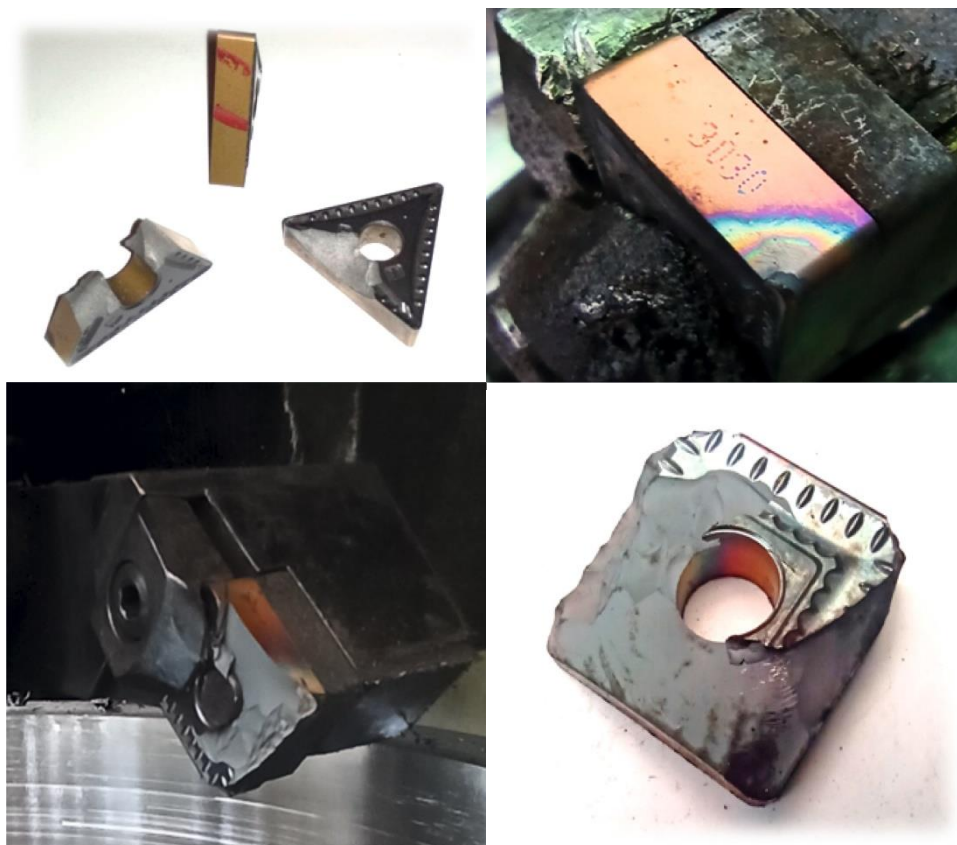


Рисунок 1 - Износ и поломка инструмента

Однако видов износа инструмента существует довольно много, и не все из них являются естественными. Некоторые виды износа появляются вследствие неправильного использования металлорежущего инструмента либо вследствие некорректного выбора самого инструмента.

Список использованных источников

1 Технология листовой штамповки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ooo-novstal.ru/spravka/listovayshtampovki>. – Дата доступа: 30.01.2025.

2 Михаленко, Ф. П. Стойкость разделительных штампов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Ф. П. Михаленко. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с

Способы получения нержавеющей труб путем холодного проката

Студент гр.30402122 Хорошев Е. С., Скотников Г. С.

Научный руководитель – Галимская П.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В этой статье мы сегодня пройдемся по двум основным способам получения нержавеющей труб методом холодной прокатки на валковых станах, на роликовых станах. О всех этих способах теперь более подробно.

Валковый стан холодной прокатки нержавеющей труб является станом с периодическим режимом работы. Прокатка трубы 1 (рисунок 1) производится на неподвижной конической оправке 2 калибрами 3, закрепленными в рабочих валках 4. Ручей калибров изготовлен переменным радиусом, начальный размер которого равен радиусу заготовки, конечный — радиусу готовой трубы. По ходу клетки из положения А в положение В (прямой ход клетки) калибры разворачиваются и радиус щели между ними уменьшается. Таким образом происходит обжатие трубной заготовки по диаметру и толщине. После разворота трубы из нержавеющей стали клетка возвращается в исходное положение (обратный ход), и цикл повторяется. Один цикл (общее время подачи, прямого и обратного ходов клетки и разворота трубы) за пределы зоны деформации выходит участок готовой трубы длиной, равной произведению подачи на суммарную вытяжку [1].

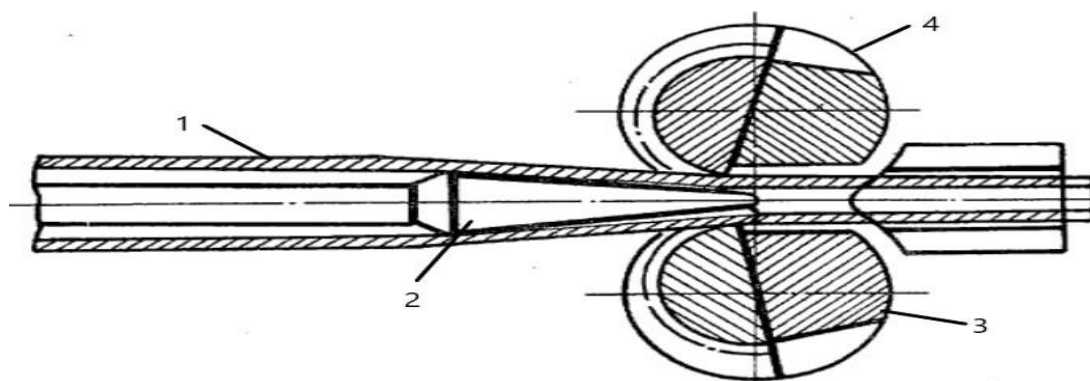


Рисунок 1 – Валковый стан холодной прокатки:

1 – труба; 2 – оправка; 3- калибры; 4 – валки

Роликовые станы имеют возвратно-поступательное движение рабочей клетки (рисунок 2). Прокатка нержавеющей труб производится на цилиндрической оправке 1 с помощью трех или четырех рабочих роликов 2.

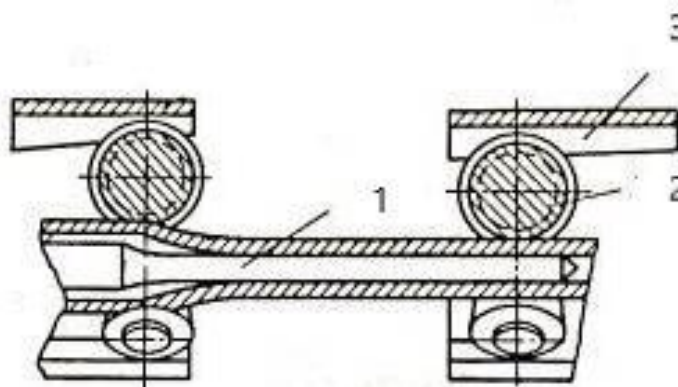


Рисунок 2 – Схема прокатки на роликовом стане:

1 – оправка; 2 – ролики; 3 – опорная планка

По периметру роликов нарезан неполный по глубине круглый ручей постоянного радиуса, равного радиусу прокатываемой трубы из нержавеющей стали. В конце длины прямого хода клетки в поперечном сечении ролики образуют замкнутый круглый калибр. Рабочие ролики цапфами или рабочей поверхностью опираются на профилированные опорные планки 3, которые обеспечивают изменение кольцевого зазора между калибром и оправкой по длине рабочего хода клетки. Кольцевой зазор в начале рабочего хода клетки больше, чем в конце. Перед началом прямого хода клетки зазор между роликами обеспечивает свободную осевую подачу заготовки на заданную величину. По мере продвижения роликов кольцевой зазор уменьшается, и заготовка обжимается по толщине стенки и диаметру. В конце прямого хода ролики останавливаются, а затем начинается обратный ход клетки. По окончании хода ролики отходят от заготовки, последняя поворачивается на угол 60° и подается в направлении прокатки. Далее процесс прокатки повторяется [2].

Список использованных источников

- 1 Технология производства нержавеющей проката [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ooo-novstal.ru/spravka/holodnaya_prokatka_trub. – Дата доступа: 30.01.2025.
- 2 Орлов, Г. А. Основы теории прокатки и волочения труб / Г. А. Орлов. – Екатеринбург: Издательство уральского университета, 2016. – 204 с.

Подготовка металла к прокатке

Студенты гр. 30402122 Маркевич А. В., Манюк А. С.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Прокатка – один из способов изготовления металлических деталей, основанный на пластической деформации. Заключается в протягивании металлических заготовок через вращающиеся приводные валки прокатного стана. В основе лежат силы трения и вращения. В зависимости от профиля, валки могут быть гладкими и калиброванными (рисунок 1) [2].



а)б)

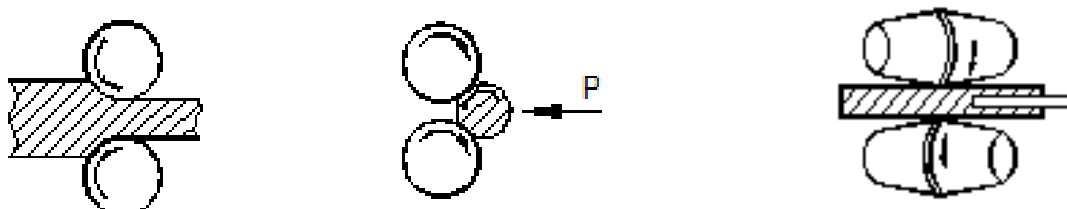
Рисунок 1 – Виды прокатных валков:

а – гладкий; б – калиброванный

Для прокатки применяются следующие виды оборудования:

- проволочные станки – на них производят проволоку $\varnothing$ не более 10мм.;
- слябинги – изготавливаются удлиненные прямоугольные детали;
- блюминги – изготавливаются квадратные изделия больших размеров;
- трубопрокатные станки – изготовление металлических труб различных размеров.

Основные виды прокатки: продольная, поперечная, поперечно-винтовая (рисунок 2) [2].



а)б)в)

Рисунок 2 – Виды прокатки:

а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

Прокатку можно разделить на два этапа:

Первый этап – это выплавка заготовок. Далее заготовки проверяют на все видимые поверхностные дефекты (небольшие трещины, закаты, царапины, частички шлака, окислы, и загрязнения). Их наличие на металле снижает качество изделий, может снизить производительность оборудования и ускорить износ узлов и деталей прокатного стана. Контроль осуществляют путём отбора проб. При необходимости обтачивают наружную поверхность заготовки, зачастую для удаления несовершенства сталеплавильного происхождения и нарезают на необходимые части;

Второй этап – производство непосредственно изделия. При необходимости детали проходят чистовую обработку (притупляют острые кромки, полируют и т.д.). После окончания прокатки и перед чистовой обработкой изделия проходят основной этап контроля в том числе и неразрушающий контроль [1].

Таким образом можно с уверенностью сказать, что прокатка является широко используется при массовом производстве изделий из металла в разных областях нашей жизни. В современной промышленности прокатка не стоит на месте и продолжает развиваться. Для этого внедряются новые методы, направленные на автоматизацию процесса и современные методы контроля качества изготавливаемых деталей.

Список использованных источников

1 Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е. П. Круглов [и др.]. – Казань: Политех, 2015. – 433 с.

2 Прокатка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>. – Дата доступа: 27.01.2025.

Радиально-сдвиговая прокатка сортового штампа

Студент гр. 30402122 Саук Е. В., Савастюк А. С.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Радиально-сдвиговая штамповка – это технологический процесс объемной штамповки, в котором заготовка претерпевает одновременно радиальное сжатие и осевое сдвиговое деформирование. Этот метод используется для получения сортовых деталей (т.е. деталей сложной формы с постоянным поперечным сечением вдоль оси). «Сортовой штамп» в данном контексте относится к инструменту, используемому в этом процессе, изложено в литературе [1].

Принцип работы радиально-сдвиговой штамповки:

Заготовка (обычно цилиндрическая или близкая к цилиндрической) помещается в штамповую оснастку. Оснастка состоит из:

- Матрицы: Внутренняя часть, формирующая внешнюю форму готовой детали. Матрица имеет радиальные пазы или канавки, которые определяют форму поперечного сечения детали.

- Пуансона: Внешняя часть, которая обеспечивает осевое сжатие и сдвиг материала. Пуансон может иметь различные геометрические формы в зависимости от требуемого профиля детали.

- Упорных элементов: обеспечивают надежное позиционирование заготовки и предотвращение её смещения во время штамповки.

Под действием силы пуансона заготовка одновременно сжимается в радиальном направлении (заполняя канавки матрицы) и сдвигается в осевом направлении, формируя требуемый профиль. Процесс сопровождается интенсивной пластической деформацией материала.

Преимущества радиально-сдвиговой штамповки:

- Высокая производительность: позволяет получать сложные по форме сортовые детали за один рабочий ход.

- Хорошее качество поверхности: при правильном подборе параметров процесса можно получить детали с достаточно гладкой поверхностью.

- Высокая точность размеров: В зависимости от конструкции штампа и точности изготовления, процесс способен обеспечить высокую точность размеров готовой детали.

- Экономичность материала: Заготовка используется более эффективно, чем в других методах штамповки.

- Возможность получения деталей сложной формы: позволяет получать детали с различными поперечными сечениями (квадратными, прямоугольными, многоугольными и т.д.).

Недостатки радиально-сдвиговой штамповки:

- Высокая стоимость оснастки: Изготовление штамповой оснастки для радиально-сдвиговой штамповки является дорогостоящим процессом.

- Сложность проектирования: требует специальных знаний и навыков для проектирования штамповой оснастки, и определения оптимальных параметров процесса.

- Ограничения по материалу: не все материалы подходят для радиально-сдвиговой штамповки. Необходимо учитывать их свойства текучести, прочности и др.

- Высокие требования к оборудованию: для данного метода необходимы мощные прессы с высокой жесткостью.

Применение:

Радиально-сдвиговая штамповка используется для производства широкого спектра сортовых деталей, например:

- Профили различного сечения: швеллеры, уголки, двутавры и другие профили из металла.
- Детали с переменным сечением: детали сложной геометрии с изменяющимся поперечным сечением.
- Полые детали: трубы и другие полые изделия [2].

Радиально-сдвиговая штамповка является высокоэффективным методом, который, несмотря на свои недостатки, находит широкое применение в производстве сложных металлических деталей.

Список использованных источников

- 1 Основы теории прокатки и волочения труб: учебное пособие / Г. А. Орлов [и др.]. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 204 с.
- 2 Оптимизация параметров радиально-сдвиговой штамповки для повышения качества деталей. Технология и автоматизация / Петров С. В. – 2019. – 45–50 с.

Разновидности горячей объёмной штамповки

Студенты гр.30402122 Дашковская Д. Д., Жигорев Н. Д.

Научный руководитель – Галимская П. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Горячая объёмная штамповка (ГОШ) – это один из основных методов обработки металлов давлением, который применяется для получения деталей сложной формы с высокими механическими свойствами. В процессе горячей штамповки заготовка нагревается до температуры, превышающей рекристаллизационную, что позволяет снизить сопротивление металла деформированию и улучшить его пластичность. В данной статье рассмотрены основные разновидности горячей объёмной штамповки, их особенности и применимость.

Существует несколько видов горячей объёмной штамповки, различающихся по способу выполнения и конструкции оборудования. Свободная штамповка выполняется с использованием молота или прессы, где металл деформируется между двумя плоскими или простыми криволинейными поверхностями. Процесс характеризуется отсутствием чётких контуров инструмента, что даёт возможность изготавливать крупногабаритные изделия. Этот метод отличается простотой инструмента и универсальностью, однако имеет такие недостатки, как низкая точность размеров и необходимость в последующей механической обработке.

Штамповка в открытых штампах (рисунок 1) предполагает, что металл заполняет полость инструмента, но его излишки выдавливаются наружу в виде облоя. Этот метод широко используется для изготовления деталей средней и крупной серийности. Он обеспечивает высокую производительность и достаточную точность, однако требует удаления облоя.

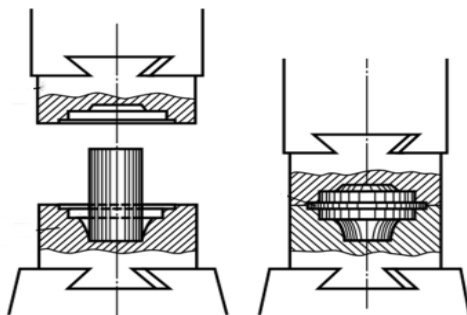


Рисунок 1 – Штамповка в открытых штампах

Преимущества:

- высокая производительность;
- достаточная точность изделий.

Недостатки:

- образование облоя, требующего удаления;
- повышенный расход материала.

