

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический  
университет

Механико-технологический факультет



Сборник научных работ  
XXV Республиканской студенческой  
научно-технической конференции

# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ



18–19 апреля 2024 года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Механико-технологический факультет

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ  
XXV Республиканской студенческой научно-технической конференции

18–19 апреля 2024 года

Минск  
БНТУ  
2024

## 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.**, д. т. н., доцент;

**Слуцкий А. Г.**, к. т. н., доцент.

### ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

**Раков Илья Григорьевич**

### СОСТАВИТЕЛИ

**Бежок Александр Павлович**

**Иванов Игорь Аркадьевич**

В настоящий сборник включены материалы докладов XXIV 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.

# **Металлургия чёрных и цветных сплавов**

## Оптимизация химического состава выплавляемых сплавов с использованием базы данных Excel

Студенты гр. 10405222 Морская Е.А., 10403122 Пугачевич М.В.

Научный руководитель - Арабей А.В.

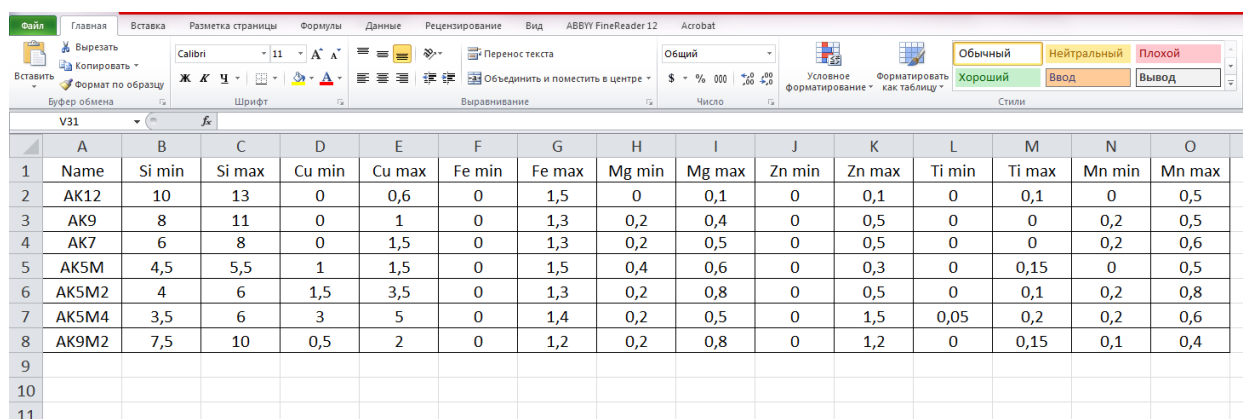
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Базы данных представляют собой упорядоченный и структурированный набор информации или данных, которые чаще всего хранятся в электронном виде в компьютерной системе. БД создают с целью систематизации, редактирования и быстрого поиска нужных данных, а при необходимости формируют из этих данных отчет или показывают в виде диаграммы.

Excel – программный продукт MS Office, который дает достаточно возможностей для создания простых баз и удобного управления ими.

Целью работы – с помощью базы данных, созданной в Excel, содержащей информацию из ГОСТ, регламентирующей химический состав сплава на основе алюминия, создать динамической таблицы, позволяющие после проведения химического анализа пробы расплава определить соответствие выплавляемого сплава требованиям ГОСТ по химическому составу и при необходимости предоставить информацию о недостающем процентном содержании легирующих элементов.

На рисунке 1 представлена база данных, содержащая информацию из ГОСТ, регламентирующая химический состав сплава на основе алюминия.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Name	Si min	Si max	Cu min	Cu max	Fe min	Fe max	Mg min	Mg max	Zn min	Zn max	Ti min	Ti max	Mn min	Mn max
2	AK12	10	13	0	0,6	0	1,5	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,5
3	AK9	8	11	0	1	0	1,3	0,2	0,4	0	0,5	0	0	0,2	0,5
4	AK7	6	8	0	1,5	0	1,3	0,2	0,5	0	0,5	0	0	0,2	0,6
5	AK5M	4,5	5,5	1	1,5	0	1,5	0,4	0,6	0	0,3	0	0,15	0	0,5
6	AK5M2	4	6	1,5	3,5	0	1,3	0,2	0,8	0	0,5	0	0,1	0,2	0,8
7	AK5M4	3,5	6	3	5	0	1,4	0,2	0,5	0	1,5	0,05	0,2	0,2	0,6
8	AK9M2	7,5	10	0,5	2	0	1,2	0,2	0,8	0	1,2	0	0,15	0,1	0,4
9															
10															
11															

Рисунок 1 – База данных, созданная в среде Excel, содержащая информацию из ГОСТ, регламентирующая химический состав сплава на основе алюминия

С помощью выпадающего списка пользователь выбирает марку сплава, которую планируется получить в процессе плавки. Результаты экспрессного химического анализа пробы расплава вносятся в основную таблицу для дальнейшего анализа соответствия выплавляемого сплава требованиям ГОСТ по химическому составу.

В основной таблице в зависимости от выбранной марки сплава с помощью поисковой функции ВПР переносятся данные минимальных и максимальных значений химического состава выбранного сплава из базы данных по основным, легирующим элементам и примесям. Функция ВПР помогает работать с большими объемами данных – автоматически сопоставляет и переносит необходимое количество наименований в нужные ячейки основной таблицы. Затем в основной таблице с помощью функций условия проводится сопоставление результатов полученного химического анализа пробы расплава с требованиями ГОСТа (рисунок 2).

Состав сплава	Данные хим. анализа пробы расплава	Содержание		% дошихтовки	
		min	max		
		Si	10,5		
Cu	4,2	3	5	хорошо	достаточно
Fe	1,2	0	1,4	хорошо	достаточно
Mg	1	0,2	0,5	меняй марку сплава	перебор
Zn	0	0	1,5	0,75	достаточно
Ti	0,02	0,05	0,2	0,095	дошихтуй
Mn	0	0	0,6	0,3	достаточно

Рисунок 2 – Основная таблица сопоставление результатов полученного химического анализа пробы расплава с требованиями ГОСТ

Если содержание элемента в расплаве соответствует требованиям ГОСТ, то в информационной ячейке сообщается о соответствии химического состава ГОСТ и ячейка закрашивается зеленым цветом. В случае избытка элемента в расплаве в информационной ячейке, закрашенной красным цветом, сообщается об избытке химического элемента и предлагается пользователю изменить выплавляемую марку сплава. Если содержание в расплаве элемента недостаточное, то в информационной ячейке, закрашенной желтым цветом, пользователю предлагается дошихтовать расплав, а также рассчитывается процент дошихтовки, исходя из среднего допустимого содержания этого элемента.

Цветовое оформление ячеек в зависимости от соответствия содержания элемента, входящего в расплав, требованиям ГОСТ осуществлялось с помощью функции Excel «Условное форматирование».

Таким образом, динамические таблицы баз данных Excel позволяют при плавке вторичного алюминиевого сплава в зависимости от результатов экспрессного химического анализа пробы расплава оперативно «подобрать» возможные марки выплавляемого сплава, которые будут соответствовать требованиям ГОСТ по химическому составу.

**Анализ процесса накопления стронция при модифицировании силуминов**

Студенты гр. 10405220 Оленцевич А.А., Микулич А.Д.  
 Научные руководители Бежок А.П., Неменёнок Б.М.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Развитие техники требует создания и использования алюминиевых сплавов с повышенными механическими свойствами. Известно, что увеличение их прочности и твердости можно обеспечить дополнительным легированием  $\alpha$ -твердого раствора кремния и меди в алюминии, а также термической обработкой и рафинированием расплава от твердых и газообразных неметаллических включений. Увеличение пластических свойств сплава достигается снижением содержания в сплаве железа и за счет удаления из расплава неметаллических включений. Наиболее эффективным способом достижения поставленной цели является модифицирование включений эвтектического кремния. Известно около 40 элементов, оказывающих модифицирующее действие на структурные составляющие силуминов. Из модификаторов эвтектики заслуживает внимание стронций, обеспечивающий длительный модифицирующий эффект, что позволяет автоматизировать процесс заливки расплава в литейные формы с использованием дозаторов. Однако малый угар стронция из расплава таит в себе опасность его накопления в возврате, что может в итоге привести к нежелательным последствиям, связанным с образованием газоусадочной пористости в отливках. Влияние переплавов на поведение стронция и его накопление в возврате исследовали на сплаве АК12оч.

Исходная концентрация стронция в расплаве была увеличена до 0,1%. Рафинирование расплава не производили. При температуре 720-730 °С брали пробу на химический анализ, а остаток сплава заливали в плоскую металлическую изложницу. После затвердевания слитка его расплавляли, при 720-730 °С брали пробу на химический анализ и вновь отливали слиток. Было проведено три переплава. Если в исходном сплаве содержалось 0,1 % стронция, то после первого переплава его, концентрация снизилась до 0,07 %; после второго - до 0,027 %, и после третьего - до 0,007 %.

Проведенный эксперимент показал, что в результате однократного переплава потери стронция составляют только 1/3 от его исходной концентрации. Поэтому необходимо провести расчет возможной предельной концентрации стронция в силуминах при многократном использовании в составе шихты возврата собственного производства.

В расчете принимали следующие условия:

- исходная плавка проводится на чистой шихте с вводом 0,03 % стронция;
- рафинирование модифицированного сплава производится азотом и потерями стронция после этой операции пренебрегаем;
- первую плавку проводили с использованием  $m$  (кг) собственного возврата, содержащего  $K$  (%) стронция;
- расчет стронция по шихтовке производится на полную массу плавки.

Введем следующие условные обозначения, принятые в расчете:

$C$  – количество вводимого в расплав стронция по шихтовке, %;

$M$  – полная масса плавки вместе с отходами, кг;

$a$  – количество отходов в плавке, %;

$c_n$  – остаточная концентрация стронция в отливках, %.

При проведении первой плавки с отходами количество стронция, вносимого отходами, составит  $\frac{K \cdot m}{100}$ , кг, а количество вновь введенного стронция по шихтовке будет равно  $\frac{C \cdot M}{100}$ , кг.

Общее количество стронция в плавке в процентах составит:

$$C_1 = \left( \frac{K \cdot m}{100} + \frac{C \cdot M}{100} \right) \cdot \frac{100}{M} = \frac{K \cdot m}{M} + C;$$

При проведении второй плавки с отходами в шихту вносится  $(\frac{K \cdot m}{100} + C) \cdot \frac{m}{100}$  кг стронция и  $\frac{C \cdot M}{100}$  кг – вносится стронция по шихтовке.

В итоге процентное содержание стронция в шихте составит:

$$C_2 = [(\frac{K \cdot m}{M} + C) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100}] \cdot \frac{100}{M} = K \cdot (\frac{m}{M})^2 + C \cdot \frac{m}{M} + C.$$

Для третьей плавки, проводимой с использованием собственных отходов, концентрация стронция в шихте составит

$$C_3 = [(K \frac{m^2}{M^2} + \frac{C \cdot m}{M} + C) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100}] \cdot \frac{100}{M} = K \cdot (\frac{m}{M})^3 + C \cdot (\frac{m}{M})^2 + C \cdot (\frac{m}{M}) + C.$$

Для n-й плавки с отходами содержание стронция в шихте будет равно

$$C_n = K \cdot (\frac{m}{M})^n + C \cdot (\frac{m}{M})^{n-1} + C \cdot (\frac{m}{M})^{n-2} + \dots + C \cdot (\frac{m}{M}) + C.$$

Учитывая, что  $a = (\frac{m}{M}) \cdot 100$  и  $\frac{m}{M} = \frac{a}{100}$ , то

$$C_n = K \cdot (\frac{a}{100})^n + C \cdot [1 + (\frac{a}{100}) + (\frac{a}{100})^2 + \dots + (\frac{a}{100})^{n-1}].$$

Принимая во внимание, что отношение  $\frac{a}{100} < 1$ , то первое слагаемое  $K \cdot (\frac{a}{100})^n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ , а в квадратных скобках второе слагаемое представляет убывающую геометрическую прогрессию с знаменателем  $q = \frac{a}{100}$  и первым членом  $C_1 = 1$ .

Для убывающей геометрической прогрессии сумма всех членов равна:

$$\lim S_n = \frac{a_1}{1 - q} = \frac{100}{100 - a}, n \rightarrow \infty$$

тогда  $C_n = C \cdot \frac{100}{100 - a} = \frac{100 \cdot C}{100 - a}$

Считая, что  $a=40\%$ , а  $C=0,03\%$  получим  $C_n = 0,05\%$ .

Следовательно, при введении в состав шихты 40 % возврата и модифицировании расплава 0,03 % стронция максимальное содержание стронция в отливках не превышает 0,05 %. При увеличении первоначальной добавки стронция до 0,04 % остаточное его содержание в отливках может вырасти до 0,067 %. Необходимо учитывать также, что на ряде цветнолитейных предприятий доля возврата в составе шихты составляет до 60 %. В этом случае даже при вводе 0,03 % стронция в отливках может накопиться до 0,075 % стронция. В таких случаях следует рассчитывать количество вводимого модификатора исходя из 0,03-0,04 % стронция от массы свежих шихтовых материалов. Это позволит обеспечить стабильный модифицирующий эффект, исключить избыточное накопление стронция в расплаве и снизить вероятность развития газоусадочной пористости.



**Повышение механических свойств поршневых сплавов  
с повышенным содержанием железа**

Студенты гр. 10405220 Фармонова Г.Б., Рукина К.А.  
Научные руководители Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблема снижения потребления топлива, улучшения экологических параметров двигателей требует повышения надёжности и увеличения ресурса работы двигателей большегрузных автомобилей, тракторов, комбайнов. За последние 100 лет удельная мощность двигателей возросла в 7 раз, а для двигателей с турбонаддувом в 10 раз и это наращивание мощности продолжается. Форсирование режимов работы двигателей существенно повышает тепловые и динамические нагрузки, воздействующие на большинство деталей и агрегатов двигателя и в первую очередь на поршень.

К особенностям условий работы поршней следует отнести значительные нагрузки, меняющиеся в течение одного цикла по знаку и по направлению, контакт с высокотемпературными продуктами сгорания топлива, вызывающими разогрев днища поршня при определенных режимах работы до температуры 350 °С и более. Следует также учитывать, что на работоспособность поршня основное влияние оказывают напряжения, вызванные температурными градиентами по телу поршня, уменьшение которых за счет изменения конструкции поршня ограничено.

Анализ материалов, используемых в отечественном и зарубежном двигателестроении для изготовления поршней, показывает, что наиболее полно предъявляемым требованиям удовлетворяют сложнолегированные силумины. Разные страны, фирмы и предприятия используют сплавы, незначительно различающиеся по концентрации отдельных легирующих компонентов (Si, Ni, Cu, Mg) и примеси железа. Содержание последнего в ряде сплавов ограничивается 0,35-0,50 %, но для некоторых марок поршневых сплавов AA336.0, AA339.1, RedX131 (США), ACSB (Япония), KS245 (Германия) его концентрация допускается до 0,90-1,2 %. По своему составу данные сплавы близки к широко применяемому в странах СНГ сложнолегированному силумину АК12М2МгН (АЛ25). В зависимости от соотношения легирующих элементов в его структуре кроме  $\alpha$ -твердого раствора кремния и меди в алюминии и эвтектического кремния присутствуют фазы:  $\epsilon$  –  $Al_3Ni$ ;  $\theta$  –  $CuAl_2$ ;  $\delta$  –  $Al_3CuNi$ ;  $\gamma$  –  $Al_7Cu_4Ni$ ;  $T$  –  $Al_9FeNi$ ;  $\beta$  –  $Al_5FeSi$ ;  $\pi$  –  $Al_8FeMg_3Si_6$ ;  $Q$  –  $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ ;  $M$  –  $Mg_2Si$  [1].

Ряд исследователей констатировали положительное влияние железа на жаропрочность поршневых сплавов, но при этом отмечали и резкое снижение их пластичности по причине выделения  $\beta$ -фазы, характеризующейся высокой микротвёрдостью и неблагоприятной морфологией [2].

Для изыскания резервов в повышении надёжности поршней необходимо изучить влияние химического состава поршневых сплавов и их структуры на жаропрочность. К важнейшему структурному фактору, влияющему на жаропрочность, относится устойчивость твёрдого раствора. Наиболее устойчивые при повышенных температурах твёрдые растворы в алюминии образуют элементы с низким коэффициентом диффузии в нём, так как параметры диффузии являются одной из важнейших характеристик, силы межатомной связи кристаллической решётки. Качественное представление о характере диффузии некоторых элементов в твёрдых сплавах дают данные о их диффузии в жидком алюминии при температуре 700 °С (таблица 1) [3].

Таблица 1. – Коэффициенты диффузии легирующих элементов в жидком алюминии при 700 °С [3].

Элементы	Si	Cu	Ni	Fe	Mn
$D \cdot 10^{-5}, \text{См}^2/\text{с}$	81	7,2	1,5	1,4	0,6

На основании приведенных данных можно предположить, что переходные металлы, замещая атомы алюминия в твёрдом растворе, уменьшают самодиффузию алюминия и смещают начало интенсивного процесса диффузии в область более высоких температур. Кроме того, атомы переходных металлов с атомами других элементов (например, медью) могут образовывать устойчивые атомные комплексы в твёрдом растворе алюминия, что также повышает жаропрочность сплавов [2]. Исследование параметров кристаллической решетки твердого раствора переходных металлов в алюминии показало, что даже в условиях относительно небольших скоростей кристаллизации (литьё в кокиль, жидкая штамповка) удаётся получать пересыщенные (по сравнению с равновесной диаграммой состояния) твёрдые растворы в алюминии таких элементов, как Ti, Mn, Zr, Fe, V и др.

Таким образом, легирование переходными металлами способствует образованию пересыщенных твёрдых растворов в промышленных литейных алюминиевых сплавах уже в процессе литья.

На жаропрочность алюминиевых сплавов существенное влияние оказывает также включения интерметаллидных фаз, которые подразделяются на 5 групп [3]. К четвёртой и пятой группам относятся соединения, отличающиеся наиболее высокой остаточной микротвёрдостью и располагающиеся преимущественно по границах зёрен  $\alpha$ -твёрдого раствора. Соединения, содержащие железо, с одной стороны повышают жаропрочность, а с другой – способствуют снижению пластичности. Проблему пластичности можно решить путём изменения морфологии и размеров железосодержащих фаз. При этом следует ожидать и стабилизацию относительного удлинения. Известно, что в поршневых сплавах железо снижает коэффициент линейного расширения сильнее, чем никель, кремний и медь. Так при отсутствии железа  $\alpha = 23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , а при содержании его  $\sim 1,0 \%$  в сплаве  $\alpha$  составляет  $21,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  [4].

На уровень жаропрочности поршневых сплавов положительно влияет также измельчение зерна  $\alpha$ -твёрдого раствора. Для этих целей широко используется модифицирование расплава цирконием, который целесообразно вводить в расплав в виде соли  $\text{K}_2\text{ZrF}_6$  [4].

Для исследований были выбраны 2 состава сплава АК12М2МгН, содержащие 0,8 и 1,0 % железа. В качестве модифицирующей обработки использовали добавку 0,8 %  $\text{K}_2\text{ZrF}_6$  и 0,05 % серы, а содержание марганца в сплаве поддерживали на верхнем допустимом пределе – 0,5 %.

Анализировали предел прочности сплава при растяжении ( $\sigma_{\text{в}}$ ), твёрдость по Бринеллю (НВ), относительное удлинение ( $\delta$ ) и определяли время до разрушения образцов в часах при температуре 300 °С и нагрузке 60МПа. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Как видно из представленных результатов комплексная обработка расплава 0,8%  $\text{K}_2\text{ZrF}_6$  и 0,05% серы обеспечивает получение относительного удлинения сплава АК12М2МгН с содержанием 1,0 % железа на уровне 0,5 % при прочности 220 МПа и твёрдости 960 МПа. Полученные данные превышают аналогичные показатели для исследуемого сплава с 0,8 % железа без обработки.

Таблица 2. Результаты испытания сплава АК12М2МгН с различным содержанием железа и вариантами модифицирования

Свойства сплава	Содержание железа 0,8 %			Содержание железа 1,0 %		
	Модифицирующая обработка					
	Без обработки	0,8%K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub>	0,8%K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub> +0,05%S	Без обработки	0,8%K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub>	0,8%K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub> +0,05%S
σ <sub>в</sub> , МПа	180	220	235	180	190	220
НВ, МПа	910	950	950	950	960	960
δ, %	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
Время до разрушения при 300 °С и σ <sub>в</sub> =60 МПа	65	74	90	60	72	95

Учитывая, что основным критерием работоспособности поршневых сплавов является их жаропрочность, были проведены исследования на длительную теплопрочность при температуре 300 °С и нагрузке 60 МПа до полного разрушения образцов. Испытание показали, что повышение содержания железа в сплаве с 0,8 % до 1,0 % вызывает разрушение образца на 5 часов быстрее, если расплав не подвергается дополнительной обработке. Аналогичная зависимость наблюдается и в случае обработки расплава 0,8%K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub>, когда время до разрушения снижается с 75 до 72 часов. Более высокий уровень жаропрочности сплава АК12М2МгН в случае его обработки K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> можно объяснить стабилизирующим действием циркония на α-твёрдый раствор.

Совсем иная картина наблюдается при комплексной обработке сплава 0,8%K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> и 0,05 % серы. В этом случае сплав с 1,0 % железа разрушается только после выдержки под нагрузкой 95 часов, а для сплава с 0,8 % железа данный показатель составляет 90 часов. Округлые включения фазы AlSiFeMn весьма устойчивы и плохо растворяются в твёрдом растворе. Вследствие этого мелкие частицы фазы, блокируя границы зёрен твёрдого раствора, препятствуют диффузии и тормозят дислокации, повышая жаропрочность сплавов.

Таким образом, увеличение концентрации железа с 0,8 % до 1,0 % в сплаве АК12М2МгН и дополнительная его обработка 0,8%K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> и 0,05 серы обеспечивает повышение времени до разрушения с 65 до 95 часов.

#### Список использованных источников

1. Белов, Н. А. Анализ пятикомпонентных диаграмм состояния в области составов поршневых сплавов / Н. А. Белов, Н. Н. Авксентьева // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2005. - № 4. – С. 47-56.
2. Повышение ресурса работы поршней двигателей внутреннего сгорания / Б.М. Неменёнок, М.А. Садох, В.И. Гутко, В.А. Калиниченко // Литьё и металлургия. – 2005. - № 2(Ч.1). – С. 175-178.
3. Колобнев, И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов / И.Ф. Колобнев. – М.: Наука, 1966 – 300 с.
4. Строганов, Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.

**Гидролиз шлаковых отходов литейного производства алюминиевых сплавов**

Аспирант Руленков А.Д.

Студенты группы 10405322: Клименок У.Б.;

10405522 Патенко Н.А.

Научный руководитель: Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Применение защитных покрытий на поверхности деталей машин перспективно и экономически целесообразно как при эксплуатации в условиях действия агрессивных сред и высоких температур, так и в тех случаях, когда определяющим ресурс работы детали является величина износа. Процессы плазменного напыления успешно применяются для упрочнения, восстановления и ремонта изделий ответственного назначения во многих отраслях промышленности, в том числе машиностроении, энергетике, строительстве, нефтегазопереработке, металлургии, электротехнике и др. В качестве материалов для напыления широко используются дисперсные материалы оксидной керамики, например, оксиды алюминия, циркония, титана, хрома и др. Согласно данным авторов [1–4], перспективными материалами являются переработанные отходы литейного производства алюминия, так как содержат в своем составе ценный и одновременно дешевый материал – оксид алюминия, обладающий высокой твердостью, огнеупорностью и химической стойкостью к агрессивным средам. Главная проблема при переработке шлаковых отходов заключается в отделении оксида алюминия от иных его составляющих. Наиболее эффективным способом можно считать гидролиз шлаковых отходов.

Эффективность водной обработки шлаков с целью извлечения солей определяется их растворимостью в воде. На рисунке 1 представлена информация о растворимости фторидных солевых соединений в воде при температуре 20-25°C [5].

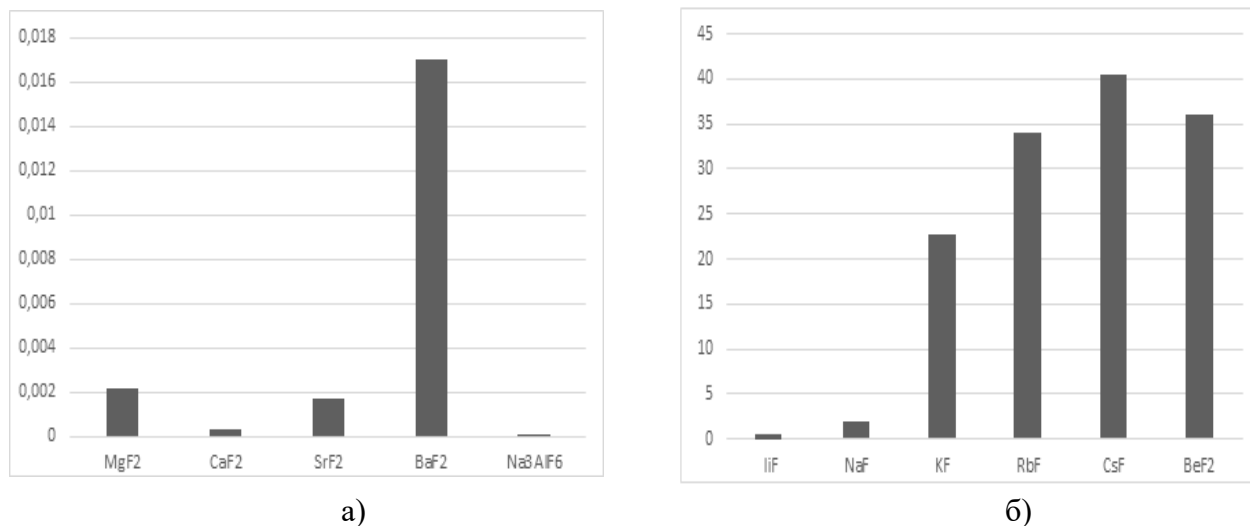
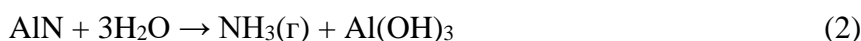
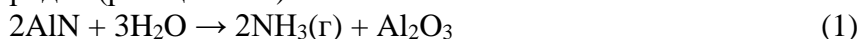
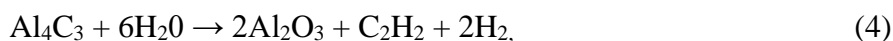


Рисунок 1 – Растворимость фторидов щелочноземельных металлов и криолита (а), фторидов щелочных металлов (б), *sx*, % мол. [5]

Гидролиз карбидных, нитридных составляющих шлака сопряжен с образованием газообразного аммиака и углеводородов (реакции 1–4):





Выделяющийся в процессе гидролиза нитридов газообразный аммиак ( $\text{NH}_3$ ) частично растворяется в воде, повышая pH раствора.

Изменение энергии Гиббса от температуры в ходе химических реакций гидролиза нитрида алюминия (1)–(2) и карбида алюминия (3)–(4) в водно-шлаковых суспензиях представлено на рисунках 2 и 3.

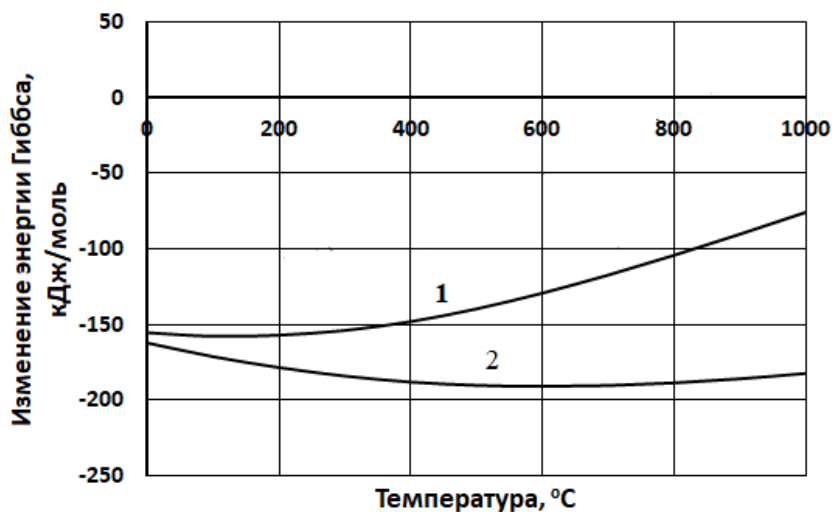


Рисунок 2 – Изменение энергии Гиббса от температуры при протекании химических реакций гидролиза нитрида алюминия в водно-шлаковых суспензиях:  $2\text{AlN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{r}) + \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{AlN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3(\text{r}) + \text{Al}(\text{OH})_3$

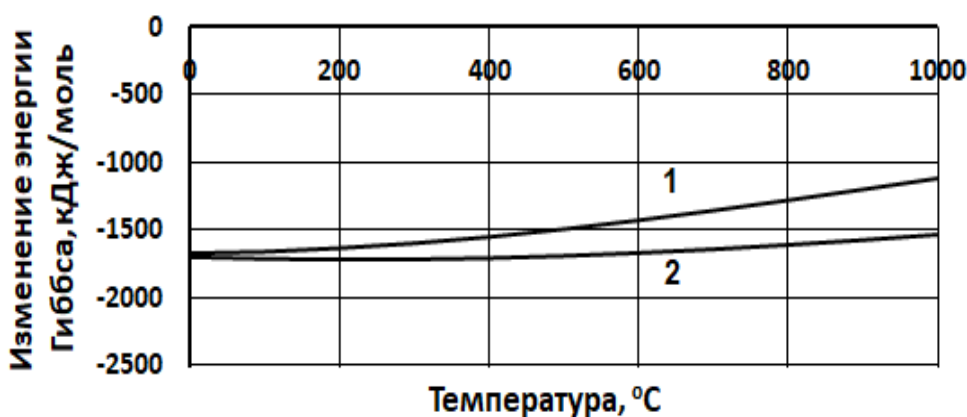


Рисунок 3 – Изменение энергии Гиббса от температуры при протекании химических реакций гидролиза карбида алюминия в водно-шлаковых суспензиях:  
1)  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4(\text{r}) + 4\text{Al}(\text{OH})_3$ ; 2)  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4(\text{r}) + 2\text{Al}_2\text{O}_3$

Как видно из представленных данных, термодинамическая вероятность протекания реакций гидролиза карбидов существенно выше, чем нитридов алюминия.

Таким образом, в процессе взаимодействия с водой ряда керамических фаз, содержащихся в шлаке, протекают химические реакции их гидролиза, как правило, с образованием

щелочных растворов и газообразных продуктов реакции. Выделяющийся в процессе гидролиза нитридов газообразный аммиак частично растворяется в воде, повышая pH раствора при выстаивании водно-шлаковой суспензии. Высокая щелочность раствора водно-шлаковой суспензии установлена стандартными методами химического анализа.

#### Список использованных источников

1. Рафальский, И.В. Структура и свойства шлаков, образующихся при металлургической переработке алюмоматричных кварцсодержащих композиций / И.В. Рафальский, П.Е. Лущик, А.Д. Руленков [и др.] // *Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов* / редкол.: И. А. Иванов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Вып. 42. – С. 26-34.

2. Руленков, А. Д. Дисперсные металлокерамические материалы из отходов литейного производства алюминиевых сплавов / А. Д. Руленков, И. В. Рафальский, Л. П. Долгий // *Беларусь-Китай: контуры инновационно-технологического сотрудничества: сборник материалов научно-практической конференции (Минск, 19-20 октября 2023 г.)* // *Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»*; сост. М. А. Войтешенок. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 74-76.

3. Немененок, Б.М. Процессы переработки солевых шлаков алюминиевого производства для получения порошкового материала с высоким содержанием алюмооксидных фаз / Б.М. Немененок, И.В. Рафальский, П.Е. Лущик, Л.П. Долгий, А.Д. Руленков // *Литье и металлургия*. – 2022, №4. – С.88–96.

4. Немененок, Б.М. Рециклинг литейных шлаков для получения порошковых материалов на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Б.М. Немененок, И.В. Рафальский, А.Д. Руленков // В сборнике научных статей XXVII Международной научно-практической конференции «Инновация-2023»: Ташкент, 2023. – С. 108-110.

5. Рафальский, И.В. Переработка литейных шлаков, образующихся при плавке алюминиевых сплавов / И.В. Рафальский, П.Е. Лущик, А.Д. Руленков [и др.] // *Современные технологии для заготовительного производства [Электронный ресурс]: сборник научных работ Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (в рамках 75-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), 14 апреля 2022 г./сост. А.П. Бежок. – Минск: БНТУ, 2022. – с.26.*

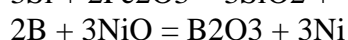
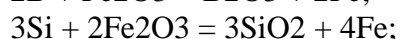
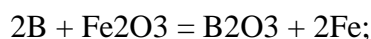
**Перспективы получения самофлюсующих порошков  
литейно-металлургическим методом**

Студенты гр. 10405322, Сороговец А.Д., Пылило В.И., Котов И.В.