Штамповка в закрытых штампах (рисунок 2) позволяет исключить образование облоя, так как полость штампа полностью ограничивает объём металла. Такой процесс требует высокой точности расчётов, так как неправильный объём заготовки может привести к дефектам. Преимущества метода включают высокую точность, повторяемость размеров и экономию материала, но оборудование для такой штамповки более сложное, а размеры заготовки ограничены [1].

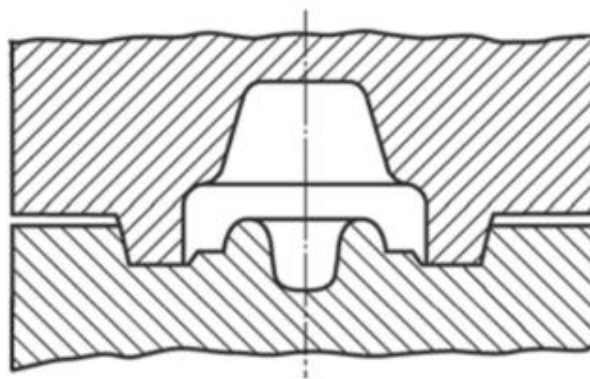


Рисунок 2 – Штамповка в закрытых штампах

Преимущества:

- высокая точность и повторяемость размеров;
- отсутствие облоя и минимизация потерь материала.

Недостатки:

- высокие требования к точности объёма заготовки;
- ограничения по размерам заготовки.

Для изготовления сложных деталей может применяться многопереходная горячая штамповка, где заготовка последовательно проходит через несколько штампов. Такой метод позволяет добиться высокой точности и минимизировать внутренние напряжения.

Горячая объёмная штамповка находит широкое применение в различных отраслях промышленности. В автомобилестроении она используется для производства коленчатых валов, шестерён, рычагов подвески. В авиастроении – для изготовления лопаток турбин, корпусов двигателей. В машиностроении – для создания валов, корпусов редукторов, зубчатых колёс. В строительстве – для выпуска крепёжных элементов и анкерных болтов.

Разнообразие методов горячей объёмной штамповки позволяет выбрать оптимальный способ для изготовления деталей в зависимости от их формы, размеров и требований к механическим свойствам. Современные технологии горячей штамповки обеспечивают высокую производительность, точность и экономичность, что делает этот метод одним из ключевых в обработке металлов давлением [2].

Список использованных источников

- 1 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.
- 2 Смирнов, В. В. Обработка металлов давлением / В. В. Смирнов. – СПб.: Политехника, 2012. – 170 с.

Способы волочения и соответствующее оборудование. Виды производственных профилей

Студент гр.30402122 Михальцов И. Д.
Научный руководитель – Галимская П. В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Волочение – процесс обработки металлов давлением, заключающийся в протягивании заготовки постоянного поперечного сечения через плавное сужающийся канал волоки, размеры которого меньше размеров сечения исходной заготовки. При волочении площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, приобретая постоянное сечение по всей длине, а длина увеличивается.

Применяемые материалы охватывают широкий спектр: от сталей до алюминия; от цветных металлов (медь, никель) и сплавов на их основе; включая тугоплавкие элементы вроде молибдена, вольфрама, циркония и ниобия с соответствующими сплавами. Также обрабатываются благородные металлы – золото, серебро, платину.

К основным способам волочения можно отнести:

Обычное (периодическое) волочение. Заготовка протягивается через одну или несколько фильер последовательно. Процесс может быть прерывным: после каждого прохода материал наматывается на барабан. Применяется для проволоки, прутков и труб среднего и крупного диаметра.

Непрерывное волочение. Заготовка протягивается через несколько фильер без остановки. Обеспечивает высокую производительность. Применяется для длинномерных изделий, например, тонкой проволоки и кабелей.

Волочение с нагревом. Заготовка предварительно нагревается до определенной температуры для снижения сопротивления деформации. Используется для работы с труднообрабатываемыми материалами, такими как легированные стали и титановые сплавы.

Волочение с применением смазки. Для уменьшения трения между заготовкой и фильерой используется жидкая или порошковая смазка. Повышает качество поверхности готового изделия и снижает износ оборудования. Основные профили, получаемые волочением приведены на рисунке 1 [1].

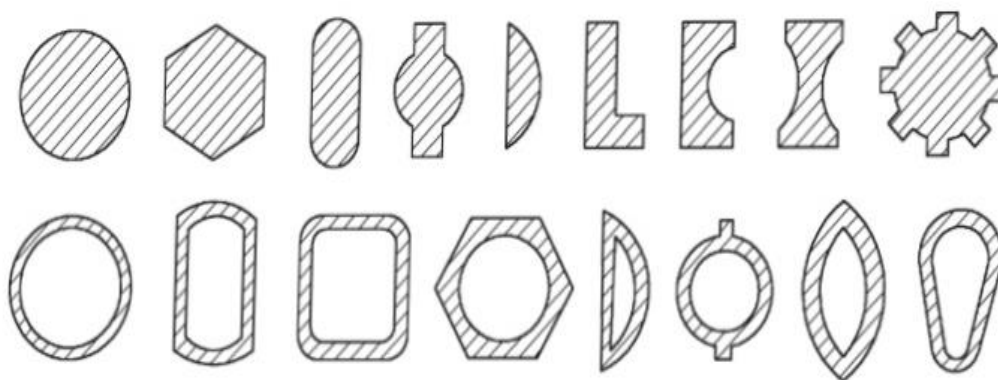


Рисунок 1 – Профили, получаемые волочением

Волоочильный инструмент изготавливают из инструментальной стали, твердых сплавов, а для получения проволоки размером меньше 0,5 мм иногда применяют волокна из натурального алмаза [2].

Волока – инструмент для обработки металлов давлением методом волочения. Для волочения изделий из черных и цветных металлов и их сплавов применяют волокна следующих типов: монолитные, составные, сборные.

Основная часть волоки называется волочильным глазком, или матрицей, и представляет собой рабочее отверстие постепенно уменьшающегося сечения, через которое протягивается металл. Волока с одним отверстием называется фильером, с несколькими – волочильной доской.

Монолитные волокна имеют четыре основные зоны (рисунок 2).

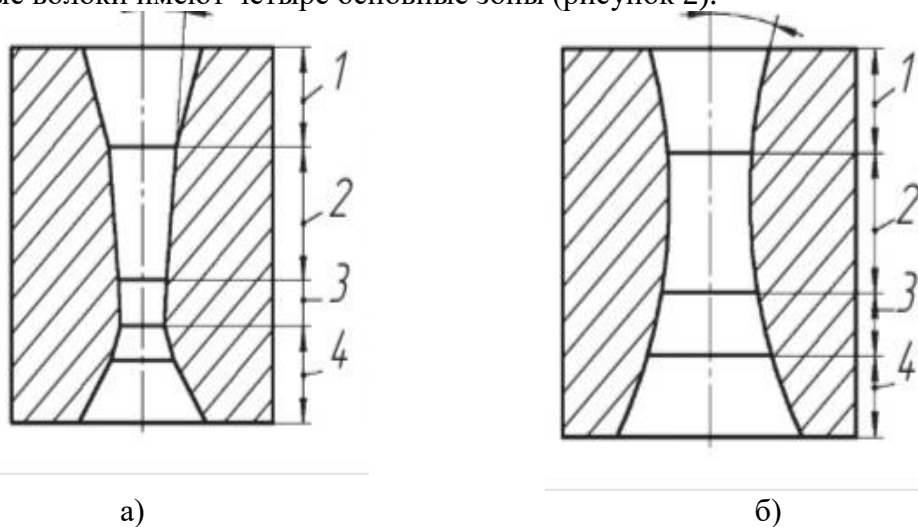


Рисунок 2 – Монолитные волокна:

а – с коническим профилем; б – радиальным профилем

1 – входная зона; 2 – смазочная и рабочая зона; 3 – калибрующая зона; 4 – выходная зона

Входная зона – наиболее широкая часть канала волокна, предназначенная для облегчения ввода заготовки в волоку и подачи технологической смазки в рабочую зону. Для волок малого диаметра она тем больше, чем меньше диаметр калибрующей части волокна.

Рабочая зона – часть канала волокна, предназначенная для осуществления деформации протягиваемого металла. В этой зоне размеры заготовки уменьшаются до размеров протянутого металла. Рабочая зона может иметь коническую или радиальную форму.

Калибрующая зона: – часть канала волокна, предназначенная для придания поперечному сечению заготовки заданной формы и размеров с той точностью, которая необходима для данного вида изделия. Калибрующая зона должна отличаться достаточно большой стойкостью на износ и обеспечить малое число обрывов протягиваемого металла.

Выходная зона – часть канала волокна с постепенно увеличивающимся в направлении волочения поперечным сечением, предназначенным для исключения возможности поверхностных повреждений: задигов, царапин, риск. Практически выходная зона может быть конической или сферической.

Составные волокна образуются несколькими сопряженными частями и применяются преимущественно для волочения фасонных профилей. Достоинства составных волок: универсальность; большая стойкость на износ; простота ремонта изношенных вкладышей; возможность волочения изделий крупных сечений.

Главной проблемой как монолитных и составных волокон является непостоянство смазочных условий. Перед входом в зону обработки заготовки наносят слой смазки, который под воздействием деформации существенно сокращается: значительная часть смазывающего состава отталкивается, что приводит к резкому уменьшению толщины масляной пленки и ее разрывам. В результате чего трение значительно увеличивается с высоким риском обрыва изделия в процессе производства.

Сборные волокна (рисунок 3, а) позволяют подавать смазку принудительно под давлением. С этой целью в корпусе устанавливаются соосно и последовательно две вставки:

напорная и рабочая, между которыми находится уплотнительное кольцо 5. При затягивании накидной гайки 1 осуществляется герметизация стыка между вставками.

Диаметр напорной вставки несколько больше диаметра рабочей. Поэтому основная деформация осуществляется во второй по ходу волочения вставке, а в первой – только 10...25 % общей деформации по диаметру.

Благодаря разности диаметров вставок создается эффект гидродинамического трения в очаге деформации при давлении подаваемой смазки до 1 кН/мм² (избыточное давление). В результате стабилизируются условия смазки, снижается усилие волочения и значительно повышается срок службы волоки.

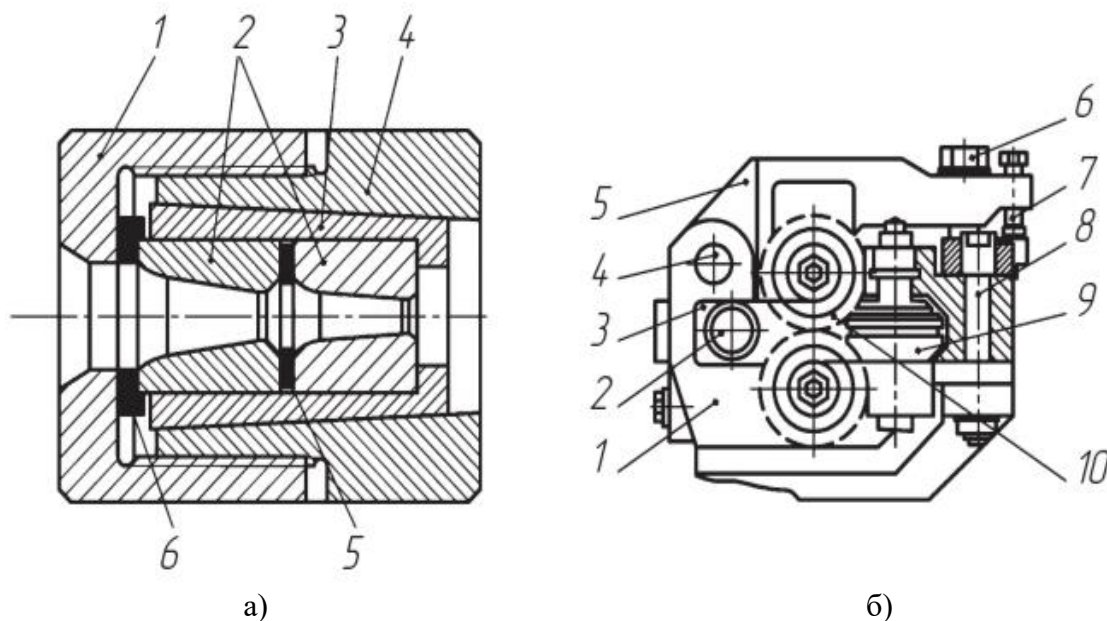


Рисунок 3 – Сборные сдвоенные волокы:

а – со сменными неподвижными вставками:

1 – накидная гайка; 2 – неподвижные вставки (напорная и рабочая); 3 – коническая втулка; 4 – корпус; 5, 6 – уплотнительные кольца;

б – с подвижными роликами:

1 – основание; 2, 6 – стяжные болты; 3 – боковой рычаг; 4 – ось верхнего рычага;

5 – верхний рычаг; 7 – регулировочный болт; 8 – ось бокового рычага;

9 – вертикальный ролик; 10 – горизонтальный ролик

Сборные волокы с подвижными роликами (рисунок 3, б) осуществляют деформацию в процессе обкатывания поверхности заготовки. Проволока, проходя через роликовые волокы, может деформироваться до 55 %, причем сила волочения будет значительно меньше, чем при волочении в монолитных волоках. Это достигается заменой трения скольжения в монолитных волоках на трение качения в роликовых волоках.

Использование сборных дисковых валок для производства разнообразных профилей является крайне эффективным. Особенно успешными являются результаты применения таких валок при формировании прямоугольных, трапецевидных и фасонных профилей из катаной проволоки размером до 20 мм в диаметре. Преимущества данного метода заключаются не только в высокой производительности процесса благодаря возможности волочения на значительных скоростях, но и в гибкости: дисковую технологию легко интегрировать с любым однократным барабанным оборудованием или цепными станками.

Список использованных источников

1 Клименков, С. С. Формообразующий инструмент в машиностроении. Расчет и конструирование : учеб. пособие / С.С. Клименков. – Минск: Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2014. – 671 с.

2 Кальченко, А. А. Волочение проволоки в режиме жидкостного трения / А. А. Кальченко, К. Г. Пащенко, С. А. Кургузов // Литейное производство. – 2020. – №1(32). – с. 26–30.

Материаловедение в машиностроении

Аэрогель – инновационный материал

Студенты: гр. 10106223 Легошик К.А, гр. 10106123 Данилович Д.В.,
гр.10401122 Воробьёва А.В.

Научный руководитель - Астрейко Л.А.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Аэрогель – это класс материалов, представляющих собой гель, в котором газообразная фаза полностью замещает жидкость. Он представляет собой газообразную и твёрдую структуру одновременно. Обладает следующими свойствами:

- Низкая плотность, вызванная большим процентом содержания газа в материале (от 90 до 99,8% объема).
- Прозрачность, в зависимости от химического состава может быть высокой. Аэрогель, производимый на основе углерода имеет тёмно-чёрный цвет и поглощает до 99,7% проходящего света.
- Жаростойкость. Выдерживают температуру до 500 °С, при которой материал начинает уменьшаться в размерах. Температура плавления составляет 1200 °С.
- Низкая теплопроводность. Теплопроводность аэрогелей варьируется от 0.005 до 0.1 Вт/(мК).

В качестве компонентов при производстве материала используют различные химические вещества, в зависимости от которых аэрогели получают определённые свойства:

- Диоксид кремния. Самый распространённый химический состав. Относительно других аэрогелей имеет схожие качества и простоту, низкую цену производства. Характеризуется высокой прозрачностью.
- Оксид алюминия (VI). Обеспечивают высокую механическую прочность и термостойкость. В отличие от кремниевых пористость у алюминиевых аэрогелей ниже.
- Оксид олова. Материалы на основе этого оксида демонстрируют полупроводниковые свойства. В электронике используется для хранения энергии.
- Оксид хрома. Обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Дорогой в производстве, опасен из-за токсичности хрома.
- Углеродные аэрогели. Имеют тёмно-чёрный цвет, поглощающий до 99,7% проходящего света. С помощью их в электронике появляются суперконденсаторы.

Пористая структура материала, относящегося к классу мезопористых имеет внутри полости, каналы с диаметром от 2 до 5 нанометров в диаметре [1]. Пористость играет большую роль. От этого параметра зависит хрупкость материала. При высоких механических нагрузках подвержен разрушению. Но в то же время может выдерживать нагрузку в 2000 раз выше собственного веса [1].

Производство аэрогеля – это энергозатратный и трудоёмкий процесс, который строится на 3-х этапах:

1. Синтез геля. Для этого используется метод сол-гель, при котором оксиды, диоксиды гидролизуются и конденсируются, образуя объёмный материал.
2. Сверхкритическая сушка под высоким давлением, которое способствует тому, чтобы структура геля не нарушилась. При этой процедуре жидкая фаза удаляется из геля.
3. Сушка материала, получение твёрдого вещества [2].

Даже в наши дни это довольно сложный процесс, который и обуславливает цену материала. Сверхкритические условия высушивания геля требуют высоких затрат энергии и расходных материалов. От качества и чистоты исходного материала также зависит себестоимость. Цена производства варьируется от 20 до 100\$ за грамм вещества. На данный момент самым дешёвым в производстве является кремниевый аэрогель.

Этот материал имеет такие уникальные свойства, такие как низкая плотность, высокая пористость, способность выдерживать огромные нагрузки на сжатие. Он может заменить теплоизоляторы, конструкционные материалы. Сферы применения обширны:

- Космическая промышленность. Самое известное применение в этой сфере принадлежит проекту «Стардаст», в котором материал использовался в качестве ловушек для космической пыли. Так же активно используется в качестве теплоизоляционного материала для изготовления скафандров и космических аппаратов. Экономия веса в космической промышленности так же играет значительную роль, где аэрогелю уступают все другие материалы.

- Газовые и жидкостные фильтры. Жидкость помещается под купол из аэрогеля. Частицы испаряющейся воды без особого труда проходят через микропоры материала, примеси же – наоборот задерживаются [3].

- Строительство. Тонким слоем порошка из аэрогеля обрабатываются стройматериалы, которым свойственно удерживать теплый воздух внутри строений.

- Легкая промышленность. В недавнем времени компания Xiaomi представила публике куртку, в которой аэрогель толщиной 3 миллиметра заменяет 4 сантиметра пуха [4]. Это стало инновацией в сфере легкой промышленности и стало толчком для применения аэрогелей в одежде, которая требует теплоизоляции.

- Медицина. Использование в качестве переносчика активных веществ, которые отрицательно относятся к влаге и температуре организма. Ведутся исследования для последующего применения материала в качестве костных трансплантатов.

Использование аэрогеля в экологическом направлении производств имеет большое количество положительных сторон. Высокая пористость и низкая масса, делают материал идеальным для адсорбации загрязняющих веществ, таких как масла, химикаты. Применяется для очистки разливов нефти. При строительстве так же распространено использование аэрогеля, имеющего высокие теплоизоляционные показатели, что снижает затраты на отопление и охлаждение зданий. Тем самым при активном использовании данного материала можно снизить выбросы углекислого газа в атмосферу, связанные с отоплением, что повлечёт за собой смягчение изменений климата и повышение температуры на планете.

Однако утилизация аэрогеля имеет сложности, так как он синтезируется из органических полимеров, что несёт за собой долгое разложение в природе. Энергоёмкое производство и использование токсичных веществ, в последствии выброс газов в атмосферу наносит вред окружающей среде. В настоящее время ведутся работы по изготовлению аэрогеля из биополимерных материалов на основе хитозана и целлюлозы, которые будут без проблем разлагаться в окружающей среде. Это поспособствует тому, что материал будет использоваться в упаковке пищевых продуктов и медицинских препаратах.

Таким образом, аэрогель — это материал с уникальными свойствами, которые постепенно увеличивают его применение в разных отраслях: от строительства до экологии. Его низкая плотность, высокие теплоизоляционные показатели, прочность и экологическая безопасность делают аэрогель одним из самых перспективных материалов нынешнего столетия. Развитие технологий производства и снижение затрат на производство приближают его расширенное использование в повседневной жизни. Открываются новые горизонты использования в науке и технике.

Список использованных источников

- 1.Аэрогель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэрогель>. – Дата доступа: 13.04.2025
- 2.Аэрогель. Материалы будущего. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/27850>. – Дата доступа: 13.04.2025

3.Фильтр из аэрогеля бесплатно и быстро очистит любые объёмы воды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techcult.ru/technology/8196-filtr-iz-aerogelya-bystro-ochishaet-lyubye-obemy-vody>. – Дата доступа: 13.04.2025

4.Вещь? Самая теплая куртка в мире. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www iPhones.ru/iNotes/veshch-samaja-teplaya-parka-aerogel-11-21-2019>. – Дата доступа: 13.04.2025

Торый: перспектывы і спосабы выкарыстання ў вытворчасці

Студэнты гр.10403123 Кунц М.С.,

гр.10401122 Вараб'ёва А.В.

Навуковы кіраўнік Астрэйка Л.А

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
г.Мінск

Торый (Th)— гэта адносна распаўсюджаны, злёгка радыеактыўны элемент, які звычайна атрымліваюць як пабочны прадукт пры здабычы рэдказемельных металаў. Сам па сабе торый не з'яўляецца дзелячыся рэчывам, што азначае, што ён не распадаецца на іншыя ізатопы. Таму яго нельга выкарыстоўваць у стандартных ядзерных рэактарах, як уран-232. Аднак торый можа быць выкарыстаны для стварэння рэактараў новага тыпу, вядомых як рэактары на расплавах соляў. Атам торыя можа распадацца ў атам урана-233 пад уздзеяннем нейтронаў. У рэактары з расплаўленай шчалачнай соллю. Торый раствараецца і ўдзельнічае у распаўсюджванні атамаў урану-233, які затым расшчапляецца, вылучаючы цяпло [2,3]. Гэтая вадкасць цыркулюе праз цеплаабменнік, каб адводзіць залішнюю энергію і прадукты дзялення, пакідаючы торый для паўторнага запуску рэакцыі. Рэактары на расплавах соляў маюць шэраг пераваг, але галоўная з іх — магчымасць быць невялікімі і эфектыўнымі.

Атрымліваецца тое, што торый з'яўляецца патэнцыйным напрамкам для развіцця энергетыкі ў РБ. У Беларусі ўжо пабудавана атамная станцыя на уране у Астраўце. Таму тэарэтычна для запуску АЭС на торыі краіне не патрэбна пакупать неабходны уран у іншых краінах (уран патрэбен для каталізацыі рэакцыі распаду торыя). У сапраўдны момант Th амаль нідзе актыўна не выкарыстоўваюць і прадпрыемствы аддаюць яго «бясplatна» з-за таго, што гэты метал з'яўляецца пабочным прадуктам пры вытворчасці акамулятароў (патрэбна плаціць толькі за транспартныя паслугі). Акрамя радовішчаў у іншых краінах Th, верагодна, цалкам можа знайсці на Палесскім плато і пад-Менскам. Аб гэтым можа сведчыць тое, што там ужо знаходзілі періт [1,5,7] (періт-гэта мінерал з зместам да 1% (Th)). Выкарыстанне станцый на торыі дазволіць атрымліваць таннейшую энергію.

Торый мае шырокае прымяненне ў прамысловасці, уключаючы вытворчасць агнеўстойлівай керамікі, легаванне сплавоў. Оксід торыя выкарыстоўваецца для вытворчасці матэрыялаў, якія могуць вытрымліваць высокія тэмпературы, што робіць іх ідэальнымі для выкарыстання ў агнеўстойлівых керамічных вырабах. Металевы торый можа быць выкарыстаны для легавання лёгкіх сплавоў, што паляпшае іх механічныя ўласцівасці і ўстойлівасць да карозіі.

Торый можа быць уведзен у сплаў для паляпшэння механічных уласцівасцей сплаву. Такія сплавы валодаюць высокай трываласцю і лёгкасцю, што робіць іх ідэальнымі для авіяцыйнай і касмічнай прамысловасці [5]

Сплавы торыя з цырконею выкарыстоўваюцца ў ядзернай энергетыцы. Цырконій мае выдатную ўстойлівасць да карозіі і высокіх тэмператур, што робіць яго ідэальным для выкарыстання ў ядзерных рэактарах.

Сплавы на аснове торыя і нікелю могуць быць выкарыстаны ў высокатэмпературных умовах. Яны валодаюць добрай устойлівасцю да карозіі і механічнай трываласцю, што робіць іх прыдатнымі для выкарыстання ў хімічнай прамысловасці.

Сплавы торыя з магніем могуць быць выкарыстаны для вытворчасці лёгкіх і трывалых матэрыялаў. Яны могуць быць выкарыстаны ў аўтамабільнай прамысловасці для зніжэння вагі аўтамабіляў.

Сплавы на аснове торыя валодаюць шэрагам унікальных уласцівасцей [4,6]:

- высокая трываласць (сплавы з торыя маюць высокую механічную трываласць, што робіць іх прыдатнымі для выкарыстання ў экстрэмальных умовах);

- устойлівасць да карозіі (торый і яго сплавы маюць добрую ўстойлівасць да карозіі, што павышае іх тэрмін службы);

- тэрмаўстойлівасць (сплавы з торыя могуць вытрымліваць высокія тэмпературы, што робіць іх ідэальнымі для выкарыстання ў ядзерных рэактарах і іншых высокатэмпературных прымяненнях).

Сферы прымянення сплавоў з торыя могуць быць самыя разныя:

- ядзерная энергетыка: сплавы на аснове торыя выкарыстоўваюцца ў ядзерных рэактарах, дзе яны могуць служыць палівам або матэрыялам для канструкцыі рэактараў. Торый-232 можа быць пераўтвораны ў уран-233, які з'яўляецца ядзерным палівам, або зброей.

- авіяцыя і касманаўтыка: лёгкія і трывалыя сплавы з торыя могуць быць выкарыстаны ў авіяцыйнай і касмічнай прамысловасці для вытворчасці кампанентаў самалётаў і касмічных караблёў.

- хімічная прамысловасць: сплавы торыя з нікелем і цырконею могуць быць выкарыстаны ў хімічнай прамысловасці для вытворчасці абсталявання, якое павінна вытрымліваць агрэсіўныя хімічныя асяроддзі.

Такім чынам, торый з'яўляецца перспектыўным элементам для самых розных абласцей выкарыстання.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Где дремлют вулканы/Талалаева Е.Б.//Беларусь сегодня [Электронный ресурс] – 2015. - Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/gde-dremlyut-vulkany.html>. – Дата доступа: 07.04.2025.

2. Why Thorium rocks / Science Sundays// Sam O'Nella Academy [Electronic resource]. – 2016. - Mode of access : <https://youtu.be/jjM9E6d42-M?si=b1kkyhbREmKuCZ7n> . - Date of access : 04.03.2025.

3. U-232 and the Proliferation-Resistance of U-233 in Spent Fuel / Jungmin Kang, Frank N. von Hippel// Science & Global Security [Electronic resource].- 2001, Volume 9 pp 1-32. – Mode of access: https://web.archive.org/web/20150330020952if/http://www.princeton.edu/sgs/publications/sgs/pdf/9_1kang.pdf . – Date of access: 15.04.2025

4. Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report) / Juris Meija, Tyler B. Coplen, Michael Berglund, Willi A. Brand, Paul De Bièvre, Manfred Gröning, Norman E. Holden, Johanna Irrgeher, Robert D. Loss, Thomas Walczyk and Thomas Prohaska - Mode of access: <https://web.archive.org/web/20170525041551if/https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/pac.2016.88.issue-3/pac-2015-0305/pac-2015-0305.pdf> . - DOI 10.1515/pac-2015-0305

5. Добыча ториевой руды и извлечение тория. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://profbeckman.narod.ru/RH0.files/25_1.pdf . – Дата доступа: 17.04.2025.

6. Долгосрочный потенциал использования тория в ядерной энергетике: анализ МАГАТЭ/ Власов А. [Электронный ресурс] – 2023. - Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/dolgosrochnyy-potencial-ispolzovaniya-toriya-v-yadernoy-energetike-analiz-magat> . – Дата доступа: 17.04.2025.

7. Минерал пирит можно использовать для датировки геологических событий / Медведева А. // InScience.news [Электронный ресурс] – 2021. - Режим доступа: <https://inscience.news/ru/article/russian-science/8466> – Дата доступа: 15.04.2025.

Порошковая металлургия, сварка и технология материалов

**Формирование композиционных материалов динамическим
легированием алюминия и его сплавов**

Аспирант Али Хоссейн Язданичерати
Научный руководитель - Ушеренко Ю.С.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Техника ударных волн играет ключевую роль в исследовании свойств материалов при экстремальных условиях [1]. Этот метод позволяет создавать чрезвычайно высокие давления и температуры, а также отслеживать быстро протекающие процессы, сопровождающиеся резкими изменениями параметров среды. Благодаря этим уникальным возможностям ударно-волновые эксперименты находят применение в широком спектре физических исследований, включая физику конденсированного состояния и материаловедение.

Особое внимание привлекает динамическое легирование в режиме сверхглубокого проникания (СГП) — процесс, при котором на материал одновременно воздействуют ударные волны и высокоскоростной поток твердых частиц. Это комбинированное воздействие сопровождается действием комплекса физических факторов: высоких давлений, выраженных градиентов давления, локальных зон растяжения и сжатия, нагрева, излучения и других эффектов [2]. Такой подход позволяет существенно модифицировать структуру и свойства материалов, что делает его перспективным для создания новых материалов и покрытий.

Экспериментальные условия динамической обработки включали использование ускорителей для разгона частиц до скоростей 900–3000 м/с при времени воздействия 400 мкс. В качестве мишеней применялись следующие материалы: технический литейный алюминий А7, сплав АК12 Al-12%Si. В качестве ударных частиц использовались порошки карбида кремния (SiC, фракция 63–70 мкм) и свинца (Pb, 20–70 мкм). Подготовка образцов включала стандартные операции резки, полировки и травления (4% раствор азотной кислоты). Твердость измерялась по методу Бринелля.

Частицы порошка SiC, взаимодействуя с материалом матрицы, образуют новые структурные элементы в объеме образцов (рис.1). Эти элементы канала состоят из переплетенного матричного материала и порошкового потока. Состав элемента структуры канала показывает наличие остатков порошковых частиц материала (SiC). Появление новых структурных элементов должно влиять на механические свойства обрабатываемых материалов. Воздействие потока высокоскоростных частиц приводит к изменению твердости как алюминия, так и его сплава, особенно в верхней части образцов. Установлено, что влияние динамического легирования на повышение твердости для технического алюминия А1 99,7 % заметно до 100 мм, а для сплава Al – 12 % Si до глубины 180 мм.

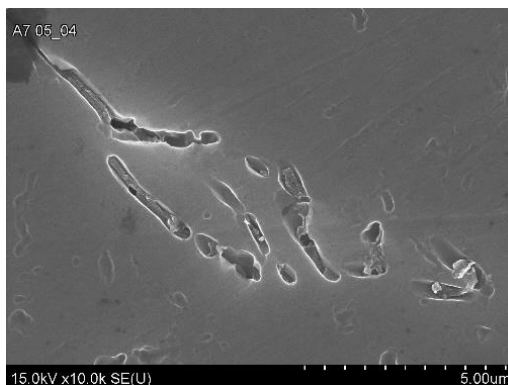


Рисунок 1. Структура алюминиевого сплава, обработанного в режиме СГП

Также, для образцов из сплава Al-12%Si, обработанных в режиме СГП порошками свинца и карбида кремния (SiC), электрохимические свойства полученных материалов отличаются. При обработке порошком свинца коррозионная стойкость материала выросла на 18%, в то время как при обработке порошком карбида кремния, наоборот, снизилась на 27%. Таким образом, динамическое легирование поликристаллических металлов и сплавов в режиме СГП реализуется на глубины в десятки миллиметров что позволяет создать экономно-легированные анизотропные композиционные материалы для различных областей применения – от металлорежущий и горнорежущий промышленности до электротехники.

Список использованных источников

1. Fortov, V.E., Il'kaev, R.I., Rykovanov, G.N. et al. Explosions, Powerful Shock Waves, and Extreme States of Matter. *Her. Russ. Acad. Sci.* 91, 239–249 (2021).
2. Y.Usherenko, V.Mironovs, S. Usherenko, V. Lapkovskis, A. Shishkin. Dynamic Alloying of Steels in the Super-Deep Penetration Mode. *Materials* 2022, 15, 2280. DOI:10.3390/ma15062280

Охрана труда и промышленная безопасность

Использование искусственного интеллекта при эксплуатации медицинского оборудования

Студенты группы 113071-21 Прокопенко Н., Шастаков К.

Научный руководитель - Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Искусственный интеллект (англ. *Artificialintelligence, AI*) — термин, используемый для описания компьютерной системы, которая может учиться и работать, самостоятельно принимая решения на основе имеющихся баз данных. Не следует путать стандартные программы с искусственным интеллектом. Традиционная программа не сможет выявить патологию на рентгеновском снимке, для этого системе недостаточно вычислять данные по заранее заданным формулам – она должна самостоятельно выявить закономерности на основе эмпирических данных, чтобы научиться распознавать заболевания. В этом процессе разработчики сосредотачиваются в первую очередь на подготовке данных и обучении модели. Применение искусственного интеллекта (ИИ) в охране труда при использовании медицинского оборудования помогает повысить безопасность медицинского персонала и пациентов, минимизировать ошибки и улучшить контроль за рабочими процессами.

Направления использования ИИ при охране труда в медицине

1) Управление и контроль медицинского оборудования.

Искусственный интеллект (ИИ) может играть ключевую роль в управлении и контроле медицинского оборудования, обеспечивая его точную работу, безопасность и эффективность. Современные технологии позволяют автоматизировать процессы, снижать риски ошибок и повышать качество медицинского обслуживания.