Научные руководители – Слуцкий А.Г., Зык Н.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В работе приведены результаты анализа составов самофлюсующих порошков для нанесения износостойких покрытий и варианты их получения с использованием литейно-металлургических технологий. Самофлюсующиеся сплавы называются так из-за того, что не требуют применения при нанесении слоя дополнительной защиты и содержат в себе флюсующие элементы (бор и кремний), которые, образуя боросиликатную подложку, помогают защитить наносимый слой от окисления, смочить и активизировать наплавляемую поверхность и повысить скорость протекания диффузионных процессов на границе фаз[1-3]. Современные самофлюсующиеся сплавы имеют следующий состав: хром – 9-15%, бор — 2-4%, кремний – 2-4%, остаток – никель или кобальт (никель применяется чаще из-за его более высокой коррозионной стойкости). Эти сплавы частично плавятся при 1050-1100°C, — дают эвтектические расплавы с высоким содержанием бора и кремния. Эвтектический расплав при температуре > 1050°C активно реагирует с оксидами железа, никеля и кобальта в системе покрытие-субстрат, разрушая их восстановлением, например по реакциям:



Легкие оксиды бора и кремния выносятся эвтектическим расплавом на поверхность покрытия, а лишние оксидных пленок частицы покрытия спекаются через расплав эвтектики между собой и с очищенным от оксидов субстратом. Таким образом, добавки бора и кремния позволили «убить одним выстрелом двух зайцев» [1-3]:

-Снизить температуру образования расплава в никелевых или кобальтовых сплавах с 1400°C до 1050°C, то есть, до температуры, приемлемой для многих стальных и чугунных изделий и относительно доступной технически (нагревание можно осуществлять как в печах с защитной атмосферой, так и локально, на воздухе – индуктивно или ацетиленокислородными горелками).

-Полностью очистить поверхности субстрата и частиц от пленок оксидов и обеспечить, тем самым, спекание покрытия и металлургическую связь с субстратом. Флюсующее действие эвтектического расплава, содержащего бор и кремний, настолько сильно, что допускает даже быстрый нагрев субстрата с покрытием до 1050-1100°C на воздухе, а также использования чугуна в качестве субстрата (из-за прослоек графита, получить хорошее покрытие на чугун другими способами очень сложно).

С точки зрения химии, разница между высокотемпературной пайкой под флюсом и оплавлением самофлюсующихся сплавов состоит в том, что расплавленные легкоплавкие оксидные и фторидные флюсы просто растворяют оксидные пленки, не вступая с ними в окислительно-восстановительные реакции.

Области применения покрытий из самофлюсующихся сплавов очень широкие[1-3]::

- защита материалов на основе железа от окисления до температуры около 800°C;

- защита от «горячей» коррозии в продуктах сгорания «грязных» топлив;
- защита от «мокрой» коррозии в морской воде, растворах кислот, солей и оснований;
- защита от абразивного износа;
- защита от износа в парах трения;
- защита деталей от «пригорания» различных веществ, например раскаленного стекла в пресс-формах выделки стеклотары;
- ремонт и восстановление размеров стальных и чугунных изделий;

Для придания служебных свойств в основу (матрицу) добавляют углерод, хром, ванадий, марганец, которые образуют упрочняющие фазы такие как бориды хрома и никеля, карбиды хрома типа Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> и карбобориды хрома, с повышением содержания углерода дополнительно образуется более прочный карбид Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Кроме того в состав порошка добавляются тугоплавкие карбиды ванадия различной степени дисперсности и формы. [1-3]:

Известно, что прочность соединения нанесенного слоя с основой (адгезия), прочность самого слоя (когезия) а также износостойкость покрытия из сплавов одинакового состава при сухом трении и абразивном воздействии повышается с увеличением плотности покрытия (снижении его пористости). Согласно [1-3] пористость покрытий из самофлюсующихся сплавов при плазменном напылении может достигать 10 - 12%, газопламенных процессах до 20%. Оплавление покрытия при плазменной наплавке (РТА процесс), газопорошковой наплавке, нагревом в печи или токами высокой частоты позволяет снизить пористость, увеличив в 5-10 раз показатели прочности покрытия

Ниже приведены составы некоторых самофлюсующих сплавов на основе которых изготавливаются порошки (таблица 1).

Таблица 1

•Химический состав порошков и твердость покрытий									
Марка порошка	Номинальный химический состав, %								Твердость покрытия HRC Типичные значения
	Основные компоненты								
	Ni	Cu	C	Cr	Si	B	Fe	Другие	
Сплавы на никелевой основе									
ПР-НД42СР	основа	42,5	0,2	-	0,9	1,0	<3,0		190-230 НВ
ПР-НХ15СР2	основа	-	0,47	15,0	3,1	2,0	<5,0	Co<0,2	38-46 42-48
ПР-НХ13СР3	основа	-	0,6	13,0	4,0	2,8	3,2		45-52
ПР-НХ16СР4МДЗ	основа	2,7	0,5	16,0	4,0	3,8	3,5	Mo 2,7	52-58
ПР-НХ18С5Р4	основа	-	1,2	17,5	4,6	4,2	<5,0		60-62
Сплавы на железной основе									
ПР-Х4ГСР	-	<0,5	1,2	3,8	2,3	3,6	основа	V, Mn	60-64
ПГ-Ж14	37	-	1,4	14	2,5	2,2	основа	Mo, W	38-45



ПР-Х11Г4СР (ФМИ-2)	-	-	0,8	11	3	2,7	основа	Mn 4	>40
ПР-Н19Г10СР (ФМИ-4)	19	-	0,35	-	3	2,7	основа	Mn 4	40-45
ПР-Н9Г4СР (ФМИ-5)	9	-	0,5	-	1,2	2,7	основа	Mn 4	40-45

Материалы на никелевой основе используются для напыления и наплавки покрытий, стойких против коррозии, к изнашиванию трением и абразивными частицами. Покрытия устойчивы против газовой коррозии вплоть до температур 700-850 °С, стойки в пресной и морской воде, солевых растворах, нефтесодержащих средах, аммиаке и в др. агрессивных средах. Не стойки или слабостойки в растворах минеральных кислот. Сплавы плавятся в диапазоне температур, характерном для материалов с эвтектикой в структуре [1-3]. Основная структурная фаза покрытий из сплавов:  $\gamma$ - твердый пересыщенный раствор на основе никеля; упрочняющие фазы: бориды хрома и никеля переменного состава, карбиды хрома типа Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> и карбобориды хрома; в порошках с повышенным содержанием углерода дополнительно присутствуют частицы более прочного карбида Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> [1-3]. Твердость и износостойкость покрытий увеличивается по мере увеличения в никелевых сплавах содержания хрома, бора, кремния и углерода. Бор и кремний образуют с никелем легкоплавкие эвтектики с температурой плавления 950-1080°С, а также восстанавливают окисные пленки на поверхности подложки с образованием боросиликатных шлаков (самофлюсование) в присутствии жидкой фазы и улучшают смачиваемость подложки жидким металлом.

К общим характеристикам никелевых сплавов относится также свойство сохранять твердость и сопротивление абразивному изнашиванию после отпуска с нагревом до 600°С. Твердость же сплавов при повышенных температурах («горячая» твердость), например, при 650°С может составить 50-70% от измеренной при комнатной температуре [1-3].

Область применения порошков из никелевых сплавов: износостойкие покрытия на деталях металлургического, горно-нефтедобывающего, энергетического, стекольного и химического оборудования, штампового и прессового инструмента, деталях автомобильного, железнодорожного и судового транспорта, газоперекачивающих установок, сельскохозяйственной техники и др. Сплавы применяются также для получения смесей с другими материалами для покрытий: карбидами, интерметаллидами и другими материалами.

Самофлюсующиеся сплавы на железной основе представлены высокоуглеродистым сплавом ПР-Х4ГСР, легированным ванадием, хромом и марганцем, железо-никель-хромовым сплавом ПГ-Ж14 и среднеуглеродистыми сплавами ФМИ эвтектического состава. Покрытие из высокоуглеродистого сплава характеризуется повышенной твердостью и высокой стойкостью к абразивному изнашиванию в водной среде, эвтектические сплавы (ФМИ) - стойкостью к изнашиванию трением при больших скоростях скольжения [1-3].

Самофлюсующиеся сплавы производятся распылением расплава газом. Полученные полидисперсные порошки подвергаются рассеву на узкие по размерам частиц фракции для различных технологий напыления и наплавки покрытий: детонационного и сверхзвукового напыления, газопорошковой наплавки, газопламенного и плазменного напыления, лазерной и электроискровой наплавки, плазменной и индукционной наплавки.

Распыленные газом порошки имеют преимущественно сферическую форму частиц со структурой литого состояния материала (рисунок 1).

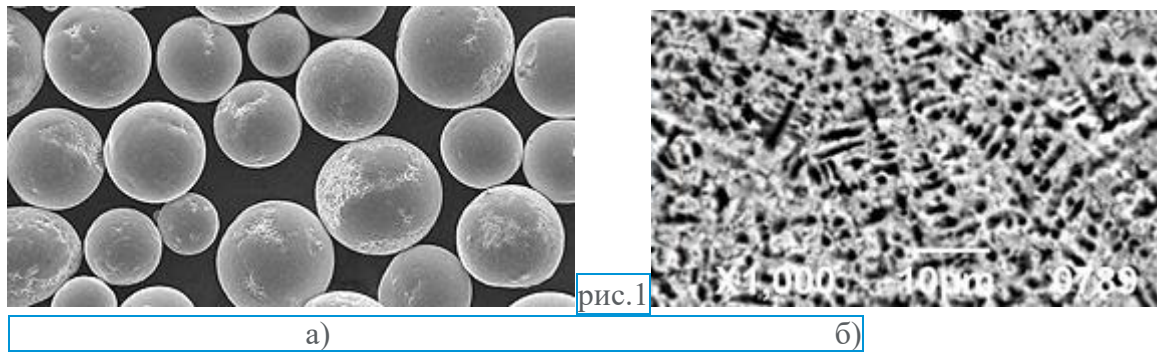


Рисунок 1 Форма (а) и структура (б) частиц порошка на основе никеля ПР-Х15СР2[1-3].

Ниже представлены рекомендуемые фракции порошков для различных технологий получения покрытий: [1-3].

Метод нанесения покрытий	Размер частиц, мкм
Детонационное и высокоскоростное напыление	<40, <63 (20-63)
Газопламенное и плазменное напыление, газопорошковая, лазерная и электроискровая наплавка	20-63, <100, 40-100, 45-90, 45-125, <125
Плазменная наплавка-напыление	63-125, 80-160, 94-280, 140-280
Индукционная наплавка	94-280, 40-630, 100-630, <630, <800

В таблице 3 представлены справочные данные по свойствам и областям применения самофлюсующих порошков.

Таблица 3

Марка сплава	T <sub>п</sub> °С	Свойства покрытий	Основные области применения
<b>Сплавы на никелевой основе</b>			
ПР-НД42СР	1065	Стойкость к коррозии, удару, истиранию трением, отличная обрабатываемость. Низкий коэффициент трения, f=0,052-0,07 в паре с контртелом из стали 20	Восстановление размеров, сварка деталей, заделка трещин, раковин на деталях и корпусных изделиях из чугуна. Применяется в стекольной промышленности и др. отраслях при ремонте корпусного оборудования, деталей транспортных машин

Сплавы на железной основе

ПР-Х4ГСР	1200	Высокое сопротивление абразивному и гидроабразивному износу. Сплав образует плотные твердые покрытия при газопорошковой и плазменной наплавке	Защита оборудования, деталей земснарядов, горнодобывающей, дорожной и сельскохозяйственной техники от абразивного и гидроабразивного изнашивания
----------	------	---	--

ПГ-Ж14	1100	Новый самофлюсующийся сплав на основе железо-никелевого твердого раствора с хорошей жидкотекучестью при оплавлении. Образует плотные, стойкие к удару, с удовлетворительной обрабатываемостью покрытия	Износостойкие, средней твердости покрытия на стали и чугуна в металлургической и нефтегазовой отрасли, энергетическом машиностроении и транспорте
--------	------	--	---

Представленный выше анализ показал, что в составах порошков для износостойких покрытий широко используются такие эффективные легирующие элементы как бор, кремний, хром, кобальт, вольфрам и другие. В результате ранее выполненных экспериментальных исследований [1-3], был апробирован вариант изготовления порошков из слитков на основе хромосилициевого чугуна.[9]. Для повышения эксплуатационных характеристик покрытий было рекомендовано дополнительно легировать такой сплав бором. С целью экономного легирования исходного сплава бором был апробирован вариант получения лигатуры СВС процессом. Термодинамические расчеты, выполненные по методике [12] показали, что бор можно восстанавливать алюминием и магнием. Термичность восстановительной смеси оксида бора с магнием и алюминием достаточно высокая и составляет 3790 и 3292 Дж/г соответственно.

Восстановительная плавка ферробора осуществлялась по методике, описанной в работе [13, 14]. В составе восстановительной смеси использовали расчетное количество железной молотой окалины фракцией менее 0,1 мм, плавящего оксида бора фракцией менее 0,1 мм, дисперсного порошка алюминия марки СД, молотой обожженной извести и криолита на 100 грамм сплава железа и бора. Получен слиток сплава с металлургическим выходом порядка 86–90 %. На рисунке 2 приведены основные этапы восстановительной плавки ферробора.

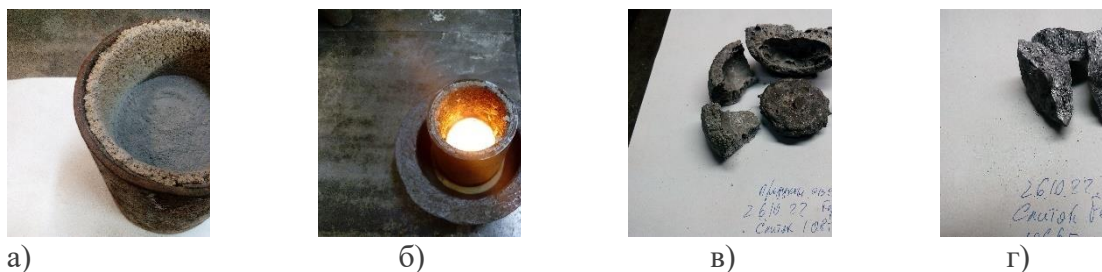


Рисунок 2 – Этапы восстановительной плавки ферробора:  
а – футерованный ковш с восстановительной смесью;  
б – после завершения процесса плавки;  
в – продукты восстановительной плавки; г – куски ферробора

Анализ химического состава полученного сплава, выполненный на переносном спектрометре ЛИС-1 показал, наличие в нем бора в пределах 8–9 %.

Полученные результаты свидетельствуют о реальной возможности изготовления борсодержащей лигатуры металлургическим способом для последующего экономного легирования хромосилициевого чугуна.

Таким образом, на основании выполненного анализа литературных источников, результатов термодинамических расчетов и экспериментальных исследований показана перспективность получения самофлюсующих порошков на основе никеля и железа ли-

тейно-металлургическим методом. Реализация полученных результатов позволит заменить дорогостоящие импортные порошки и за счет этого снизить производственные затраты и повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции.

### Список использованных источников

1. Методы получения металлических порошков для технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / И. В. Романов, Р. Н. Задорожний // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – Москва, 2019. – №11 – С. 58–65.
2. Металлические порошки. Изделия из металлических порошков: справочник / [М.И. Алымов и др.]; под ред. д.т.н., проф. М.И. Алымова и д. т. н., проф. Ю.В. Левинского. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 560 с.
3. Получение порошков с формой частиц, близкой к сферической, распылением расплавов водой / В. О. Панова, Ю. Ф. Терновой // Вестник ХНАДУ, 2020. – №88. – с. 80–85.
4. Формообразование частиц расплава при распылении воздухом / М. А. Василенков, А. Т. Степанов // Вестник Череповецкого государственного университета, 2009. – № 1. – С. 139–141.
5. Получение металлических микропорошков газодинамическим распылением // Лыков, П.А. [и др.] / Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. – 2012. – №33. – С. 107–112.
6. Получение металлических порошков методом центробежного распыления с использованием вращающегося стакана / Д. А. Труфанов [и др.] // Металлообработка, 2016. – № 4. – С. 57–62.
7. Получение ультрадисперсных порошков на основе железа химическим методом / Д. Б. Каргин [и др.] // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 11. – С. 26–29.
8. Композиционные порошки для газотермического напыления ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа» [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: URL:<https://pminstitute.by/produce/materialy/64/>. – Дата доступа: 30.10.2023.
9. 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.
10. 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
11. 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.
12. 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.
13. Хорольский, П. Д. Получение слитков из износостойкого хромокремниевых чугуна

- для защитных покрытий / П. Д. Хорольский, И. Г. Раков, А. А. Бусел ; науч. рук.: В. А. Шейнерт, А. Г. Слуцкий // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 18-21.
14. 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.

**Обобщенные результаты испытаний опытных порошков из легированного чугуна, полученных с использованием металлургических методов.**

Студенты гр. 10405222 Демидчук Н.В.,  
гр. 10405221 Петричиц М.Г., гр. 10405322 Климёнок У.Б.  
Научные руководители – Слуцкий А.Г. Ванюк Э.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В результате ранее выполненных экспериментальных исследований [1-3] были изготовлены опытные образцы слитков различного состава в том числе: хромокремниевый чугун содержащий 16% Cr, 10% Si, 1 % В); хромокремниевый чугун, содержащий 16,0% Cr, 5,0% Si, ~1,5%В); комплекснолегированный чугун, содержащий 2,5%С, 6%Cr, 5%Si, 1,5%В, 8%W, 5%Со. В качестве основного материала при плавке использовали: стальной лом, хром металлический Хр1, кремний кристаллический Кр1, кобальт и вольфрам в виде отходов стали Р18. Для дополнительного легирования бором использовали лигатуру, полученную СВС процессом. Плавку осуществляли на высокоскоростной индукционной печи. После растворения легирующих присадок чугун перегревали и затем осуществляли его разливку в холодный металлический кокиль для получения слитков (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процесс получения слитка из легированного сплава

(Fe-Cr-Si-Co-W-B): а – высокоскоростная плавильная установка; б – процесс плавки; в – полученный слиток;

В дальнейшем они подвергались дроблению и последующему размолу в шаровой мельнице типа «Пьяная бочка» с использованием шаров из стали ШХ15 различного диаметра. При нанесении покрытий использовали порошки с размером частиц менее 80 мкм и 80...180 мкм. Для сравнительной оценки был выбран импортный серийный порошок ПГ-СР4 (основа Ni; 13,0-17,0%Cr; 0,6-1,0% С; 3,0-5,0% Si; 2,5-4,0%В; 4,0%Fe) фракцией 40...100 мкм.

На рисунке 2 приведены фотографии опытных образцов порошков из комплексно-легированного сплава (Fe-Cr-Si-Co-W-B) и их изображения, выполненные на сканирующем электронном микроскопе VEGA TESCAN в масштабе увеличения: 1:500 и 1:50 мкм.

При анализе СЭМ-изображений опытного порошка из легированного чугуна, установлено наличие направленной транскристаллизации за счет очень сильного теплоотвода в металлическом кокиле. При этом в плоскости спайности сколы идут по линейным дислокациям. При анализе СЭМ-изображения крупной фракции порошка (рисунок 2 (б)) видны темные включения по изломам, т. е. скол произошел по включениям или около включений.

Полученные образцы порошков из комплексно-легированных сплавов были переданы в лабораторию плазменных технологий для проведения испытаний различными методами нанесения покрытия. Анализ показал, что насыпная плотность и текучесть порошков на основе легированных чугунов ниже, чем у эталонного порошка ПГ-СР4, имеющего сферическую форму.

На следующем этапе был проведен анализ результатов нанесения покрытий с использованием опытных порошков различными методами. Установлено, что при газопламенном

напылении покрытия из опытных порошков имеют низкие адгезионные свойства, что выражается в их крошении и отслаивании. В дальнейшем был использован двухэтапный вариант, включающий газопламенное напыление с последующим плазменным оплавлением нанесенных покрытий.

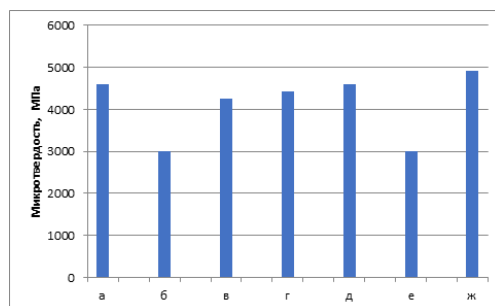
На рисунке 3 представлены фотографии образцов с покрытиями из опытных порошков, полученных данным методом.



а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 3 – Фотографии образцов с покрытиями из опытных порошков с использованием плазменного оплавления.

На рисунке 4 представлена гистограмма микротвердости покрытий, полученных данным методом.

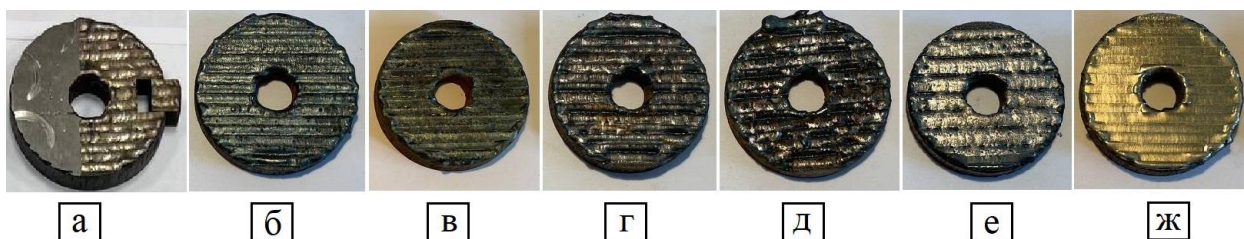


а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 4 – Гистограмма микротвердости исследуемых покрытий, нанесенных плазменной наплавкой

Установлено, что наивысший показатель микротвердости зафиксирован у покрытий их хромокремниевого чугуна, содержащего 1 % бора и дополнительно легированного бором и вольфрамом размером частиц порошка менее 80 мкм. У покрытий с размером частиц 80...180 мкм наблюдается некоторое снижение микротвердости.

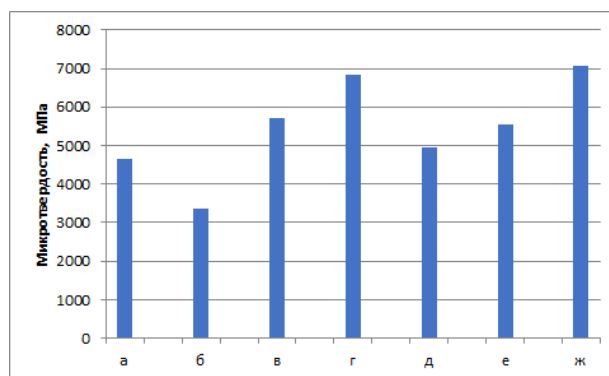
Следующий вариант нанесения покрытий включал газопламенное напыление и оплавление на оптоволоконном лазере марки YLR-1. Были изготовлены образцов для проведения исследований (рисунок 5).



а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 5 - Фотографии образцов с покрытиями, нанесенными лазерной наплавкой

Установлено (рисунок 6), что максимальные значения микротвердости были достигнуты у покрытий из порошка чугуна с вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм (6819 МПа) и порошка чугуна с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм (5725 МПа). Отмечается, что эти значения оказались незначительно ниже по сравнению с эталонным покрытием ПГ-СР4 с микротвердостью 7078 МПа.



а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% боа, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 6 - Гистограмма микротвердости исследуемых покрытий, нанесенных лазерной наплавкой.

Следует отметить, что у покрытий из порошка чугуна с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм (4185 МПа) и чугуна с 1 % бора, размер частиц менее 80 мкм (4807 МПа) были установлены минимальные показатели, которые оказались значительно ниже (на 40% и 30% соответственно) в сравнении с ПГ-СР4. Кроме того, у образцов из порошка чугуна с вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм (4941 МПа) и чугуна с вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм (5558 МПа) микротвердость оказалась на 30% и 20% ниже соответственно по сравнению с эталонным покрытием. Из полученных данных видно, что фракционный состав порошка оказывает существенное влияние на микротвердость покрытия.

Сравнительный анализ показал, что микротвердость покрытия при лазерной наплавке в среднем выше на 40%, чем при плазменной. Этому способствует формирование более однородной и плотной структуры покрытия.

Ниже приведены обобщенные результаты исследований износостойкости полученных



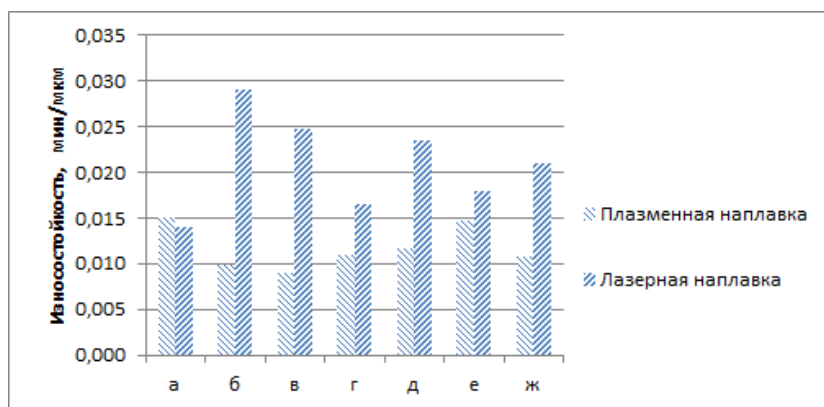
покрытий. На рисунке 7 представлены фотографии опытных образцов с покрытиями, нанесенными плазменной наплавкой, после испытаний на износостойкость:



а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 7 – Опытные образцы с покрытиями, нанесенными плазменной наплавкой, после испытаний на износостойкость.

На рисунке 8 представлены сравнительные результаты износостойкости исследуемых покрытий, нанесенных плазменной и лазерной наплавкой:



а - чугун с 1% бора, размер частиц менее 80 мкм; б - чугун с 1% бора, размер частиц 80...180 мкм; в - чугун с 1,5% бора, размер частиц менее 80 мкм; г - чугун с 1,5% бора, размер частиц 80...180 мкм; д - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц менее 80 мкм; е - чугун, легированный вольфрамом, размер частиц 80...180 мкм; ж - ПГ-СР4

Рисунок 8 - Гистограмма износостойкости исследуемых покрытий, нанесенных плазменной и лазерной наплавкой:

При сравнительном анализе результатов исследований микротвердости и износостойкости, покрытий из опытных порошков, выявлено три покрытия с наилучшими физико-механическими свойствами.

- покрытие хромосилициевого чугуна с 1% бора, размер частиц – до 80 мкм) с микротвердостью равной 4604 МПа и износостойкостью 0,015 мин/мкм;

-покрытие чугуна, легированного вольфрамом, размер частиц – до 80 мкм) с микротвердостью равной 4588 МПа и износостойкостью 0,012 мин/мкм;

- покрытие хромосилициевого чугуна с 1,5% бора (состав: основа Fe, 16,0% Cr, 5,0% Si, ~1,5%B), размер частиц 80...180 мкм) с микротвердостью 4425 МПа и износостойкостью 0,011 мин/мкм.

В целом можно утверждать, что у покрытий из опытных порошков, полученных литейно-металлургическим методом износостойкость при лазерной наплавке в среднем выше

на 80%, чем при плазменной наплавке.

Таким образом, полученные результаты исследований свидетельствуют о реальной возможности использования литейных технологий при изготовлении порошков взамен импортных для нанесения износостойких покрытий.

#### Заключение

1. Установлено, что порошки, полученные литейно-металлургическим методом уступают характеристикам импортного порошка ПГ-СР4, изготовленного методом распыления и имеющего сферическую форму частиц. Тем не менее уровень их технологических свойств удовлетворительный для проведения последующих операций газотермического нанесения покрытий.

2. При газопламенном напылении опытных порошков установлена низкая прочность сцепления полученного покрытия с матрицей.

3. Существенное повышение физико-механических свойств исследуемых покрытий достигнуто при плазменной и лазерной методах наплавки. Установлено, что лазерные методы наплавки показали максимальные значения микротвердости и износостойкости по всем исследуемым покрытиям. Так среднее значение микротвердости при лазерной наплавке приблизительно на 40% превышает среднюю микротвердость плазменной наплавки.

4. Износостойкость покрытий при лазерной наплавке в среднем превышает на 80% аналогичный показатель, при плазменной методе оплавления. При этом, наилучшие физико-механические свойства показали два покрытия из порошков хромокремниевых чугуна, содержащего 1,5% бора (размер частиц – до 80 мкм) и аналогичного сплава дополнительно легированного 8% W, 5% Co, размер частиц – до 80 мкм).

#### 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.

**Исследование особенностей процесса изготовления опытных образцов промышленных катодов –мишеней литейными технологиями**

Студенты 10405221 Даничев А.О.,  
гр. 10405222 Якимчук И.В., гр. 10405322 Сороговец А.Д.  
Научные руководители – Слуцкий А.Г. Шейнерт В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Современные вакуумные ионно-плазменные испарительные устройства позволяют использовать в качестве материала расходуемого катода-мишени из различных сплавов [1]. Такие мишени дают возможность формировать достаточно сложные по составу покрытия, используя только один источник высокоионизированной низкотемпературной плазмы [2].

Ранее авторами проведены экспериментальные работы по исследованию процесса получения катодов-мишеней на основе сплавов титана с кремнием, титана с никелем и переходными металлами [3].

Применительно к установке вакуумно-плазменной обработки ВП-02М и геометрическим размерам катода-мишени разработана и изготовлена технологическая оснастка для получения опытных образцов методом литья (рисунок 1). Из стали предварительно был изготовлен токовод, имеющий специальный «ласточкин хвост» для соединения с катодом в процессе литья (рисунок 1а).



Рисунок 1 - Технологическая оснастка (а) и форма в сборе (б) для получения образцов катода-мишени методом литья

В результате анализа диаграмм состояния двухкомпонентных и многокомпонентных металлических систем был выбран сплав, обладающий высокими эксплуатационными свойствами, содержащий 50% алюминия, 20% меди и 30% титана.

Известно, что процесс растворения титана при его добавках в жидкий расплав сопровождается значительным выделением тепла за счет растворения элементов друг в друге, а также поглощением газов и в первую очередь водорода. Это обстоятельство учитывалось при разработке варианта ввода компонентов шихты в процессе плавки.

На основании вышеизложенного и применительно к выбранному сплаву алюминий\_медь-титан использована следующая схема синтеза:

реактор –графито-шамотный тигель, первая стадия -получение расплава меди и ее перегрев до 1200градусов, вторая стадия – подогрев титана в пластинах до 500 градусов, третья стадия – последовательный непрерывный ввод титана в расплав меди ина последней стадии добавки алюминия, четвёртая стадия – по достижении температурного максимума перемешивание полученного расплава быстрая разливка в литейную форму. Конечной целью данного

литейного процесса является получение отливки катода. На рисунке 2 приведены этапы изготовления литой заготовки катода. В качестве плавильного агрегата использовали инвертор электрической мощностью 30 кВт и частой генерации в диапазоне 8-50 кГц, позволяющий развивать удельную тепловую мощность в садке до 250 Дж·с/см<sup>3</sup> (рисунок 2а). Это обеспечило скоростное расплавление исходных материалов, что крайне необходимо для синтеза титаносодержащих сплавов. После кратковременного перегрева полученного сплава осуществлялась заливка литейной формы и велось наблюдение процесса его охлаждения. После полного охлаждения и обрезки прибыльной части отливки было обнаружено значительное количество газосадочных пор, что является характерным для титановых сплавов (рисунок 2 г).

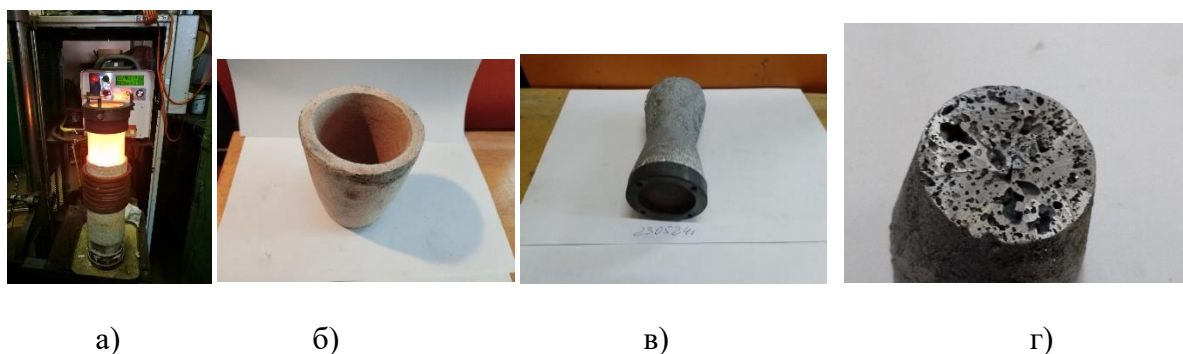


Рисунок 2 - Этапы получения литого катода из сплава алюминий-медь-титан  
А-плавильная установка (а) и тигель (б), в-отливка, г- макроструктура поверхности катода.

Был предложен вариант, при котором бракованную отливку раздробили и повторно переплавили (рисунок 3). Это позволило получить плотный слиток, из которого после удаления прибыльной части был получен образец промышленного катода (рисунок 3 г).

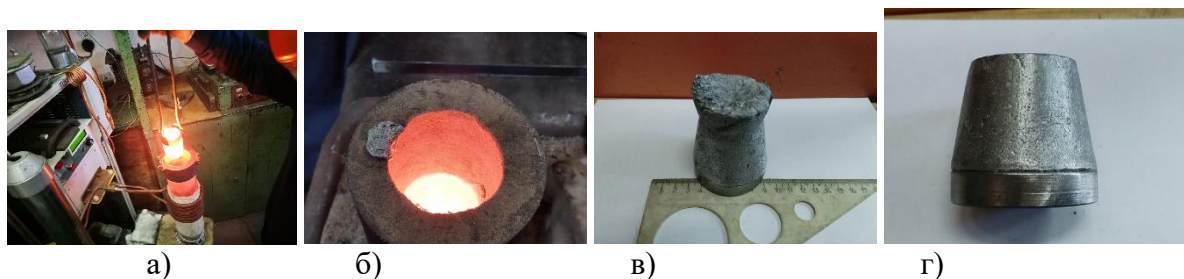


Рисунок 3 - Технология получения литого катода из сплава алюминий-медь-титан двойным переплавом

а - процесс плавки; б – процесс охлаждения слитка в форме; в – отливка катода с прибыльной частью; г-готовый образец катоды-мишени.