ИИ может анализировать данные в реальном времени и предупреждать о возможных ошибках в использовании оборудования. Например: контроль параметров аппаратов (наркозные станции, аппараты ИВЛ, рентгеновские установки) с автоматическим оповещением о сбоях; распознавание неправильных действий оператора, предупреждение при отклонениях от протокола безопасности; оптимизация работы приборов – регулирование режимов функционирования в зависимости от состояния пациента (например, настройка параметров аппарата ИВЛ); автоматическая калибровка – ИИ корректирует работу приборов для точности измерений (например, лабораторное оборудование).

2) Виртуальные ассистенты для управления оборудованием.

Врачи часто сталкиваются с проблемой корректного использования медицинского оборудования и с этим им могут помочь голосовые помощники на базе ИИ. Они помогают врачам управлять медицинскими приборами без физического контакта, что особенно полезно в стерильных зонах. Примером могут служить виртуальные ассистенты в операционных для регулировки параметров оборудования.

3) Расчёт параметров безопасности при проектировании или установке медицинского оборудования.

На старте использования нового медицинского оборудования, или при его монтаже, должны соблюдаться все технические и медицинские условия использования аппарата. Зачастую решение данной проблемы является очень трудоёмкой и рутинной задачей, с чем и может помочь ИИ. Обладая высокой скоростью обработки и анализа информации, нейронный помощник может как просто рассортировать и предоставить информацию с необходимыми условиями по использованию и установке аппарата, так и, при обладании соответствующими датчиками, контролировать процесс монтажа, установки и использования аппарата, а также следить за соблюдением всех правил безопасности, при его эксплуатации.

4) Помощник для специалиста по охране труда

Как известно на специалистах по охране труда, в области медицины и за её пределами, лежит много работы, включающей в себя как контроль соблюдения всех установленных требований по безопасности и сбор с анализом данных обо всем оборудовании, имеющимся в учреждении здравоохранения, так и проведение инструктажей среди работников предприятия. В этом также может помочь ИИ-помощник. Его работа может заключаться, в компоновке и выборке необходимого массива данных, сбора информации об оборудовании, его характеристиках и особенностях работы прибора, а также, благодаря развитию сферы телеметрии, голосовой ИИ-помощник может сам проводить инструктажи, что позволяет значительно экономить время всему персоналу.

В качестве примера применения ИИ при охране труда в медицине можно привести оптимизацию рабочих процессов при помощи ИИ-планировщика смен – **Qventus**. Qventus – это программная платформа на базе искусственного интеллекта, предназначенная для оптимизации потока пациентов в различных отделениях больницы, включая отделения неотложной помощи, стационарные отделения и предоперационные отделения. Этот инструмент автоматизирует процессы, объединяет рыночные данные и использует персонализированные модели искусственного интеллекта и машинного обучения для повышения эффективности, улучшения прозрачности процессов и качества медицинской помощи, оказываемой пациентам, при этом снижая выгорание персонала. Платформа Qventus сочетает в себе искусственный интеллект, машинное обучение, поведенческую науку и интегрированные электронные медицинские данные и рыночные данные для создания замкнутой системы, которая автоматизирует операции по оказанию медицинской помощи в больницах и системах здравоохранения. Qventus способствует снижению выгорания персонала в больницах за счет автоматизации операций по оказанию медицинской помощи. Эта автоматизация снижает когнитивную нагрузку на персонал, позволяя им сталкиваться с меньшим количеством неожиданностей и проводить больше времени с пациентами. Кроме того, прогнозы, основанные на искусственном интеллекте, предоставляют информацию, которая может помочь оптимизировать операции и сделать работу персонала проще и эффективнее.

Также в качестве ИИ-помощника можно использовать программу-помощника **Protex AI**. Данная программа использует компьютерное зрение, чтобы помочь группам по охране труда на рабочих местах принимать упреждающие решения по безопасности. Данный ИИ-помощник способен: объединять технические средства в единую структуру, благодаря простому в настройке блоку обработки видеоданных, который подключается к существующей инфраструктуре видеонаблюдения и безопасно обрабатывает данные на месте с помощью любой современной системы; автоматически настраивать функции оборудования на предприятии, используя свой внутренний опыт в области охраны здоровья и безопасности, чтобы адаптировать индивидуальные правила и панели управления безопасностью, идеально соответствующие уникальным требованиям вашего предприятия; оценивать обстановку по камерам наблюдения и мгновенно получать информацию о небезопасном поведении с помощью встроенного инструмента **Copilot Gen-AI**, что позволяет принимать упреждающие решения. Protex AI имеет несколько команд разработки: команда продукта, команда инфраструктуры и безопасности, команда компьютерного зрения и систем, команда данных и ML ops, а также команда конфиденциальности и безопасности. Также данный ИИ-помощник основан на системе Nasura. Nasura — это один и тот же язык для интеграторов в команде компьютерного зрения и команде продукта. Его преимуществами являются высокая степень конфиденциальности, быстрое построение и обработка сразу нескольких функций при работе ИИ-помощника, а также простота использования и редактирования для разработчиков. Действия Protex AI направлены на оптимизацию, разработку и реализацию корректирующих мер, устранения догадок и обеспечения четких, ощутимых результатов. В данный момент ИИ-помощник Protex AI является одним из лидеров рынка в области активной безопасности. Его

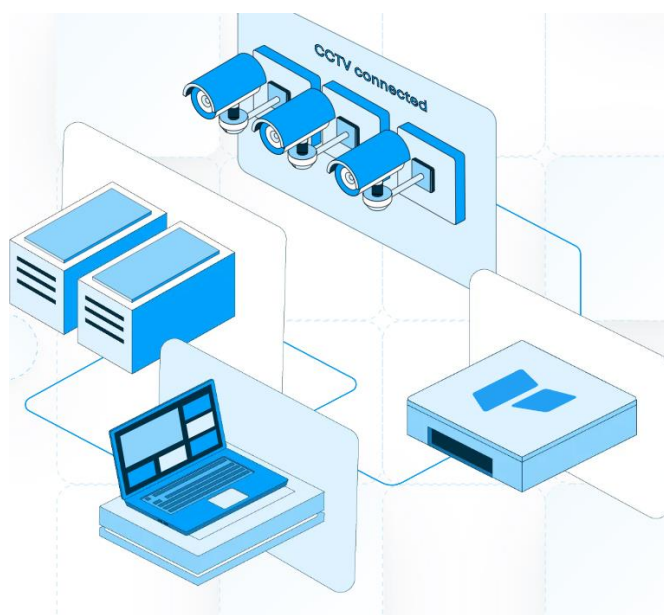
уникальный подход обеспечивает непревзойденную гибкость, надежную интеграцию, глубокое понимание и безопасные решения, ориентированные на конфиденциальность.

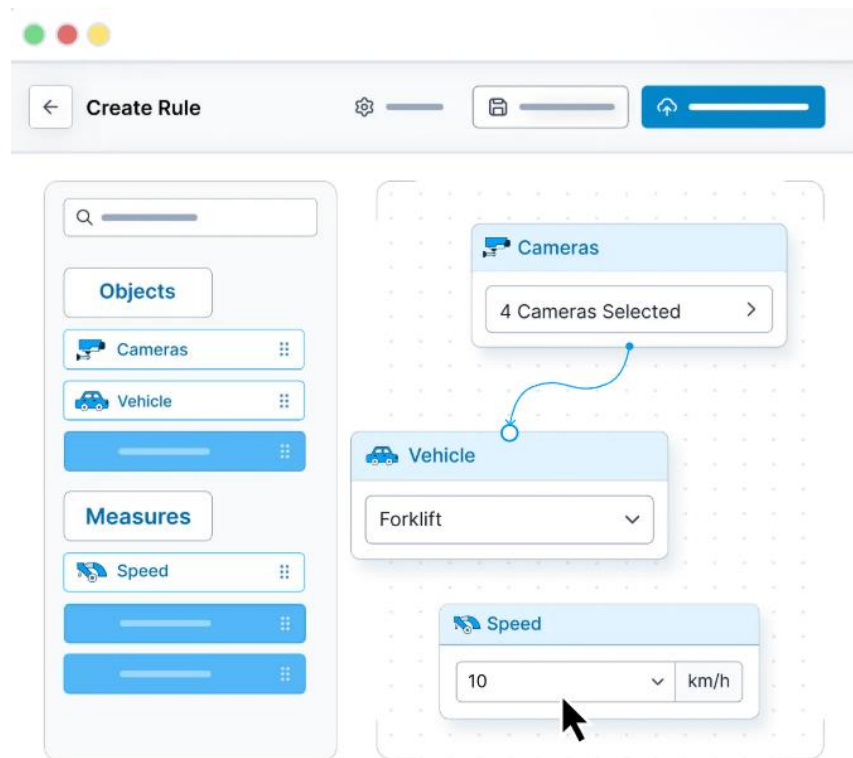
Преимущества и недостатки использования ИИ

Как и в любой сфере данное решение будет иметь свои преимущества и недостатки.

Основные достоинства ИИ в сфере охраны труда в медицине: возможность работать с большими объемами информации; способность выбирать и предоставлять определённые, необходимые и актуальные сведения, в режиме реального времени; возможность автоматического контроля оборудования и медицинского персонала.

Основные недостатки: стоимость – внедрение ИИ помощника требует серьёзного финансирования, особенно, при внедрении его как способа регулирования параметров оборудования; безопасность – чтобы ИИ работал качественно и быстро, ему требуются серьезные вычислительные мощности, которых может просто не быть в обычном медучреждении. Если же вынести компьютерную сеть за пределы одного учреждения, существенно увеличивается вероятность вмешательства в ее работу злоумышленников. Любое проникновение в работу ИИ в медицинской сфере может стать причиной принятия системой неправильных решений, от которых напрямую зависит здоровье и жизни людей.





Защита от падений на судах

Студент группы 11006121 Охремчик С.И.

Научный руководитель - Вершеня Е. Г.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Падения на судах являются одной из основных причин травматизма среди морских и речных экипажей. Статистические исследования показывают, что падения создают значительный риск как для жизни, так и для здоровья работников. Эффективная система защиты от падений включает в себя как организационные, так и технические меры, направленные на создание безопасной рабочей среды.

1. Основные причины падений на судах

1. Неправильная организация рабочего пространства: узкие проходы, неустойчивые конструкции и отсутствие ограждений увеличивают риск падений.

2. Погодные условия: скользкие поверхности из-за дождя, снега или льда создают дополнительные опасности.

3. Отсутствие средств индивидуальной защиты: необеспеченность работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ) приводит к серьезным последствиям.

2. Регуляторные основы

Согласно действующим ГОСТам и ТНПА, охрана труда на судах должна обеспечивать безопасные условия работы. Например, ТКП 004-2006 «Правила обеспечения безопасности труда на судах» описывает основные требования к безопасности труда на береговых и морских объектах. В частности, в части, касающейся предотвращения падений.

3. Меры по защите от падений

1. Ограждения и защитные конструкции: установка прочных и надежных ограждений на палубах и вокруг рабочих зон.

2. Системы доступа: использование лестниц и трапов, соответствующих требованиям безопасности — такие как наличие поручней и противоскользящих покрытий.

3. Использование индивидуальных средств защиты (СИЗ): обязанность экипажа носить такие средства, как каски, ремни безопасности с привязкой к устойчивым конструкциям. Например, оборудование должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 12.4.251-2013 «Средства индивидуальной защиты. Системы защиты от падений».

4. Регулярные тренировки: проводить практические занятия по использованию СИЗ и действовать в случае падений, чтобы снизить риск травматизма.

5. Использование специальной обуви: обеспечение экипажа и пассажиров нескользящей обувью, уменьшает риск скольжения и падений на палубах.

6. Мониторинг погодных условий: регулярное отслеживание прогноза погоды и информации о изменениях условий на море, чтобы заранее предупредить экипаж и пассажиров о потенциальных опасностях.

7. Освещение: обеспечение хорошего освещения в ключевых областях судна, таких как лестницы и проходы, для уменьшения вероятности падений в условиях плохой видимости.

8. Регулярное техническое обслуживание: периодическая проверка и ремонт палуб, лестниц и других ключевых участков судна, чтобы устранить потенциальные опасности, такие как трещины или неровности покрытия.

4. Организация безопасности

1. Планы безопасности: разработка и внедрение планов по охране труда и безопасному поведению на судах.

2. Оценка рисков: регулярное проведение оценки рисков в рабочих условиях, с учетом специфики операций на конкретном судне.

Заключение

Защита от падений на судах — это комплексный процесс, требующий внедрения как организационных, так и технических мер. Основным направлением является постоянное улучшение условий труда и обеспечение безопасной рабочей среды для экипажа. Следование рекомендациям и требованиям ГОСТов и ТНПА может значительно снизить риск травматизма и повысить уровень безопасности на судах.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда. Общие положения».
2. ГОСТ Р 12.4.251-2013 «Средства индивидуальной защиты. Системы защиты от падений».
3. Официальные материалы Международной морской организации (ИМО) по охране труда на судах.
4. ТКП 004-2006 «Правила обеспечения безопасности труда на судах».
5. Учебные пособия и методические рекомендации по охране труда на судах.

Требования к эвакуационным путям и выходам в Европе и Беларуси

Студенты группы 11203121 Афунц В.Р., Шрубок Е.А.

Научный руководитель - Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В данной статье, мы рассмотрим требования к эвакуационным путям, предусмотренным в Республике Беларусь и в странах Европы. Эвакуационные пути проектируются на начальной стадии разработки проекта здания, поскольку статистика показывает значительное количество несчастных случаев, связанных с недостаточной обеспеченностью эвакуации.

Принципы обеспечения безопасности при эвакуации в Беларуси и Европе схожи, так как во многом Беларусь ориентируется на международные стандарты, включая и европейские. Однако есть и отличия, связанные с разными подходами к нормированию, климатическими условиями, историческими традициями строительства и уровнем развития технологий. Требования к эвакуационным путям и выходам в Беларуси регулируются СН 2.02.05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» и правилами пожарной безопасности РБ.

Основные требования, вытекающие из этих документов:

* Достаточное количество выходов: количество эвакуационных выходов должно обеспечивать безопасную эвакуацию всех находящихся в здании людей в течение установленного времени. Количество определяется расчетным путем, учитывая площадь здания, категорию пожарной опасности и количество людей, которые могут одновременно находиться внутри.

* Ширина эвакуационных путей: ширина коридоров, лестниц, проходов и самих выходов должна соответствовать расчетной величине, гарантирующей безопасное и беспрепятственное движение людей. Минимальные размеры указаны в нормативных документах и зависят от категории здания и количества людей.

* Проектирование эвакуационных путей: эвакуационные пути должны быть прямыми, без изгибов и сужений, хорошо освещенными и свободными от препятствий. Не допускается размещение на них оборудования, материалов или предметов, которые могут затруднить эвакуацию.

* Огнестойкость материалов: материалы, используемые при строительстве эвакуационных путей и выходов, должны соответствовать требованиям пожарной безопасности. Они должны быть негорючими или иметь высокую степень огнестойкости.

* Двери на путях эвакуации: двери должны открываться в сторону выхода, легко открываться изнутри (без ключей и сложных замков), быть оборудованы устройствами самозакрывания (в случае необходимости).

* Лестницы: лестницы должны соответствовать определенным параметрам (ширина, высота ступеней, уклон). В высотных зданиях часто требуется наличие запасных лестниц.

* Освещение: обеспечение достаточного уровня освещения эвакуационных путей, как основного, так и аварийного (на случай отключения электроэнергии).

* Знаки безопасности: на эвакуационных путях должны быть установлены четкие и понятные указатели, указывающие направление к выходам.

* Системы дымоудаления: в высотных зданиях и зданиях с большой площадью, как правило, обязательна установка систем дымоудаления для создания безопасных условий эвакуации.

Сравнить требования достаточно сложно напрямую, так как европейские нормы не представляют собой единый свод правил. Каждая страна ЕС адаптирует общие директивы и

стандарты под свои национальные особенности. Поэтому будем говорить о наиболее распространенных в Европе подходах и сравнивать их с белорусскими нормами.

Основные отличия:

* Детализация и гибкость: европейские нормы часто более детализированы и одновременно более гибкие, позволяя применять инженерные расчеты и альтернативные решения, основанные на оценке рисков. Белорусские нормы зачастую более prescriptive, т.е. предписывают конкретные решения. Это может ограничивать применение инновационных материалов и технологий.

* Оценка рисков: в Европе шире применяется подход, основанный на оценке рисков. Это позволяет оптимизировать затраты на обеспечение пожарной безопасности, учитывая специфику конкретного объекта. В Беларуси такой подход пока не так развит.

* Интеграция систем безопасности: в европейских странах больший акцент делается на интеграцию различных систем безопасности здания (пожарная сигнализация, дымоудаление, система контроля доступа и т.д.). В Беларуси такой интегрированный подход пока не так широко применяется.

* Противодымная защита: в Европе, особенно в высотных зданиях, требования к противодымной защите обычно более жесткие. Широко используются системы принудительного дымоудаления, предусматриваются специальные тамбур-шлюзы. В белорусских нормах такие решения не всегда обязательны.

* Эвакуационное освещение: требования к аварийному эвакуационному освещению в Европе также могут быть более строгими, с акцентом на обеспечение достаточной видимости и информативности знаков безопасности.

* Материалы: в Европе применяются более жесткие требования к огнестойкости строительных материалов, используемых на путях эвакуации.

* Требования к дверям: европейские стандарты часто предписывают использование специальной фурнитуры (ручки-бары, доводчики), обеспечивающей быстрое и безопасное открывание дверей на путях эвакуации.

* Ширина эвакуационных путей: расчетные методики определения ширины эвакуационных путей могут отличаться.

Общие черты: несмотря на отличия, в основе требований к эвакуационным путям и выходам в Беларуси и Европе лежат общие принципы, направленные на обеспечение безопасности людей. И там, и там учитывается количество эвакуируемых, необходимое время эвакуации, особенности здания и т.д.

Пример плана эвакуации в Беларуси:



Рисунок 1-План эвакуации в Республике Беларусь

Пример плана эвакуации в Европе:

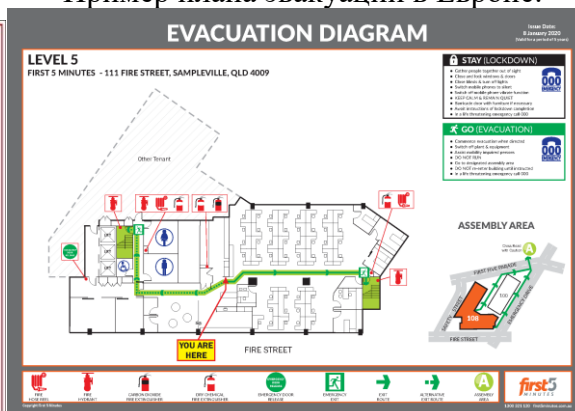


Рисунок 2- Пример плана эвакуации в Европейских странах

Заключение: Белорусские нормы постоянно совершенствуются, стремясь к лучшим мировым практикам. Однако полной гармонизации с европейскими стандартами пока нет. Для более детального сравнения необходимо анализировать конкретные национальные нормы европейских стран.

Список использованных источников

1. СН 2.02.05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»
2. ГОСТ 32667-2014
3. Строительный продукт регламент (CPR 305/2011)
4. ТКП 45-2.02-315-2018
5. ГОСТ 32667-2014

**Условия труда работающих на участках изготовления отливок из
алюминиевых сплавов**

Студенты гр10405221 Петричиц М.Г., Татарлы Д.Д.
Научный руководитель – Лазаренков А.М.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Условия труда на рабочих местах литейных участков при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов (кокильное и центробежное литье, на машинах для литья под давлением) определяются производственными факторами, которые при изготовлении отливок в кокилях и центробежным способом образуются при подготовке кокилей и изложниц, выплавке металла, заливке металла в кокили и изложницы, выбивке отливок из кокилей и изложниц, обработке отливок, а при изготовлении отливок на машинах для литья под давлением - подготовке пресс-формы, выплавке металла, запрессовке металла в пресс-формы, извлечении отливок из пресс-форм, обработке отливок.

Комплекс условий труда на рабочих местах включает содержание вредных веществ и пыли, параметры метеорологических условий (температура и скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения), шум, вибрация, электромагнитные излучения [1]. Влияние указанных факторов на организм работающих может привести к заболеванию или травме [2,3,8]. Оценка вышеуказанных параметров проводилась по результатам проведенных исследований на рабочих местах участков изготовления отливок из алюминиевых сплавов и данных, приведенных в работах [4-12].

В качестве плавильных агрегатов на участках используют в основном индукционные печи (возможно и газопламенные печи). Технологические операции, выполняемые у плавильных печей, характеризуются выделением вредных веществ в виде пыли и газов (оксид алюминия, оксид углерода, оксид азота, пыль с содержанием диоксида кремния). Пыль выделяется при навеске и загрузке шихты в плавильные печи, при выплавке металла, обточке отливок, выбивке и ремонте футеровки печей и ковшей. Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны превышает предельно допустимые у плавильных печей в 1,2-1,6 раза, при обработке литья – в 1,9-3,3 раза. Содержание вредных веществ при плавке сплавов превышает ПДК в 1,2-1,7 раза, при обработке отливок содержание пыли может превышать ПДК в 1,8-2,8 раза. что соответствует данным работ [4].

Источниками шума являются плавильные агрегаты, машины для литья под давлением, зачистные машины и ручной пневмоинструмент. Уровни шума превышают допустимый уровень 80 дБА при работе у плавильных агрегатов (индукционные и газопламенные печи) от 4 до 12 дБА, при использовании зачистного и шлифовального инструмента – от 87 до 95 дБА, на рабочем месте литейщика на машинах для литья под давлением – от 82 до 85 дБА, что соответствует данным работ [2,7].

Источниками повышенной вибрации являются зачистные автоматы и ручной пневмоинструмент. Уровень виброускорения локальной вибрации превышает допустимое значение 76 дБ при работе на зачистных автоматах и с ручным виброинструментом на 2 – 5 дБ, что соответствует данным работ [3,8].

Метеорологические условия на рабочих местах плавильщиков и заливщиков определяются температурой воздуха, скоростью движения воздуха и интенсивностью теплового излучения. Отмечается превышение допустимых температур на вышеуказанных рабочих местах на 2 – 7 °С в зависимости от периода года, превышение скорости движения воздуха фиксировалось в основном в теплый период года в 1,2 – 1,7 раза (за счет открытых оконных проемов и входных-выездных ворот), интенсивности тепловых излучений при работе у плавильных агрегатов и разливке жидкого металла (при допустимой величине 140 Вт/м²) – от 2 до 7 раз в зависимости от выполняемой технологической операции, что соответствует данным работ [5,6].

При плавке металла в индукционных печах работающие подвергаются воздействию электромагнитного излучения (загрузка шихтовых материалов, счистка шлака, контроль за ходом плавки). Напряженность электрического поля у индукционных печей не превышает 5 Вт/м². Результаты исследований не показали превышения допустимой напряженности, так как для защиты работающих от электромагнитных излучений применяются заземленные металлические экраны, кожухи, устанавливаемые на пути излучения.

По тяжести трудового процесса профессия литейщиков оцениваются классом 3.2 (вредные условия труда 2 степени), категория профессионального риска – средний (существенный), а по напряженности трудового процесса – класс 3.1 (вредные условия труда 1 степени), категория профессионального риска – малый (умеренный).

Таким образом, оценка условий труда на рабочих местах литейщиков при изготовлении отливок из медных сплавов может быть проведена объективно только при учете всех этапов применяемых технологических процессов, типов используемого оборудования и ручного инструмента, продолжительности нахождения в различных условиях и воздействия всего комплекса опасных и вредных производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса.

Список использованных источников

1. Лазаренков А.М., Хорева С.А. Анализ производственных факторов литейных цехов // Труды 24-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2016, Беларусь». Минск, 19-21 октября 2016. С. 117-120.
2. Лазаренков А.М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 194-195.
3. Лазаренков А.М. Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 192-193.
4. Лазаренков А.М. Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А.М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2019 № 2 – С. 138-142.
5. Лазаренков А.М., Хорева С.А. Оценка параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов // Труды 25-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2017, Беларусь». Минск, 18-19 октября 2017. С. 216-218.
6. Лазаренков А.М. Исследование теплового фактора условий труда в литейном производстве / А.М. Лазаренков, И.А. Иванов, М.А. Садоха // Литье и металлургия. – Минск, 2022, № 2 – С. 123-129.
7. Лазаренков А.М. Исследование шумового фактора условий труда в литейном производстве / А.М. Лазаренков, М.А. Садоха // Литье и металлургия. – Минск, 2022, № 2 – С. 130-136.
8. Лазаренков А.М. Влияние локальной вибрации на работающих в литейных цехах / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева // Литье и металлургия. – Минск, 2016, № 3 (84) – С. 128-130.
9. Лазаренков А.М. Оценка условий труда работающих в литейных цехах с массовым характером производства / Литье и металлургия. – Минск, 2017, № 4 (89) – С. 134-137.
10. Лазаренков А.М. Условия труда на рабочих местах заливщиков металла / Литье и металлургия. – Минск, 2022, № 1 – С. 130-134.
11. Лазаренков А.М. Условия труда на рабочих местах плавильщиков металлов и сплавов / Труды 26-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2018, Беларусь». Минск, 17-18 октября 2018. С. 167-170.
12. Лазаренков А.М. Условия труда на рабочих местах в отделениях финишных операций литейных цехов / А.М. Лазаренков, М.А. Садоха, А.А. Новик // Литье и металлургия. – Минск, 2023, № 1 – С. 138-142.

Оценка вредности лакокрасочных материалов для окраски кабин на прессово-кузовном заводе ОАО «МАЗ» и меры по улучшению условий труда

Студенты гр.10302121 Агеев А.О., Евстратов А.М.

Научный руководитель - Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Наиболее широко распространенным способом защиты металла от коррозии является покрытие лакокрасочными материалами (ЛКМ), что и используется при изготовлении кузовов автомобилей для продления их срока службы. Коррозия представляет собой одну из основных причин разрушения металла, особенно при эксплуатации в агрессивных условиях, таких как повышенная влажность, перепады температур или воздействие химических веществ (например, реагентов, используемых для обработки дорог). Использование нержавеющей стали для изготовления кабин, хотя и обеспечивает стойкость к коррозии, экономически нецелесообразно: высокая стоимость материала, сложность его обработки делают изделия невыгодными для массового производства. Поэтому, одним из ключевых этапов изготовления кабин грузовых автомобилей на прессово-кузовном заводе ОАО «МАЗ» является их окраска.

Очевидно, что грамотная организация рабочих мест и создание максимально безопасных условий наряду с использованием современного оборудования и материалов оказывает непосредственное влияние на качество выполнения технологических операций и конечный результат. Поэтому в данной работе проведем анализ вредных веществ на рабочем месте маляра в цеху сварки и окраски, где осуществляют нанесение лакокрасочного покрытия на кузова автомобилей, а также попробуем выявить потенциальные проблемы, связанные с безопасностью труда и экологической составляющей производства и разработать рекомендации по дальнейшему улучшению условий труда.

В процессе реализации своих задач, производственный персонал использует широкий перечень лакокрасочных и вспомогательных материалов, которые при регулярной работе с ними оказывают негативное влияние на здоровье рабочих. Виды материалов, используемых при покрасочных работах, а также находящиеся в их структуре вредные вещества представлены в таблице 1. Анализ состава применяемых ЛКМ и вспомогательных материалов показывает, что во всех красках присутствует ксилол, а с трех из семи ЛКМ присутствует Н-бутилацетат. Н-бутилацетат представляет собой органическое вещество класса сложных эфиров, которое по совместительству является органическим растворителем и обеспечивает качество нанесения краски на поверхность. Аналогичен по своему действию и ксилол – углеводород ароматического ряда, который используется в синтезе особо стойких красителей. Оба вещества относятся к третьему классу опасности (умеренно-опасные), однако при попадании на незащищенные участки тела могут вызывать аллергическую реакцию, раздражение верхних дыхательных путей при вдыхании их испарений, а также покраснение и слезоточивость глаз.

Кроме того, ЛКМ являются взрывоопасными и легковоспламеняющимися веществами, для тушения которых используют углекислый газ (CO_2), порошковые огнетушители, водяную струю мелкого распыления или спиртоустойчивую пену. При их горении происходит выделение окиси углерода (угарного газа CO) и двуокиси углерода (CO_2), что создает дополнительные риски для здоровья – при содержании 0,32% угарного газа в воздухе возможна потеря сознания и паралич. Так, в случае горения указанных ЛКМ рекомендуется надевать автономные устройства защиты органов дыхания, охлаждать ёмкости с веществами водой мелкого распыления и утилизировать остатки от пожара и загрязненную воду в соответствии с требованиями экологических служб.

Таблица 1 – Состав лакокрасочных и вспомогательных материалов

№	Название	Вредные вещества	Концентрация, %	ПДК, мг/м ³		Класс опасности	Воздействие на организм
				Максимальная разовая	Среднесменная		
1	Эмаль базовая ВС	Н-бутилацетат	44-64	200	50	3	Первичное раздражающее воздействие: Длительные или повторяющиеся контакты могут обезжирить кожу и вызвать дерматит. Раздражающее воздействие: на глаза
		Ксилол	6-11	150	50	3	
		Метоксипропилацетат	1-5	10	-	3	
		Бутанол	<2	30	10	3	
2	Акриловый лак	Н-бутилацетат	28-48	200	50	3	
		Ксилол	3-7	150	50	3	
		Метоксипропилацетат	3-7	10	-	3	
3	Антигравий	Ксилол	22-42	150	50	3	Наркотическое действие. Может быть смертельным при проглатывании и последующем попадании в дыхательные пути. Отрицательно влияет на способность к деторождению.
		Толуол	12-22	150	50	3	
4	Антисиликон	Углеводороды, C7-C9	70-85	-	1400 (суммарно)	4	Кожно-резорбтивное действие. Слабо раздражает кожные покровы и конъюнктиву глаз.
		Углеводороды, C9-C10	15-30			4	
5	Эмаль Индолак	Ксилол	34-54	150	50	3	Первичное раздражающее воздействие: Длительные или повторяющиеся контакты могут обезжирить кожу и вызвать дерматит. Раздражающее воздействие: на глаза
6	Катализатор для акриловых ЛКМ	Дилаурат дибутилолова	1>3	-	0,1	3	Может вызвать сонливость и головокружение, поражать органы в результате однократного воздействия. При контакте с кожей либо глазами вызывает аллергическую реакцию и выраженное раздражение
		Ксилол	30-90	150	50	3	
		Н-бутилацетат	20-40	200	50	3	
	Разбавитель для акриловых ЛКМ	Бутилацетат	30-50	200	50	3	Первичное раздражающее воздействие: Длительные или повторяющиеся контакты могут обезжирить кожу и вызвать дерматит. Раздражающее воздействие: на глаза
		Ксилол	20-40	150	50	3	
8	Эмаль Индопур	Бутилацетат	30-50	200	50	3	
		Ксилол	20-40	150	50	3	

Для минимизации рисков негативных последствий при использовании приведенных в таблице 1 ЛКМ, необходимо использовать защитное снаряжение (респираторы, резиновые перчатки, плотно прилегающие защитные очки и специальную рабочую одежду), избегать контакта с глазами и кожей, тщательно мыть руки перед перерывами и по окончании работы, обеспечивать достаточную вентиляцию рабочей зоны, исключить присутствие источников возгорания и соблюдать все противопожарные меры. Хранение ЛКМ должно осуществляться в прохладном, сухом и хорошо вентилируемом месте, защищенном от прямых солнечных лучей. Необходимо соблюдать правила совместимости веществ и ограничивать количество запасов на рабочем месте.

Для защиты окружающей среды следует предотвращать попадание веществ в канализацию, водоемы, грунтовые воды или подвалы, а в случае утечки проинформировать соответствующие службы. Разлитое вещество собирают с помощью связывающих материалов, таких как песок, опилки или универсальные вяжущие средства, после чего утилизируют собранный материал в специальных емкостях согласно нормативным требованиям. Отработанные материалы и загрязненная тара должны быть утилизированы в соответствии с требованиями административных служб, выбрасывать загрязненные материалы вместе с коммунальными отходами запрещается. Загрязненную тару следует передать организациям, имеющим лицензию на переработку или обезвреживание отходов.

Соблюдение вышеуказанных правил обеспечивает безопасность персонала, снижает риск аварийных ситуаций и минимизирует воздействие на окружающую среду, что особенно важно в условиях производства, где работа с лакокрасочными материалами является неотъемлемой частью технологического процесса.

Помимо описанных ранее мероприятий по минимизации рисков прямого контакта рабочего с краской, можно рассмотреть вариант замены ЛКМ на более безопасные материалы-аналоги. Одним из таких аналогов является эмаль Intercure 3240HG, производимая шведской компанией «International farg ab», которую можно рекомендовать взамен Эмали базовой ВС, состав которой приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав эмали Intercure 3240HG

Наименование	Вредные вещества	Концентрация	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
			Максимальная разовая	Среднесменная	
Эмаль Intercure 3240HG	Сольвент-нафта (керосин)	10-16	-	100	3
	Титан диоксид	5-10	-	10	3
	Метоксипропи-лацетат	<3	10	-	4

Предложенная эмаль обладает куда менее опасными свойствами, что вкупе с выполняемыми на производстве мерами предосторожности позволит снизить риск отравления токсичными веществами, содержащимися в краске, в разы. Поскольку Intercure 3240HG импортируется с территории Швеции по крайне неразвитой дистрибьюторской сети, её стоимость будет слегка выше, чем у используемого на данный момент лакокрасочного материала, однако внедрение более безопасного материала позволит улучшить условия труда, снизить количество выплат по нетрудоспособности, связанной с негативным воздействием вредных веществ на работников.