Таким образом в результате выполненных исследований экспериментально апробирован способ получения промышленного катода-мишени литейной технологией. После проведения испытаний планируется изготовление опытных партий катодов-мишеней из различных сплавов для покрытий многофункционального назначения.

#### Список использованных источников

1. Иванов И.А., Слущкий А.Г., Шейнерт В.А. Технологические принципы изготовления катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников

Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве» 23-24 марта, 2022, Ташкент, – с. 18-20.

2. 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.

3. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Белый А.Н., Бежок А.П., Костюченко Ю.А., Ковалевич Э.В. Совершенствование процесса получения катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников сб. Металлургия. №41 2020 г. часть 2 – с. 1-15.

### Моделирование процесса затвердевания отливки «шнек» из высоколегированного чугуна

Магистранты гр. 50401123 Раков И.Г., Федорович Д.С.

Студент гр.10405221 Даничев А.О., Морская Е.А.

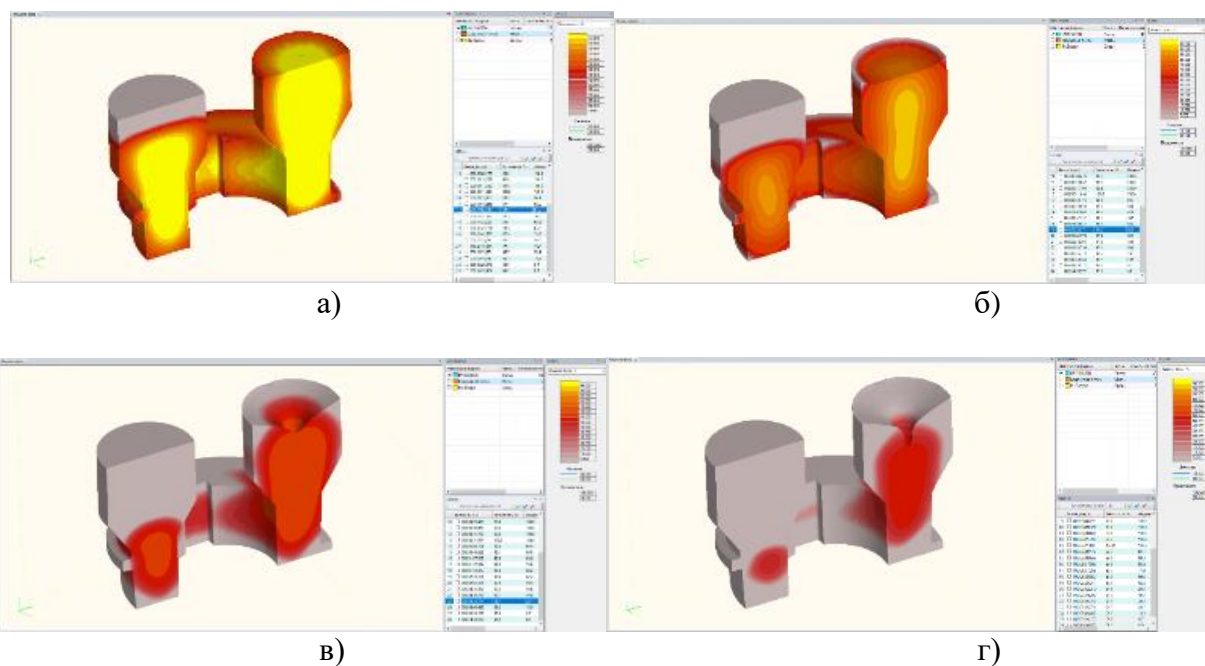
Научный руководитель – Бежок А.П., Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В качестве объекта исследований была выбрана отливка «шнек» из высокохромистого чугуна, поставляемого по импорту [1,2]. Данная литая деталь является основным рабочим органом промышленного пресса при получении рапсового масла. Основная цель работы – оптимизация литниково-питающей системы при изготовлении данной отливки в стержневую форму из чугуна ИЧХ22. К данной отливке предъявляются повышенные требования по плотности, прочности и износостойкости, обусловленные эксплуатационными характеристиками детали. Классическими дефектами такой отливки является наличие усадочных раковин и пористости, возникающей в процессе кристаллизации.

На первом этапе провели расчет процесса моделирования затвердевания данной отливки базового варианта с двумя прибылями размером 70x70мм. На рисунке 1 приведена кинетика затвердевания отливки по данному варианту. Усадочная раковина зафиксирована в теле отливки под прибылью, через которую осуществляется заливка жидкого чугуна. В целом видно, что при таком варианте идет почти направленная кристаллизация от «холодной» прибыли.



а-84% жидкой фазы; б-62% жидкой фазы; в- 30% жидкой фазы; г-10% жидкой фазы

Рисунок 1- Кинетика затвердевания отливки базового варианта литниковой системы с двумя прибылями.

С целью проверки полученных данных была изготовлена технологическая оснастка (рисунок 2) и получены опытные отливки «шнек» их высокохромистого чугуна.



Рисунок 2 – Модельная оснастка (а), полуформа (б) и готовая стержневая форма (в).

Плавка осуществлялась в лабораторной индукционной печи ИСТ006. В качестве основной шихты использовали отработанные шнеки из легированного чугуна (рисунок 3). После расплавления чугуна и его перегрева осуществляли доводку сплава по углероду и хромю из расчета получения сплава ИЧХ22 в соответствии с ГОСТ. В качестве модификатора использовали присадку в виде гранул на основе алюминия с добавками РЗМ.



Рисунок 3 - Отработанные «шнеки» из высокохромистого чугуна в качестве основной шихты

На рисунке 4 приведены фотографии опытных отливок «шнек» с двумя прибылями из которых видно, что отливки поражены усадочными раковинами.



Рисунок 4 – Отливки, изготовленные по базовому варианту

Для вывода усадочных дефектов в прибыль было предложено убрать цилиндрическую шейку прибыли высотой 10 мм и использовать конусообразный переход от тела отливки к цилиндрической части прибыли (рисунок 5) от эллипса к окружности [3].

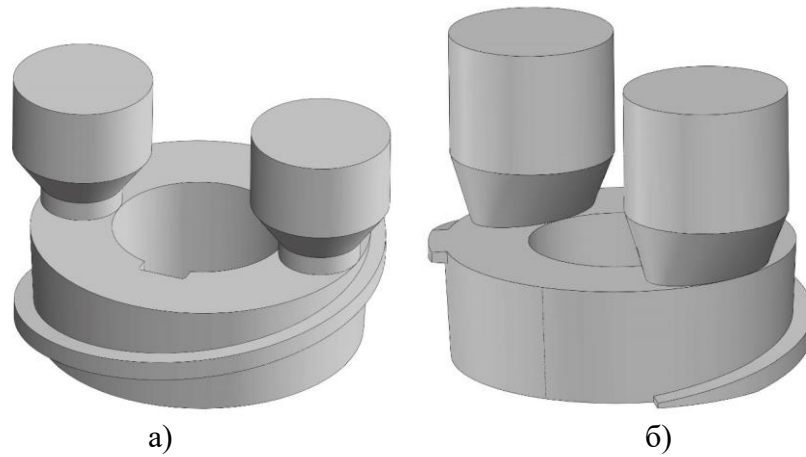


Рисунок 5 – Исходная (а) и модифицированная (б) форма прибылей

Далее изменяли диаметр и высоту цилиндрической части прибыли (рисунок 6).

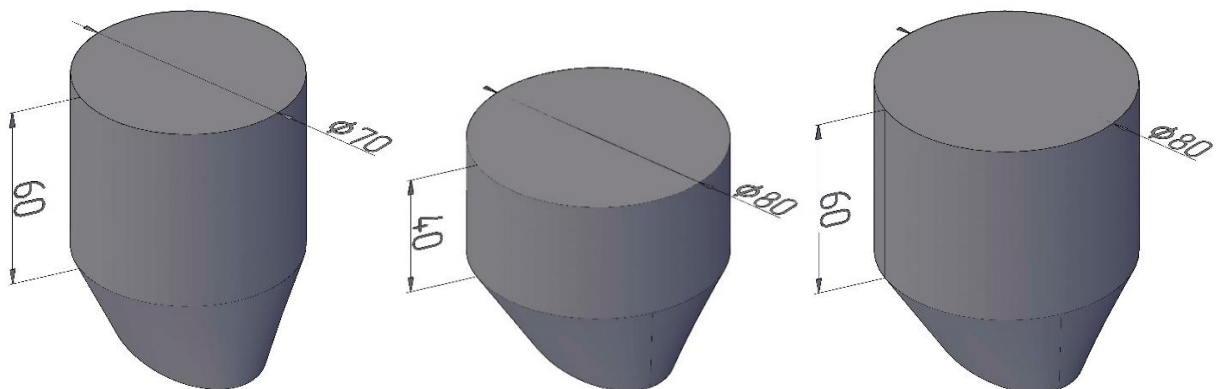
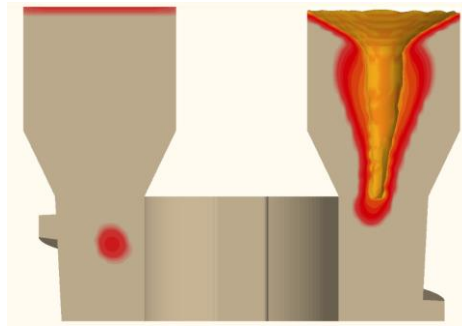


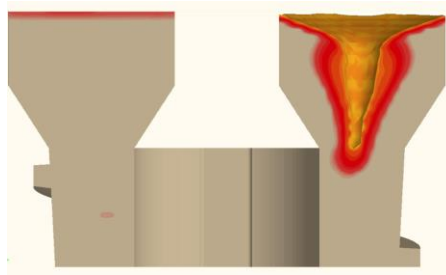
Рисунок 6 – Три варианта прибылей

Установлено, что вывод усадочных дефектов из тела отливки обеспечивает прибыль с цилиндрической частью диаметром 80 мм и высотой 60 мм (рисунок 7в).

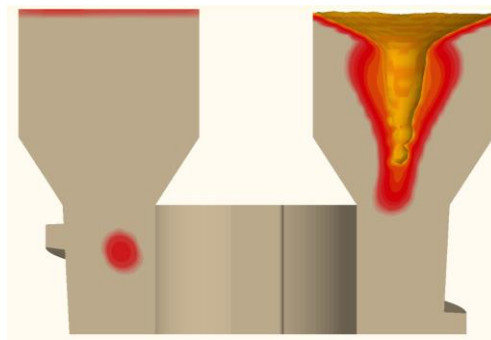




а)



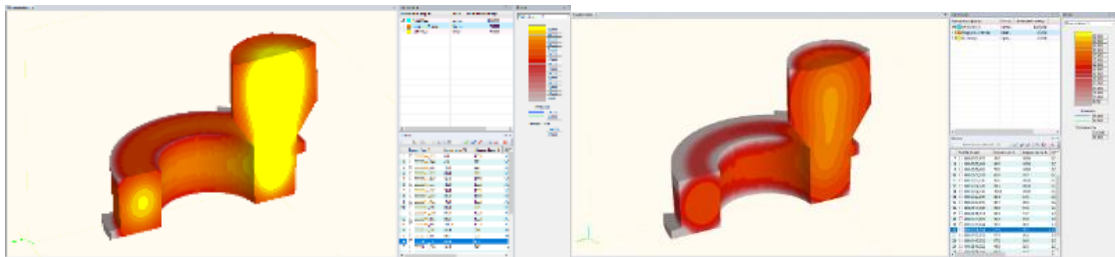
б)



в)

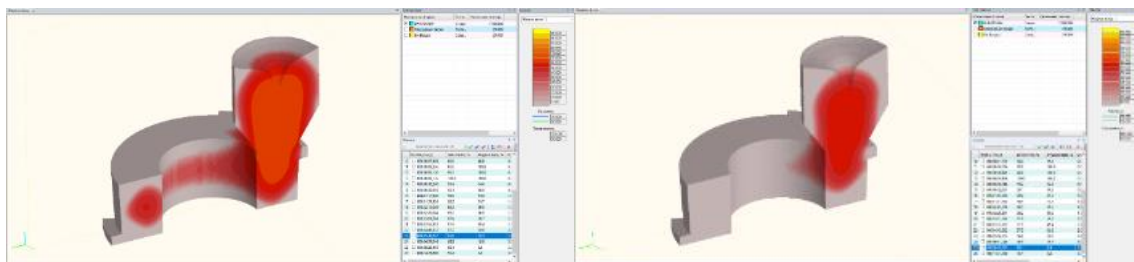
Рисунок 7 – Расположение усадочных дефектов при использовании различных вариантов размеров цилиндрической части прибыли

С целью совершенствования технологии был предложен вариант литья с одной прибылью. Ниже представлены результаты моделирования данного процесса (рисунок 8)



а)

б)



а-84% жидкой фазы; б-62% жидкой фазы; в- 30% жидкой фазы; г-10% жидкой фазы

Рисунок- 7 Кинетика затвердевания отливки усовершенствованного варианта литья с одной прибылью

Видно, что такой вариант питания обеспечивает за счет направленной кристаллизации получение плотной отливки а усадка сосредоточена в прибыльной части отливки , что было подтверждено экспериментально. В качестве примера на рисунке 8 приведена фотография опытных бездефектных отливок с использованием одной прибыли.



Рисунок 8 – Опытная отливка «шнек», изготовленная с использованием одной прибыли

Таким образом, моделирование процесса затвердевания отливки «шнек» из высокохромистого чугуна позволило изучить характер затвердевания, подобрать наиболее оптимальные параметры прибыли, обеспечить формирование плотной структуры и, в целом, оптимизировать литниково-питающую систему. Представленная технология позволит предотвратить многие литейные дефекты, в первую очередь обусловленные усадочными процессами.

#### Список использованных источников

1. Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения растительных масел в шнековом маслопрессе В.Н. Василенко М.В. Копылов Вестник ВГУИТ, №1 2012г.
2. Техника и технологии производства и переработки растительных масел : учебное пособие / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
3. Машенко, А.Ф. Прибыли для фасонных отливок: Учебное пособие к практическим работам, курсовому и дипломному проектированию / А.Ф. Машенко, А.В. Щекин. – Хабаровск : Тихоок. гос. ун-т, 2012. – 37-38 с.

**Неорганические связующие для пропитки сетчатой  
основы фильтров металлических расплавов**

Магистрант гр. 50401123 Раков И. Г.

Научный руководитель Долгий Л. П.

Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

Неметаллические включения, неизбежно присутствующие в металлах и сплавах существенно снижают пластичность, прочность, усталостные характеристики получаемых изделий. Для удаления неметаллических включений из жидких металлов используют способы, которые условно можно объединить понятием рафинирование расплавов. Одним из способов очистки расплавов от неметаллических включений является процеживание их через специально подготовленные фильтры. В зависимости от конструкции, различают фильтровальные сетки, штампованные экструдированные, пенокерамические фильтры [1, с. 30].

Для очистки цветных сплавов и чугуна часто используют сетчатые фильтры на основе стекловолокна, скрученного в жгуты и с помощью ткацких станков объединенные в сетку.

Для придания сеткам необходимой технологической прочности и жёсткости используют специальные связующие пропитки (лигносульфонат, резольные смолы и другие органические связующие).

При контакте с расплавом металлов органические связующие разрушаются, сетки утрачивают жесткость, а образующаяся газовая фаза негативно сказывается на внешнем виде отливок, ухудшает экологическую ситуацию на участке заливки. В литейном производстве наряду с органическими связующими используются и неорганические в значительной мере свободные от указанных недостатков. Возможность использования таких неорганических связующих как металлофосфатные связки и этилсиликат для упрочнения сеток не изучена ввиду манипулятивной сложности процессов их получения и нанесения. Вместе с тем их использование, возможно, позволит также повысить термостойкость изготавливаемых фильтров.

Перспективным направлением совершенствования технологических процессов изготовления фильтрующих элементов является использование шлаков алюминиевых сплавов с высоким содержанием керамических, преимущественно, алюмооксидных фаз.

Присутствие в составе шлака сравнительно большого количества нитрида алюминия открывает возможность разработки технологических маршрутов изготовления шлако-водной суспензии с высокой реакционной способностью образования фосфатных связующих при использовании в качестве вспомогательного реагента ортофосфорной кислоты.

В настоящей работе выполнена оценка возможности получения сетчатых фильтрующих элементов с использованием шлаков металлургической переработки алюминиевых сплавов.

При приготовлении суспензии молотого шлака в концентрированной ортофосфорной кислоте (1:1) протекает бурная реакция с выделением теплоты и образованием большого количества пены. После окончания реакции образуется суспензия серого цвета, рН которой существенно ниже 7. В полученной суспензии смачивали стеклоткань, которую затем подвергали сушке при 120 °С. После сушки ткань приобретала прочность достаточную для простановки ее в полость литейной формы.

Для снижения гигроскопичности металлофосфатные покрытия рекомендуется подвергать прокаливанию при температурах выше 300 °С.

Полученный результат свидетельствует о том, что стеклосетки разрушаются при действии на них кислых (рН < 7) связующих. Это, однако, не исключает возможность использования опробованного подхода и материалов при разработке объемных пенокерамических фильтров.

Интерес с точки зрения термической устойчивости представляют также этилсиликатные связующие, используемые для изготовления оболочек литейных форм при литье по выплавляемым моделям. В этом качестве, прежде всего, рассматриваются этилсиликаты марок 32, 40, 50. В исходном состоянии этилсиликаты не обладают связующими свойствами, они не растворимы в воде.

Для придания этилсиликатам связующих свойств, необходимо их гидролизовать, то есть, присоединить воду. С этой целью используют растворители: этиловый спирт, ацетон, соляную кислоту. Процесс многооперационный и достаточно дорогой из-за высокие стоимости этилсиликата. Для снижения расхода этилсиликата и исключения из процесса органических жидкостей (ацетон, спирт) предлагается использовать кремнезоль, представляющую собой коллоидную дисперсию двуокиси кремния в воде.

Известна кремнезоль с торговым названием «Сиалит-20».

Стеклосетка, обработанная сиалитом, просушивалась на воздухе в течении 20 часов. После прокаливании при 135 °С стеклосетка, приобрела прочность, достаточную для установки ее в литейную форму.

Были приготовлены 2 типа фильтров: на базе стеклосеток КС и ССФ, по следующей методике. Приготавливалась суспензия на основе сиалита. Полотна сеток с размерами 10x10 см смачивались в приготовленной суспензии, провяливались 2 часа в потоке воздуха при температуре 25–30 °С, просушивались в сушиле при температуре 130–150 °С для удаления остатков влаги.

Оценку термостойкости сеток проводили, используя расплав жидкого чугуна. Плавка чугуна производилась в индукционной печи с использованием графито-шамотного тигля емкостью 5 кг. Через каждую подготовленную камеру с фильтрующей сеткой проливалась определенная доза жидкого чугуна, с температурой 1450–1500 °С.

Сетки на основе алюмоборсиликатного волокна, обработанные суспензией сиалита и подготовленные по различным режимам сушки, прогорели на 2-3-ей секунде заливки.

Сетки типа КС, подготовленные по таким же режимам испытание, прошли успешно.

Изучена возможность использования отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов в качестве исходного материала для изготовления фильтрующих элементов, содержащих огнеупорный наполнитель и компонент огнеупорного связующего, образующегося при воздействии ортофосфорной кислоты. Разработана технология нанесения защитных покрытий на стеклосетки с использованием термостойких связующих. Показано, что повышение термостойкости сетчатых фильтров на основе кремнеземного волокна при фильтрации чугуна возможно за счет покрытия их наноразмерными частицами диоксида кремния, выделяющимися из эмульсии, подготовленной на основе кремнезоля.

#### **Список использованных источников**

1. Даричев, В.В. Фильтрация металлов. Основные типы фильтров. // Литье и металлургия. – №2 (42), – 2007, с. 129 – 131.

# **Машины и технология литейного производства**

**Влияние легирующих элементов на структуру и эксплуатационные свойства износостойкого чугуна, предназначенного для изготовления дробеметных лопаток**

Магистрант Франчук А.А.

Научный руководитель к.т.н., доцент Рудницкий Ф.И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Серьезным отрицательным последствием в работе дробеметного оборудования является преждевременный выход из строя деталей в результате изнашивающих воздействий. Особенно часто изнашиваются лопатки дробеметов. Это снижает производительность оборудования, усложняет ремонт и обслуживание.

Дробеметная лопатка (лопасть) предназначена для выброса дроби на обрабатываемую деталь. В результате рабочая поверхность подвержена интенсивному изнашиванию дробью в сочетании с ударными воздействиями.

Проблема повышения износостойкости деталей дробеметного оборудования является весьма актуальной и по-прежнему вызывает необходимость проведения работ по подбору оптимального сплава, работающего в условиях больших ударных нагрузок и абразивного истирания.

Основной фактор, определяющий сопротивляемость ударам и изнашиванию сплавов – это состав, строение, количество и распределение твердых фаз. Значительное влияние на свойства материалов оказывает также аустенит матрицы и продукты его распада, образующиеся в результате термообработки.

В качестве исследуемого материала использовали износостойкий хромистый чугун ИЧХ15НЗГ3 с содержанием никеля до 3%. Никель в сплав вводят для стабилизации аустенита, сохранения остаточного аустенита после термообработки и предотвращения перлитного превращения. Для того же в сплаве повышено содержание марганца до 3%.

В экспериментальном сплаве базового состава при изготовлении дробеметных лопаток содержание никеля составило 1,8%. В микроструктуре образцов базового состава фиксируется сетка – сетка первичного ледебурита и карбиды разной формы (рисунок 1).

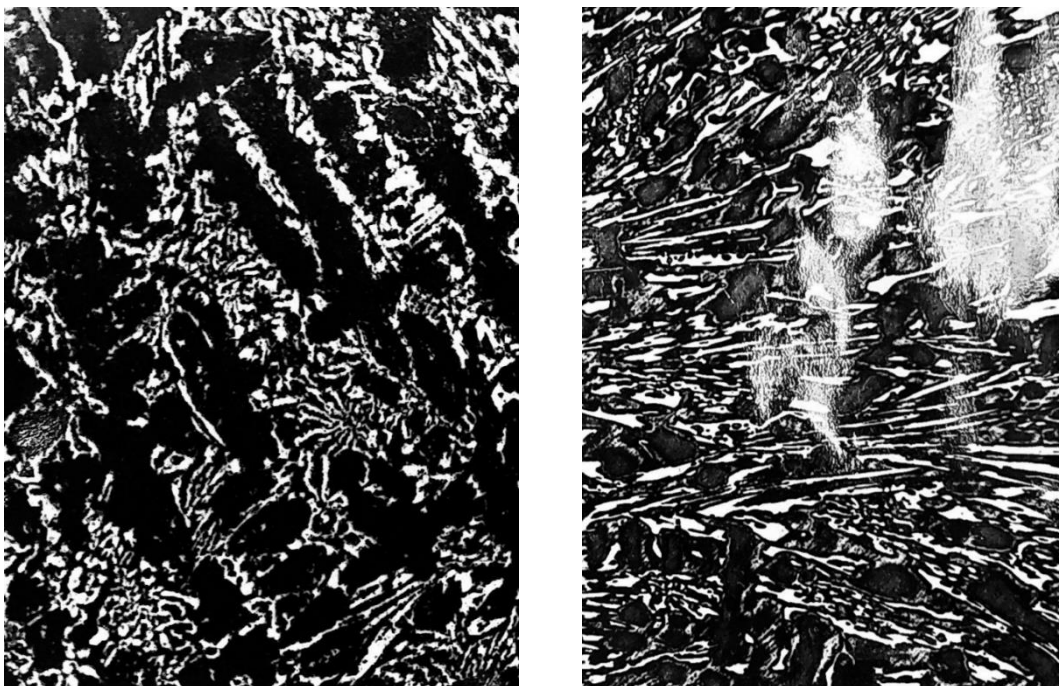


Рисунок 1 – Микроструктура дробеметной лопатки

На втором этапе эксперимента в сплав вводили добавки ванадия и молибдена (в отдельности) в количестве по 1,3%, при этом никель был частично замещен небольшим количеством меди (0,2-0,25%).

В процессе металлографического анализа лопаток дробемета, выплавленных с молибденом установлено более равномерное распределение эвтектики и карбидов в матрице, что позволило предположить наличие преимуществ такого сплава в процессе эксплуатации. В присутствии марганца зафиксирована повышенная концентрация молибдена в твердом растворе, что затрудняет его перлитный распад.

В процессе производственных испытаний установлено, что в результате введения в сплав молибдена в количестве 0,6-1,0% при уменьшенном содержании никеля достигается увеличение стойкости лопаток дробемета в 1,5-1,7 раза.

## Влияние добавок на металлической основе на физико-механические свойства стержневых песчано-смоляных смесей

Студент группы 10404220 Моргунов Е.А.

Научный руководитель Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

### Введение

Одним из более действенных методов, позволяющих управлять скоростью кристаллизации и охлаждения отливок, а также снизить вероятность образования характерных дефектов поверхности, таких как «просечки», является введение в состав формовочных и стержневых смесей различного рода специальных добавок. Значительное место занимают добавки, содержащие металлы и их соединения, в том числе оксиды железа, алюминия, хрома и т.д. Согласно исследованиям, проведенным компанией Ashland (США) в начале 2000 годов, на территории Великобритании добавку гранулированного оксида железа использовали более 70% опрошенных литейных предприятий, а в США добавки такого же типа применяли около половины всех литейных цехов. Довольно обширное распространение получили добавки, содержащие гематит ( $Fe_2O_3$ ) и магнетит ( $Fe_3O_4$ ), так же на территории стран СНГ и в Республике Беларусь. Так, к примеру, оксид железа ( $Fe_2O_3$ ) в виде порошка железного сурика использует ОАО «Минский тракторный завод» для исключения «просечки» на отливках «Головка блока цилиндров» и «Корпус турбины» [1].

### Методика проведения испытаний

Для проведения испытаний изготавливалась стержневая смесь на основе кварцевого песка марки  $1K_1O_2O_3$  по ГОСТ 23409.24-78 и двухкомпонентного смоляного связующего, широко применяемого в Беларуси и соседних странах, состоящего из традиционной фенолформальдегидной смолы и полиизоционата. Количество связующей композиции и соотношение ее компонентов было постоянно во всех исследовавшихся образцах: 0,7% + 0,7% (компонент А + компонент Б) от массы песка. Продувку всех образцов осуществляли с применением диметиламина (DMEA) с расходом 1,2 г/кг. Добавки в смесь вводились в процессе перемешивания в количестве от 0,5 до 5% сверх массы песка. Для сравнительной оценки в качестве добавок использовались следующие материалы:

- 1) Сурик железный ( $Fe_2O_3$ ) ГОСТ 8135-74, средний размер фракции <0,063 мм;
- 2) Магнетит ( $Fe_3O_4$ ), средний размер фракции 0,125–0,315 мм;
- 3) Пудра алюминиевая ПАП-1 ГОСТ 5495-2022, средний размер фракции <0,063 мм;
- 4) Порошок алюминиевый ПА-4 ГОСТ 6058-2022, средний размер фракции 0,1–0,16 мм.

Составы исследовавшихся смесей приведены в таблице 1.

Содержание компонентов смеси	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5	Состав №6	Состав №7	Состав №8
Песок, %	100							
Компонент А, %	0,7							
Компонент В, %	0,7							
Газообразный катализатор, г/кг	1,2							
Магнетит FerroSAND	-	1,5	5	-	-	-	-	-
Порошок ПА-4	-	-	-	0,5	-	-	-	-
Сурик железный	-	-	-	-	0,5	1	-	-



лица

Пудра алюминиевая	-	-	-	-	-	-	0,5	1
-------------------	---	---	---	---	---	---	-----	---

Таб-  
1.  
Со-

ставы исследованных стержневых смесей

### Результаты испытаний

Эталонные образцы, показали следующие усредненные результаты: предел прочности при растяжении – 1,52 МПа, газопроницаемость – 244 единицы, газотворность – 2,89 мл/г и осыпаемость ~1%.

Наименьшее снижение прочности наблюдалось в образцах, что, по-видимому, объясняется большим размером частиц этих материалов по сравнению с другими добавками: их дисперсность сопоставима с размерами кварцевого песка в самой стержневой смеси

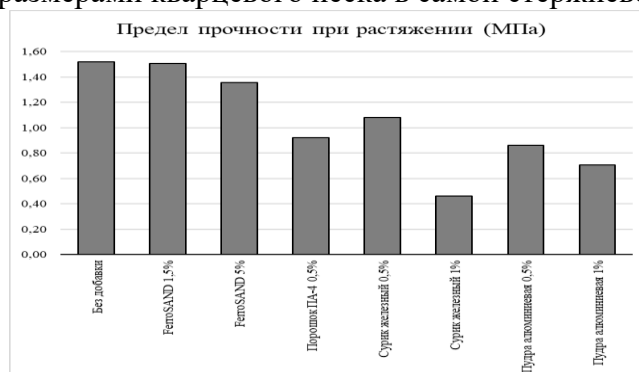


Рис. 1. Сравнительные результаты испытаний на предел прочности при растяжении

Введение всех исследовавшихся добавок сопровождалось увеличением газотворности. Наименьшую удельную газотворность показала добавка магнетита: при добавлении 5% гранулированного магнетита газотворность стержневой смеси составила около 5,75 мл/г, при газотворности исходной смеси около 3 мл/г. Добавки железного сурика в количестве 0,5 и 1% увеличили газотворность смеси, соответственно, до 7,62 и 7,94 мл/г (рис. 3)

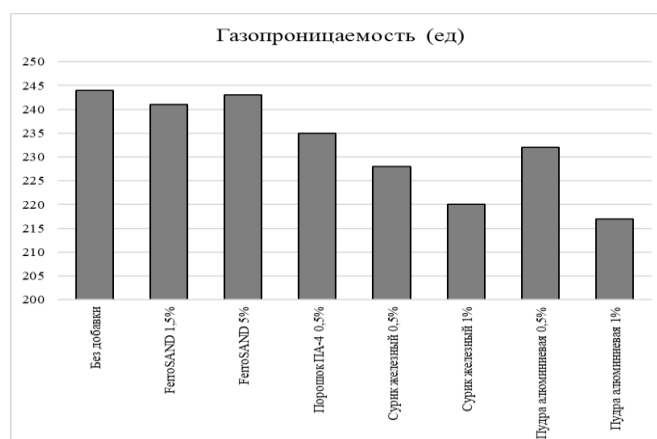


Рисунок 2 - Сравнительные результаты определения газопроницаемости смесей

Наибольшие значения *осыпаемости* показали образцы, изготовленные с применением добавок железного сурика и алюминиевой пудры (рисунок 4).

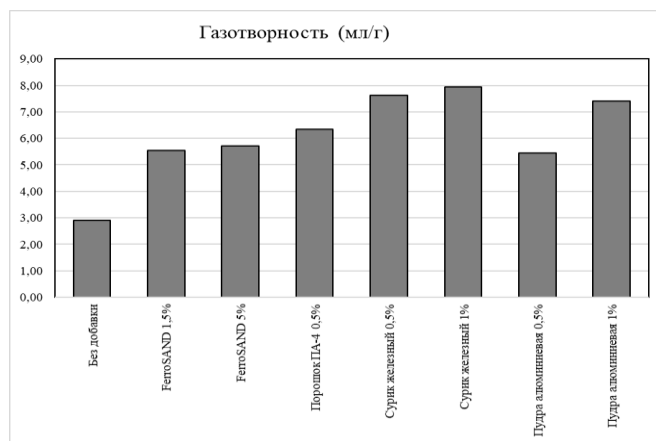


Рисунок 3 - Сравнительные результаты проверки стержневых смесей на газотворность.

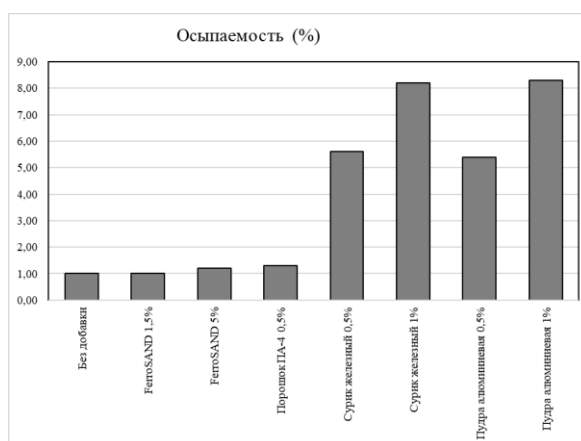


Рисунок 4 - Сравнительные результаты проверки стержневых смесей на осыпаемость.

### Заключение

1. В ходе исследований было установлено, что добавки с большой дисперсностью вызывают значительное снижение прочности стержневой смеси и увеличивают осыпаемость образцов. Их применение неизбежно потребует увеличения количества связующей композиции, что, в свою очередь, приведет к увеличению газотворности смеси и росту вероятности появления газовых дефектов в отливках. Это, в том числе, относится и к часто применяемому в Беларуси в качестве добавки для исключения просечек – железному сурику.

2. Среди исследованных материалов наилучший результат показала добавка магнетита. Ее введение для изменения теплофизических характеристик, в частности, для повышения теплопроводности стержневой смеси, практически не снижает прочностные характеристики, газопроницаемость и осыпаемость смеси.

3. Для выработки научно-обоснованных рекомендаций по использованию тех или иных добавок для борьбы с просечками, необходимо проведение исследований их влияния на поведение смесей в области высоких температур, определение их оптимального содержания в стержневой смеси, и влияния их накопления в оборотной формовочной смеси.

### Список использованных источников

1. Коренюгин С.В. Влияние специальных добавок на физико-механические свойства стержневых смесей / С.В. Коренюгин, С.Л. Ровин // Литье и металлургия. – 2023. – № 3. – С.36-40.