Таким образом, анализ применяемых и известных на рынке ЛКМ позволил рекомендовать такой вариант улучшения условий труда маляра в цеху сварки и окраски кабин прессово-кузовного завода ОАО «МАЗ», как замена применяющейся эмали на известный менее вредный аналог, что позволит снизить риски наступления нетрудоспособности рабочих, повысить производительность покрасочного цеха и улучшить финансовое положение компании в целом.

**Условия труда на рабочих местах по изготовлению
уплотнителя для герметизации дверных проемов
холодильников на ЗАО «АТЛАНТ»**

Студенты гр.10302121 Зырянова Е.С., Ромасюк Д.А.
Научный руководитель - Пантелеенко Е.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Основными технологическими операциями при обработке ПВХ-пластиката при изготовлении герметизирующего уплотнителя для дверей холодильников, во время которых происходит выделение вредных веществ, являются приготовление пластиката, экструзия профилей, приготовление магнитного компаунда, экструзия магнитной вставки и сварка уплотнителя. На стадии приготовления пластиката загрузочные бункера и смесители исходных компонентов представляют собой неорганизованные источники выбросов пыли и летучих органических соединений. При экструзии профилей происходит утечка легколетучих органических соединений, на стадии приготовления магнитного компаунда – выброс взвешенных веществ. При экструзии магнитной вставки и сварке уплотнителей происходит выброс взвешенных и летучих органических веществ. [1]

Целью данной работы является изучение условий труда при изготовлении герметизирующего уплотнителя из ПВХ с точки зрения контакта с вредными веществами, их влияния на здоровье и мер защиты от них.

Главный процесс, происходящий при смешении (приготовлении) - поглощение пластификатора частицами непластифицированного ПВХ (НПВХ), что осуществляется при температуре - 110-130 °С. Предварительно нагретый до 50-70 °С пластификатор вводят в смесительную камеру, перемешивают с НПВХ в течение 30-40 минут и медленно (10-20 минут) охлаждают до 30-40°С. Следующий этап производства уплотнителя – экструзия, которая предполагает нагрев пластиката до 127-139°С и непрерывное выдавливание через профилирующую головку со скоростью 62 м/мин с последующим калиброванием, охлаждением в водяной ванне и намоткой на барабаны. Далее для стабилизации размеров профили должны пролежать на поддонах минимум 4 часа и отправляются на сварку.

Известно, что при нагреве уже выше 60°С ПВХ начинает выделять в воздух ряд вредных веществ. При реализации описанного технологического процесса производства уплотнителя осуществляется выброс ряда вредных веществ, приведенных в таблице 1. Там же указаны их предельно допустимая концентрация (ПДК) в рабочей зоне, класс опасности вышеперечисленных веществ и материалов и последствия для организма согласно Гигиеническому нормативу «Показатели безопасности и безвредности микроорганизмов-продуцентов, микробных препаратов и их компонентов, вредных веществ в воздухе рабочей зоны и на кожных покровах работающих», утв. Постановлением Совета министров Республики Беларусь № 37 от 25.01.21.

Таблица 1 – ПДК вредных веществ и их воздействие на организм

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Воздействие на организм [2, 3]
1	2	3	4
Пыль ПВХ (Поливинилхлорид)	6	3	Рак печени (ангиосаркома), кашель, фиброз, пневмокониоз
Стеарат бария	5/2	3	Кашель, боли в горле, раздражающее воздействие на глаза и кожу, отёк лёгких, фибрилляция желудочков, двусторонняя гемиплегия, паралич
Феррит бария	4	3	

Соляная кислота (Хлороводород)	5	2	Кашель, боли в горле, ощущение жжения, сбивчивое дыхание, затрудненное дыхание
Продолжение Таблицы 1			
1	2	3	4
Бензол	15/5	2	Головокружение, сонливость, головная боль, тошнота, сбивчивое дыхание, судороги, потеря сознания, может вызвать генетические дефекты, рак, поражение костного мозга, ЦНС или иммунной системы, анемия
Ксилол (Диметилбензол)	150/3	3	Головокружение, сонливость, головная боль, тошнота, повреждение ЦНС, токсическое воздействие на репродуктивные функции
Толуол (Метилбензол)	150/50	3	Боли в горле, кашель, головокружение, сонливость, головная боль, тошнота, потеря сознания, отрицательно влияет на способность к деторождению, повреждение ЦНС
Диоктилфталат (Бис(3-метилгексил)бензол1,2-дикарбонат)	1	2	Кашель, боли в горле, токсическое воздействие на репродуктивные функции или развитие человека
Ортофталевая (Бензол-1,4-дикарбоновая) кислота, пары+аэрозоль	0,1	1	Кашель, боль в горле, раздражение кожи, глаз
Стирол (Этенилбензол)	30/10	3	Канцерогенное вещество. Головокружение, сонливость, головная боль, тошнота, рвота, слабость, потеря сознания, поражение ЦНС и печени, может увеличить потерю слуха
Оксид углерода	20	4	Сбивчивое дыхание, головная боль, слабость, аритмия, боль в груди, тошнота, головокружение, потеря сознания
Винилхлорид (хлористый винил)	5/1	1	Головокружение, сонливость, головная боль, потеря сознания, помутнение зрения, онемение, ощущения покалывания
Акрилонитрил	0,5	2	Канцерогенное вещество. Головокружение, головная боль, тошнота, сбивчивое дыхание, рвота, слабость, судороги, напряжение в груди, воздействие на ЦНС и печень

Реализация технологического процесса происходит при работающей местной вытяжке (отсосы стоят над основными установками и аппаратами) и общеобменной вентиляции.

Рассмотрим рабочее место сварщика пластмасс. Данный специалист работает на сварочных машинах СИПА (производство Италия) и БЗС 0147 (производство Барановичи). Нагревательный элемент на поверхности имеет температуру от +500°C до +600°C. Воздух, передающий тепло от нагревателя к профилю, имеет температуру +350°C - +450°C.

Согласно инструкции по охране труда для сварщика пластмасс от 2024 года на рабочем месте присутствуют следующие вредные и опасные производственные факторы, воздействующие на рабочего при определённых условиях:

- движущиеся, вращающиеся части механизмов;
- недостаточная освещённость рабочего места;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- наличие напряжение в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;
- повышенная температура поверхности оборудования;

– статическое электричество

Согласно Типовым отраслевым нормам бесплатной выдачи средств индивидуальной защиты работникам, занятым в производстве полимерных материалов и изделий из них, утв. Пост. Минтруда и соцзащиты Республики Беларусь №79 25.06 2004, работодатель обеспечивает работника следующими средствами индивидуальной защиты (СИЗ): головной убор, фартук хлопчатобумажный с нагрудником, нарукавники хлопчатобумажные, очки защитные для уборки РМ воздушным компрессором, респиратор, рукавицы термостойкие Тп Тп400 (выдерживают температуру до 400°C), перчатки трикотажные, халат или костюм (вискоза 35%, полиэстер 65%), ботинки кожаные с твёрдыми носами. Сварщик пластмасс обязан правильно применять необходимые спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты в соответствии с условиями и характером выполняемой работы, в случае их отсутствия или неисправности немедленно уведомить об этом непосредственного руководителя.

Для защиты сотрудников от вредного и опасного воздействия перечисленных веществ кроме СИЗ применяются следующие способы коллективной защиты: общая цеховая вентиляция и местная вытяжная вентиляция.

Для безопасной работы на станке предусмотрено следующее:

- наличие защитного ограждения, окрашенного в красный цвет и изолирующее рабочего от движущихся механизмов и нагревательного элемента;
- основание станка имеет тепловую изоляцию в зоне ног рабочего;
- предусмотрен вытяжной вентилятор для отвода вредных выделений при сварке;
- предусмотрено местное освещение (в зонтике вентилятора и над рабочим столом) для обеспечения удобной работы и предупреждения вредного воздействия на органы зрения рабочего.

Рабочее место относится к второму классу условий труда – допустимый. Ранее рабочее место сварщика пластмассы относилось к третьему классу, вредному, однако это было пересмотрено вследствие технических улучшений: модернизация общей вентиляции и местной вытяжки.

Для дальнейшего улучшения условий работы предлагается ввести промышленные экзоскелеты для рабочих ввиду выполнения работы в положении стоя, что позволит снизить компрессию позвоночника, разгрузить мышцы спины, распределить нагрузку на бёдра и обеспечить правильное положение спины при работе. Кроме этого, можно рекомендовать установить кондиционеры для поддержания комфортной температуры рабочей зоны, а также в качестве СИЗ выдавать не рукавицы, а перчатки с более высокой термостойкостью, т.к. температура нагревательных элементов, с которыми может контактировать работник, +500°C до +600°C, температура воздуха в зоне сварки достигает +450°C, а термостойкость выдаваемых рукавиц всего 400°C.

Список использованных источников

1. Экологическая экспертиза МЗХ ЗАО «АТЛАНТ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studbooks.net/1844652/ekonomika/ekologicheskaya_ekspertiza_atlant - Дата доступа: 07.04.25.
2. PVC exposure can lead to cancer and other medical issues [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usmesotheliomalaw.com/blog/pvc-exposure-can-lead-to-cancer-and-other-medical-issues/>, свободный.
3. International Labour Organization. Международные карты химической безопасности (ICSC). База данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=ru - Дата доступа 27.03.2025

**Сравнительный анализ инструкций по охране труда
для работников нефтепроводов в Республике Беларусь
и Российской Федерации**

Студент гр.10302121 Грабовая П.В.
Научный руководитель - Пантелеенко Е.Ф.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Нефтепродуктоперекачивающие станции (НПС), как элементы нефтепродуктопроводов (НПП), позволяют транспортировать нефть и нефтепродукты на значительные расстояния с минимальными потерями. Бесперебойная работа НПС и НПП в целом зависит от качественной работы ряда специалистов, среди которых операторы технологических установок, электрогазосварщики, трубопроводчики, слесари-ремонтники, инженеры-технологи, электромонтеры, а также специалисты по экологическому контролю и пожарной безопасности. Каждый из них сталкивается с высоким уровнем профессиональных рисков, связанных с особенностями их деятельности. К специфическим опасным и вредным факторам на НПС можно отнести наличие взрывоопасных сред, токсичных веществ, высокое давление в трубопроводах, электрооборудование под напряжением, а также возможность возникновения аварийных ситуаций, таких как утечки нефтепродуктов, возгорания или разгерметизация оборудования. Инструкции по охране труда (ОТ) разрабатываются для минимизации рисков, предотвращения травматизма и обеспечения безопасных условий труда. Особенностью работы НПП является то, что они могут эксплуатироваться на территории разных стран. Так, нефтепроводы, проходящие по территории Республики Беларусь, проходят и по территории Российской Федерации, и, несмотря на отличия в законодательствах и нормативных правовых документах, важно создать унифицированный подход к обеспечению безопасности труда на международном уровне.

Особый интерес представляют требования для таких профессий, как электрогазосварщики и трубопроводчики, которые непосредственно взаимодействуют с оборудованием, находящимся под давлением, и выполняют работы повышенной опасности. Сравнение инструкций по охране труда для этих профессий в РБ и РФ позволит выявить различия в подходах к организации безопасного труда, определить лучшие практики и предложить рекомендации для их совершенствования. Поэтому цель данной работы – провести сравнительный анализ инструкций по охране труда для работников нефтепродуктоперекачивающих станций двух стран.

При сравнении инструкций электрогазосварщиков [0, 2] можно выделить следующие отличия, приведенные в таблице 1:

Таблица 1. Отличия в инструкциях по охране труда для электрогазосварщиков

Республика Беларусь	Российская Федерация
К работе допускаются лица мужского пола не моложе 18 лет	Ограничений по полу нет
Устанавливается периодичность повторного инструктажа: раз в три месяца	Периодичность повторных инструктажей не установлена
Незначительные отличия в перечне и формулировке опасных и вредных производственных факторов (ниже приведены отличия)	
- повышенный уровень шума на рабочем месте; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - контакт с высокой температурой при работе с материалами (брызги расплавленного металла); - опасность взрыва;	-острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок; -повышенная температура поверхности оборудования;

- возможность поражения электрическим током; - движущиеся машины и механизмы; - физические и нервно-психические перегрузки.	-повышенная яркость света. -оборудование (газогенератор, баллоны с газом); -расплавленный металл.
Продолжение таблицы 1.	
Республика Беларусь	Российская Федерация
Электрогазосварщику запрещается появляться и находиться на территории организации и на рабочем месте в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения.	Такие требования отсутствуют
Обо всех неисправностях, обнаруженных при проверке оборудования, инструментов, приспособлений и инвентаря, сообщить непосредственному руководителю и до их устранения к работе на оборудовании не приступать, неисправные инструменты, приспособления, инвентарь в работе не использовать.	Обнаруженные неисправности и нарушения требований безопасности должны быть устранены собственными силами до начала работ, а при невозможности сделать это электрогазосварщики обязаны сообщить о них руководителю работ.
При возникновении неисправностей в работе оборудования, опасной или аварийной ситуации остановить работу, отключить используемое оборудование и сообщить об этом непосредственному руководителю.	При потере устойчивости .. изделий и конструкций работы следует прекратить и сообщить о случившемся бригадиру или руководителю работ. После этого электрогазосварщик должен принять участие в работах по предотвращению обрушения конструкций.
В РФ приводятся более четкие и подробные инструкции по действиям при несчастных случаях	

Наиболее значимые отличия инструкций по охране труда линейного трубопроводчика [3, 4] приведены в таблице 2:

Таблица 2. Отличия в инструкциях по охране труда для линейного трубопроводчика

Республика Беларусь	Российская Федерация
К работе допускаются лица мужского пола не моложе 18 лет	Ограничений по полу нет
Перед допуском к самостоятельной работе трубопроводчик линейный, вновь поступающий или переведенный на данную работу, независимо от стажа и опыта работы, должен пройти стажировку в течение 10 рабочих дней.	Перед допуском к работе предварительная стажировка не требуется
Периодическую проверку знаний по охране труда трубопроводчик линейный проходит по утвержденному графику 1 раз в год	Требования отсутствуют
Трубопроводчик обязан проходить следующие виды инструктажей: вводный, первичный на рабочем месте, повторный (1 раз в 3 месяца), внеплановый, целевой.	Трубопроводчик проходит инструктаж только при приеме на работу и на рабочем месте
В РБ приводится более подробная классификация средств индивидуальной защиты	
Работник имеет право отказаться от выполнения порученной работы в случае возникновения непосредственной опасности для жизни и здоровья его или окружающих до устранения этой опасности. При отказе от выполнения порученной работы, рабочий обязан незамедлительно письменно	В Российской Федерации отсутствует данный пункт в типовой инструкции

сообщить непосредственному руководителю либо работодателю о мотивах такого отказа, подчиняться правилам внутреннего трудового распорядка, за исключением выполнения вышеуказанной работы.	
В РБ приводятся более четкие и подробные инструкции по действиям при несчастных случаях	

Сравнительный анализ типовых инструкций по охране труда для работников нефтепродуктоперекачивающих станций в РБ и РФ показал, что в целом они похожи, однако, можно назвать следующие принципиальные отличия:

- отечественные инструкции отличаются большей точностью формулировок, конкретикой изложения и детализацией требований (четко указана периодичность повторных инструктажей, проверки оборудования и рабочих мест и т.п.);
- в Беларуси прописано ограничение по половому признаку (к работе электрогазосварщиком допускается только мужчина);
- в инструкциях РБ уделено большее внимание трудовой дисциплине – запрещено находиться на рабочем месте в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения, так как это одна из наиболее распространенных причин производственного травматизма и несчастных случаев. В то время, как в российской инструкции такой запрет отсутствует;
- отечественные инструкции охватывают более широкий спектр аспектов, связанных с безопасностью труда, включая вопросы экологической безопасности, взаимодействия с аварийными службами, использования средств индивидуальной защиты и особенностей работы с современным оборудованием;
- в российских инструкциях акцент делается на действиях персонала при ликвидации последствий аварий, но менее подробно описываются меры профилактики;
- отличается порядок действий в случае неисправностей и аварий: в отечественных инструкциях первоочередным действием является информирование начальства и приостановка работы, и даже допускается отказ от выполнения работ при возникновении опасности для жизни и здоровья, а в российских присутствуют требования, чтобы сам работник ликвидировал неисправности.

Таким образом, подход, применяемый в Республике Беларусь, демонстрирует более высокий уровень проработки нормативной документации, что делает ее более эффективной для обеспечения безопасности труда. Этот опыт может быть полезен для совершенствования системы охраны труда в Российской Федерации, особенно в условиях тесного международного сотрудничества в нефтегазовой отрасли.

Список использованных источников

1. Форум инженеров по охране труда Беларуси. Типовая инструкция по охране труда для электрогазосварщика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ohrana-truda.by/topic/1294-tipovaya-instruktsiya-po-ohrane-truda-dlya-elektrogazosvarschika/> - Дата доступа 10.04.2025
2. Охрана труда в России. Инструкция по охране труда для электрогазосварщика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/165/145959/ - Дата доступа 10.04.2025.
3. Белновация. Лаборатория. Охрана труда. Инструкция по охране труда для трубопроводчика линейного [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.novation.by/articles/instruktsiya-po-okhrane-truda-dlya-truboprovodchika-lineynogo/> - Дата доступа 12.04.2025
4. Типовая инструкция по охране труда для линейного трубопроводчика ТОО Р-112-30-96 (утв. приказом Министерства топлива и энергетики РФ от 14 июня 1996 г. № 141).

Условия размещения пожарных лифтов для обеспечения безопасности зданий

Студент гр. 11304121 Дорошенко С.С.

Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.

Белорусский государственный политехнический университет
г. Минск

В соответствии с требованиями пожарной безопасности в Республике Беларусь (НПБ 14-2004 "Лифты пожарные. Общие технические требования", ГОСТ 22011 и ГОСТ 28911 "Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов"), пожарный лифт определяется как специализированное оборудование, предназначенное для эвакуации пожарных подразделений и пострадавших в процессе тушения пожаров. Он является неотъемлемой частью инженерных систем зданий. [1]

Основные условия размещения пожарных лифтов включают:

1. Для многоэтажных зданий высотой свыше 50 м и других классов высотой более 26,5 м необходимо предусматривать не менее одного пожарного лифта в каждом пожарном отсеке - Ф1.3.

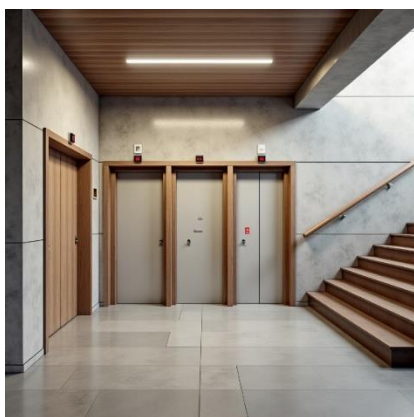
2. В зданиях высотой более 28 метров должны быть установлены лифты, соответствующие требованиям Ф1-Ф5. (Рисунок 1А)

3. Для зданий с квартирами, где общая площадь квартир на этаже не превышает 500 кв.м, и имеющих эвакуационный выход на лестничную клетку типа Н2 или высотой здания более 50 метров, предусматриваются лифты Ф1.3 и Ф1.2.

4. В подземных автостоянках с тремя и более уровнями (Ф5.2) должны быть установлены пожарные лифты.

5. В наземных закрытых и подземных стоянках высотой более 15 метров, а также в подземных с тремя и более этажами, также требуется наличие лифтов Ф5.2. (Рисунок 1Б)

6. В многоэтажных зданиях социального назначения, где необходимо транспортировать носилки с неходячими больными и инвалидов в колясках, используются лифты с кабиной размером 2,1 х 1,1 м и шириной дверного проема 1,2 м, позволяющие размещать кресло-коляску с возможностью поворота. [2]



А



Б

Рисунок 1 – Пожарные лифты, расположенные в:

А – Зданиях с высотой более 28 метров;

Б – Подземных стоянках высотой более 15 метров.

Помещения с массовым скоплением людей (аудитории, залы) следует размещать по этажам согласно таблице 1.

Таблица 1. - Определение предельного этажа размещения

Степень огнестойкости здания	Число мест в аудитории или зале	Предельный этаж размещения
I, II	До 300 включ.	16
	Св. 300 до 600 включ.	5
	До 600 включ.	3
III	До 300 включ.	3
	Св. 300 до 600 включ.	2
IV	До 300 включ.	1
V	До 100 включ.	1

Пожарная безопасность требует обязательного наличия пожарных лифтов в следующих случаях:

1. Здания классом функциональной пожарной опасности Ф1.1 (кроме больниц), чья высота превышает 5 метров, должны быть оборудованы не менее чем одним пожарным лифтом.
2. Здания, относящиеся к классу Ф1.3, высотой свыше 50 метров подлежат оснащению пожарными лифтами.
3. В лечебных учреждениях высотой в 5 этажей и выше также необходимо предусматривать наличие пожарных лифтов.

Пожарные лифты предназначены для обеспечения беспрепятственного доступа пожарных-спасательных подразделений ко всем помещениям на каждом этаже здания. В периоды, не связанные с тушением пожаров, эти лифты могут использоваться как пассажирские или служебные.

Размещение пожарных лифтов:

- Можно устанавливать в отдельном лифтовом холле или в общем с пассажирскими лифтами.
- Допускается объединение с пассажирскими лифтами системами автоматического группового управления.

Требования к расположению:

- Рядом с пожарным лифтом обязательно должен быть выход на лестничную клетку.
- Остановки в надземных и подземных частях здания для пожарных лифтов не предусмотрены, за исключением случаев, когда лифт используется для соединения первого надземного этажа с двумя уровнями подземной части здания, включая цокольный этаж. [2][3]

Таким образом, пожарные лифты представляют собой критически важный элемент системы безопасности высотных и сложных зданий. Их правильное размещение, соответствующее нормативным требованиям, обеспечивает возможность оперативной эвакуации людей и эффективного тушения пожара.

Важно отметить, что проектирование и установка пожарных лифтов должны выполняться квалифицированными специалистами, с учетом всех особенностей здания и потенциальных рисков. При этом необходимо строго соблюдать требования НПБ 14-2004 и других соответствующих нормативных документов.

Регулярное техническое обслуживание и проверки пожарных лифтов также являются обязательным условием их надежной работы. Это включает в себя проверку всех систем, включая электрические компоненты, механизмы управления и безопасности, а также систему связи с диспетчерским пунктом.

В заключение, стоит подчеркнуть, что наличие и исправная работа пожарных лифтов – это не просто соответствие нормативным требованиям, но и гарантия безопасности людей в случае возникновения пожара. Поэтому, вопросам проектирования, монтажа, эксплуатации и обслуживания пожарных лифтов необходимо уделять самое пристальное внимание.

Список использованных источников

1. ГОСТ 22011-95. Лифты пассажирские и грузовые. Общие технические требования. - Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. - 76 с.
2. НПБ 14-2004. Лифты пожарные. Общие технические требования. - Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2004.
3. Лазаренков, А. М. Охрана труда и пожарная безопасность: учеб. пособие / А. М. Лазаренков, Ю. Н. Фасевич. – Минск : ИВЦ Минфина, 2025. – 636 с.

Градостроительные проблемы обеспечения безопасности зданий и сооружений

Студент гр. 11301121 Пряжко А.В.

Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.

Белорусский государственный политехнический университет
г. Минск

При проектировании проездов и пешеходных улиц необходимо учитывать не только требования к ширине тротуаров, полосы озеленения, типу и площади парковочных мест, и инфраструктуре велосипедного движения, призванных обеспечить максимально комфортную и эффективную окружающую среду для осуществления жизни и рабочей деятельности в пределах населенных пунктов (СН 3.03.06-2022 «Улицы населенных пунктов» (утвержденные постановлением Министерства архитектуры и строительства Беларуси №39 от 25 марта 2022 г)), но и требования, позволяющие обеспечить безопасность людей в условиях чрезвычайных ситуаций, а именно в случаях возникновения пожара (СН 2.02.05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» (утвержденные постановлением Министерства архитектуры и строительства Беларуси №79 от 12 ноября 2020 г)).

Для обеспечения пожарной безопасности в СН 2.02.05-2020 предусматриваются требования к организации проездов для пожарных автолестниц и автоподъемников к зданиям классов Ф1–Ф4, которые обеспечивают подачу огнетушащих веществ на высоту и эвакуацию людей из зоны пожара. Расстояние от здания, их количество и ширина самих проездов определяются исходя из того, к какому классу пожарной опасности относится объект и его высоты. Ниже приведены основные требования к зданиям классов Ф1–Ф4 (для производственных предприятий классов Ф5 предусмотрены иные требования) [1].

Для зданий классов Ф1.1–Ф1.3, Ф2–Ф4 подъезд пожарных автолестниц и автоподъемников следует обеспечивать:

а) с одной продольной стороны:

— к зданиям класса Ф1.3 высотой менее 30 м, классов Ф1.2, Ф2.1, Ф2.2, Ф3, Ф4.3 высотой менее 15 м;

б) с двух продольных сторон — к зданиям класса Ф1.3 высотой 30 м и более, классов Ф1.2, Ф2.1,

Ф2.2, Ф3, Ф4.3 высотой 15 м и более;

в) со всех сторон — к отдельно стоящим зданиям классов Ф1.1, Ф4.1, Ф4.2.

Допускается предусматривать подъезд пожарных автолестниц и автоподъемников к зданиям только с одной продольной стороны в случаях:

с меньшей высоты зданий, чем в перечислении, а.;

— двусторонней ориентации квартир или помещений;

— устройства наружных открытых лестниц, связывающих лоджии и балконы смежных этажей между собой, или лестниц 3-го типа при коридорной планировке зданий (с фасада здания, где отсутствует подъезд).

К зданиям высотой 10 м и менее (от планировочной отметки земли до подоконной части окон верхнего этажа, за исключением технического) подъезд пожарных автолестниц и автоподъемников допускается не предусматривать.

Для пожарных автолестниц или автоподъемников расстояние от края проезда до стены здания следует принимать, м, не менее:

5 — для зданий высотой до 30 м;

8 — для зданий высотой 30 м и более.

При этом для зданий высотой св. 10 м в пределах этих расстояний не следует устраивать ограждения, воздушные линии электропередачи и осуществлять рядовую посадку деревьев.

Доступ пожарных с автолестниц или автоподъемников следует предусматривать в любую квартиру, гостиничный номер, жилую ячейку общежития, помещение с наличием постоянных рабочих мест, расположенные на высоте более 10 м. Допускается предусматривать доступ через балкон (лоджию), террасу или примыкающий участок кровли с уклоном не более 12 %, а также через смежное помещение (коридор, холл и т. п.) при условии обеспечения беспрепятственного входа в него через дверь без запоров или с электромагнитным замыкателем, срабатывающим дистанционно и автоматически (от установок пожарной автоматики).

К фасадам зданий из негорючих конструкций (материалов) и без дверных и оконных проемов подъезд пожарной техники допускается не предусматривать.

Сквозные проезды во вновь проектируемых зданиях классов Ф1.3 следует предусматривать на расстоянии не более чем через 180 м друг от друга, а сквозные проходы — не более чем через 100 м. Размеры сквозных проездов во внутренние двory в свету должны быть, м, не менее: ширина — 3,50; высота — 4,25.

Сквозные проходы допускается не предусматривать при устройстве стояков-сухотрубов с соединительными головками диаметром 80 мм, прокладываемых сквозь здание не выше уровня пола первого этажа и расположенных на расстоянии не более 100 м один от другого по обоим фасадам зданий.

Данные требования должны обеспечивать сотрудникам МЧС возможность с момента прибытия на место вызова без промедлений осуществлять пожаротушение и спасательные работы. Однако на практике соблюдение СН 2.02.05-2020 не обеспечивает упомянутой возможности, несмотря на технически правильно рассчитанные расстояния для применения пожарных автолестниц и автоподъемников.

Самым распространенным препятствием для сотрудников МЧС являются припаркованные вдоль зданий на путях проездов автомобили, что происходит с нарушением правил парковки и наказуемо штрафом. На Рис. 1 и Рис. 2 представлены снимки проезда к жилому 9-этажному зданию высотой менее 30 м 1982 г. постройки (капремонт здания и прилегающей территории проводился в 2021 г.) в утреннее и вечернее время в г. Минске на момент 16.03.25. На обоих изображениях видны автомобили, припаркованные со стороны здания, напротив подъезда (Рис. 2) и занимающие поворотную площадку, что является нарушениями, но совершается на постоянной основе из-за нехватки парковочных мест. Несмотря на введение СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенных пунктов» (утвержденные постановлением Министерства архитектуры и строительства Беларуси №94 от 27 ноября 2020 г.) [2] и СН 3.03.06-2020 проблема возведенной ранее и нерассчитанной на существующее в данный момент количество частного автотранспорта городской среды не решена.

В случае возникновения пожара существует помимо того, что существует риск полной блокировки проезда для пожарного автотранспорта, имеется нарушение упомянутого ранее требования о недопустимости рядовой посадки деревьев от стены до края проезда для зданий с высотой св. 10 м (одна из берез видна в левой части снимков, съемка велась с высоты 8 этажа).

В итоге нарушаются условия работы сотрудников МЧС и повышается вероятность летального исхода в чрезвычайной ситуации. Если вопрос с высаженными деревьями частично решается техническим оснащением боевых расчетов МЧС, что не снимает проблемы траты времени, то вопрос с автовладельцами до сих пор не является решенным.



Рисунок 1



Рисунок 2

Таким образом показана взаимосвязь градостроительных норм с нормами пожарной безопасности и социальными факторами. Введение и применение математически выверенных требований не гарантирует безопасной эксплуатации объектов строительства, т.к. социальный фактор в лице владельцев автотранспорта, количество которых только увеличивается, не учтен и не может быть проконтролирован ввиду массовости и масштабности явления.

Список использованных источников

1. Лазаренков, А. М. Охрана труда и пожарная безопасность: учеб. пособие / А. М. Лазаренков, Ю. Н. Фасевич. – Минск : ИВЦ Минфина, 2025. – 636 с.
2. СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенных пунктов». Утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27 ноября 2020 г. № 94.

Охрана труда в зимний период при содержании дорог в Беларуси

Студент гр. 11403221 Сергей К.П.

Научный руководитель - Шрубенко Т.П.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

В статье рассматриваются особенности охраны труда при зимнем содержании автомобильных дорог в Беларуси. Анализируются основные риски для работников, связанные с низкими температурами, использованием противогололёдных реагентов и эксплуатацией спецтехники.

Введение

Зимнее содержание дорог представляет собой особую сферу деятельности с повышенными профессиональными рисками. В Беларуси, где зимний период длится 4-5 месяцев, обеспечение безопасности дорожных рабочих приобретает критическое значение.

Основные опасные факторы

- Воздействие низких температур
- Риск переохлаждения и обморожения при длительном нахождении на открытом воздухе
- Снижение концентрации внимания из-за холодового стресса

Ограниченная подвижность в тёплой спецодежде

- Использование противогололёдных материалов
- Контакт с химическими реагентами (хлориды, карбамид)
- Попадание реагентов в дыхательные пути и на кожные покровы
- Коррозионное воздействие на инструмент и оборудование

Эксплуатация спецтехники

- Повышенная аварийность при гололёде
- Ограниченная видимость в снегопад
- Вибрация и шум в кабинах техники

Дополнительные факторы

- Работа в ночное время
- Высокий травматизм при ручной уборке снега
- Риск ДТП при работе на проезжей части

По данным Белстата, в зимний период 2022-2023 гг.:

- 42% всех несчастных случаев в дорожной отрасли произошли с декабря по февраль
- Основные причины: падения (31%), наезды техники (25%), переохлаждения (18%)
- Каждый третий случай связан с нарушением правил эксплуатации спецтехники

Сравнительный анализ новых и старых норм по охране труда при зимнем содержании дорог в Беларуси приведен в таблице 1

(На основе изменений 2023–2024 гг.)

Организация рабочего процесса

Таблица 1

Аспект	Нормы до 2024г	Нормы 2024 года
Организация рабочего процесса		
Продолжительность работы на холоде	Общие рекомендации без временных рамок	При -15°C не более 45 мин непрерывной работы.
		При -20°C +10мин обогрева за каждый час

Ночные работы	Допускались ограничений	без	Запрещены температуре ниже (кроме аварийных ситуаций)	при -25°C
Обучение	Ежегодный инструктаж (8 часов)		Обязательный часовой курс	16
Технические требования				
Спецтехника	Требовалась сигнализация		Ограничители скорости до 30 км/ч Система оповещения о приближении транспорта 50м	
СИЗ	Светоотражающая одежда		RFID-метки для учета времени на холоде + обогрев	
Химическая безопасность				
Хранение реагентов	На площадках	открытых	Только изолированных складах с геотекстильными барьерами	на
Защита работников	Респираторы (по желанию)	(по	Обязательные маски с угольными фильтрами и перчатки с химзащитой	
Контроль качества	Визуальный осмотр		Автоматические датчики концентрации реагентов	
Ответственность работодателя				
Штрафы	До 50 БВ		До 100 БВ +публикация в реестре нарушителей	
Уголовная ответственность	Только смертельном исходе	при	При неосторожности” (до 5 лет лишения свободы)	“грубой
Документооборот	Журнал инструктажей		Журнал инструктаже и обязательный “Зимний план по охране труда”	

Нововведения

- Цифровой мониторинг
- Датчики температуры тела с передачей данных
- GPS-трекеры для спецтехники

Автоматизация

- Запрет ручной уборки снега на дорогах I и II категорий при интенсивности движения > 500 авт./час. (п. 6.3 Технического регламента ТР 2024/027/ВУ "Безопасность дорожных работ в зимний период")
- Теплые зоны
- Обязательные обогревательные пункты каждые 5 км

Нормативная база:

- ТР 2024/027/ВУ (взамен СНиП 1.03.04-2021)
- Постановление Минтруда №35 от 12.01.2024
- Приказ Минтранса №78-Р от 05.02.2024

**Сравнительный анализ перечня требований по охране труда в дорожной отрасли
Республики Беларусь: старое и новое издание**

Студенты гр. 11403221 Шумейко И.А., Лаппо А.И.
Научный руководитель – Шрубенко Т.П.
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск

Введение

Охрана труда в дорожной отрасли – ключевой аспект обеспечения безопасности работников, занятых строительством, ремонтом и эксплуатацией автомобильных дорог. В Республике Беларусь (РБ) нормативные документы в этой сфере периодически обновляются, что связано с изменениями технологий, появлением новых рисков и необходимостью соответствия международным стандартам.