**Влияние специальных добавок, содержащих оксиды железа на технологические свойства формовочных и стержневых смесей**

Студент гр. 10404222 Рипинский М.А.

Научный руководитель Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

Поверхностные дефекты отливок являются актуальной проблемой для современной литейной промышленности. Для борьбы с ними в формовочные и стержневые смеси добавляют специальные добавки. Например, с целью регулирования скорости кристаллизации и охлаждения отливок часто используют добавки, в состав которых входят металлы и их соединения, в частности оксиды железа [1]. Для уменьшения вероятности появления «просечек» часто используются добавки, содержащие гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [2].

Однако стоит отметить, что кроме изменения теплофизических свойств, введение этих добавок может привести к снижению газопроницаемости, повышению осыпаемости и уменьшению прочности смеси. Увеличив количество связующего, можно компенсировать потерю прочности, однако это приведет не только к повышению стоимости изготавливаемых отливок, а также к увеличению газотворности и уменьшению газопроницаемости смеси [1]. Исходя из вышеизложенного, в ходе выполнения данной работы был проведен анализ влияния добавок, содержащих оксиды железа, на свойства формовочных и стержневых смесей.

**Методика проведения испытаний**

Для проведения испытаний были приготовлены стержневые смеси с различным содержанием специальных добавок. Все смеси включали в себя: свежий песок марки  $1\text{K}_1\text{O}_3\text{025}$  (100%), смолу «Ecosure Blue 30 HE 1» (0,7% от массы песка), полиизоцианат «Ecosure Blue 60 HE 11» (0,7% от массы песка). Смесь №1 изготавливалась без добавок. Смеси №2-6 включали в себя магнетитовый порошок торговой марки «FerroSAND» – 1-5% сверх массы песка (с шагом в 1%). Смеси №7-11 содержали добавку в виде порошка оксида железа (далее ПОЖ) – 1-5% сверх массы песка (с шагом в 1%). Сразу после приготовления смеси изготавливались стандартные образцы. Для этого сначала смесь уплотняли, а затем продували газообразным катализатором диметилэтиламином (DMEA).

Прочности стандартного образца на разрыв проверялась через 1, 2 и 24 часа после окончания приготовления смеси. Проверку прочности проводили на 3 образцах, за результат принимали среднее арифметическое значение. Исследование газопроницаемости и газотворности проводили после выдержки образцов на воздухе не менее суток.

Анализ деформации стандартных образцов при высоких температурах проводился с использованием прибора модели LRu-DMA, с электрическим нагревом, компании Multiserw Morek (Польша).

Для определения влияния добавок на теплопроводность стержневой смеси была использована методика, позволяющая измерить передачу тепла через стандартный образец с помощью термопары. Нагрев образцов производился в течении 240 секунд. Температуры фиксировали каждые 15 секунд.

Все остальные испытания проводились по стандартным методикам согласно ГОСТ.

## Результаты испытаний

Таблица 1– Результаты испытания стандартных образцов на разрыв

Наименование добавки	Содержание добавки в смеси, %	Прочность на разрыв стандартного образца (среднее значение 3-х измерений), МПа, через:		
		1 час	2 часа	Сутки
Исходная смесь	0	1,743	1,776	1,828
FerroSAND	1	1,731	1,771	1,820
FerroSAND	2	1,720	1,740	1,765
FerroSAND	3	1,686	1,705	1,735
FerroSAND	4	1,664	1,683	1,703
FerroSAND	5	1,643	1,655	1,666
ПОЖ	1	1,719	1,737	1,760
ПОЖ	2	1,670	1,696	1,728
ПОЖ	3	1,641	1,661	1,702
ПОЖ	4	1,600	1,614	1,645
ПОЖ	5	1,474	1,541	1,591

Таблица 2– Деформация образцов при высокотемпературном нагреве

Наименование добавки	Содержание добавки в смеси, %	Деформация образцов (среднее значение 3-х измерений), мм.
Исходная смесь	0	0,633
FerroSAND	1	0,421
FerroSAND	2	0,410
FerroSAND	3	0,398
FerroSAND	4	0,385
FerroSAND	5	0,284
ПОЖ	1	0,554
ПОЖ	2	0,547
ПОЖ	3	0,493
ПОЖ	4	0,484
ПОЖ	5	0,460

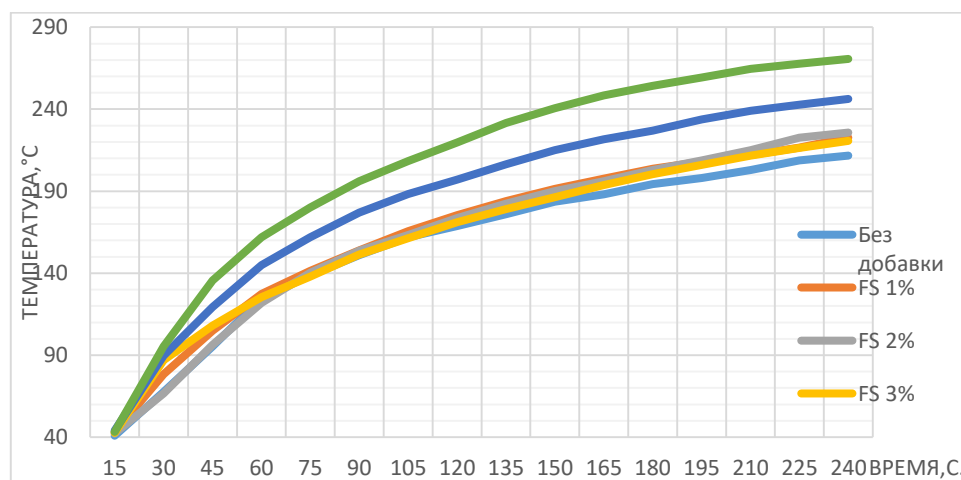


Рисунок 1 – Графики скорости прогрева образцов с различным содержанием FerroSAND и исходного образца

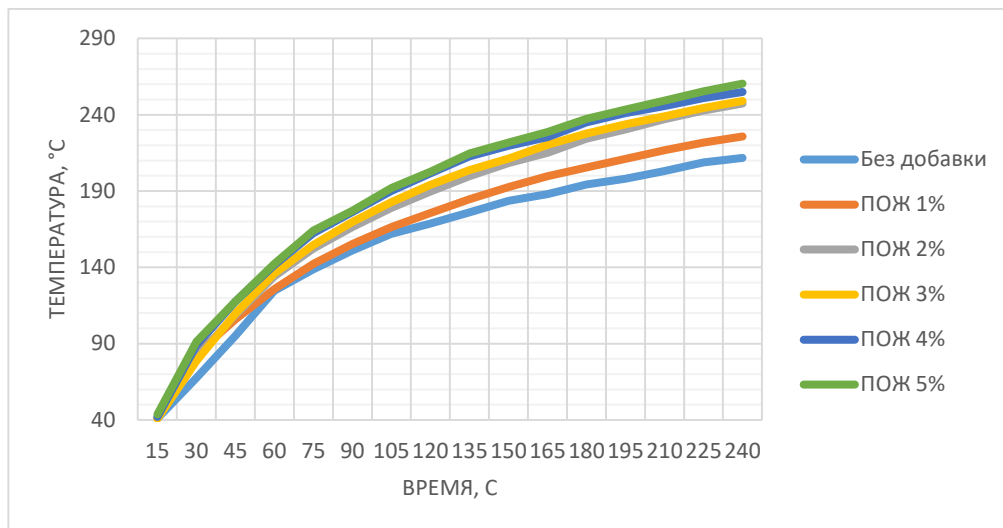


Рисунок 2 – Графики скорости прогрева образцов с различным содержанием ПОЖ и исходного образца

По полученным результатам исследования теплопроводности видно, что с повышением содержания добавок увеличивается скорость набора температуры, а также максимальная температура прогрева. Однако, у образцов с «FerroSAND» скорость набора температуры оказалась выше, чем у образцов с ПОЖ. После непрерывного нагрева более 240 секунд температура практически не изменялась и начиналось разрушение образцов в зоне нагрева.

Осыпаемость всех испытанных образцов составила 0%.

Следует отметить повышение газотворной способности образцов с применением ПОЖ по сравнению с «FerroSAND», разница составила 0,13-0,16 мл/г.

### Заключение

В результате проведенных испытаний было установлено, что исследуемые добавки незначительно снижают основные механические свойства смеси. Стоит отметить, что добавка ПОЖ ухудшает их немного больше.

Исследование изгиба образцов при высокотемпературном нагреве показало, что «FerroSAND» превосходит ПОЖ по снижению деформации в поверхностном слое образцов. Это позволяет предположить, что добавка «FerroSAND» будет более эффективна в борьбе с просечками.

Более высокая скорость прогрева дает нам основание полагать, что добавление «FerroSAND» снизит изгибающие напряжения на поверхности стержней и, как следствие, уменьшит склонность к образованию поверхностных дефектов.

### Список использованных источников

1. Коренюгин, С. В. Влияние специальных добавок на физико-механические свойства смесей, используемых для изготовления стержней по cold-box-amine-процессу / С. В. Коренюгин, С. Л. Ровин // Литье и металлургия. – 2023. – № 3. – С. 36-40
2. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси / Д. М. Кукуй, Н. В. Андрианов; Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2005. – 390 с.

**Расчет литниково-питающей системы для различных типов отливок**

Студент группы: 1040222 – Шатилло С.Д.

Научный руководитель – Коренюгин С.В.

Беларусский национальный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Литниково-питающая система представляет собой множества каналов в литейной форме, предназначенных для заполнения рабочей полости формы расплавленным металлом.

Литниково-питающие системы делятся по плоскости разъема:

- Вертикальная плоскость разъема;
- Горизонтальная плоскость разъема.

Для вертикальной плоскости разъема используется формула Озанна-Диттерта [1]:

$$F_{\Pi} = \frac{G * n}{\rho * \tau * \mu \sqrt{2 * g * H_p}}$$

Где: G – масса отливки с литниковой системой, кг;

N – число отливок в форме

$\rho$  – плотность заливаемого расплава, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – продолжительность заливки формы, с;

$\mu$  – коэффициент расхода расплава, учитывающий потери на трение, повороты в литниковой системе;

g – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

H<sub>p</sub> – расчетный статический напор, м (определяется в зависимости от типа литниковой системы и рассчитывается по нижеперечисленным формулам).

Для не симметричного распределения отливки  $H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C}$

Для сифонной литниковой системы, когда P = C,  $H_p = H_0 - \frac{C}{2}$ ;

При подводе металла сверху P = 0, H<sub>p</sub> = H<sub>0</sub>;

В случае симметричного расположения отливки относительно плоскости разъема и подвода металла в ней P = C/2,  $H_p = H_0 - \frac{C}{8}$ ;

Где: H<sub>0</sub> – высота стояка от уровня металла в литниковой воронке до места подвода металла, м;

P – расстояние от верхней точки отливки до уровня подвода расплава в форму, м;

C – высота отливки в форме, мм.

Важным критерием является скорость заполнения формы, которая рассчитывается по формулам [1]:

Для сложных по конфигурации, тонкостенных отливок:  $\tau = S\sqrt{G}$ ;

Для средних и крупных отливок:  $\tau = S^3\sqrt{G * \delta}$ .

Где: S – коэффициент, зависящий от толщины стенки отливки;

$\delta$  – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – масса отливки с литниковой системой, кг;

После расчетов самого узкого места литниковой системы необходимо найти площадь сечения остальных участков благодаря пропорциям, зависящих от отливки:

Для отливки из СЧ это, следовательно:  $F_{\Pi} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4$

Для тонкостенных отливок следовательно:  $F_{\Pi} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,06 : 1,11$

Чтобы избежать попадания шлака в рабочую полость отливки и избежать дефекты и снизить расход металла применяют пенокерамические фильтры.

Площадь фильтра берется из диапазона в зависимости от площади питателя [3].

Материал	Площадь фильтра
алюминий	4-8
серый чугун	3-4
высокопрочный чугун	3-6
сталь	мин. 4,5

Для расчета литниковой системы для форм с вертикальной плоскостью разъема используют следующую формулу [2]:

$$F_{\Pi} = \frac{G * n * 1036}{t * m * \sqrt{H_{расч}}}$$

Где: G – масса отливки с литниковой системой, кг;  
t – время заполнения одной полости формы расплавом, с;  
m – коэффициент трения;  
H<sub>расч.</sub> – высота ферро статического давления, мм  
n – число отливок.

Время наполнения полости формы (t) необходимо выбирать на 4 с короче цикла работы формовочной машины, чтобы не задерживать процесс формообразования. Толщина формы, в свою очередь, зависит от максимальных высот моделей на плитах давления и противодействия, и минимальной толщины слоя формовочной смеси между моделями, которая берется равной 70 мм и определяется из выражения[2]:

$$h_{\phi} = h_1 + h_2 + 70$$

Где: h<sub>1</sub> – максимальная высота модели на плите давления, мм;  
h<sub>2</sub> – максимальная высота модели на плите противодействия, мм.

После нахождения площадей питателей (F<sub>п</sub>) определяются площади сечений литниковых ходов  $F_{л.х} = \sum F_{\Pi} * 1,2$

Вышеперечисленные методы являлись методическими расчетами, проверить правильность расчетов позволяет программы для моделирования литейных процессов СКМ «Полигон», ESI ProCast, LVMFlow [2]. Для уменьшения трудозатрат на расчеты данным методом можно создать программу для автоматического расчета.

Существует еще экспериментальный метод создания литниково-питающей системы. Он происходит путем изготовления тестовых литниковых систем и проверкой на работоспособность и дефекты при помощи моделирования литейных процессов или непосредственно в производственном процессе.

### Список использованных источников

1. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства: учебник: в 2 ч. Ч. 2.: Технология изготовления отливок в разовых формах / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, Н. В. Андрианов. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2011. – 406 с.: ил. – (Высшее образование).
2. Проектирование и расчет литниковых систем для разовых форм: учебно-методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» / В. А. Скворцов, Ю. А. Николайчик. – Минск: БНТУ, 2019. – 109 с.
3. Расчёт литниковой системы с пенокерамическими фильтрами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stavrol.ru/info/articles/raschet-litnikovoy-sistemy-s-penokeramicheskimi-filtrami/>. – Дата доступа 13.04.2024.

**Технология изготовления стержней для отливок  
моторной группы в холодной оснастке**

Студент гр. 10404121 Дыдыка Е.В.

Научный руководитель Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск.

Изготовление сложных стержней для отливок моторной группы представляет собой ряд технологических проблем из-за их геометрической сложности, требуемых допусков и необходимости выдерживать высокие температуры и давления литья (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пример стержня для отливки «Головка блока цилиндров»

***Геометрическая сложность:***

- стержни должны точно соответствовать внутренним полостям отливки, что требует точной обработки и изготовления форм;
- сложные формы могут включать тонкие стенки, резьбу, отверстия и другие детали.

***Высокие допуски:***

- отливки моторной группы должны иметь точные допуски, чтобы обеспечить герметичность, производительность и долговечность;
- стержни должны быть изготовлены с высокой точностью, чтобы соответствовать этим допускам.

***Устойчивость к высоким температурам и давлению:***

- во время литья стержни подвергаются воздействию экстремальных температур и давления;
- они должны быть изготовлены из материалов, которые могут выдерживать эти условия без деформации или выхода из строя.

***Другие проблемы:***

- удаление стержней: стержни должны быть легко удалены из отливки после литья, не повреждая ее;
- прочность: стержни должны иметь достаточную прочность, чтобы выдерживать различные манипуляции и транспортировку;
- пористость: пористость стержня может привести к дефектам отливки, поэтому необходимо обеспечить минимальную пористость.

***Для решения этих проблем используются различные методы, такие как:***

- точное моделирование и проектирование стержней;



- использование качественных стержневых материалов;
- оптимизация процессов формовки и литья;
- использование автоматизированного оборудования для обеспечения точности;
- разработка методов удаления стержней без повреждения отливки.

**Холодно твердеющие смеси.** В данной технологии изготовления стержней используются холоднотвердеющие смеси на основе синтетических смол или жидкого стекла в качестве связующих.

Холоднотвердеющие смеси объединяют два направления технологии изготовления стержней, которые за рубежом называют «*No bake*» и «*Cold – box*».

К направлению «*No bake*» (от англ. *no – нет и bake – сушка*) относят технологии изготовления стержней и форм с использованием самотвердеющих в холодном состоянии смесей, в состав которых входят связующее и катализатор (или отвердитель). Технологии направления «*No bake*», представленные в табл. 1, применяют в единичном и мелкосерийном производстве средних и крупных форм и стержней.

Таблица 1 – Технологии с использованием связующих и катализаторов (отвердителей) в составе смесей

Технология	Связующее	Катализатор (отвердитель)
ХТС-процесс	Смолы: карбамидформальдегидные, карбамидфурановые, фенолформальдегидные, фенолфурановые, фурановые	Ортофосфорная кислота, сульфокислоты (БСК, ПТСК)
	Жидкое стекло	Сложные эфиры или их смесь
<i>PEP – set</i> процесс	Фенольная смола, полиизоцианат	Жидкий амин
<i>Alpha – set</i> процесс	Щелочная фенольная смола	Смесь сложных эфиров

К направлению «*Cold – box*» (от англ. *cold – холодный и box – ящик*) относят технологии с использованием смесей, в состав которых изначально не входит катализатор. Отверждение готового стержня происходит при его продувке газообразным реагентом, выступающим в роли катализатора. Технологии направления «*Cold – box*» представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Технологии отверждения смесей продувкой газообразных катализаторов (отвердителей)

Технология	Связующее	Катализатор (отвердитель)
<i>Cold – box – amin</i> процесс	Фенольная смола, полиизоцианат	Газообразный амин (Третичные амины)
<i>Beta – set</i> процесс	Щелочная фенольная смола	Метилформиат
<i>Resol – CO<sub>2</sub></i> процесс	Щелочная фенольная смола	Углекислый газ
<i>Epoch – SO<sub>2</sub></i> процесс	Эпоксидная смола + акрилат + органический пероксид	Сернистый ангидрид
<i>CO<sub>2</sub> – процесс</i>	Жидкое стекло	Углекислый газ

В настоящее время в Республике Беларусь наиболее широко используется технология изготовления стержней по *Cold – box – amine* процессу. Основными достоинствами, которого по сравнению с другими процессами являются равномерное объемное отверждение стержня в течение 5... 20 с после продувки; высокая прочность стержней (сразу после продувки и после 24 ч); возможность изготовления самых сложных стержней, оснастка может изготавливаться не только из металла, но и из пластмассы и дерева; значительно меньшие энергетические затраты и более высокая точность размеров стержней, а следовательно, и отливок, например по сравнению с *Hot – box* процессом; высокая производительность; возможность автоматизации процесса; высокое качество стержней; легкая выбиваемости; возможность регенерации отработанных смесей [1,2].

В процессе изготовления стержней предусматривается обязательное использование специальных герметизированных пескодувных машин со встроенным газогенератором и удалением остатков амина, и последующей их нейтрализацией.

Технологический процесс изготовления стержней по *Cold – box* процессу состоит из следующих операций. В газогенераторе происходит испарение жидкого амина, поступающего из баллона при температуре -110 °С. Пары амина смешиваются в определенной концентрации с сухим воздухом. Пескодувная машина со встроенным смесителем является полностью герметизированной. После надува смеси в ящик надувная головка отводится в сторону, а к стержневому ящику подводится специальная плита для продувки газообразным катализатором. В комплект оборудования также входят фильтр для улавливания твердых частиц; ванна с серной кислотой; скруббер – устройство, в котором происходит улавливание вредных газов и их нейтрализация с помощью жидкостей: ванна со щелочью [3].

#### Список использованных источников

1. Кукуй, Д. М. Современные технологические процессы производства стержней / Д. М. Кукуй, Д. А. Кудин // *Литье и металлургия*. – 2000. – № 2. – С. 9-12.
2. Мельников, А. П. Технологии изготовления стержней в массовом производстве отливок / А. П. Мельников // *Литье и металлургия*. – 2008. – №3 (47). – С. 155 - 161.
3. [Электронный ресурс] <https://extxe.com/535/izgotovlenie-sterzhnej-po-holodnoj-osnastke/>Дата доступа: 12.04.2024

## Применение чугуна с шаровидным графитом в промышленности

Студентка гр. 10404121 Галенкина А.В.

Научный руководитель Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Высокопрочный чугун, также известный как чугун с шаровидным графитом, представляет собой чугунный сплав, включающий графитные включения сфероидальной формы. Характеризуется наибольшей сплошностью основы благодаря меньшему отношению поверхности к объёму у графита сфероидальной формы, что минимизирует надрезающее воздействие на металлическую основу. В результате обеспечивается повышенная прочность и трещиностойкость чугуна.

Благодаря сфероидальной форме графита, высокопрочный чугун (ВЧШГ) проявляет следующие отличительные характеристики по сравнению с обычными чугунами (рисунок 1):

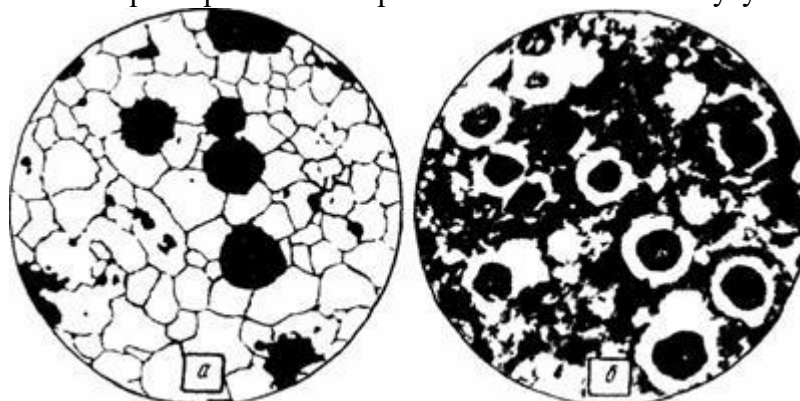


Рисунок 1 – Пример микроструктуры высокопрочного чугуна.

1. Высокая прочность на растяжение и изгиб: Структура сфероидального графита способствует повышенной прочности материала при растяжении и изгибе, что делает высокопрочный чугун более стойким к механическим нагрузкам.

2. Высокая ударная вязкость: Присутствие шаровидного графита улучшает ударную вязкость материала, что делает его более устойчивым к внезапным нагрузкам и ударным воздействиям.

3. Выраженный предел текучести и значительное относительное удлинение: Высокопрочный чугун проявляет высокий предел текучести и относительное удлинение благодаря особенностям его микроструктуры, что способствует его пластичности и деформационной способности [1].

ВЧШГ обладает всеми традиционными качествами чугунов, превышающими аналогичные характеристики у обычных сталей:

1. Высокая прочность на сжатие и усталостная прочность: Высокопрочный чугун обладает высокой прочностью на сжатие и устойчивостью к усталостным нагрузкам, что делает его предпочтительным материалом для изготовления деталей, подверженных сжимающим и циклическим нагрузкам.

2. Хорошие литейные свойства: Материал обладает хорошей жидкотекучестью и малой линейной усадкой при застывании, что обеспечивает высокое качество литья и минимизирует возможность дефектов в отливках.

3. Высокая износостойкость: Высокопрочный чугун обладает высокой устойчивостью к износу и абразивным воздействиям, что делает его подходящим для производства деталей, работающих в условиях высокого износа.

4. Хорошая обработка: Материал легко поддается механической обработке, что обеспечивает возможность получения сложных форм и поверхностей с высокой точностью и качеством [1].

Наиболее распространенное применение высокопрочного чугуна включает изготовление изделий ответственного назначения в машиностроении, а также производство высокопрочных труб для водоснабжения, водоотведения, газо- и нефтепроводов. Продукция из высокопрочного чугуна отличается высокой прочностью, долговечностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Использование шаровидного графита в металлических материалах имеет как плюсы, так и минусы.

Преимущества использования шаровидного графита:

1. Улучшенные механические свойства: Шаровидный графит способствует улучшению механических характеристик материала, таких как прочность, ударная вязкость и устойчивость к усталости. Это делает материал более надежным и долговечным.

2. Повышенная устойчивость к трещинам: Структура шаровидного графита обеспечивает более равномерное распределение напряжений в материале, что снижает вероятность возникновения трещин и улучшает его долговечность.

3. Улучшенная обработка и литейные свойства: Шаровидный графит обеспечивает лучшую текучесть и жидкотекучесть материала в процессе литья, что делает его более податливым к формовке и обработке.

4. Снижение веса: благодаря легкости шаровидного графита возможно создание более легких конструкций без утраты прочности, что особенно важно в авиационной и автомобильной промышленности.

Недостатки использования шаровидного графита:

1. Высокая стоимость производства: Процесс получения материалов с шаровидным графитом требует специальных технологических процессов и оборудования, что может увеличить их стоимость.

2. Сложности контроля качества: из-за сложной структуры шаровидного графита может быть затруднительно обеспечить однородность и контроль качества материала, что может привести к нежелательным дефектам в конечном продукте.

3. Ограничения в применении: в некоторых условиях, шаровидный графит может оказаться менее устойчивым или менее подходящим для применения, особенно при высоких температурах и агрессивных средах [2].

#### **Список использованных источников**

1. Кузьмин Б. А. и др. *Металлургия. Металловедения и конструкционные материалы*. — М: Высшая школа, 1977. — С. 190.
2. Панов А.Г. *Стабильное модифицирование высокопрочных чугунов: метод, модификаторы, технологии*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. - 348 с

## Разработка технологического цикла получения отливок в замораживаемые формы

Студенты: гр. 10404220 Киреев А.К., Новиков К.Н., 10404121 Моцкус Э.Д.

Научный руководитель - Дикун А.О.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Формовка замораживанием представляет собой метод, позволяющий получать литейные формы путем воздействия низких температур на специально приготовленную смесь. Процесс осуществляется в опоке, оборудованной специальной полостью для охладителя. В качестве охладителя может использоваться ряд сжиженных газов, например: жидкий гелий или жидкий азот. В данном случае используется жидкий азот с крайне низкой температурой кипения  $-195.8^{\circ}\text{C}$ , так как он является самым доступным.

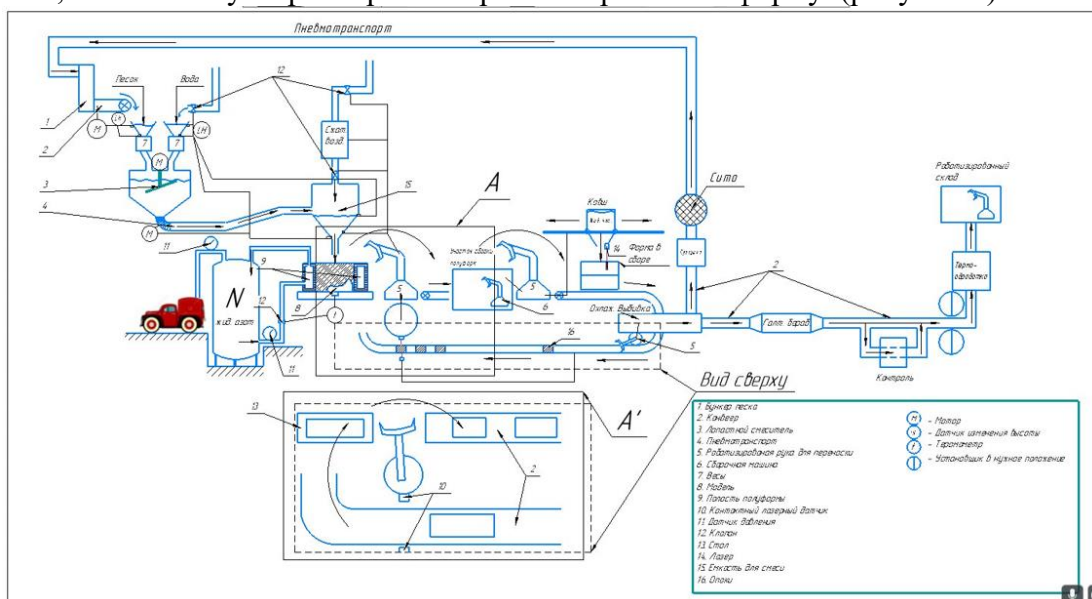
Способ литья в замораживаемые формы применяют для цветного, чугунного и стального литья. Предпочтительная номенклатура отливок – детали с толщиной стенки  $8...20$  мм.

Впервые о применении в литейном производстве замораживаемых форм сообщил в 1934 году А.А. Лунев. Сущность способа заключалась в том, что песчаная форма перед заливкой в нее жидкого металла предварительно охлаждалась до температуры  $-25^{\circ}\text{C}$ . Предполагалось, что в этом случае произойдет ускорение затвердевания, а следовательно, повышение плотности металла и механических свойств. Однако, ожидаемый эффект не подтвердился: свойства металла отливок и продолжительность затвердевания остались примерно на том же уровне, что и в обычных формах. Поэтому это и стало отправной точкой для исследования в данном направлении, т.к. литье в замораживаемые формы имеет ряд преимуществ:

- простая и экологически чистая формовочная смесь, состоящая только из песка и воды;
- высокая скорость отверждения форм;
- простота регенерации формовочной смеси;
- небольшая стоимость хладагента.

При всех вышеописанных преимуществах данная технология, имеет ряд недостатков, например: невысокая газопроницаемость, высокая газотворность, образование оксидных пленок, повышенная шероховатость поверхности вследствие кипения жидкости у поверхности металла, а так же высокая вероятность перемерзания металла приводящее к появлению недоливов элементов имеющих малое сечение.

Представленный цикл имеет особенность в том, что жидкий азот циркулирует в полых стенках опоки, тем самым ускоряя и равномерно замораживает форму. (рисунок 1)



## Рисунок 1 - Автоматизированная линия получения отливок в замораживаемые формы

Рассмотрим технологический цикл работы предполагаемой автоматической линии, схема которой была приведена на рисунке 1.

Технологический процесс начинается со смесеприготовления. Песок и вода взвешиваются на весах (7), далее поступают в смеситель (3). После смешивания по пневмотранспорту компоненты оказываются в емкости для смеси (15), где под воздействием сжатого воздуха запрессовываются в полуформу. Далее жидкий азот из емкости поступает в полые стенки опоки (9) равномерно охлаждая полуформу. Данный процесс контролируется датчиком температуры (t) и давления (11). После этого, отвержденная полуформа перемещается при помощи манипулятора (5) и отправляется по конвейеру на участок сборки. Далее готовая форма поступает на участок заливки, где с помощью автоматического устройства в виде подвесного ковша происходит заливка и по конвейеру охлаждаясь транспортируется на участок выбивки. На участке выбивки осуществляется ряд операций:

- отделенные от смеси опоки перемещаются на участок формовки;
- отработанная смесь проходит регенерацию и по пневмотранспорту поступает на участок смесеприготовления;
- сбор и транспортирование отливок на участок финишных операций.

На участке финишных операций отливка, проходя через галтовочный барабан избавляется от излишков смеси, заусенцев и т.д. После проходит стадию контроля на брак и геометрию, устанавливаясь в нужное положение поступает на термообработку, а далее на автоматизированный склад готовой продукции.

В качестве вывода необходимо отметить, что внедрение данной технологии в современное производство позволит существенно сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду за счёт отказа от смоляных и жидкостекольных связующих. А автоматизация данной технологии позволит снизить объём монотонного и тяжёлого человеческого труда. Существенно повысить санитарные условия работников. Снизить себестоимость отливок, за счёт сокращения объёмов и номенклатуры применяемых основных и вспомогательных материалов, упрощения ряда технологических операций, таких как операции, выбивки форм и регенерации формовочной смеси. При внедрении данной технологии также произойдёт сокращение производственных площадей, а так же к многим другим положительным явлениям в литейном производстве.

### Список использованных источников

1. Специальные технологии литейного производства: учеб. пособие. Ч. 1/ под общ. ред. А.И. Евстигнеева, Е.А. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2012. – 296 с.
2. Кукуй, Д. М. Автоматизация литейного производства [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов специальности 1-36 02 01 "Машины и технология литейного производства" / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиночко ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Машины и технология литейного производства". – Минск : БНТУ, 2011.

**Получение отливок из алюминиевых сплавов с использованием форм из  
холоднотвердеющих смесей**

Магистрант гр.60401123 Абдимуминов Ф.Ю.

Студенты: гр. 10404122 Снитко Д.С., 10404121 Галенкина А.В.

Научный руководитель Садоха М.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В ходе анализа различных вариантов типов применяемых форм для получения опытных разовых отливок или выпуска малых серий было установлено, что в большинстве случаев наиболее рациональным является использование разовых песчано-смоляных форм, изготовленных по технологии «no-bake» из песчано-смоляных смесей. Суть этой технологии заключается в заполнении специального стержневого ящика смесью, содержащей синтетические смолы и катализатор, с последующим её уплотнением. Под воздействием катализатора смесь отверждается в ящике, и после определенного времени готовый стержень (форма) извлекается. На рисунке 1 представлены форма из ХТС и полученная отливка.



а



б

Рисунок 1 - Форма из ХТС (а) и полученные отливки из алюминиевых сплавов (б).

Преимущества этого процесса включают:

высокую точность отливок, приближенную к результатам литья в кокиль;

возможность быстрой корректировки процесса литья при обнаружении дефектов в отливках;

возможность использования комбинированных форм с металлическими элементами или литейными стержнями из различных материалов;

возможность накопления и складирования форм или их элементов для оптимизации производства.

Для обеспечения высокого качества отливок из алюминиевых сплавов, полученных в формах из песчано-смоляных смесей, важны следующие аспекты:

- Подготовка рабочих и специалистов, участвующих в процессе, с мотивацией к качественному труду.
- Контроль качества используемых материалов и применение локальных нормативных документов.
- Плавка качественного расплава в эффективных плавильных печах и обработка расплава современными флюсами.

- Применение литейной оснастки с высокой геометрической точностью.
- Использование высококачественных материалов для изготовления литейных форм.
- Применение современного оборудования и приспособлений.