В данной статье проводится сравнение старого перечня требований по охране труда (например, на основе ТК РБ и отраслевых норм до 2020 года) и новой редакции (актуальные изменения 2023–2024 гг.), а также даётся оценка произошедшим изменениям. В 2023–2024 гг. в Беларуси были внесены существенные изменения в нормативные акты по охране труда (ОТ) для дорожной отрасли. Ранее регулирование основывалось на устаревших документах (например, ТК РБ в ред. до 2020 г. и СНиП 3.06.03-85), но теперь требования стали более детализированными и приближенными к международным стандартам (например, директивам ЕС 89/391/ЕЕС).

1. Основные изменения в перечне требований

1.1. Старая редакция (до 2020 года)

Ранее регулирование охраны труда в дорожной отрасли РБ основывалось на:

- Трудовом кодексе РБ (общие положения).
- Отраслевых стандартах (СТБ, СНиП) – например, СНиП 3.06.03-85 "Автомобильные дороги".
- Ведомственных инструкциях (Минтранс, Белавтодор).

Характерные особенности:

- Общие формулировки (например, "обеспечить безопасность при работе с техникой").
- Минимальные требования к индивидуальной защите (каска, жилеты, но не всегда обязательные респираторы или защитные очки).
- Не было чёткого регулирования работы в ночное время и при экстремальных погодных условиях.

1.2. Новая редакция (2023–2024 гг.)

Современные требования стали более детализированными и включают:

- Специфические нормы для разных видов работ (асфальтирование, земляные работы, эксплуатация дорожной техники).

1. Асфальтирование Нормативный документ: *Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.02-326-2023* Специфичные требования:

1. Температурный режим:

- Запрет на укладку асфальта при температуре воздуха ниже +5°C без применения специальных добавок.
- Обязательный контроль температуры смеси на выходе из асфальтоукладчика (не ниже +140°C).

2. Защита от вредных испарений:

- Рабочие в зоне укладки обязаны использовать:
- Респираторы класса FFP3 (при работе ближе 5 м от места укладки);
- Термостойкие перчатки (до +300°C).

3. Организация рабочей зоны:

- Ограждение участка сигнальными лентами на расстоянии не менее 10 м от места работ;
- Скорость движения техники в рабочей зоне – не более 5 км/ч.
Пример изменения относительно старого издания:
 > *Раньше (до 2020):* Допускалась укладка асфальта при 0°C с "особой осторожностью".
 > *Сейчас:* Четкий температурный лимит +5°C с обязательной фиксацией в журнале работ.
- 2. Земляные работы
Нормативный документ: *СТБ ISO 20474-2024 (безопасность землеройной техники)*
Специфичные требования:
1. Котлованы и траншеи:
 - Глубина более 1,2 м – обязательное крепление стенок щитами или распорками;
 - Ширина траншеи – не менее 0,7 м для доступа аварийных служб.
- 2. Работа техники:
 - Минимальное расстояние от края котлована до экскаватора – 2 м;
 - Запрет на нахождение рабочих в радиусе 5 м от работающего экскаватора.
- 3. Защита от обрушений:
 - Ежедневный осмотр стенок котлована с записью в журнале контроля;
 - При обнаружении трещин – немедленная остановка работ.
- Пример изменения относительно старого издания:
 > *Раньше:* Крепление стенок требовалось только при глубине от 1,5 м.
 > *Сейчас:* Порог снижен до 1,2 м, добавлено требование к ширине траншеи.
 - **Обязательное использование СИЗ (средств индивидуальной защиты) – теперь требуются не только каски, но и:**
 - противошумные наушники,
 - респираторы при работе с пылью и химикатами,
 - термостойкая одежда для асфальтоукладчиков.
- **Чёткие требования к организации рабочего пространства (ограждения, знаки, освещение).**
 - Усиленный контроль за работой в опасных условиях (например, при ремонте дорог ночью).
- 2. Оценка изменений
2.1. Положительные стороны
Повышенная детализация – теперь меньше "размытых" формулировок, что снижает риск нарушений.
Учёт современных рисков – добавлены требования по защите от шума, вибрации, вредных испарений.
Соответствие международным стандартам (например, директивам ЕС по безопасности дорожных работ).
- 2.2. Проблемные моменты
Усложнение контроля – больше требований = больше возможностей для формального подхода. Финансовая нагрузка на предприятия – закупка СИЗ и модернизация техники требуют дополнительных затрат.
Недостаточная адаптация для малого бизнеса – мелкие подрядчики могут испытывать трудности с выполнением всех норм.
- 3. Выводы
Обновлённые требования по охране труда в дорожной отрасли РБ стали более прогрессивными и безопасными, но их внедрение требует:
 - Дополнительного обучения сотрудников.

- Инвестиций в оборудование и защитные средства.
- Чёткого контроля со стороны надзорных органов.

В целом изменения оценены положительно, так как они направлены на снижение травматизма и повышение качества условий труда. Однако для их эффективной реализации необходимы разъяснительная работа и поддержка предприятий.

Рекомендации для предприятий

1. Провести аудит текущих условий труда.
2. Обучить сотрудников новым требованиям.
3. Внедрить систему регулярного мониторинга безопасности.

Источники:

- 1) Трудовой кодекс РБ (2023).
- 2) СТБ и СНИП (актуальные редакции).
- 3) Приказы Минтранса и Белавтодора.

Содержание

Металлургия чёрных и цветных сплавов	4
Мельников К.А., Круглов А.А. Получение качественных припоев переработкой оловянно-свинцовой изгари	5
Петричиц М.Г., Свистун Р.В., Кошелев Н.А. Системы отбора газов от электродуговых печей для пылегазоочистки	7
Мельников К.А., Морская Е.А., Сороговец А.Д., Климёнок У.Б. Результаты испытаний промышленного образца катода-мишени, полученного с использованием литейных технологий	9
Морская Е.А., Кошелев Н.А., Пылило В.И., Климёнок У.Б. Лабораторная установка для получения порошков из специальных сплавов для нанесения покрытий	11
Шарко Е.И., Пугачевич М.В., Шатило Г.Е. Моделирование затвердевания и охлаждения отливок из износостойкого хромистого чугуна в литейных формах	14
Мельников К.А., Тарасик П.А., Панасюк В.О., Пылило В.И. Методика получения катода-мишени из специальных сплавов с использованием электроэрозионной обработки	17
Машины и технология литейного производства	20
Шатилло С.Д. Особенности использования вент при Сейатсу-процессе	21
Мойсейчик В.А., Рипинский М.А. Определение активной глины методом метиленового голубого	23
Айвазян А.В., Аксенчик А.А. Технология изготовления стержней по Cold-box-amine процессу. Перспективы дальнейшего развития	25
Бузюма А.В. Виды пластика для 3D принтера	27
Волчек М.Н., Лепетило М.А. Перспективы внедрения искусственного интеллекта в литейное производство	29
Голубев Д.В. Индукционные печи	32
Гончарик А. Н., Шатилло С.Д. Электрические печи для литейного производства	37
Довжик И.А. FDM-принтер для печати модельных комплектов из чугуна	39
Зуев К.И. Модифицирование	42
Иванчиков В.Н. Создание эффективного теплораспределителя малых габаритов для улучшения технологических характеристик трёхмерной печати модельных комплектов	44
Корзик Р. В. Технологии 3D печати в литейном производстве	47
Косенков В.М. Плавильные агрегаты	50
Крыжевич И.С. Влияние литейного производства на экологию	52
Лебецкий В.В. Выплавка металла в электрических печах	55
Росинский С.С. Почему некоторые металлы называют драгоценными?	59
Сарвилиин О.В. Методы уплотнения форм при производстве отливок по газифицируемым моделям. Технологии ЛГМ, преимущества и недостатки	61
Якимец А.М. Компьютерные системы автоматизированного проектирования	64
Громыко К.Л. Основные понятия САПР	66
Фирсов А.И. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом	68
Бутько В.С. История литейного производства: от древних времен до современности	71
Мальцев А.Ю. Процессы литейного производства: от моделирования до отливки	73
Мелисевич М.Ю., Семёнов Н.С. Контроль качества в литейном производстве	75
Мойсейчик В.А. Экологические технологии и их влияние на устойчивое развитие производства	77
Николаюк Н.Г. Будущее работы литейного производства в условиях автоматизации и искусственного интеллекта	79

Почопко Д.С. Как литейные технологии для специализированных отраслей: автомобильная, аэрокосмическая, медицинская	82
Савицкий М.А. Кадровые вопросы в литейном производстве: подготовка и обучение	85
Трофимчик Н.А. Экологические технологии и их влияние на устойчивое развитие производства.....	87
Машины и технология обработки металлов давлением	89
Кутовой К. А., Лойко А. Р. Технология производства вытяжной заклёпки	90
Ли Синькан_Исследование по оптимизации конструкции оборудования для волочения металла	92
Чжан Чанъань_Технология гидроформования	95
Луо Цань_Исследования и достижения в области процесса спекания и его применение в производстве быстрорежущей стали	97
Ян Юйпэн_Применение горячей штамповки в производстве автомобильных деталей.....	100
Ма Инкэ, Дэн Маолинь_Применение и проблемы высокопрочных материалов в пресс-формах.....	102
Ян Цзяньхуа_Оценка формы очага деформации в процессе волочения медной проволоки .	104
Дун Ифань_Исследование технологии теплой экструзии формования металлических материалов	106
Дэн Маолинь, Ма Инкэ_Магнитно-импульсное и электромагнитное прессование	108
Лю Суннань_Применение технологии высокоточной обработки пресс-форм в машиностроении	111
Ян Юньминь_Проектирование нового гидравлического оборудования для штамповки тонкостенных труб.....	113
Чжан Екунь_Электроимпульсная обработка металлов.....	116
Лю Суннань_Явление скольжения: опережение и отставание	118
Чжан Чэньчжэ_Скоростная асимметрия при холодной прокатке круглой заготовки в цилиндрических валках	121
Чёрный А. Г., Глушин И.С. Использование ультразвука при продольной прокатке.....	124
Петрушенко М. М., Пенязь Е.Н. Исследование влияния параметров экструзии на микроструктуру и механические свойства металлических сплавов.....	126
Сосункевич К. Н. Анализ деформации металлов при глубокой вытяжке.....	129
Гиринский А. И. Гидропрессование	133
Юнчиц А. А. Штамповка взрывом	135
Вашкевич А. А. Технологический процесс изготовления шатунов на горизонтально-ковочной машине	137
Лебедев Д. В. Анализ деформации металла при глубокой вытяжке	139
Лукашевич В.В. Использование ультразвука при поперечной прокатке.....	141
Кусиков А.С. Использование метода горячего формования для производства сложных деталей	143
Багнюк Н.А. Виды химико-термической обработки (ХТО) и покрытия пуансонов для повышения износостойкости	145
Мусский А.А. Оптимизация процессов горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов через компьютерное моделирование	148
Германович М.С. Специальные виды радиальной штамповки	151
Кашмель А.В. Влияние ультразвука при прокатке.....	154
Лыщик Е.Н. Автоматизация листовой штамповки.....	156
Василевская Е.Д. Микроструктурные изменения при пластической деформации и их влияние на свойства конструкционных деталей.....	159
Петрушенко М.М. Обзор промышленного робота Kawasaki BX100N.....	161

Евстратовский А.В. Состояние и перспективы использования прецизионной штамповки в машиностроении	163
Мартынов А.Л. Поперечное выдавливание.....	166
Яцкевич В.А. Автоматизация кузнечно-штамповочного прессования	168
Пенязь Е.Н. Технологические особенности пробивки	170
Юрцевич М.А. Технологии интенсивной пластической деформации (НКУ – обработка) для получения ультрамелкозернистых материалов.....	173
Рожков В.А. Методы снижения деформационного упрочнения и коробления.....	174
Каминский А.В. Моделирование текстурных изменений и их влияние на предельную деформацию.....	176
Гелец Д.А. Разработка экологичных смазочных материалов для процессов экструзии меди	178
Кучинский В.А., Баханович А.А. Исследование влияния скорости деформации и температуры на формирование структуры и механических свойств	180
Богославчик А.А., Корнилов Д.С. Моделирование методом конечных элементов (МКЭ) процессаковки авиационных деталей	182
Кучинский В.А., Баханович А.А. Повышение энергоэффективности процессов прессования за счет адаптивного управления	184
Давыдов В.И. Сравнение эффективности традиционных и биоразлагаемых смазок	186
Инжеватов М.П. Анизотропия пластичности при штамповке титановых листов	188
Овсепян Д.З., Костевич В.С. Электрогидравлическая обработка материалов	190
Кореневский А.Р. Прогнозирование трещинообразования при холодной объемной штамповке высокоуглеродистых сталей	192
Прокопья А.В. Анализ остаточных напряжений в деталях, полученных гидроимпульсной штамповкой	194
Абакумов Е.А. Оптимизация режимов прокатки для улучшения качества тонколистовой стали путем использования полиуретановых валков	196
Полуян Н.Р. Подготовка материала к волочению. Химическая очистка	198
Голышев С.В. Ковка в штампах	201
Маглич А.Р., Лис М.Ю. Поперечно-винтовая прокатка. Особенности и технологический процесс	203
Хрущ М.А., Жамойда А.Ю.Магнитно-импульсная штамповка в сравнении с холодной объемной штамповкой.....	205
Бусел И.А., Сучкевич А.П. Износ инструмента в листовой штамповке	208
Хорошев Е.С., Скотников Г.С. Способы получения нержавеющей труб путем холодного проката	210
Маркевич А.В., Манюк А.С. Подготовка металла к прокатке	212
Саук Е.В., Савастюк А.С. Радиально-сдвиговая прокатка сортового штампа	214
Дашковская Д.Д., Жигорев Н.Д. Разновидности горячей объемной штамповки	216
Михальцов И.Д. Способы волочения и соответствующее оборудование. Виды производственных профилей.....	218
Материаловедение в машиностроении	222
Данилович Д.В., Воробьева А.В. Аэрогель – инновационный материал.....	223
Кунц М.С., Вараб'ёва А.В. Торый: перспективи і способи выкарыстання ў вытворчасці	226
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов.....	228
Али Хоссейн Язданичерати_Формирование композиционных материалов динамическим легированием алюминия и его сплавов	229

Охрана труда и промышленная безопасность	231
Прокопенко Н., Шастаков К. Использование искусственного интеллекта при эксплуатации медицинского оборудования.....	232
Охремчик С.И. Защита от падений на судах	236
Афунц В.Р., Шрубок Е.А. Требования к эвакуационным путям и выходам в Европе и Беларуси.....	238
Петричиц М.Г., Татарлы Д.Д. Условия труда работающих на участках изготовления отливок из алюминиевых сплавов	241
Агеев А.О., Евстратов А.М. Оценка вредности лакокрасочных материалов для окраски кабин на прессово-кузовном заводе ОАО «МАЗ» и меры по улучшению условий труда.....	243
Зырянова Е.С., Ромасюк Д.А. Условия труда на рабочих местах по изготовлению уплотнителя для герметизации дверных проемов холодильников на ЗАО «АТЛАНТ»	246
Грабовая П.В. Сравнительный анализ инструкций по охране труда для работников нефтепроводов в Республике Беларусь и Российской Федерации	249
Дорошенко С.С. Условия размещения пожарных лифтов для обеспечения безопасности зданий.....	252
Пряжко А.В. Градостроительные проблемы обеспечения безопасности зданий и сооружений	255
Сергей К.П. Охрана труда в зимний период при содержании дорог в Беларуси	258
Шумейко И.А., Лаппо А.И. Сравнительный анализ перечня требований по охране труда в дорожной отрасли Республики Беларусь: старое и новое издание.....	260