В настоящее время также широко применяются аддитивные технологии, такие как 3D-печать форм из песчано-смоляных смесей с наполнителем из кварцевого песка. Технологический цикл производства отливок при этом включает несколько этапов, включая создание 3D модели отливки, создание модели формы, 3D-печать песчаной формы, очистку формы, нанесение покрытия, сборку, заливку расплава, выбивку отливки и контроль качества.

#### Литература:

1. Волочко А.Т., Садоха М.А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. - Минск: Беларус. навука, 2011.- 387с.
2. Садоха М.А., Ровин С.Л. Получение отливок в условиях мелкосерийного и единичного производства// Литейное производство. 2021. №4. С.35-38.



## **Получение отливок методом центробежного литья**

Студенты: гр. 10404222 Рипинский М.А., гр. 10404122 Буча Е.О.

Научный руководитель - Садоха М.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Качество продукции современного машиностроения в значительной степени зависит от компонентов, изготовленных методом литья из разнообразных материалов, таких как сталь, чугун, алюминий, медь и другие сплавы. Например, в моторостроении головки и блоки цилиндров двигателей, гильзы цилиндров, коленчатые валы, поршни, поршневые кольца, корпуса коробок передач и редукторов, корпуса задних мостов и многие другие детали производятся различными методами литья. Доля литых деталей в некоторых видах техники и агрегатов может достигать 60-80% от общей массы.

Основные требования к качеству деталей техники включают надежность, долговечность, устойчивость к износу, антифрикционные свойства, устойчивость к нагреву и перепадам температур. Наиболее подверженные износу детали различных машин включают в себя элементы, работающие в условиях трения, такие как трубы, втулки, кольца, корпусные детали, подшипники скольжения, венцы червячных колес, вкладыши, муфты, фланцы, цилиндры компрессоров, диски, ступицы и другие. Именно эти детали наиболее востребованы и, следовательно, являются наиболее перспективными для организации производства.

Анализ таких деталей показывает, что метод центробежного литья может быть использован для их изготовления. Этот метод обладает высокой универсальностью и позволяет получать отливки из различных металлов и сплавов с массой от нескольких килограммов до нескольких тонн, а также различными размерами.

Преимущества метода центробежного литья по сравнению с литьем в стационарные формы включают высокую плотность материала отливки, улучшенные физико-механические свойства материала отливки в прилегающей к наружной поверхности зоне, возможность использования различных металлов и сплавов, компактные производственные площади, высокую производительность, повышенный выход годного продукта и возможность изготовления тонкостенных отливок из сплавов с низкой текучестью.

В настоящее время метод центробежного литья широко применяется при производстве чугунных гильз цилиндров и цилиндрических втулок из алюминиевых и медных сплавов [1, 2].

Для осуществления этого метода используется специализированное оборудование, подбираемое в зависимости от требуемой производительности, технических параметров и материалов отливок.

На современном рынке литейного оборудования доступны различные типы машин для центробежного литья, такие как:

- однопозиционные (рис.1),
- двухпозиционные
- многопозиционные (карусельные).



Рисунок 1 - Однопозиционная машина центробежного литья модели 49113

Используются они соответственно для единичного и мелкосерийного производства или для массового производства отливок одного или нескольких наименований. Современные машины для центробежного литья обеспечивают полуавтоматическую или автоматическую работу с автоматизированным или ручным заливом жидкого металла во вращающуюся металлическую форму (изложницу) и оснащаются различными системами для повышения эффективности и качества производства.

#### **Список использованных источников**

1. Волочко А.Т., Садоха М.А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. - Минск: Беларус. навука, 2011.- 387с.
2. Андрушевич А.А., Охотский А.Д., Садоха М.А. Получение литых деталей для сельскохозяйственных машин центробежным методом// Литейное производство. 2020. №2. С.31-33.

### Производство отливок поршней из алюминиевых сплавов

Студенты: гр. 10404222 Шатилло С.Д., гр. 10404122 Зорька И.С.

Научный руководитель - Садоха М.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Поршень, как литая деталь, относится к категории заготовок повышенной ответственности и сложности. Это связано с большой разницей в толщине стенок, наличием значительных тепловых узлов, применением вставок из нирезиста и оформлением кольцевых каналов для масляного охлаждения. В процессе литья поршней необходимо учитывать ряд требований к металлургической подготовке расплава и параметрам заполнения формы.

При получении отливок поршней с нирезистовыми вставками и каналом для масляного охлаждения важно обеспечить два основных условия для получения качественной продукции: сваривание нирезистовой вставки с основным материалом отливки и отсутствие литейных дефектов.

Заполнение формы в стационарном положении не всегда позволяет достичь оптимальных условий заполнения и кристаллизации отливки, а также сваривания вставок. В связи с этим применение метода самозаполнения обеспечивает более гибкое управление процессами и позволяет получить отливки требуемого качества [1, 2].

Схема реализации варианта самозаполнения представлена на рис. 1. В начале заливки (рис. 1, а) обеспечивается плавное заполнение нижней части отливки. Далее в результате поворота кокиля (рис. 1 б, в) происходит более интенсивное заполнение верхних слоев отливки. При этом гибко регулируется напор за счет скорости поворота кокиля.

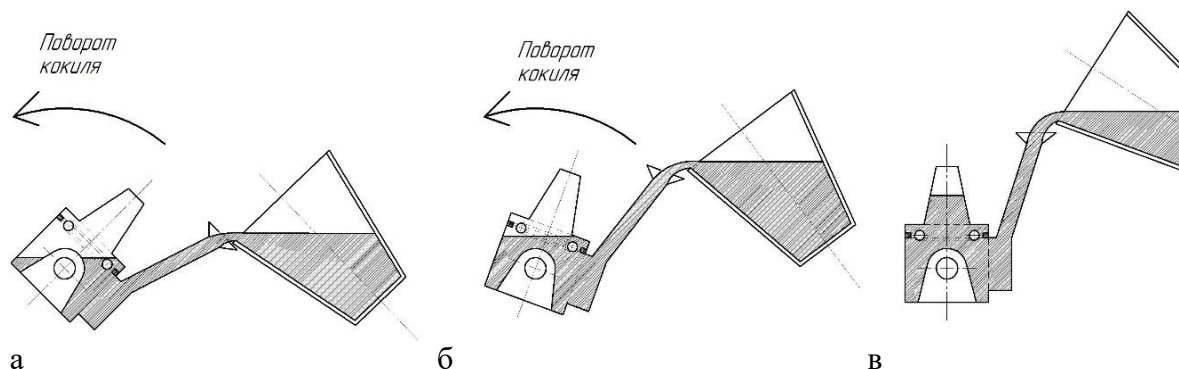


Рисунок 1 - Схема самозаполнения кокиля расплавом при литье поршней.

Для достижения оптимальных результатов при самозаполнении поршней целесообразно использовать заливочное приспособление непосредственно в литейную чашу формы. Это позволяет более гибко регулировать напор расплава и обеспечивать равномерное заполнение формы.

Эксперименты показали, что при использовании метода самозаполнения уровень брака отливок поршней снижается по сравнению с литьем в стационарный кокиль. Это обусловлено оптимальными условиями заполнения и кристаллизации, которые обеспечивают лучшее сваривание вставок и уменьшение дефектов отливок.

Это объясняется тем, что при использовании метода самозаполнения формы создаются оптимальные условия для заполнения и кристаллизации различных зон отливки. В частности, в процессе самозаполнения происходит более равномерное и полное омывание нирезистовой вставки расплавом, а также более эффективное удаление с её поверхности пузырьков газов,

неметаллических включений и оксидов. Это позволяет достичь более тщательного и качественного сваривания алюминиевого сплава с нирезистовой вставкой. В итоге, это способствует улучшению качества отливки поршней и снижению вероятности возникновения дефектов.

Таким образом, применение метода самозаполнения при литье поршней из алюминиевых сплавов с нирезистовыми вставками является эффективным способом повышения качества продукции.

#### **Список использованных источников**

1.Садоха М.А. Исследование технических параметров кокилей для получения отливок поршней// Литье и металлургия. 2011. №3. С.58-60.

2.Садоха М.А. Определение технологических параметров производства отливок поршней высоконагруженных дизельных двигателей// Литье и металлургия. 2011. №3. С.61-64.

**Подбор оптимального материала для получения компактного теплораспределителя высокой эффективности холодной зоны хотэнда для модельного FFF 3D-принтера**

Студентка гр. 10404121 Моцкус Э.Д.

Научный руководитель - Дикун А.О.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing) — совокупность основных и вспомогательных технологий или же процессов предназначенных для создания объектов при помощи послойного выращивания из различных технологий. Название данной группы технологий происходит от английского слова “add”, что в переводе означает — добавлять. Использование аддитивных технологий в литейном производстве на сегодняшний день позволяет «выращивать» литейные модели и формы, которые затруднительно или невозможно изготовить традиционными способами, а также значительно сокращает технологический цикл и соответственно сроки изготовления модельной оснастки.

Важностью охлаждения этой зоны является то, что при недостаточности или и вовсе его отсутствии, полимерный пруток размягчается ещё до попадания в зону плавления, что приводит к неравномерной подаче материала из сопла и в следствие образованию ряда дефектов на выращиваемом изделии. Ещё одной существенной проблемой, связанной с недостаточным охлаждением данного участка хотэнда является прилипание размягчённой нити к стенкам радиатора и стыкам различных деталей внутри хотэнда, что приводит к частичной или полной закупорки просвета радиатора с образованием пробок различной толщины и как следствие полной остановке процесса формирования изделия.

Передача тепловой энергии из одной области в другую происходит с помощью следующих трех режимов:

1) Кондукция — это передача энергии при непосредственном прикосновении.

2) Конвекция — это передача энергии при помощи потоков и струй.

3) Излучение — это передача энергии без направленного воздушного потока и без прямого контакта

В большинстве реальных ситуаций теплопередача происходит в результате сочетания этих режимов теплопередачи.

На теплофизические свойства материала напрямую зависят от следующих физических величин:

- Удельная теплоемкость
- Теплопроводность
- Теплопроводность поверхности

Плотность материала так же оказывает влияние на его способность накопления или распределения тепла, как правило с увеличением плотности материала его теплопроводность возрастает, так как атомы или молекулы вещества расположенные ближе друг к другу более активно воспринимают и передают тепловые колебания [1].

Эти физические величины взаимодействуют друг с другом и в совокупности определяют теплоотвод материала в различных условиях.

Больше всего интересуют 2 показателя, по которым будет определяться материал: удельная теплоемкость и теплопроводность.

**Удельная теплоёмкость** - это отношение теплоёмкости к массе или же теплоёмкость единицы массы вещества; физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать единичной массе данного вещества для того, чтобы его температура изменилась на единицу [3].

На значение удельной теплоёмкости влияет температура вещества и другие термодинамические параметры.

Формула расчёта удельной теплоёмкости, Дж/(кг·К):

$$C = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (1.1)$$

где  $Q$  — количество теплоты, полученное веществом при нагреве (или выделившееся при охлаждении), Дж

$m$  — масса нагреваемого (охлаждающегося) вещества, кг

$\Delta T$  — разность конечной и начальной температур вещества, К.

Таблица 1.1 Значения удельной теплоёмкости для материалов при различной температуре [2].

Материал	Значение температуры (К)							
	1	2	3	4	5	8	10	15
Алюминий	-	0,11	-	0,30	-	0,9	1,41	4,6
Железо	0,09	0,18	0,28	0,38	0,5	0,9	1,24	2,49
Золото	0,006	0,025	0,07	0,16	0,29	1,2	2,2	7,4
Медь	0,0116	0,0278	0,0530	0,0916	0,1482	0,4729	0,8709	2,907
Серебро	0,0072	0,0239	0,0595	0,124	-	0,91	1,8	6,4
Свинец	-	0,067	0,251	0,672	1,51	-	-	-
Титан	0,071	0,146	0,226	0,317	0,42	0,84	1,26	3,3

**Теплопроводность** твердых материалов, включая металлы, зависит от ряда физических величин:

- 1) Скорость частиц;
- 2) Число свободных электронов;
- 3) Удельная теплоемкость;
- 4) Структура и состояние металла;

Эти величины взаимосвязаны и определяют теплопроводность твердых материалов, включая металлы.

Формула нахождения коэффициента теплопроводности выражается следующим уравнением ( Вт/(м·К) ):

$$\lambda = (Q/t) \cdot (d/\Delta T) \quad (1.2)$$

где  $Q$  — количество тепла, протекающего через тело, Дж;

$t$  — время, с;

$d$  — толщина перегородки, м;

$S$  — площадь поперечного сечения,  $m^2$ ;

$\Delta T$  — разность температур,  $K$ ;

Таблица 1.2 — Значения теплопроводности для материалов при различной температуре [2].

Материал	Значение температуры ( $^{\circ}C$ )				
	- 100	0	100	300	700
Алюминий	2,45	2,38	2,30	2,26	0,9
Железо	0,94	0,76	0,69	0,55	0,34
Золото	3,3	3,1	3,1	—	—
Медь	4,05	3,85	3,82	3,76	3,50
Серебро	4,22	4,18	4,17	3,62	—
Свинец	0,37	0,35	0,335	0,315	0,19
Титан	—	—	0,16	0,15	—

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод о том, что наилучшими материалами для создания эффективного теплораспределителя являются медь и алюминий, так как они являются доступными и при этом недорогими. Однако предлагается использование их сплава друг с другом, так как медь обладает лучшими чем алюминий теплоотводящими свойствами, однако алюминий является гораздо более лёгким чем медь. Таким образом использование сплава меди и алюминия позволит значительно снизить массу теплораспределителя, без значительных потерь в теплопроводности.

#### Список использованных источников

1. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – Изд. 2-е – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
2. Физические величины. Справочник. / А.П. Баби́чев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
3. Казанцев, Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и Теплопроектирования / Е.И. Казанцев. – Изд. 2-е. – М.: «Металлургия», 1975.- 368 с.

## Основные принципы работы с трёхмерными сканами отливок в Geomagic Design X

Студенты гр. 10404123 Усович Н. П., Самойленко Н. Д., Кукса М.Р.

Научный руководитель - Дикун А. О.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Сканирование отливок представляет собой важный аспект современного литейного производства, где применение специализированных трехмерных сканеров обеспечивает возможность создания высокоточных цифровых репрезентаций физических объектов. Эти сканы охватывают как внешние геометрические особенности, так и внутреннюю структуру отливок. Основной значимостью сканов отливок является их роль в обеспечении контроля качества и геометрической точности изготовленных отливок. Данный аспект критичен для обеспечения стабильности и точности в процессе производства, что имеет прямое отношение к качеству конечных изделий. Кроме того, сканы отливок способствуют созданию реалистичных цифровых моделей, которые могут быть использованы для проведения анализа, модификации и визуализации. В результате применения сканов отливок в производственных процессах возможно увеличение эффективности и снижение уровня производственных дефектов. Следовательно, эти технологии играют ключевую роль в современном литейном производстве, способствуя его технической и инновационной конкурентоспособности. Одним из более популярных программных обеспечений для скана отливок является Geomagic Design X [1].

Geomagic Design X представляет собой программное обеспечение, призванное облегчить процесс трехмерного моделирования на основе сканированных данных. Это программное обеспечение обеспечивает возможность импорта трехмерных сканов в различных форматах, таких как STL, OBJ, PLY и RAW. После импорта сканов пользователь сталкивается с облаком точек, которое требует обработки перед превращением в реалистичные модели.

Процесс обработки облака точек включает в себя удаление нежелательных точек, фильтрацию шума и выравнивание сканов для обеспечения их правильного сопоставления и высокого качества [2]. После этой предварительной обработки пользователь переходит к созданию полигональной сетки, которая представляет собой преобразование точек в поверхности. Интуитивный интерфейс Geomagic Design X делает этот процесс достаточно простым и понятным несмотря на то, что он требует определенного времени и усилий. Однако создание сетки – это только первый этап. Затем начинается процесс редактирования (Рисунок 1), в рамках которого производится изменение формы, удаление ненужных деталей и сглаживание поверхности, для достижения желаемого вида. После завершения редактирования модель может быть экспортирована в различные форматы, такие как STEP или IGES, для последующего использования в других приложениях или системах CAD/CAM (Рисунок 2).

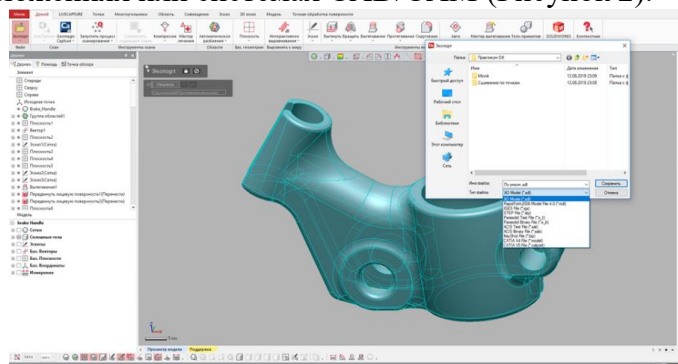


Рисунок 1 – Обработка данных сканирования



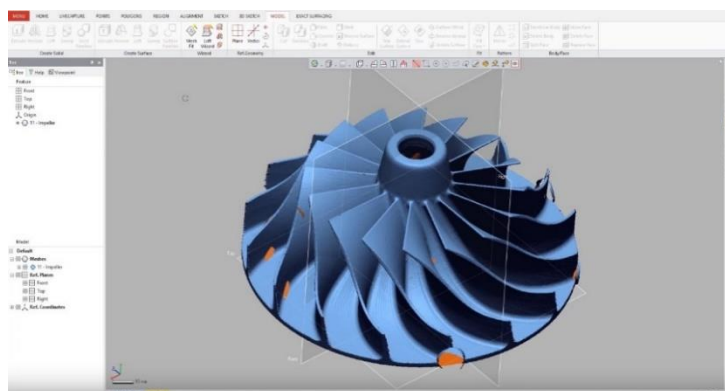


Рисунок 2 – отправка результатов в CAD

Geomagic Design X также находит применение в литейном производстве благодаря своим возможностям преобразования сканированных данных в готовые для литья модели. После завершения процесса моделирования и редактирования, пользователь может использовать полученные модели для создания форм и моделей для литья. Это позволяет сократить время и затраты на создание литейных форм, а также улучшить качество и точность изготовленных деталей. Благодаря Geomagic Design X литейные производства могут эффективно использовать данные сканирования для создания высококачественных литейных форм и деталей, что способствует повышению производительности и конкурентоспособности предприятия.

Таким образом, Geomagic Design X не только упрощает процесс работы с трехмерными сканами, но и открывает перед пользователями множество возможностей для создания и анализа трехмерных моделей.

#### **Список использованных источников**

1. Применение ручных 3D-сканеров на предприятиях литейной отрасли // globatek.ru URL: <https://globatek.ru/> (дата обращения: 16.01.2011).
2. Geomagic design X // importprom.com URL: <https://importprom.com/> (дата обращения: 14.03.2008).

## Разновидности и принцип работы трёхмерных сканеров, применяемых для контроля геометрии в литейном производстве

Студенты гр. 10404123 Кукса М.Р., Усович Н.П., Самойленко Н.Д.

Научный руководитель - Дикун А.О.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Приход в последнее десятилетие 3D технологий в сферу производственной деятельности открывает все новые и новые возможности. Создание 3D моделей наиболее сложных деталей или отливок становится глобальным проектом, реализуемым сегодня международными организациями. Особое направление в рамках этой глобальной тенденции – оцифровка сложных элементов различных типов конструкций.

Возможности дистанционной работы с 3D объектами, размещенными в сети интернет, во много раз увеличивают скорость обмена научной и производственной информацией позволяют оптимизировать и усовершенствовать работу конструкторских и технологических отделов.

Постоянное развитие технологий делает возможным последовательное сокращение трудоёмкости изготовления сложных отливок в литейном производстве и сильно расширяет возможности работы со сложными объектами [1].

Одним из таких новшеств развития современных литейных технологий явилось 3D сканирование объектов для их последующей обработки полученного облака точек в САД системах.

3D сканирование находит широкое применение в промышленности, медицине и в быту. Более того, многие современные производственные процессы не могут обойтись без автоматизации и контроля. В этих случаях наряду с компьютерным зрением приходит технология 3D сканирования.

3D-сканеры можно разделить на два типа: Контактные и, бесконтактные.

К первому типу сканеров относятся СММ (coordinate measuring machine - координатно-измерительные машины) (рис.1).

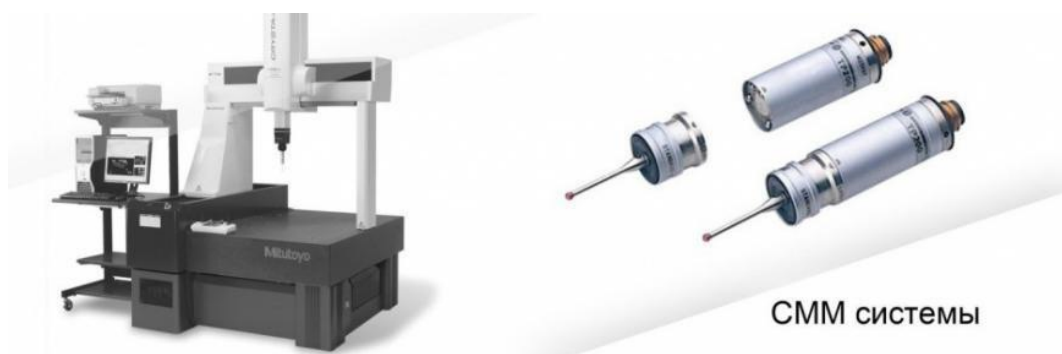


Рисунок 1 – Контактный сканер

Эти устройства напоминают промышленные ЧПУ станки, на массивном основании, но вместо шпинделя крепится измерительная головка с рубиновым шариком на конце. Сканирование, или контроль геометрических размеров производится контактным способом. Щуп медленно подходит к измеряемому объекту, регистрируя малейшее касание.

Так же существуют системы с подвижными “суставами”, в которых установлены высокоточные энкодеры. При перемещении сканирующего органа оператором эти датчики фиксируют перемещение всей системы и на основе этих данных строит трехмерную модель изделия [2].

Данные сканеры широко применяются на высокоточных производствах для контроля геометрических размеров выпускаемой продукции. Так же при помощи данных устройств можно произвести “полное” сканирование и получить облако точек.

Но данная технология не идеальна, и имеет ряд ограничений, таких как:

- Низкая скорость сканирования;
- Невозможно (чаще всего) сканировать поднутрения и малые отверстия;
- Установки стационарны и массивны.

Сканеры второго типа являются бесконтактными и делятся на несколько типов по способу сканирования. Условно их можно разделить на лазерные и оптические.

Основная часть лазерных сканеров (рис. 2) работает на принципе триангуляции. Суть триангуляционных 3D сканеров состоит в том, что высоко контрастная камера ищет лазерный луч на поверхности объекта и измеряет расстояние до него. При этом оптическая ось камеры и лазера разнесены, а расстояние между ними и угол заведомо известны. Таким образом, путем геометрических измерений мы можем достаточно точно измерить расстояние до объекта, быстро получив облако точек. Этот класс устройств имеет ограничения по дальности сканирования, но при этом сканирует объекты с высокой точностью.

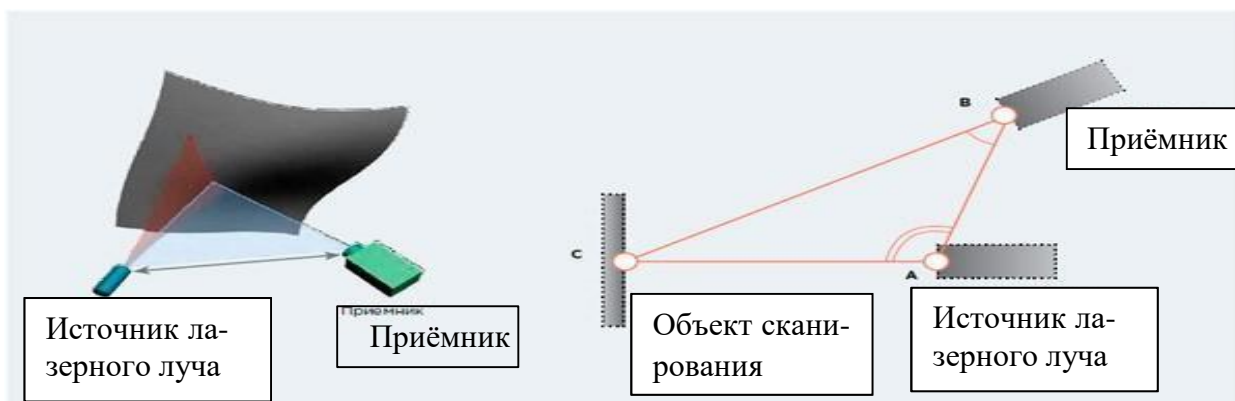


Рисунок 2 – Лазерный сканер

В отличие от промышленных сканеров, стоимость данных устройств более демократична, и более доступна. Эти сканеры идеально подходят для сканирования не больших объектов, например изделий художественного литья, для последующей печати моделей на 3D принтере или получения 3D модели для последующего её изменения или компьютерных симуляций (например, для моделирования процессов заливки).

К другому типу лазерных сканеров относятся сканеры, основанные на измерении времени отклика лазерного луча от поверхности объекта. Данные виды сканеров имеют принцип работы похожий на лазерный дальномер. Они позволяют быстро оцифровывать окружающее пространство крупных и массивных отливок или их макетов.

Главным недостатком этих систем является сложность подсчета времени отклика лазерного луча на малых расстояниях (менее метра). Поэтому данные сканеры применяются в большей части только для сканирования особо крупных и массивных изделий, таких как станины крупных станков и агрегатов, металлических монументов художественного и паркового литья корпусов карьерного оборудования.

Переходя к оптическим сканерам (рис.3), необходимо отметить сканеры, основанные на методе сканирования структурированным светом. Эти устройства представляют собой одну или две камеры в связке с проектором. При засветке сканируемого объекта “зеброй” или черно-белыми квадратами, которые расположены в шахматном порядке, камеры анализируют искривления полученной картинки и на основе этих данных строят 3D модель.

Этот метод широко применяется для реверс-инжиниринга, сканирования ювелирных украшений, часто применяется для сканирования мелких отливок.

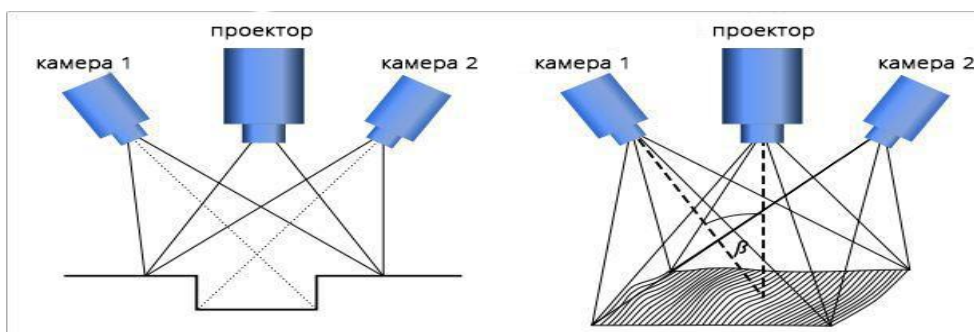


Рисунок 3 – Оптический сканер

К недостаткам данной технологии можно было бы отнести ограничение по возможности сканирования крупных объектов, но данная задача эффективно решается путем нанесения на объект специальных маркеров, которые позволяют сканировать большие объекты по частям с последующей “склеивкой” модели.



Рисунок 4 – Ручные сканеры

Стоит отметить, что существуют и портативные ручные версии сканеров (рис.4), работающие как по лазерной, так и по оптической технологии, обычно это профессиональные устройства, обладающей большой точностью и скоростью сканирования.

Таким образом мы подходим к тому, что 3D сканеры являются достаточно простым и скоростным методом получения 3-х мерной модели уже существующей отливки или экспериментального макета будущей отливки для последующей её доработки, и проведения симуляций необходимых процессов изготовления или иных процессов жизненного цикла литых изделий. При помощи данной технологии так же можно получать цельные 3D модели повреждённых (разбитых или расколотых) отливок.

#### Список использованных источников

1. Принципы работы 3D-сканера. // cvetmir3d.ru URL: <https://cvetmir3d.ru/> (дата обращения: 22.11.2013).
2. Что такое 3D-сканеры // neramsc.ru URL: <https://neramsc.ru/> (дата обращения: 11.07.2013).

## Особенности проектирования системы охлаждения FDM-принтера

Студент гр.10404121 Крыжевич И.С.

Научный руководитель - Дикун А.О.

Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Аддитивные технологии — это производственные процессы, которые основаны на создании объектов путем последовательной экструзии материала послойным методом. В отличие от традиционных методов производства, где материал удаляется из исходного объекта, в аддитивных технологиях материал добавляется точно или слоями на основе цифровой 3D-модели.

Благодаря аддитивным технологиям удается сократить время, путём сокращения числа операций и количества оборудования, что позволяет так же сократить стоимость производства, улучшить качество и создавать детали с более сложными геометрическими формами. Кроме того, аддитивные технологии вносят существенный вклад в производство, позволяя использовать только необходимое количество материала и минимизировать отходы [1].

Принцип работы FFF принтера заключается в том, что филамент (обычно PLA или ABS) подается через экструдер, который нагревает и плавит материал. Затем расплавленный полимер экструдирован на платформу и кристаллизуется, образуя слой изделия. После кристаллизации каждого слоя платформа опускается на один уровень, и процесс повторяется для создания следующего слоя. Таким образом, объект создается путем наложения множества тонких слоев полимера друг на друга [2].

Однако разогретый полимер обладает высокой текучестью, что может привести к деформации модели. Также важно учитывать воздействие термического излучения, испускаемого соплом: перемещение экструдера над слоем полимера может привести к деформации слоя, что в свою очередь может привести к дефектам в печатаемой модели.

Для интенсификации процесса кристаллизации полимерного материала и обеспечения требуемой прочности соединения наплавляемого материала с нижележащим слоем предлагается использовать охлаждения зоны наплавки потоком воздуха через специальное сопло охлаждения [3].

Материал	Температура плавления	Температура стеклования
ABS	255 °C	105 °C
PLA	215 °C	65 °C
PET(G)	230 °C	75 °C

Рисунок 1 - Температурные режимы полимерных материалов.

При этом следует учитывать:

1. Тип полимера: ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) и PETG (Полиэтилентерефталат-гликоль) обладают высокой температурой плавления и требуют менее интенсивного охлаждения. Детали из PLA (полилактида) требуют высокоинтенсивного охлаждения (Рисунок 1).

2. Геометрические размеры модели: при печати малогабаритных деталей тепловое излучение от сопла, перемещающегося на небольшой площади печати препятствует полной кристаллизации слоев полимера. Соответственно, печать объекта с малой площадью поверхности

должно происходить с охлаждением, интенсивность которого будет тем выше, чем меньше размер зоны печати (Рисунок 2).

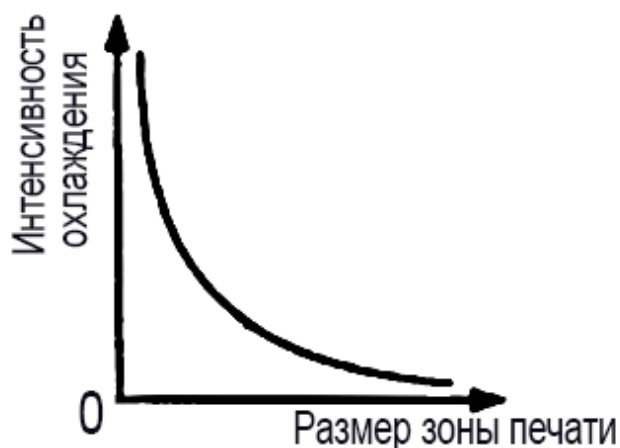


Рисунок 2 – График зависимости интенсивности охлаждения от размера зоны печати.

Геометрическая форма печатаемого объекта. Модели с малогабаритными, ажурными элементами, а также модели, печатаемые с заполнением полимером менее 30% требуют высокоинтенсивного охлаждения. Соответственно, печать объекта должно происходить с охлаждением, интенсивность которого будет тем выше, чем меньше процент заполнения полимером (Рисунок 3).



Рисунок 3 – График зависимости интенсивности охлаждения от процента заполнения

Исходя из вышеописанного, можно сделать следующий вывод: при проектировании системы охлаждения необходимо добиться температурного баланса так, чтобы экструзия материала производилась беспрепятственно, а полимер интенсивно кристаллизовался, обеспечивая точные габаритные размеры и качественную поверхность 3D-детали.

#### Список использованных источников

1. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров // Химия – 2005.
2. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications" by Ben Redwood, Filemon Schöffner, Brian Garret.
3. D-печать. Моделирование и печать на 3D-принтере - Игорь Пантелеев.

# **Машины и технология обработки металлов давлением**

**Сортамент продукции, получаемой волочением**

Студенты гр. 10402220: Прохиро А. Д., Булва М. А., Гао Цзинчао

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В волочении речь идет о процессе обработки материалов, в результате которого они подвергаются деформации путем вытягивания или сжатия. Этот процесс может применяться для металлических, пластиковых и других материалов. Принцип работы заключается в том, что материал подвергается воздействию силы, которая приводит к его деформации. Важными параметрами в процессе волочения являются скорость деформации, температура окружающей среды, механические свойства материала и размеры рабочих инструментов.

Применение волочения включает в себя производство проволоки, труб, профилей различных форм и других изделий. Например, в производстве металлической проволоки материал пропускают через специальные пресс-валки или протяжные машины, что позволяет получить проволоку заданного диаметра [1].

Основным видом продукции, получаемой волочением, является проволока разной формы поперечного сечения. Наиболее распространена круглая проволока. По ГОСТ 2333–57 производят круглую проволоку толстую  $\varnothing$  6,0–8,0 мм, среднюю  $\varnothing$  1,6–6,0 мм, тонкую  $\varnothing$  0,4–1,6 мм, тончайшую  $\varnothing$  0,1–0,4 мм и наитончайшую диаметром менее 0,1 мм. Минимальный диаметр проволоки равен 0,005 мм. В сортамент входит более 7000 типоразмеров стальной проволоки. В общем выпуске наибольшую долю занимает проволока обыкновенного качества, изготавливаемая из низкоуглеродистых или низколегированных марок стали. Однако опережающими темпами развивается производство проволоки повышенной и высокой прочности с пределом прочности до 4000 кН/мм<sup>2</sup> и выше из высоко- и среднеуглеродистых марок стали. Повышаются требования к металлокорду, канатам, арматуре и другим ответственным изделиям, требующим высокопрочную проволоку.

Интенсивно наращивается производство стальной проволоки с покрытием в виде цинка, алюминия, хрома, пластмасс и лаков. Все больше требуется стальной проволоки с медным покрытием, применяемой на сварочных автоматах. Растет также потребность в проволоке из цветных металлов – алюминия, латуни, никеля, цинка и др. В данном разделе мы будем рассматривать только традиционную технологию производства стальной проволоки из углеродистых марок стали, так как по объему производства она значительно превышает проволоку из легированных сталей и цветных металлов.

Группу продукции, при производстве которых волочение является главной технологической операцией, составляют точные фасонные профили. Объем их производства невелик, но по номенклатуре изделий они весьма разнообразны. В сортаменте некоторых зарубежных стран содержится более 10000 профилеразмеров точных фасонных профилей. Существует несколько технологических схем их производства. Наиболее распространены следующие:

- горячая прокатка или горячее прессование – волочение;
- горячая прокатка (прессование) – холодная прокатка – волочение;
- горячая прокатка (прессование) – волочение – волочение;
- горячая прокатка (прессование) – волочение в роликовых волоках;
- горячая прокатка – волочение – операции резания и шлифовки и т. д. [2].

Точные фасонные профили относятся к группе дорогой продукции. Они значительно сокращают расход металла у потребителя, позволяют экономить на трудозатратах и увеличивать производительность при изготовлении машиностроительных деталей.



### **Список использованных источников**

1 Климов, К. М. Альтернативные пути получения прутков и проволоки / К. М. Климов // *Металлург.* – 2007. – № 9. – С 47–49.

2 Рудской А. И. Волочение / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо // СПб.: изд-во политехн. ун-та. – 2011. – С 49–50.

**Формообразующие магнитно-импульсные операции**

Студент гр. 10402222 Корневский А. Р.

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Процесс магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ) основан на преобразовании электрической энергии, запасенной в накопителе, в переменное магнитное поле, выполняющее работу пластической деформации заготовки или разгоняющее твердое тело. Подавляющее большинство магнитно-импульсных установок (МИУ) имеет емкостной накопитель энергии в батарею конденсаторов [1].

Принципиальная схема установки с емкостным накопителем энергии (рисунок 1).

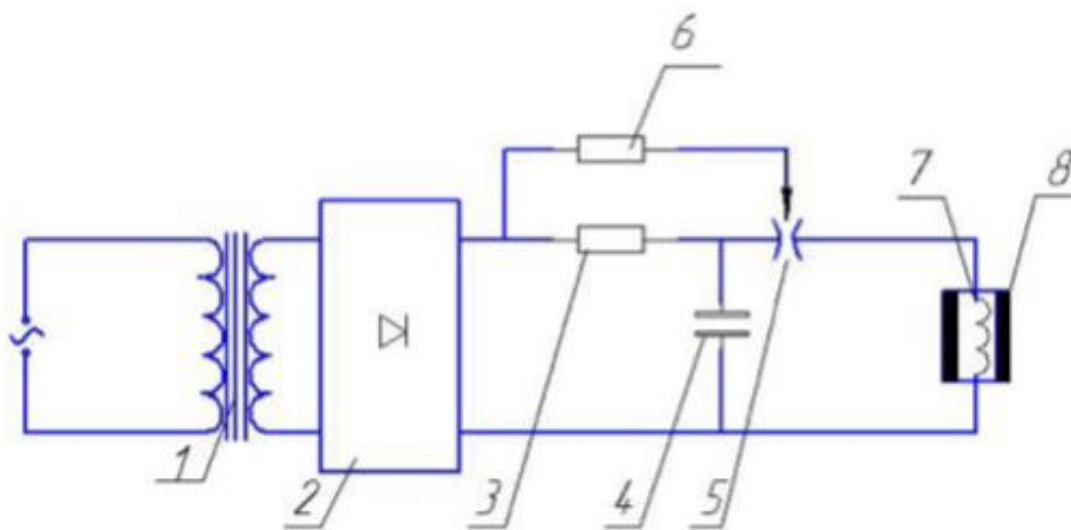


Рисунок 1 – Принципиальная схема магнитно-импульсной установки:

1 – повышающий трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – зарядное сопротивление; 4 – батарея конденсаторов; 5 – коммутатор; 6 – блок управления; 7 – индуктор; 8 – деталь

При включении установки в сеть конденсаторная батарея 4 с помощью зарядно-выпрямительного устройства, включающего в себя повышающий трансформатор 1, выпрямитель 2 и зарядное сопротивление 3, заряжается до заданного регулятором запасаемой энергии б напряжения, составляющего от единиц до десятков тысяч вольт. Сила взаимодействия проводников увеличивается по мере роста силы тока в проводниках и уменьшения расстояния между ними. Кроме того, эффективность силового воздействия на заготовку при магнитно-импульсной обработке существенно зависит от электропроводности материала. Батарея конденсаторов магнитно-импульсной установки заряжается до напряжения, составляющего 5...20 тысяч вольт, поэтому минимальная величина изоляционного зазора б между заготовкой и индуктором определяется электрической прочностью изоляции индуктора. Кроме того, индуктор должен иметь защитный слой, предохраняющий изоляцию от механических повреждений, и обеспечивать возможность обработки любой заготовки, имеющей размеры в поле допуска при обработке цилиндрических деталей. На практике величина изоляционного зазора между индуктором и заготовкой составляет  $b = 1,5 \dots 3$  мм. Поскольку токи в индукторе и заготовке распределяются по их толщине, то электродинамические силы взаимодействия индуктора и заготовки имеют объемный характер.

Если толщина заготовки  $s$  превышает величину скинслоя в заготовке, то в формуле ( $Hm$   $2 = 0$ ). Если толщина заготовки меньше величины скинслоя, то при подлете заготовки к металлической матрице проникающее через заготовку магнитное поле подвергается сжатию и оказывает противодействие на заготовку, что препятствует оформлению заготовки по матрице. Это явление в литературе называют «эффектом магнитной подушки». Для снижения негативного влияния проникновения магнитного поля через стенку заготовки следует обеспечивать такую частоту разрядного тока, при которой скинслоем в заготовке меньше ее толщины, или использовать матрицы, изготовленные из диэлектрических материалов.

Для создания электродинамических сил, способных деформировать обрабатываемую заготовку, необходимо обеспечить протекание по индуктору тока силой порядка десятков и сотен тысяч ампер. Естественно, что при протекании столь мощных токов в индукторе и заготовке выделяется тепло [2,3,4]. Следовательно, при магнитно-импульсной обработке силовое воздействие на заготовку сопровождается ее нагревом.

Магнитно-импульсная формовка позволяет деформировать как всю заготовку в целом, так и ее часть. Так формовка переходников на концах длинномерных труб позволяет сократить количество сварных швов на трубопроводе, что повышает его надежность и снижает производственные затраты.

По форме заготовок процессы делятся на формовку трубчатых заготовок и формовку листовых заготовок. На (рисунке 2) представлены типовые цилиндрические детали, получаемые магнитно-импульсной формовкой.

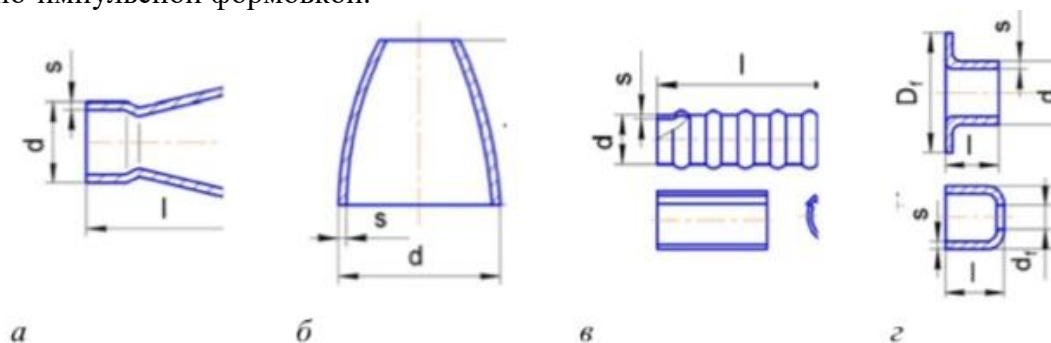


Рисунок 2 – Типовые операции магнитно-импульсной формовки трубчатых заготовок. Особенностью изготовления переходников сложного контура является неравномерность деформации по периметру заготовки.

Деформация заготовки распределяется пропорционально величине зазора между заготовкой и оправкой или матрицей. В связи с этим остаточные напряжения в детали также распределяются неравномерно по периметру и сечению. Деталь после формовки искажена, например, принимает форму эллипса. Для исправления этого дефекта применяют последующую калибровку детали. При этом энергия разряда калибрующего импульса должна быть на 20...40% выше формующего. Следовательно, отличительной чертой изготовления деталей сложной формы является то, что требования по точности их изготовления могут быть обеспечены только при использовании двух или более импульсов.

Особенностью изготовления переходников сложного контура является неравномерность деформации по периметру заготовки.

Деформация заготовки распределяется пропорционально величине зазора между заготовкой и оправкой или матрицей. В связи с этим остаточные напряжения в детали также распределяются неравномерно по периметру и сечению. Деталь после формовки искажена, например, принимает форму эллипса. Для исправления этого дефекта применяют последующую калибровку детали. При этом энергия разряда калибрующего импульса должна быть на 20...40% выше формующего. Следовательно, отличительной чертой изготовления деталей

сложной формы является то, что требования по точности их изготовления могут быть обеспечены только при использовании двух или более импульсов.

#### **Список использованных источников**

1 Глущенко, В. А. Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глущенко. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

2 Прокофьев, А. Б. Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

3 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

4 Глущенко, В.А., Технология магнитно-импульсной обработки материалов: монография / В.А. Глущенко, В.Ф. Карпухин. – Самара: Изд. дом «Федоров», 2014. – 208 с.

**Особенности компьютерного моделирования комбинированных операций электрогидроимпульсной штамповки в комплексе LS-DYNA**

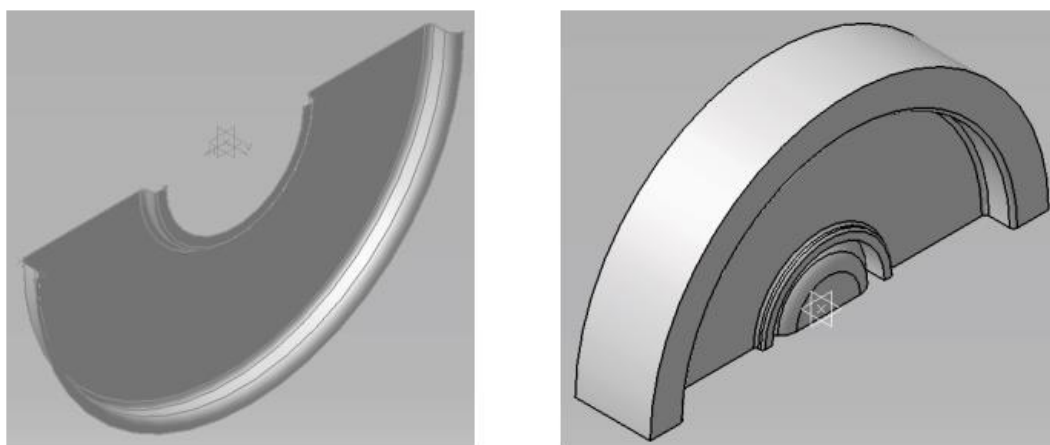
Студенты гр. 10402220: Якубчик Н.Г., Комар А.В.

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разрушение заготовки при разделительных операциях обработки металлов давлением (ОМД) являются одним из наиболее сложных и наименее изученных разделов теории ОМД. Задачи разрушения характеризуются нелинейностью дифференциальных уравнений, краевых условий, физической нелинейностью поведения металла, геометрической нелинейностью, большими пластическими деформациями, а также требуют задания комплекса физико-механических характеристик материала, определяющих трение, упругое и пластическое поведение, упрочнение и разрушение [1]. Надежные экспериментальные исследования очага деформации также проблематичны [2]. Развитие вычислительных методов механики разрушения, создание конечно-элементных программных комплексов, использующих такие методы, например, комплекс LS-DYNA [3]. Данный комплекс позволяет в настоящее время достаточно точно решать задачи для квазистатических и динамических процессов листовой штамповки. С точки зрения проектирования технологических процессов при этом сложность увеличивается для комбинированных операций, когда вместе с разделительной операцией присутствует формообразующая операция, особенно для процессов импульсной штамповки. В настоящее время в литературе практически отсутствуют рекомендации по проектированию таких процессов. Поэтому целью данной работы была разработка подхода и методики компьютерного моделирования комбинированных операций электрогидроимпульсной штамповки в комплексе LS-DYNA.

Для достижения поставленной цели рассмотрен пример компьютерного моделирования в конечно-элементном (КЭ) комплексе LS-DYNA осесимметричной детали «крышка двигателя» из стали 12X13C2M2 толщиной 1 мм, изготавливаемой методом комбинированной электрогидроимпульсной штамповки (ЭГИШ) рисунок 1 (а). Диаметр детали 155 мм, а отношение минимального радиуса закругления к толщине менее 1.5 мм. На рисунке 1 (б) показана матрица для комбинированной штамповки детали, предусматривающая комбинирование формообразование рельефа и пробивки центрального отверстия.



а) б)

Рисунок 1 – Деталь «Крышка двигателя»:

а – геометрическая модель детали;

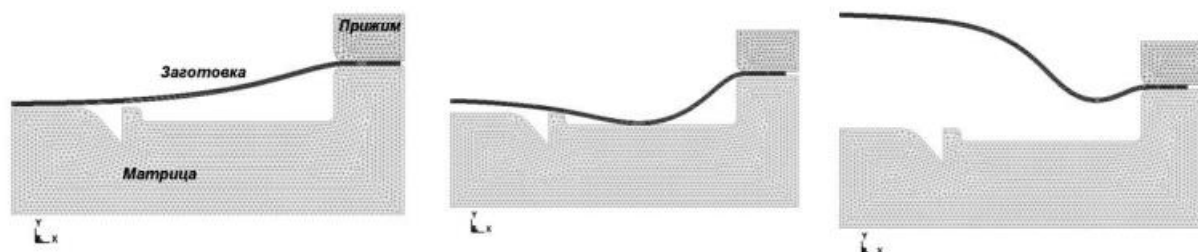
б – возможная матрица для штамповки при совмещенном комбинировании

С точки зрения максимальной информации компьютерного моделирования оптимальным является «полный» компьютерный расчет с учетом переходных процессов в разрядном контуре, динамикой развития плазменного канала в жидкости, учетом гидродинамики сжимаемой жидкости, ее взаимодействием с камерой и заготовкой, взаимодействием заготовки с матрицей. Аналог такого расчета представлен в работе [4] и требует достаточно сложное программирование модели, а также суперкомпьютера для ее реализации. Поэтому для упрощения в инженерных расчетах примелась модель безмоментной оболочки при заданном законе импульсного давления [5]. Для данной детали модель безмоментной оболочки по типу ThinShell 163 не пригодна, и необходимо решать объемную задачу. С учетом формы детали можно считать осесимметричный вариант по типу 2DSolid 162, который также сможет учесть волновое взаимодействие заготовки с матрицей, что не учитывается в случае использования безмоментной оболочки.

Вторым важным моментом является оценка возможности задания давления при расчете нагружения заготовки при использовании объемной осесимметричной заготовки.

Результаты компьютерного расчета с полусинусоидальным импульсом давления длительностью 4 мс для осесимметричной заготовки (рисунок 2). На рисунке показаны характерные моменты взаимодействия заготовки с рельефом матрицы: а) заготовка до соприкосновения с рельефом матрицы, б) соприкосновение заготовки с матрицей, в) отскок заготовки от матрицы. Реально при ЭГИШ такого не происходит. Вода тормозит отскок заготовки. Поэтому максимально упрощенный подход к моделированию с заданием детерминированного давления – не пригоден.

Предложен новый упрощенный подход, с наличием жидкости (рисунок 3). Варьируя массой поршня, высотой жидкости и скоростью перемещения поршня можно получить широкий спектр параметров импульсного давления и определить требуемые величины параметров.

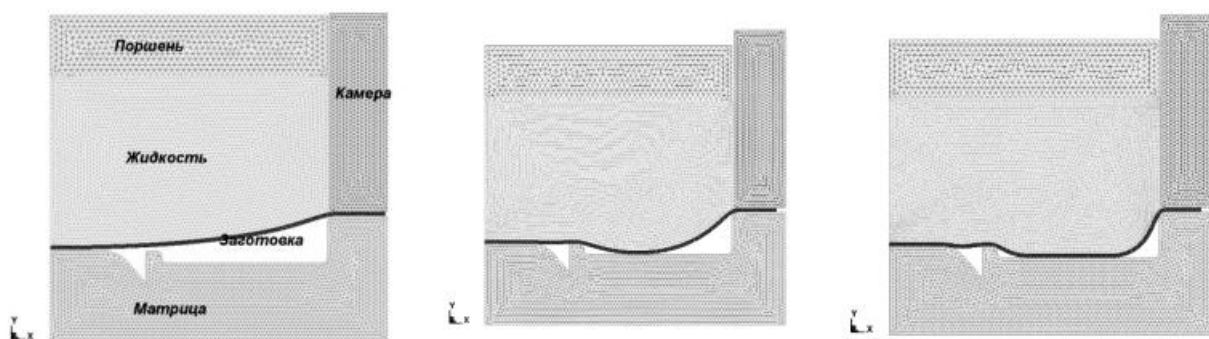


а) б)в)

Рисунок 2 – Взаимодействие заготовки с матрицей:

а – заготовка до соприкосновения с рельефом матрицы;

б – соприкосновение заготовки с матрицей; в – отскок заготовки от матрицы



а) б)в)

Рисунок 3 – Взаимодействие заготовки с матрицей при наличии жидкости:

а – заготовка до соприкосновения с рельефом матрицы;

б – соприкосновение заготовки с матрицей; в – заполнение рельефа матрицы

Разработан подход и методика компьютерного моделирования комбинированных операций электрогидроимпульсной штамповки в комплексе LS-DYNA. Установлено, что применении безмоментных оболочек в качестве модели заготовки не может быть использовано при расчете высокоскоростного взаимодействия заготовки с матрицей. Показано, что задание нагрузки в виде закона давления в случае объемной заготовки не дает возможности корректного расчета.

#### **Список использованных источников**

1 Морозов, Г. М. Метод конечных элементов в механике разрушения / Г. М. Морозов, Г. П. Никишков. – М. : Наука, 1980. – 256 с.

2 Смирнов-Аляев, Г. А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г. А. Смирнов-Аляев, В. П. Чикидовский. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360 с.

3 Improving standard shell elements, friction models and contact algorithms for the efficient solution of sheet metal forming problems with LS-DYNA 3D / J. O. Hallquist, K. Schweizerhof, K. Weimar, D. W. Stillman // VDI Berichte. – 1991. – N 89. – P. 499 – 515.

4 Mamutov, V. S. Mechanics of loading and deforming of thin-sheet blank at electrohydraulic forming / V. S. Mamutov, G. N. Zdor // International Review of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 11, No. 5. – P. 332 – 336.

5 Мамутов, В. С. Электрогидроимпульсная вытяжка в закрытую матрицу с плоским дном при различных параметрах нагружения заготовки / В. С. Мамутов, К. С. Арсентьева // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2018. – № 7. – С. 569 – 580.

## **Применение электрогидравлического эффекта в автомобильной промышленности**

Студенты группы 10402222 Инжеватов М. П., Овсепян Д. З., Костевич В. С.

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одной из важнейших задач современной автомобильной промышленности является повышение качества, снижение материалоёмкости, энергопотребления. Автомобильная промышленность производит приблизительно 100 миллионов автомобилей ежегодно, каждый из которых содержит 500 килограммов штампованных деталей из листового металла. С целью уменьшения веса и сокращения расхода топлива в автомобильной промышленности перспективно использование легких материалов (высокопрочных сталей и сплавов алюминия) при изготовлении тонких корпусов и приборных панелей автомобилей.

Однако высокопрочные стали и сплавы алюминия имеют низкую пластичность, что затрудняет использование традиционных технологических процессов штамповки. Для решения этой проблемы разработаны импульсные методы штамповки для легких листовых материалов, такие как взрывная, электромагнитная и электрогидравлическая штамповок [1].

Цель данной работы: проанализировать известные методы формования материалов тонких автомобильных панелей, выявить из них самый высокоэффективный метод. Сущность процесса штамповки взрывом состоит в том, что при взрыве происходит резкий скачок давления в воде, образующаяся при этом энергия используется для формовки изделий.

Взрывная штамповка является одним из самых высокоскоростных технологических процессов. Однако взрывная штамповка предусматривает использование взрывчатых веществ, что повышает опасность производства. Электромагнитная штамповка заключается в использовании электромеханических сил, возникающих в результате взаимодействия магнитных полей индуктора и заготовки, отталкивающих их друг от друга с высокой скоростью за очень короткий промежуток времени, при этом заготовка деформируется по матрице.

Недостатком электромагнитной штамповки является то, что технология позволяет использовать только материалы с высокой электропроводностью. Недостатки взрывной и электромагнитной штамповки преодолены в технологическом процессе электрогидравлического формования, основанного на электрогидравлическом эффекте. Электрогидравлический эффект состоит в возникновении сверхвысоких импульсных гидравлических давлений при высоковольтном электрическом разряде в жидкой среде [2].

Устройство для электрогидравлического формования (штамповки, вытяжки) выполнено в виде матрицы 4 с полостью 3, заполненной воздухом или находящейся под вакуумом (рисунок 1). Крышкой полости служит деформируемый листовый материал 2. Над деформируемым листом расположена камера с рабочей жидкостью 5 и рабочими электродами 1. Разряд осуществляется между двумя электродами или между электродом и деформируемым листом. Во время процесса электрогидравлического формования накопленная на конденсаторе электрическая энергия разряжается на электроды 1, которые находятся в заполненной рабочей жидкостью 5 камере.

Небольшое количество жидкости между кончиками электродов 1 начинает испаряться, образуя плазменный канал. Электрический ток продолжает идти по каналу, преобразуя электрическую энергию во внутреннюю энергию плазменного пузыря. Это происходит за очень короткий промежуток времени (обычно менее 100 микросекунд). Затем начинается взрывное расширение канала путем образования высокоскоростных ударных волн в жидкости, что и вдавливают заготовку 2 в матрицу 4 через вакуумную полость 3.



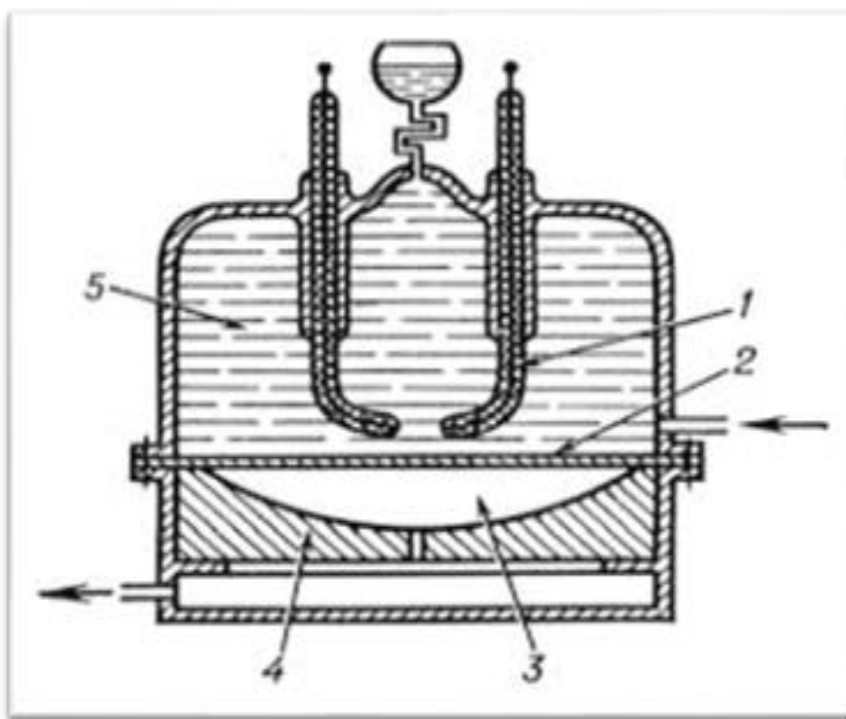


Рисунок 1 – Схема устройства электрогидравлической штамповки:  
1 – электроды; 2 – заготовка; 3 – вакуумная полость; 4 – матрица; 5 – рабочая жидкость

Метод позволяет получать легкие тонкостенные (толщиной до 5 мм) изделия с габаритными размерами до 1800 мм. Проведенный анализ импульсных методов штамповки показал, что наиболее перспективной технологией для формирования листовых заготовок из высокопрочных сталей и сплавов алюминия при изготовлении тонких корпусов и приборных панелей автомобилей является электрогидравлический метод [3].

Однако использование данной технологии в серийном производстве ограничено необходимостью замены рабочей жидкости перед изготовлением каждого изделия, что снижает скорость производства. Для внедрения электрогидравлической технологии в серийном производстве в настоящее время ведутся работы, направленные на решение проблемы замены рабочей жидкости и автоматизацию технологического процесса.

#### Список использованных источников

1 Кляйнер, М. Электромагнитное формование / М. Кляйнер. – Бостон: Журнал технологии обработки материалов, 2011. – 829 с.

2 Мамутов, А. В. Электрогидравлическое формование легких автомобильных панелей / А. В. Мамутов. – Самара: Журнал 7-й Международной конференции по высокоскоростному формованию, 2016. – 13 с.

3 Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Ленинград: «Машиностроение» Ленинградское отделение, 1986. – 254 с.

### Волочение

Студенты гр. 10402222: Старостенко Я.А., Брига Н.В., Буйко М.А.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Волочением – называется способ обработки металла давлением, при котором обрабатываемый металл в виде полосы с одинаковым поперечным сечением вводится в канал волоочильного инструмента и протягивается (проволакивается) через него. Этот канал имеет поперечные сечения, одинаковые по своей форме или близкие к форме поперечного сечения протягиваемого металла, но плавно уменьшающиеся от места входа металла в инструмент к месту его выхода. Выходное сечение канала всегда меньше поперечного сечения протягиваемой полосы. Поэтому последняя, проходя через волоку, деформируется и изменяет свое поперечное сечение, принимая после выхода из волоки форму и размеры наименьшего сечения канала. Длина полосы при этом увеличивается прямо пропорционально уменьшению поперечного сечения. Перед волочением на специальном станке заостряют передний конец полосы, предназначенной для обработки, с таким расчетом, чтобы конец легко входил в волоку и частично выходил с ее противоположной стороны. Этот конец захватывают специальным механизмом и протягивают [1].

Чтобы уменьшить внешнее трение, между поверхностями протягиваемого металла и волоочильного канала вводят смазку. Это уменьшает расход энергии на волочение, способствует получению гладкой поверхности у протягиваемого металла, сильно уменьшает износ самого канала и позволяет осуществлять процесс с повышенными степенями деформации.

Для уменьшения внешнего трения и повышения стойкости канала часто применяют метод волочения с противо натяжением. Сущность его заключается в следующем. К протягиваемому металлу со стороны входа его в волоку прикладывают силу, направленную в сторону, противоположную движению металла, и потому называемую противо натяжением. От этого в полосе еще до ее входа в волоочильный канал в осевом направлении создаются растягивающие напряжения. Они вызывают, как это будет доказано далее, уменьшение давления металла на стенки канала, что, естественно, увеличивает стойкость последнего.

Этот метод имеет и некоторые недостатки, отмеченные далее, и потому не всегда применяется.

В большинстве случаев металл, обрабатываемый волочением, предварительно не нагревают: он входит в волоочильный канал при комнатной температуре, а образующееся в канале тепло деформации и внешнего трения отводят, непрерывно омывая волоки охлаждающей эмульсией, водой, или окружающим воздухом. При таком холодном волочении с надлежащей смазкой и инструментом протянутый металл имеет гладкую блестящую поверхность и достаточно точные размеры поперечного сечения.

В некоторых специальных случаях, когда деформируемый металл обладает недостаточной пластичностью, при комнатной температуре или высоким сопротивлением деформированию, волочение ведут в предварительно нагретом состоянии. Например, при волочении цинковой проволоки для увеличения пластичности заготовки ее предварительно подогревают до 80 – 90 °С, погружая моток в нагретую воду. В очаге деформации температура проволоки доходит до 120 – 150 °С, т. е. до температуры, при которой образуется максимальное количество систем скольжения [2].

При волочении вольфрама и молибдена, имеющих при комнатной температуре особо высокую сопротивляемость пластическому деформированию, их предварительно нагревают

до 700 – 800°C, пропуская протягиваемый металл через нагревательную камеру, установленную перед волокой.

В настоящее время намечается применение процесса горячего волочения при протяжке профилей сложных форм и для уменьшения сопротивления деформированию в тех случаях, когда это допускается требованиями к поверхности, механическим свойствам и точности размеров поперечного сечения [3].

Из приведенных схем волочения следует, что все они обладают тремя следующими, отличающими их от прочих видов обработки металлов давлением признаками:

а) линейные размеры поперечных сечений протягиваемого металла могут уменьшаться до заданных величин во всех направлениях одновременно;

б) возможность получить не изменяющийся по длине полосы как сплошной, так и полый профили почти любой формы и таких чиненных размеров его поперечного сечения, какие позволяет техника изготовления волочильных каналов,

в) величина деформации за один пропуск ограничивается максимально допустимым напряжением растяжения, возникающим в поперечном сечении протягиваемого металла у выхода из очага деформации.

Естественно, что это не ограничивает величины суммарной деформации между отжигами, которой может быть подвергнут металл, обрабатываемый волочением. Путем ряда последовательных протяжек можно получить суммарную деформацию любой величины, в зависимости от пластических свойств протягиваемого металла.

#### **Список использованных источников**

1 Юховец, И. А. Производство высокопрочной проволочной арматуры / И. А. Юховец. – М.: Металлургия, 1973. – 213 с.

2 Хаяк, Г. С. Инструмент для волочения проволоки / Г. С. Хаяк. – М.: Металлургия, 1974. – 128 с.

3 Глуценков, В. А. Технология обработки материалов / В. А. Глуценков. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

**Высокоскоростная штамповка листового металла**

Студенты гр. 30402121: Зарников А. А., Атрощенко А. А., Лобах Д. А., Терзян А. А.

Научный руководитель: Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Штамповка, как технология обработки металлических изделий, обрела большую популярность в промышленности для формирования и обработки металлических изделий.

Она позволяет создавать различные формы и структуры путем деформации металлической заготовки с использованием специальных пресс-форм, называемых штампами. Штамповка является эффективным способом массового производства металлических деталей с высокой точностью и повторяемостью

В процессе исследований влияния различных технологических параметров на пластичность деформируемых металлов выяснилось, что при высоких скоростях деформирования металл становится значительно пластичнее, и лучше, чем при обычной штамповке, заполняет ручей штампа [1].

Основные разновидности высокоскоростной листовой штамповки:

- штамповка взрывом;
- электрогидравлическая;
- электромагнитная.

Особенностью таких методов является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии.

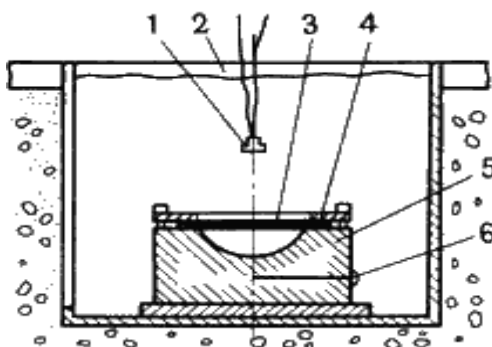


Рисунок 1 – Штамповка взрывом:

- 1 – заряд ВВ; 2 – бассейн; 3 – заготовка; 4 – прижимное кольцо;  
5 – матрица; 6 – вакуумная линия

Штамповка взрывом осуществляется в бассейнах, наполненных водой (рисунок 1). Заготовку 3, зажатую между матрицей 5 и прижимом 4 опускают в бассейн с водой 2, полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумной линии 6, заряд с детонатором 1 подвешивают в воде над заготовкой.

Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон.

Процесс штамповки длится тысячные доли секунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле.

При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста [2].

Электрогидравлическую штамповку также осуществляют в бассейне с водой. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает в электрическом разряде жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее сильное воздействие и деформирует ее по матрице.

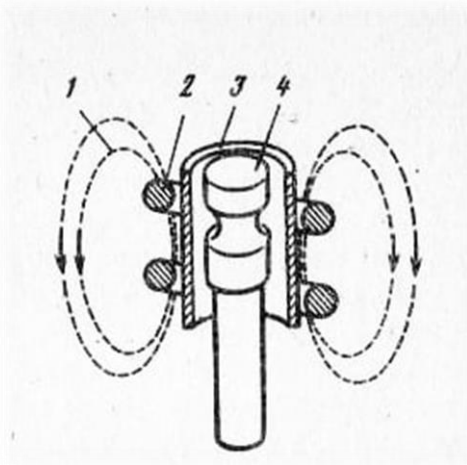


Рисунок 2 – Электромагнитная штамповка:  
1 – магнитное поле; 2 – соленоида; 3 – втулка; 4 – пуансон

Электромагнитная штамповка основана на воздействии на заготовку электромагнитного поля (рисунок 2). Рассмотрим принципиальную схему этого процесса. Если в поле соленоида 2 поместить токопроводящую заготовку 3, то при прохождении импульсного тока возникнут магнитные поля 1 вокруг соленоида и заготовки. В результате взаимодействия этих полей заготовка будет сжиматься в направлении пуансона 4. При очень большом токе в обмотке соленоида силы сжатия могут быть настолько велики, что металл заготовки устремится к поверхности пуансона. За счет пластической деформации заготовка повторит форму поверхности пуансона. В заготовке образуется канавка и получится неразъемное соединение заготовки-втулки 3 и стержня-пуансона 4. В авиастроении такой способ штамповки нашел применение.

Взаимодействие магнитных полей вихревых токов с магнитным полем индуктора создает механические силы, деформирующие заготовку [3].

Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединения деталей.

Основными достоинствами штамповки взрывом являются:

- низкая стоимость оснастки (матрица изготовлена из недорогих материалов);
- небольшие капитальные затраты (не требуется прессовое оборудование);
- высокая точность обработки;
- возможность изготовления деталей сложной формы из трудно деформируемых и хрупких сплавов;
- сокращение числа технологических переходов.

К недостатку относятся не экономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы с взрывчатым веществом.

Электрогидравлическая штамповка – это метод формообразования фасонных изделий из тонколистового материала с использованием ударных волн высокой интенсивности, возникающих при импульсном электрическом разряде в жидкости.

В основе метода лежит электрогидравлический эффект – способ преобразования электрической энергии в механическую при возникновении в объеме жидкости импульсного электрического разряда.

Сущность электрогидравлического эффекта заключается в том, что при высоковольтных импульсных разрядах в жидкости создаются мощные гидравлические давления. Возникающие при этом ультразвуковые явления могут быть использованы для различных технологических целей и, в первую очередь, для штамповки сложных деталей из высокопрочных материалов.

Принципиальные схемы электрогидравлической штамповки и развальцовки труб показаны на рисунке 3.

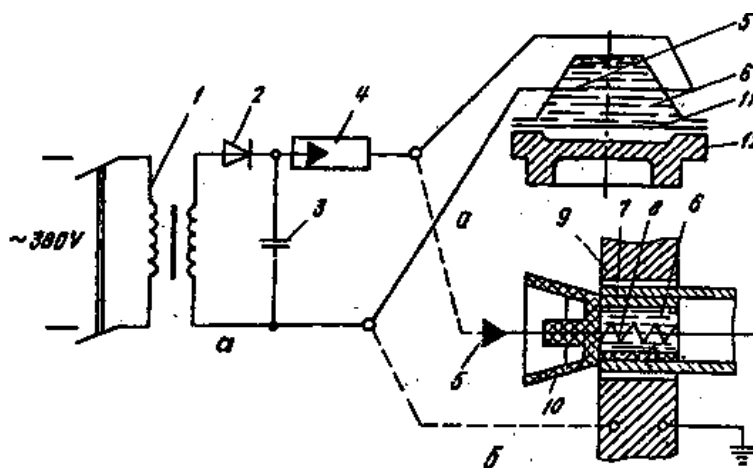


Рисунок – 3 Электрогидравлическая штамповка:

- 1 – трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – конденсаторная батарея; 4 – промежуток;  
 5 – электрод; 6 – жидкость; 7 – труба; 8 – пружина; 9 – трубная доска;  
 10 – патрон; 11 – заготовка; 12 – матрица

При помощи автотрансформатора и высоковольтного трансформатора 1, питающихся от сети переменного тока, напряжение через выпрямитель 2 подается на конденсаторную батарею 3 [4]. Накопленная энергия, благодаря пробоем формирующего промежутка 4 при заданном напряжении, выделяется в рабочем промежутке между двумя электродами 5.

В зависимости от мощности трансформатора время зарядки конденсаторов может быть от десяти долей секунды до десятков секунд.

При этом время разряда измеряется микросекундами. В связи с этим процесс приобретает характер взрыва. При сравнительно небольшой мощности генератора импульсных токов в канале разряда возникают высокие температуры (десятки тысяч градусов) и гидравлические давления до десятков тысяч атмосфер.

При этом возможен непосредственный пробой жидкости 6 или взрыв проводника 3. Последний случай наиболее часто применяется при развальцовке труб 7 в трубной доске 9 с использованием специальных патронов 10. Заготовка 11 в процессе деформирования принимает форму матрицы 12.

Электрогидравлическая штамповка характеризуется рядом последовательно происходящих стадий: формирование проводящего канала между электродами; выделение в зоне канала основной доли энергии, запасенной в конденсаторах; образование волн сжатия и пульсация газового пузыря после разряда; взаимодействие ударной волны и гидротока с заготовкой.

По сравнению с традиционными методами обработки металлов давлением электрогидравлическая штамповка имеет следующие преимущества:

– упрощается и удешевляется технологическая оснастка, что способствует сокращению сроков технологической подготовки производства и уменьшению затрат на освоение новых изделий;

– повышается точность штампуемых деталей из-за уменьшения пружинения и увеличения скорости деформирования;

– появляется дополнительная возможность совмещения ряда операций, выполняемых в одном штампе;

– увеличивается предельная глубина штамповки и критическая степень деформации из-за локализации воздействия и высоких скоростей деформирования; расширяются технологические возможности процесса.

Магнитно-импульсная штамповка характерна тем, что давление на деформируемую металлическую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля, без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных тел. Это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности, а также деформировать заготовки, заключенные в герметическую пластмассовую оболочку [4].

Магнитно-импульсная обработка основана на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока, а в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, помещенной вблизи индуктора (рисунок 4).

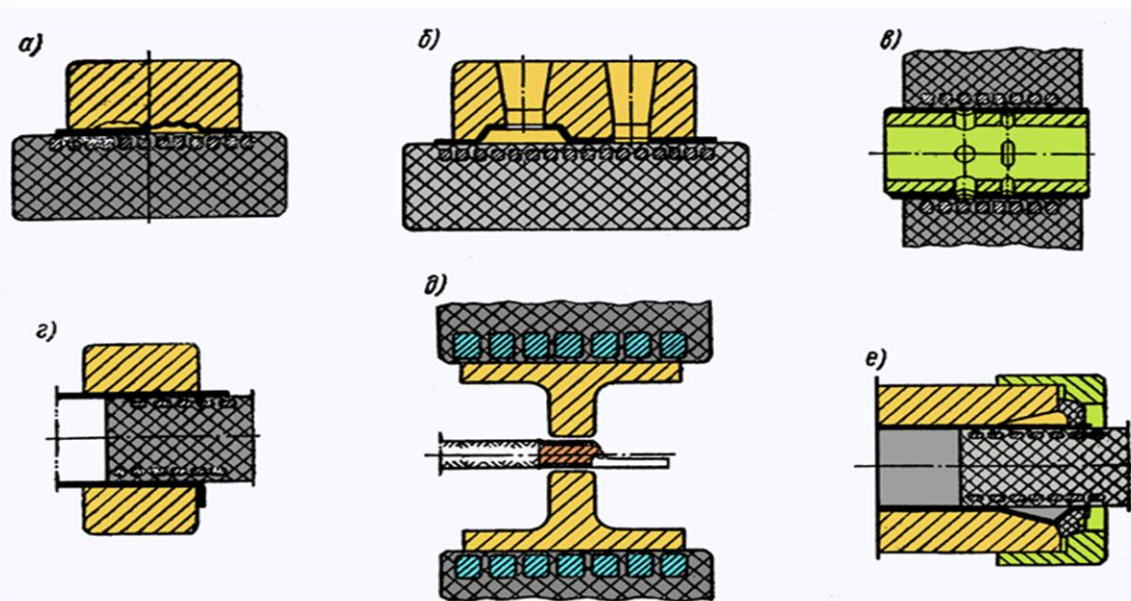


Рисунок 4 – Различные операции, выполняемые магнитно-импульсной штамповкой:

а – формовка, б – пробивка и отбортовка; в – пробивка отверстий;

г – сборка с развальцовкой отбортовкой; д – обжатие кабельных наконечников;

е – раздача трубы и сборка с фланцем

Магнитно-импульсная штамповка имеет ряд преимуществ перед другими высокоэнергетическими методами [4]:

– возможность точного дозирования мощности импульсного разряда путем изменения емкости конденсатора (накопителя);

- повышенная точность штампуемых деталей;
- сравнительно высокая производительность процесса;
- возможность автоматизации и встраивания магнитно-импульсных установок в производственный процесс;
- возможность выполнения сборочных операций;
- возможность деформирования заготовок за несколько разрядных импульсов, причем первые импульсы служат для разогрева заготовки и повышения ее пластичности.

Недостатки:

- сравнительно низкий КПД из-за потерь на нагрев и рассеяние;
- сложность обработки деталей с отверстиями или пазами, мешающими прохождению тока;
- невысокая долговечность индукторов при работе в электрических полях высокой напряженности;
- сложность обработки заготовок больших толщин.

#### **Список использованных источников**

1 Самохвалов, 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://www.yaneuch.ru/cat\\_86/shtampovka-vzryvom/386039.2652154.page1.html](https://www.yaneuch.ru/cat_86/shtampovka-vzryvom/386039.2652154.page1.html). – Дата доступа: 31.01.2024.

3 Электрогидравлическая штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9663611/page:5/>. – Дата доступа: 31.01.2024.

4 Магнитно-импульсная штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9663611/page:7/>. – Дата доступа: 31.01.2024.



## **Определение, виды и характеристики взрывчатых веществ для обработки металлов**

Студенты гр. 10402222: Прокопеня А. В., Корнилов Д. С.

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Взрыв – процесс освобождения большого количества энергии в ограниченном объёме за короткий промежуток времени. Взрыв в твёрдой среде сопровождается её разрушением и дроблением [1].

Взрывы могут быть физического или химического характера. При физическом взрыве изменяется только физическое состояние вещества (взрывы паровых котлов, баллонов сжатого или сжиженного газа и др.). При химическом взрыве происходит быстрое химическое превращение вещества, при котором энергия межмолекулярных связей выделяется в виде теплоты и когда образуются газообразные продукты.

Взрывание – процесс инициирования зарядов в заданный момент и в определённой последовательности [2].

Ввиду огромного количества взрывчатых смесей в той или иной модификации их классификация по физическим признакам не настолько эффективна, как хотелось бы. Подобный способ деления взрывчатки на группы не позволяет в полном объёме оценить её технические параметры:

- работоспособность (мощность) смеси;
- назначение и сферы использования взрывчатки;
- степень опасности, условия хранения, транспортировки и инициализации;
- свойства ВВ и особенности протекания взрывной реакции.

Для более детальной каталогизации ВВ применяют три главных классификации, рассмотренные ниже.

Первая общепринятая категоризация взрывчатки. По этим параметрам ВВ классифицируют на несколько групп:

- ницирующие взрывчатые вещества;
- бризантные взрывчатые вещества;
- метательные взрывчатые вещества;
- пиротехнические составы.

Выше приведены далеко не все группы ВВ из первой классификации – отражены лишь те, которые получили наибольшее распространение при проведении взрывных работ и в военной сфере. Каждая из этих групп делится на десятки специфических подгрупп, но с общим назначением и установленными для всей группы в целом параметрами [3].

Одним из примеров использования взрыва в обработке металлов взрывом, является сварка взрывом.

Сварка взрывом – сравнительно новый перспективный технологический процесс, позволяющий получать биметаллические заготовки и изделия практически неограниченных размеров из разнообразных металлов и сплавов, в том числе тех, сварка которых другими способами затруднена.

В современных процессах металлообработки взрывом применяют заряды ВВ массой от нескольких граммов до сотен килограммов. Большая часть энергии, выделяющейся при взрыве, излучается в окружающую среду в виде ударных волн, сейсмических возмущений, разлета осколков. Воздушная ударная волна – наиболее опасный поражающий фактор взрыва. Поэтому сварку взрывом производят на полигонах (открытых и подземных), удаленных на значительные расстояния от жилых и промышленных объектов, и во взрывных камерах.

К плюсам сваривания деталей взрывом с использованием пирозаряда можно отнести:

- высокую скорость сварки;
- возможность сваривания деталей из разных поверхностей;
- возможность сваривать детали в труднодоступных местах;
- высокую однородность и прочность соединения при малой диффузии.

К минусам метода сварки взрывом относят:

- сложность технологической подготовки;
- повышенную опасность;
- неприменимость способа для легкоплавких и горючих деталей.

Несмотря на высокую скорость самого процесса сваривания, подготовка может занимать значительное время. При этом использование взрывчатого вещества создает высокий риск повреждения деталей температурой или ударной волной, поэтому перед свариванием новых материалов нужно подбирать подходящее вещество для пирозаряда и толщину его нанесения опытным путем [4].

Также использование взрыва в обработки металлов взрывом, является штамповка взрывом.

Штамповка взрывом может осуществляться в газообразных, жидких и твердых средах. Известен способ штамповки деталей посредством взрыва в герметичной камере.

Взрывчатое вещество (ВВ) и сжатый воздух подаются в смесительную камеру, откуда образовавшаяся взрывчатая смесь поступает в камеру сгорания, дном которой служит резиновая диафрагма. Штампуемую заготовку помещают между диафрагмой и матрицей.

Благодаря высокоскоростному, импульсному характеру приложения нагрузок к обрабатываемым заготовкам, удается добиться существенного улучшения условий деформирования:

- повышения температуры очага деформации;
- возникновения полезных сил инерции;
- уменьшения сил трения;
- локализации очага деформации.

Более эффективен способ гидровзрывной листовой штамповки, при котором необходимое давление в рабочей жидкости обеспечивается в результате взрыва заряда взрывчатого вещества.

ВВ должны быть безопасными в обращении, водостойчивыми, иметь стабильные взрывчатые свойства; высокие скорости взрывной реакции; удельную теплоту взрыва и невысокую стоимость.

Передающие среды должны обеспечивать легкую доступность и максимальную упрощенность подготовки к ведению процесса и возможность повторного использования. В качестве такой среды может использоваться вода.

Поскольку плотность воды превышает плотность воздуха более чем в 700 раз, при взрыве под водой практически исключается возможность разброса осколков, что позволяет значительно повысить безопасность работы. Начальное давление ударной волны подводного взрыва в 100 раз превышает начальное давление ударной волны воздушного взрыва [5].

#### **Список использованных источников**

1 Баранов, Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработки и новые материалы / Ю. В. Баранов. – М: МГИУ, 2011. – 844 с.

2 Промышленные взрывчатые вещества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9873298/page:2/>. – Дата доступа: 10.05.2024.

3 Классификация взрывчатых веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uralvp.ru/stati/klassifikaciya-vzryvchatyh-veschestv/?ysclid=lt7hj1ydwf368869503>. – Дата доступа: 06.05.2024.

4 Сварка взрывом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.robur.ru/articles/svarka-vzryvom>. – Дата доступа: 11.03.2024.

5 Глущенко, В.А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

## Напряженное и деформированное состояние при штамповке осесимметричных изделий при разных температурах

Студент гр. 10402221 Мусский А. А.

Научный руководитель – Жогло А. Г.

Белорусский национальный технический университет

г.Минска

В машиностроении широкую номенклатуру изделий составляют детали с формой втулки. Они используются повсеместно, а для их изготовления обычно применяются операции обработки металлов давлением.

Основной сложностью при изготовлении таких деталей является получение вертикальных стенок и фланцевой части, так как для их выполнения требуется определенный характер течения материала. Поэтому как правило применяется закрытая горячая объемная штамповка или выдавливание [1–3]. Однако интерес представляет возможность замещения горячей обработки давлением на холодную, так как при холодной обработке ниже трудоемкость изготовления (нет необходимости в предварительном нагреве заготовки и инструмента), выше безопасность (за счет отсутствия необходимости в работе с горячими деталями), а также не нужно специальное оборудование (печи, захваты, съемники, работающие в условиях повышенных температур) [4–7]. Поэтому для упомянутых выше факторов возможно применение холодной штамповки, однако для осуществления этого процесса требуется значительное усилие, что существенно снижает технологичность и возможность применения способа для крупных заготовок. При этом схема напряженного и деформированного состояния также значительно меняется, поэтому в настоящей работе осуществим ее исследование при помощи проведенного математического и компьютерного моделирования. Которое проводилось в программе QForm 10 [8–9]. Для моделирования были выбраны 2 заготовки, имеющие одинаковые формы и размеры, выполнены из стали 15, но отличающиеся начальной температурой: 20 и 1150 °С. Рассматриваются средние напряжения (рисунок 1), интенсивность напряжений (рисунок 2) и интенсивность деформаций (рисунок 3). Анализ средних напряжений показал значительное сужение наибольших растягивающих и сжимающих напряжений при горячей штамповке, относительно холодной. Характер распределения средних напряжений остается одинаковым при замещении горячего деформирования на холодное, меняются только величины.

Наибольшая величина интенсивности напряжений при горячей штамповке в 5 раз ниже, чем при холодной и составляет 120 МПа вместо 600 МПа. При этом отличается характер распределения, так при горячей штамповке напряжения распределены в зоне перехода фланца в дно, а также на наружной поверхности стенки, при холодной же штамповке – в зоне внутренней части стенки.

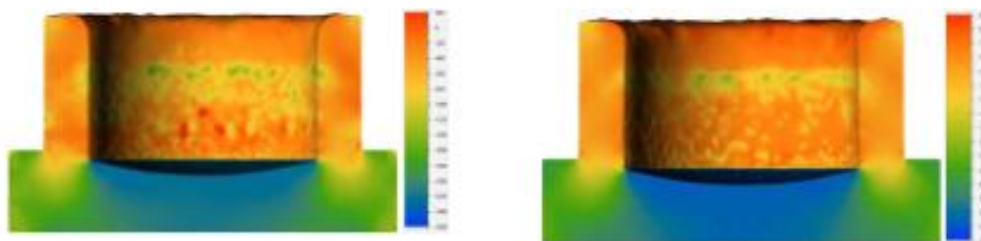


Рисунок 1– Средние напряжения при 20 °С и при 1150 °С

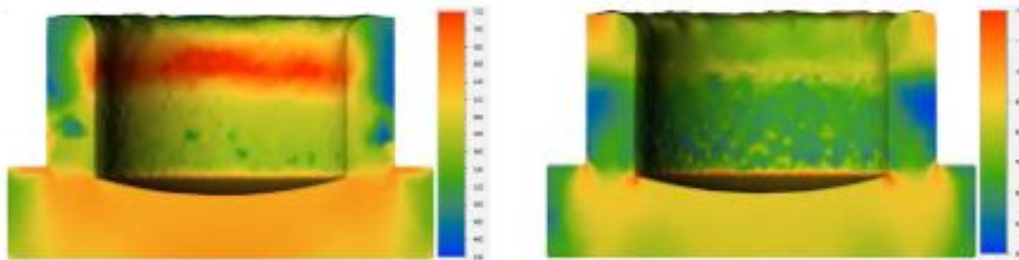


Рисунок 2– Интенсивность напряжений при 20 °С и при 1150 °С

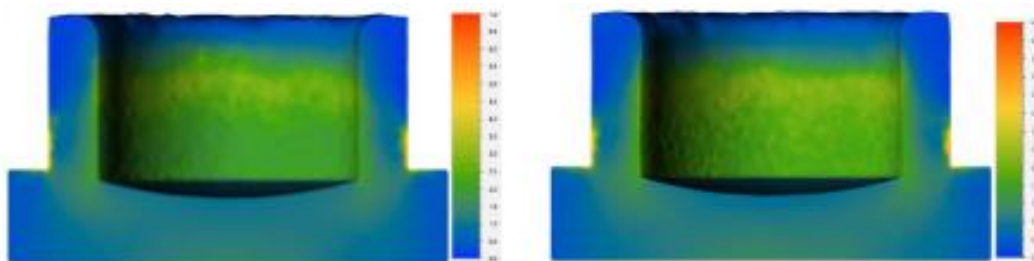


Рисунок 3– Деформация при 20 °С и при 1150 °С

Деформации распределены как указано на рисунках, однако их наибольшая величина отличается, и для холодной составляет 70 %, а для горячей – 65 %, что на примерно 5 % ниже. Таким образом было проведено моделирование, которое показало, что:

1 При холодном выдавливании и при горячем значительно отличаются технологические силы.

2 Деформации и средние напряжения распределены схожим образом и при горячей штамповке, и при холодной.

3 При горячей штамповке значительно сужается интервал величин средних напряжений.

4 Характер распределения интенсивности напряжений сильно отличается при холодной и горячей штамповке.

#### Список использованных источников

1 Яковлев, С.С. Исследование напряжений в инструменте при горячей объемной штамповки трубных заготовок с фланцем / С.С. Яковлев, В.Э. Подтягин, А.Е. Никишкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – Вып. 12. С. 186–188.

2 Гололобова, Л. Е. Оценка напряженного состояния при одновременной реализации осадки и обратного выдавливания / Л. Е. Гололобова, И. В. Чупеткин, И. А. Чижов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – Вып. 12. С. 138–141.

3 Ларин, С. Н. Исследование характера течения материала и сил совмещенного процесса изотермического обжима с набором утолщений на торцах трубных заготовок / С. Н. Ларин // Проблемы машиноведения. Материалы V Международной научно-технической конференции. – Омск, 2021. – С. 258–263.

4 Синь, Ло Исследования процесса вытяжки в коническую матрицу / Ло Синь, Евсюков С. А., Юй Чжунци. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – Вып. 9. – С. 513–520.

5 Яковлев, С. С. Анализ силовых режимов при рифлении внутренней поверхности оболочки / С.С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 7. – С. 13–16.

6 Яковлев, С. С. Математическое моделирование операции изотермического обратного выдавливания анизотропных трубных заготовок / С. С. Яковлев, В. И. Платонов, А. В. Черняев

// Известия Тульского государственного университета. Технические науки – 2013. – Вып. 1. – С. 75–84.

7 Жерносек, В. Н. Анализ формы детали и течения материала при комбинированном выдавливании / В.Н. Жерносек // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 12. – С. 555–557.

8 Ларин, С. Н. Математическая модель комбинированного выдавливания прутковой заготовки в цилиндрическую матрицу пуансоном с плоской рабочей поверхностью / С. Н. Ларин, В. И. Трегубов, А.Н. Исаева // Заготовительные производства в машиностроении. – 2020. Т. 18. – № 7. – С. 309–312.

9 Ларин, С. Н. Влияние угла конусности матрицы на силу обжима стальной трубной заготовки с утонением стенки / С. Н. Ларин, В. И. Платонов, Г. А. Нуждин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – Вып. 2. – С. 482–486.

**Испытательный комплекс «GLEEBLE 3180-GTC»**

Студент гр. 10402221 Юнчиц А.А.  
Научный руководитель – Жогло А.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Оборудование компании «Gleeble» представляет собой инновационную систему, разработанную для моделирования и анализа механических и термических свойств материалов. Это мощное устройство, которое широко используется в научных исследованиях, промышленности и образовании, обеспечивая уникальные возможности для изучения поведения материалов в различных условиях.

Одним из ключевых преимуществ данного испытательного оборудования является его многофункциональность. Система позволяет проводить разнообразные эксперименты, включая нагрев, охлаждение, деформацию и испытания на разрыв материалов. Благодаря этому исследователи могут изучать влияние различных факторов на структуру и свойства материалов, а также одной из ключевых особенностей данной компании является возможность высокоточного контроля параметров процесса. Специалисты могут настраивать температуру, скорость деформации, давление и другие параметры, а также наблюдать их изменения в режиме реального времени. Это позволяет проводить детальный анализ воздействия каждого параметра на свойства материалов.

Оборудование «Gleeble» нашло широкое применение в различных областях, включая научные исследования, разработку новых материалов, а также контроль качества в промышленности. Система используется для изучения структуры и свойств различных материалов, в том числе металлов, сплавов, полимеров и композитов.

В промышленности оно играет важную роль в разработке новых материалов и технологий производства. С его помощью исследователи могут оптимизировать процессы обработки материалов, улучшать их механические и термические свойства, а также повышать эффективность производства.

Gleeble 3500-GTC (рисунке 1) – это гибкая система термомеханического физического моделирования, которая может быть сконфигурирована для следующих применений: Моделирование зоны поражения сварного шва, плавление и затвердевание, термическая обработка, испытания на растяжение в горячем состоянии ССТ и СНТ с деформацией, моделирование непрерывной разливки. В основе модели 3180 лежат функции, которыми системы Gleeble известны во всем мире: система прямого резистивного нагрева с замкнутым контуром, сервомеханическая система с замкнутым контуром и цифровая компьютерная система управления и сбора данных на базе Windows.



Рисунок 1– Система термомеханического физического моделирования «Gleeble 3180-GTC»

Оборудование «Gleeble» представляет собой мощный инструмент для научных исследований, образования и промышленности. Его многофункциональность, точность и уникальные возможности делают его незаменимым инструментом для изучения и оптимизации свойств материалов.

**Список использованных источников**

- 1 Gleeble 3180-GTC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gleeble.com/products/gleeble-systems/gleeble-3180.html>. – Дата доступа: 09.04.2024.
- 2 Иванов, И.Е. Методы подобия физических процессов: учеб. пособие / И .Е. Иванов, В. Е. Ерещенко. – М.: МАДИ, 2015 – 144 с.



### **Импульсные методы обработки металлов давлением**

Студенты гр. 30402121 Зеленый С.К., Полещук В.Д.,  
Долидович Я.Р., Шихарко Е.В.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Применение традиционных методов обработки металлов давлением связано с длительными сроками технологической подготовки производства и высокой себестоимостью изготавливаемых деталей, особенно при мелкосерийном их выпуске. Поэтому получили распространение высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов давлением с использованием энергии взрывчатых веществ газозрывных смесей, сжатого газа и электричества [1].

Особенность этих импульсных методов заключается в высоких скоростях выделения энергии и передачи ее заготовке через передающую среду, которая одновременно выполняет роль одного из элементов штамповой оснастки (матрицы или пуансона).

При помощи импульсного деформирования листового металла можно выполнять глубокую вытяжку, пробивку, бортовку, формовку, клепку и др.

Различные способы импульсной обработки имеют свою область рационального применения и не предназначены для полной замены традиционных методов обработки металлов давлением.

Штамповка взрывом применяется в основном для изготовления деталей большого габарита, когда применение прессового оборудования и штампов практически невозможно или экономически невыгодно.

Электрогидравлическая штамповка чаще всего используется для изготовления сложных деталей среднего габарита из труднодеформируемых металлов. В этих же условиях, но, когда нецелесообразно в качестве передающей среды применять воду, используется магнитно-импульсная обработка металлов [2].

Ударная штамповка эффективна при изготовлении небольших партий деталей из листовых и цилиндрических заготовок сравнительно малого габарита.

Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов давлением (ОМД) представляют собой процессы, сопровождающиеся тепловыми эффектами, силовыми воздействиями, появлением инерционных сил, ударных волн и дополнительных динамических напряжений. При этом происходит локализация зоны пластической деформации обрабатываемого материала и изменение его физико-механических свойств.

Одной из основных характеристик импульсных методов ОМД является скорость деформирования обрабатываемого материала. Если при традиционных методах ОМД скорость деформирования составляет 0,3–1,5 м/с, а на ударных машинах – не более 5 м/с, то при импульсных методах она составляет 100 м/с и более.

Применение высокоэнергетических импульсных методов обеспечивает возможность использования большого запаса энергии энергоносителя при сравнительно небольшом его объеме, снижение стоимости оснастки, сокращение сроков ее проектирования и изготовления, резкое сокращение капитальных вложений (особенно для штамповки крупногабаритных деталей) [3].

При штамповке взрывом создаются условия для направленного воздействия на объект необходимой силы, повышения точности размеров обрабатываемых деталей, в том числе из труднодеформируемых металлов и представляется возможность работать как в цеховых, так и в полевых условиях, а также в естественных и искусственных водоемах. Однако указанные методы ОМД требуют соблюдения специальных мер по технике безопасности и разработки

дополнительных мероприятий по снижению трудоемкости подготовительно-заключительных работ [4].

Характеристика импульсных методов ОМД приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика импульсных методов ОМД

Метода ОМД	Способы выделения энергии	Передающая среда	Скорость волны давления, м/с	Время воздействия волны давления, мкс	Предельные размеры штампуемых деталей, м	Область применения
Штамповка взрывом с использованием бризантного взрыв. вещества:	Детонация	Вода, воздух, песок	1200 – 7500	10 – 20	6,0	Листовая и объемная штамповка
Пороха	Химическое сгорание	Вода, воздух	300 – 2400	200 – 400	1,5	Вырубка и пробивка отверстий, прессование
Газовых смесей	То же	Газ	300 – 2400	200 – 400	1,5	порошков, упрочнение, калибровка и развальцовка
Электрогидравлическая штамповка	Испарение проволочки, ионизация среда	Вода, воздух	1000 – 6000	30 – 100	2,5 – 1,25	То же и очистка литья
Магнитно-импульсная обработка металлов	Создание магнитного поля	Воздух	3000 – 6000	60 – 100	0,9	Листовая штамповка, формовка цилиндрических заготовок, обжатие, раздача, соединение деталей
Ударная штамповка	Быстрое открытие клапана ресивера	Вода, эластичный материал	100 – 1000	60 – 100	0,9	Листовая и объемная штамповка

#### Список использованных источников

1 Высоковольтные электротехнологии: учебное пособие для вузов по курсу «Основы электротехнологии»; под ред. И.П. Верещагина. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 204с.

2 Синебрюхов А.Г. Магнитно-импульсная обработка металлов: учебное пособие / Синебрюхов А.Г. – Томск: Изд. ТПУ, 1996. – 46 с.

3 Энциклопедия по машиностроению XXL [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/258949/>. – Дата доступа: 19.01.2024.

4 Магнитно-импульсная обработка материалов / А.Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019.– 140 с.

### Прокатка на современном этапе

Студенты гр. 30402121 Бабей Д.Д, Леоненко Е.А, Лушкевич В.С.,  
Мельник А.А, Чернышевич В.Д.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Прокатка является важным процессом в металлургии, позволяющим изменять форму и размеры металлических заготовок при помощи механического воздействия с использованием прокатных станов. В современной промышленности прокатка имеет особое значение и применяется для производства разнообразных металлических изделий, таких как листовая металл, стальные балки, трубы и другие.

Прокатка – процесс пластического деформирования тел на прокатном стане между вращающимися валками и один из самых популярных способов обработки материала давлением. Для прокатки пригодны не только листы, а также может быть использована для работы с металлическими стержнями. Она также пластическая деформация металлических заготовок, растянутых между вращающимися роликами. Сила трения заставляет металл двигаться вдоль прокатного стана с заданной скоростью. Под воздействием давления, передаваемого валками, ему придается необходимая форма.

Существует три основных типа этой технологии это: продольная либо поперечная или поперечно-винтовая.

Поперечная прокатка металла предполагает вращение заготовки между валками, которые оборачиваются вокруг осей, параллельных друг другу, в одном направлении. При такой деформации происходит увеличение длины обрабатываемого материала по осям роликов.

Продольная прокатка металла осуществляется роликами, вращающимися в противоположном направлении, заставляя материал двигаться в направлении, перпендикулярном их осям. В этом случае заготовка увеличивается в длину и уменьшается в поперечном сечении.

Схема поперечно-винтовой прокатки заключается в пластической деформации металла валками, расположенными под углом друг к другу, что обеспечивает продвижение заготовки по прокатному стану с одновременным ее вращением вокруг своей оси [1].

Форма, придаваемая изделию при прокатке в поперечном сечении, обычно называется профилем. Если профиль не меняется по всей длине изделия, он называется постоянным, а если на разных его сегментах получается изделие с разной формой поперечного сечения, то это переменный или периодический профиль. Понятие ассортимента определяет группы товаров определенного размера и профиля.

Прокатка имеет ряд преимуществ, включая возможность обработки больших объемов материала, возможность изготовления сложных форм и размеров, а также возможность контролировать свойства материала путем изменения условий процесса. Однако прокатка также имеет свои ограничения, включая ограниченные возможности изменения свойств материала в процессе и ограничения по размерам заготовок.

Прокатка широко применяется в различных отраслях промышленности. Например, в автомобильной промышленности прокатка используется для производства кузовных деталей и других компонентов, в строительстве – для производства стальных балок и профиля, в энергетике – для производства труб и других металлических изделий. Каждая отрасль имеет свои требования к прокатыванию, такие как точность размеров, прочность и поверхностная отделка.

Современная технология прокатного производства, как правило, состоит из двух этапов. На первом этапе из металлических слитков получают заготовки или полуфабрикат, а на втором этапе из полуфабриката формируют готовые изделия [2].

Производство металлопроката включает в себя несколько основных технологических операций: подготовку металла, нагрев, прокатку, чистовую обработку и контроль качества.

Для того чтобы подготовить металлический слиток или заготовку к прокатке, необходимо удалить все дефекты поверхности, такие как мелкие трещины, закаты, царапины и частицы шлака. Их присутствие на поверхности металла может снизить качество выпускаемой продукции, снизить производительность оборудования и ускорить износ узлов и деталей прокатного стана. Особое внимание следует уделить подготовке металла перед прокаткой высококачественных легированных и углеродистых сталей.

Контроль осуществляется путем регулярного отбора проб. После окончания прокатки металла и перед окончательной обработкой изделий они должны пройти основной этап контроля. В качестве сырья для прокатки используются металлические слитки или заготовки. Заготовка с квадратным сечением называется блюмом, а прямоугольная – слябом. Одного прохода между роликками, как правило, недостаточно для получения продукта с желаемыми параметрами. При прокатке заготовка обрабатывается в несколько этапов, каждый из которых уменьшает площадь ее поперечного сечения. С каждым проходом профиль продукта приближается к требуемому.

Сортовая и фасонная прокатка металлических заготовок для получения профилей общего или специального назначения, таких как круг, уголок, шестиугольник или рейка, осуществляется с использованием бочек со специальными углублениями по окружности рабочих частей. Такие валки называются калиброванными или ручными. Соответственно, углубление на валке называется потоком, а расстояние между углублениями на противоположных роликках при прокатке измеряется с помощью датчика.

Если соединительная линия (зазор между стволами) находится в пределах калибра, она называется открытой, а калибр с соединительной линией, выходящей за его пределы, – закрытым.

Само прокатное оборудование состоит из рабочих клетей. Каждая обрешетка образована двумя рамами, которые объединены стальной переключиной в одну установку, установленную на общем фундаменте. Валки приводятся в движение электродвигателями. Усилие от двигателя к цилиндрам передается через распределительную клетку с шестернями и шпинделями. Каждая рабочая клетка мельницы образована одной или несколькими парами валков. Пластическая деформация металлических заготовок или слитков при растяжении между цилиндрами прокатного стана объединяет термин прокатка.

Прокатка металла осуществляется следующими типами валков: гладкими валками или бочками на листопркатном стане и бочками с потоками на сортопркатном стане. На концах валков установлены подшипники со специальными шейками. Горловина ствола превращается в переключки или булавы, которые соединяют его со шпинделем, приводящим в движение роликки. Ключики позволяют регулировать положение стволов по вертикали, уменьшая или увеличивая зазор между ними. Прокатный стан для пластической деформации металлических заготовок представляет собой комплекс последовательно расположенных агрегатов. Она включает в себя как оборудование, используемое непосредственно для прокатки, так и площадки для подготовки металла к прокатке, отделки изделий после пластической деформации, упаковки и подготовки к дальнейшей транспортировке [3].

В современной промышленности прокатка продолжает развиваться и внедрять новые технологии. Одной из главных тенденций является автоматизация процесса прокатки с использованием роботизированных систем и систем управления. Такие системы позволяют повысить эффективность и точность процесса, а также обеспечить повышенную безопасность для операторов. Другими тенденциями включает применение новых методов контроля качества, таких как неразрушающий контроль, а также использование компьютерного моделирования и симуляции для оптимизации процесса прокатки.

Прокатка остается важным процессом в металлургической промышленности, играющим ключевую роль в производстве различных металлических изделий. Современные тенденции в прокатке направлены на автоматизацию и оптимизацию процессов с использованием новых технологий и методов контроля качества. Прокатка широко применяется в различных отраслях промышленности и имеет свои преимущества и ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании и настройке процессов прокатки.

#### **Список использованных источников**

1 Машиностроение. Энциклопедия Т. 1-3. Во 2-х кн. К.С. Колесников [и др.]; под ред. К. С. Колесникова, 1994. – 534 с.

2 Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е.П. Круглов [и др.]. – Казань: Политех, 2015. – 433 с.

3 Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.1. – 656 с.

**Применение штамповки взрывом в современном производстве**

Студенты гр. 30402121 Вышадко С.И., Жук З.В., Пашковский Е.А., Рыбак А.Н.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Штамповка взрывом – это способ обработки металлов, полученный на использовании энергии взрыва. Взрыв – процесс освобождения большого количества энергии в ограниченном объеме за малый промежуток времени. Формообразование заготовки происходит за счет импульсного давления ударной волны, вызывающего в материале заготовки напряжения, гораздо превышающие предел текучести [1].

Обладая высокой удельной и общей энергоемкостью и эффективностью, взрывчатые вещества (далее – ВВ) допускают деформировать детали больших габаритов из высокопрочных материалов с высокой точностью. Возникающие при взрыве давления достигают 3000 МН, а время воздействия на материал заготовки составляет доли секунды. Таким методом штамповки можно выполнять многие операции холодной штамповки (вытяжку, формовку, пробивку отверстий и др.). Штамповкой взрывом производятся детали разных конфигурации и размеров из плоских и фасонных листовых заготовок.

К источникам энергии при обработке металлов взрывом относятся разные виды взрывчатых веществ. ВВ это химическое соединение(смесь), которое, под действием теплоты механического удара или давления, за короткий промежуток времени преобразуется в другое устойчивое вещество, полностью или большей частью газообразное.

От разновидности энергоносителя различают формообразование деталей взрывчатыми веществами бризантного действия, пороховых зарядов и газовыми смесями или сжиженными газами. К ВВ бризантного действия относятся тротил, аммонит и др. Чаще всего применяется тротил, подрываемый с помощью электродетонаторов.

Взрыв веществами бризантного действия характеризуется большой концентрацией энергии. Для передачи этой энергии на заданную площадь заготовки и для ее равномерного деформирования взрыв заряда рационально производить не в воздухе, а в воде. Вода смягчает удар и обеспечивает нагружение заготовки по всему очагу деформации [2].

Как правило, штамповку производят в открытых емкостях – естественных (озеро, река) или искусственных (железобетонных и земляных бассейнах) наполненных водой (рисунок 1).

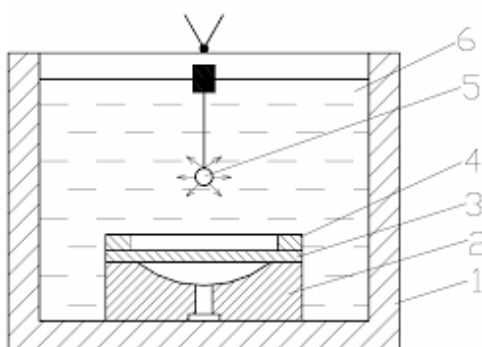


Рисунок 1 – Бассейн многофазового действия:

- 1 – бассейн; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – прижимное кольцо;  
5 – заряд ВВ; 6 – вода

При срабатывании детонатора внутри ВВ возникает фронт детонационной волны, которая распространяется в жидкости со скоростью 1450 м/с. При взрыве образуется мощная

ударная волна и газовый пузырь от продуктов взрыва, который, пульсируя (расширяясь и сжимаясь), вызывает дополнительные импульсы давления. Газовый пузырь, расширяясь, создает направленный в сторону заготовки изредка используются бассейны одноразового действия (рисунок 2), которые могут устанавливаться в бронекамере – для производства небольших деталей.

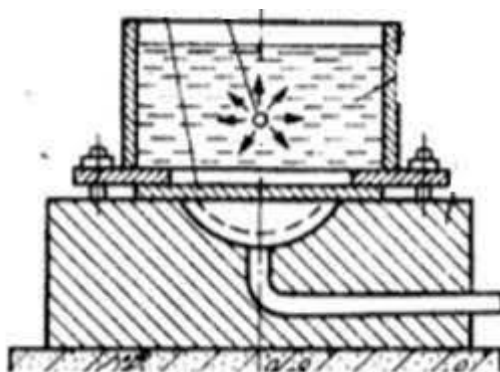


Рисунок 2 – Бассейн одноразового действия

Штамповка порохами и газами осуществляется в закрытых емкостях. Энергия ВВ передается заготовке либо прямо, либо через промежуточную среду [1].

Существенными преимуществами штамповки газовыми смесями является равномерность нагружений поверхности заготовки при взрыве, возможность автоматизации процесса. Важным недостатком штамповки газовыми смесями является повышенные требования к технике безопасности.

Точность изготовленных деталей в современном производстве при штамповке взрывом повышается за счет следующих факторов:

- точное управление взрывом: современные технологии позволяют точно регулировать параметры взрыва, такие как направление волны давления и его интенсивность. Это позволяет добиваться высокой степени предсказуемости в штамповке материала;
- компьютерное моделирование: использование компьютерных программ для моделирования процесса позволяет заранее предвидеть, как материал будет реагировать на взрыв. Это позволяет оптимизировать параметры для достижения желаемой формы и размеров;
- автоматизация и контроль: применение автоматизированных систем контроля и мониторинга позволяет непрерывно отслеживать параметры процесса и вносить коррективы в реальном времени. Это снижает вероятность ошибок и повышает стабильность производства;
- точные материалы: выбор высококачественных материалов также играет роль. Контролируемая структура и свойства материала способствуют более предсказуемому поведению в процессе штамповки.

Эти факторы совместно обеспечивают более высокую точность и повторяемость процесса штамповки взрывом в современных условиях производства.

Основными достоинствами штамповки взрывом:

- низкая стоимость оснастки (матрица изготавливается из недорогих материалов);
- небольшие капитальные затраты (не требуется прессовое оборудование);
- высокая точность обработки;
- возможность изготовления деталей сложной формы из трудно деформируемых и хрупких сплавов;
- сокращение числа технологических переходов.

К недостаткам относятся не экономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы с ВВ [2].



### **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://asgard-service.com/news/shtampovka-vzryvom/>. – Дата доступа: 27.01.2024.

### Волочение

Студенты гр. 10402222 Абакумов Е.А., Сташкевич Е.А.  
 Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Волочение – обработка металлов давлением, при которой изделия (заготовки) круглого или фасонного профиля (поперечного сечения) протягиваются через круглое или фасонное отверстие, сечение которого меньше сечения заготовки.

Суть технологии, по которой выполняют волочение проволоки, заключается в том, что металлическую заготовку из стали, меди или алюминия протягивают через сужающееся отверстие – фильеру. Сам инструмент, в котором такое отверстие выполнено, называется волокой, его устанавливают на специальное оборудование для волочения проволоки. На то, какими диаметром, сечением и формой будет обладать готовое изделие, оказывают влияние параметры фильеры (рисунок 1) [1].

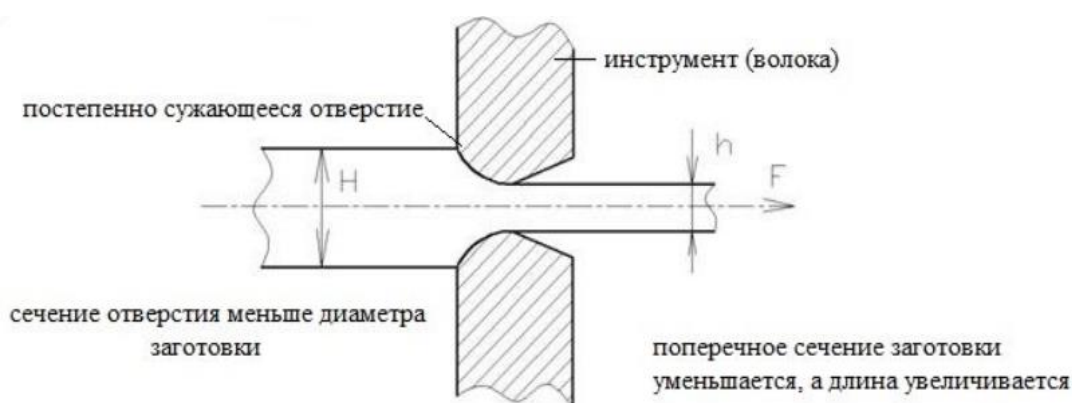


Рисунок 1 – Принцип волочения металла

Выполнение волочения, если сравнивать такую технологическую операцию с прокаткой, позволяет получать изделия, отличающиеся более высокой чистотой поверхности и исключительной точностью геометрических параметров. Что касается производства проволоки, то методом волочения можно получить изделия, диаметр которых находится в интервале от 1–2 микрон до 10 и даже более миллиметров (рисунок 2).



Рисунок 2 – Технологическая схема волочения проволоки из нержавеющей стали  
 Изготовление проволоки по технологии волочения включает в себя несколько этапов:

– исходная заготовка подвергается процедуре травления, для чего используется сернокислый раствор, нагретый до 50 градусов. Чтобы увеличить пластичность обрабатываемой заготовки, а ее внутреннюю структуру довести до мелкозернистого состояния, выполняют предварительный отжиг волочильных станков;

– остатки травильного раствора, который является достаточно агрессивным, нейтрализуют, после чего заготовку подвергают промывке;

– чтобы конец заготовки можно было пропустить в фильеру, его заостряют, для чего может быть использован молот или ковочные валки;

– после завершения всех подготовительных операций заготовка пропускается через фильеры для волочения проволоки, где и формируются профиль и размеры готового изделия.

– производство проволоки завершается выполнением отжига.

В качестве исходного материала, который подвергают обработке на волочильных станках, служат металлические заготовки, полученные методом непрерывного литья, прессованием и катанием из углеродистых и легированных сталей. Наибольшую сложность процесс волочения представляет в том случае, если обработке подвергается стальной сплав. Чтобы получить оптимальную внутреннюю структуру стали, раньше использовали такую технологическую операцию, как патентирование. Заключался этот способ обработки в том, что сталь сначала нагревали до температуры аустенизации, а затем выдерживали в свинцовом или соляном расплаве, нагретом до температуры около 500 °С [2].

Современный уровень развития металлургической промышленности, используемые в ней технологии и оборудование для получения металлов и сплавов позволяют не готовить металл к волочению таким сложным и трудоемким способом. Стальная заготовка, выходящая с прокатного стана современного металлургического предприятия, уже обладает внутренней структурой, оптимально подходящей для волочения (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношения первоначального и финального диаметров проволоки при различных типах волочения

Вид волочения	Диаметры проволоки, на входе и на выходе	
	первоначальный диаметр, мм.	финальный диаметр, мм.
Грубое волочение	8,0	5,0–0,9
Среднее волочение	3,5	1,5–0,2
Тонкое волочение	2,6–1,6	0,5–0,05
Сверхтонкое волочение	0,5	0,14–0,025
Ультратонкое волочение	0,35	0,1–0,01

На сегодняшний день производственные предприятия применяют волочильные специализированные станки двух основных типов, которые отличаются друг от друга конструкцией тянущего механизма.

На устройствах второго типа, в частности, выполняют волочение труб и других изделий, которые не требуют намотки на бухты. Такие станки в зависимости от конструктивного исполнения могут быть: однократными; многократными, работающими со скольжением или без него, а также те, в которых используется принцип противонатяжения заготовок.

Наиболее простой конструкцией отличается однократный станок для волочения. Манипулируя таким оборудованием, волочильщик проволоки выполняет ее протягивание за один проход. На волочильном устройстве многократного типа, которое работает по непрерывной схеме, формирование готового изделия осуществляется за 2–3 прохода. Крупные предприятия,

производящие проволоку в промышленных масштабах, могут быть оснащены не одним десятком волочильных станков разной мощности, на которых изготавливается продукция различного назначения [3].

#### **Список использованных источников**

- 1 Юхвец, И. А. Производство высокопрочной проволочной арматуры / И. А. Юхвец. – М: Металлургия, 1973. – 213 с.
- 2 Хаяк, Г. С. Инструмент для волочения проволоки / Хаяк Г. С. – М: Металлургия, 1974. – 128 с.
- 3 Глушников, В. А. Технология обработки материалов / В. А. Глушников. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

### Пневматический молот

Студенты гр. 10402220 Заренок В.Д., Янь Цзюньвэй  
 Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Пневматический молот – это специализированный инструмент, который используется для формирования, резки, вытягивания и дробления металлических изделий. Он работает за счет сжатого воздуха, который передается через специальный пневматический компрессор и подается к молоту, где с помощью ударного механизма давится на обрабатываемую деталь. Данный молот подходит для всех видов свободнойковки: таких как протяжка, скручивание, гибка, резка, ковочная сварка и др. Принцип работы пневматического молота для обработки металлов давлением позволяет выполнять различные виды работ с металлом, обеспечивая быструю и эффективную обработку материала. Он является незаменимым инструментом в металлообрабатывающей промышленности благодаря своей точности, производительности и гибкости в работе [1]. Рассмотрим на примере пневматический молот марки М415 (рисунок 1).

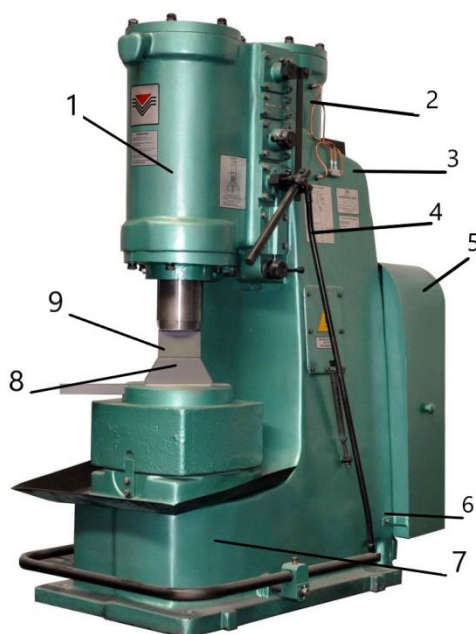


Рисунок 1 – Общий вид пневматический молота М415:

1 – рабочий цилиндр; 2,4 – трубка; 3 – компрессорный цилиндр; 5 – нижняя полость; 6 – поршень; 7 – шабот; 8 – нижний боек; 9 – верхний боек

Станина молота имеет рабочий цилиндр 1 и компрессорный цилиндр 3, оба с поршнями соответствующей конструкции. Верхние и нижние полости цилиндров соединены с помощью трубок 2 и 4 системы распределения воздуха. Когда оба цилиндра соединены с атмосферный воздухом, поршень компрессора вытесняет воздух в атмосферу, молоток работает на холостом ходу, а верхний боек 9 свободно опирается на нижний боек 8, закрепленный в шаботе 7. Если верхние полости цилиндров 1 и 3 и нижние полости 5 и 1 соединены, поступательное движение поршня компрессора выталкивает воздух под рабочий поршень цилиндра 1. Поршень поднимается и перемещает в верх связанную с ним бабу, несущую верхний боек 9. При обратном движении поршня компрессора баба опускается и боек ударяет по заготовке [2].

Несмотря на то, что пневматический молот является эффективным инструментом для выполнения различных металлообрабатывающих операций с высокой скоростью, точностью

и производительностью, для него можно выделить основные плюсы и минусы использования пневматического молота.

Плюсы использования пневматического молота в обработке металлов давлением:

- высокая производительность и скорость работы;
- возможность обработки различных металлических материалов;
- высокая точность и повторяемость процесса формовки;
- возможность регулировки силы удара и скорости работы.

Минусы использования пневматического молота в обработке металлов давлением:

- необходимость наличия компрессора и сжатого воздуха для работы;
- большой уровень шума и вибрации при работе с молотом;
- возможность деформации металла при неправильной настройке или применении недостаточной силы удара.

Таким образом, использование пневматического молота в обработке металлов давлением представляет собой эффективный способ ускорения процесса производства и обеспечения высокого качества готовой продукции. Благодаря различным насадкам и дополнительному оборудованию, его функциональность может быть значительно расширена и адаптирована под конкретные задачи производства.

#### **Список использованных источников**

1 Теория обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.com/64745775-Teoriya-obrabotki-metallov-davleniem.html>. – Дата доступа: 14.04.2024.

2 Основы технологических процессов обработки материалов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://booktech.ru/books/mehanicheskaya-obrabotka/16389-osnovytechnologicheskikh-processov-obrabotki-metallov-davleniem-2008-s-b-sidelnikov.html>. – Дата доступа: 15.04.2024.

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 внутренние механические 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 формирование деталей торцевых ключей.

### **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**

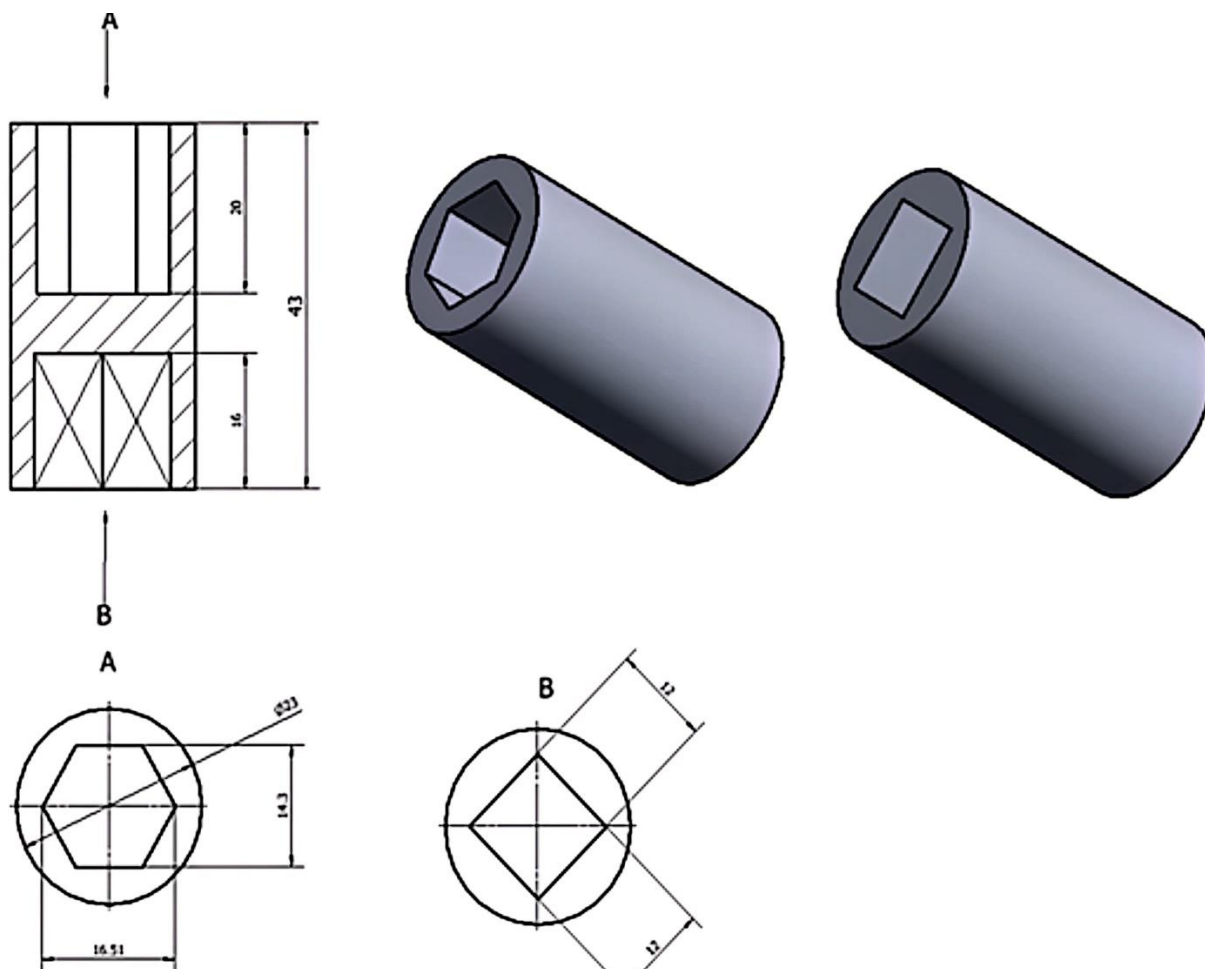


Рисунок 1 – 3D-модель детали

### (1) 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, мм<sup>3</sup>;  $F_0$  — площадь поперечного сечения заготовки, мм<sup>2</sup>.

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.

### (2) 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  $\varepsilon$  — степень деформации при теплой экструзии;  $F_0$  — площадь поперечного сечения заготовки до деформации, мм<sup>2</sup>;  $F_1$  — площадь поперечного сечения заготовки после деформации, мм<sup>2</sup>.

### 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.<sup>3</sup>



Рисунок 2 – матрица 3D-модели (слева) пуансон 3D-модели(справа)

Исходя из характеристик экструзии, необходимо отметить следующие моменты:

1. Материалы деталей матрицы. Когда температура экструзии находится в низкотемпературном диапазоне от 200°C до 400°C, можно использовать те же материалы, что и в матрице для холодной экструзии, например Cr12Mo, Cr12Mov, W18Cr4V и т. д. При экструзии при высоких температурах, например 650-850°C, лучше использовать быстрорежущие стали W18Cr4V и W6Mo5Cr4V2 с более высокими температурами отпуска.

2. При проектировании комбинированной матрицы необходимо учитывать влияние изменений размеров на предварительное напряжение из соображений безопасности.

3. Чтобы обеспечить точность размеров экструдированных деталей и поддерживать стабильную температуру формы в указанном диапазоне, в конструкции формы необходимо предусмотреть устройства предварительного нагрева и охлаждения.

Технология формовки металлопластиков имеет большое значение для снижения затрат на производство изделий, быстрого формования деталей сложной формы, улучшения внутренних механических свойств деталей, снижения трудоемкости последующей механической обработки и повышения эффективности производства.

#### Список использованных источников

1. Ван Вэйвэй, Оборудование для формования материалов / Ван Вэйвэй. – Пекин.Китай : Машиностроительная промышленность Пресса, 2004. – 426 с.
2. Лю Цзингань, Теория и практика технологии экструзионных матриц. / Лю Цзингань. – Чунцин.Китай : Научная и техническая литература Пресса, 1989. – 260 с.
3. Ван Данянь, Принципы формовки металлопластиков / Ван Данянь. – Пекин.Китай. : Машиностроительная промышленность Пресса, 1986. – 508 с.

### Листовая штамповка

Студенты гр.10402220 Завольский М.К., Хаозе Ян,  
Зенько А.А., Борисовец И.В.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовый материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- 1) Возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- 2) Высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- 3) Сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000...40 000 деталей в смену с одной машины);
- 4) Хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают разделительные операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и формообразующие операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда [1].

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих,

ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

#### *Операции листовой штамповки*

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

Обычно ее применяют как заготовительную операцию для разделения листов на полосы и заготовки нужных размеров. Основные типы ножниц представлены на рисунке 1.

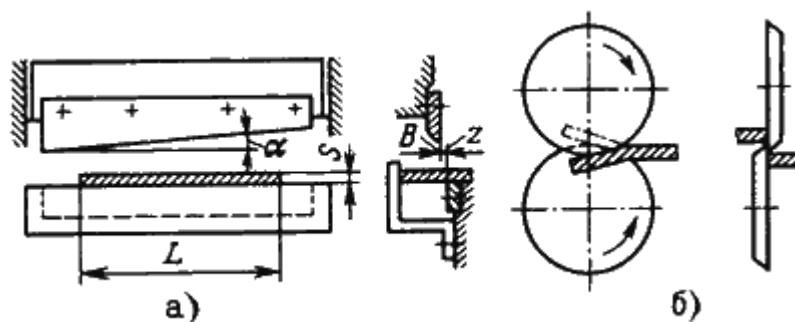


Рисунок 1 – Схемы действия ножниц:  
а – гильотинных; б – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рисунок 1. а). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом  $1 \dots 5^{\circ}$  для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы  $B$ . Длина отрезаемой полосы  $L$  не должна превышать длины ножей.

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рисунок 1. б). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в  $30 \dots 70$  раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и пробивка – отделение металла по замкнутому контуру в штампе. При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов вырубки и пробивки представлена на рисунке 2.

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей  $z$ . Зазор  $z$  назначают в зависимости от толщины ( $S$ ) и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет  $(0,05 \dots 0,1)S$ . При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на  $2z$  меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на  $2z$  больше их [2].

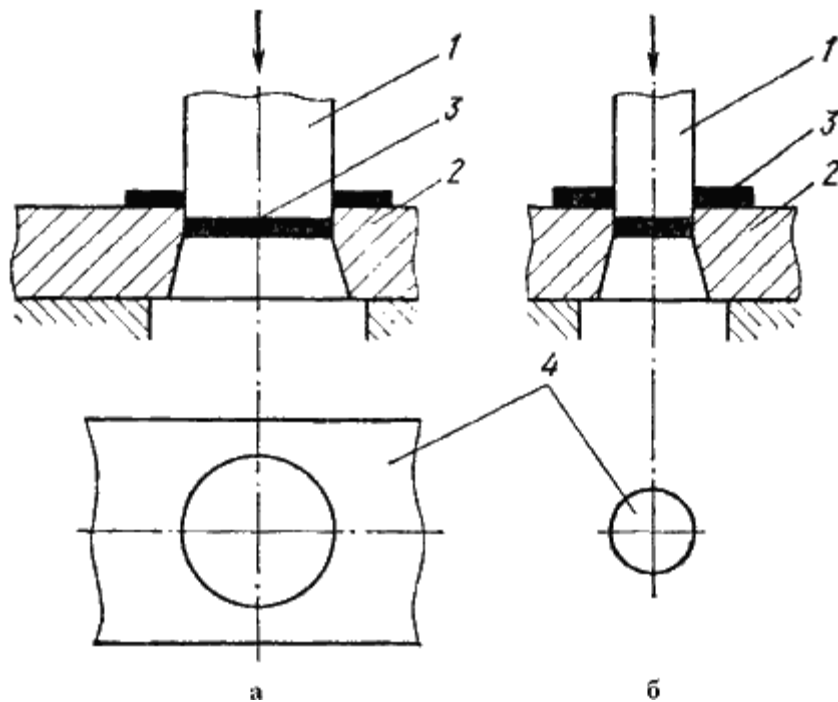


Рисунок 2 – Схема процессов вырубki (а) и пробивки (б)  
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – изделие; 4 – отход

Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскроем. Часть заготовки, оставшаяся после вырубki – высечкой.

Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскроя следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рисунок 3).

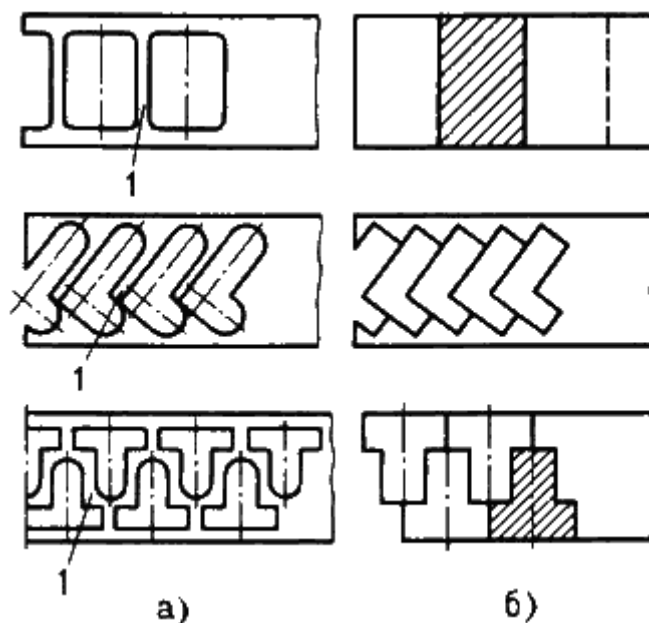


Рисунок 3 – Примеры раскроя материала с перемычками (а) и без перемычек (б)

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскроя, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

#### **Список использованных источников**

1 Теория обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://clck.ru/335WiD\\_](https://clck.ru/335WiD_) – Дата доступа: 12.04.2024.

2 Основы технологический процессов обработки материалов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://clck.ru/335Wie\\_](https://clck.ru/335Wie_) – Дата доступа: 10.04.2024.

**Магнитно-импульсная обработка материалов давлением**

Студенты гр. 10402222 Кучинский В.А., Баханович А.А. Рожков В.А.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Магнитно-импульсная обработка (МИО) металлов представляет собой инновационный метод обработки материалов, основанный на использовании мощных магнитных импульсов для деформации металлических заготовок. Эта технология находит широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как автомобилестроение, авиационная промышленность, судостроение и другие. МИО позволяет достигать высокой точности обработки, улучшения механических свойств материала и снижения производственных затрат.

Основным принципом МИО является использование мощных электромагнитных полей для создания кратковременного, но интенсивного воздействия на металлическую заготовку. Два параллельных проводника с токами противоположных направлений отталкиваются, примерно так взаимодействуют между собой магнитные поля токов в индукторе и в заготовке [1]. В процессе обработки используется индуктор, создающий сильное магнитное поле, которое вызывает индуцированные токи в заготовке. Эти токи создают электромагнитные силы, достаточные для значительного деформирования металла (рисунок 1).

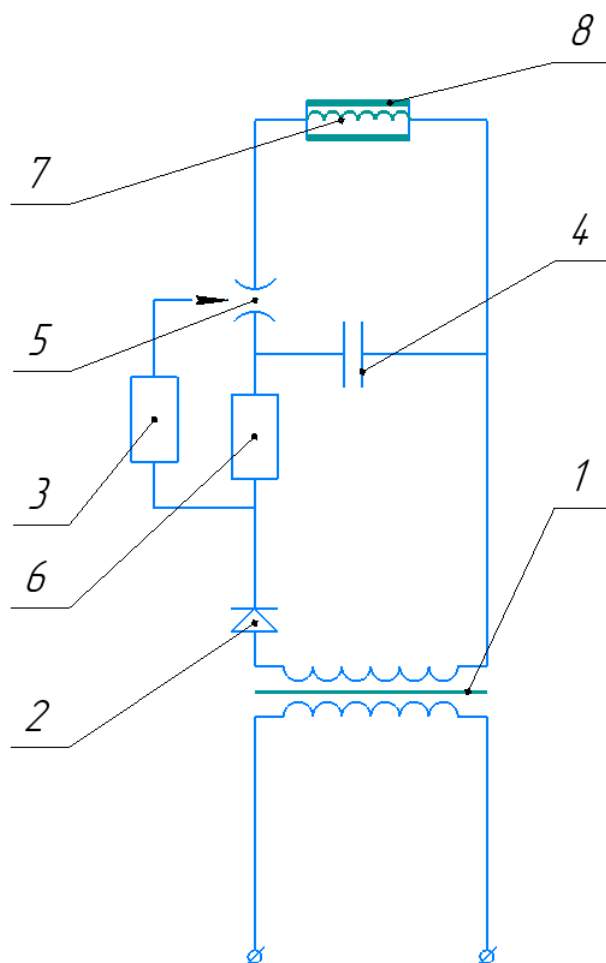


Рисунок 1 – Принципиальная схема магнитно-импульсной установки [2]:

1 – трансформатор; 2 – выпрямитель; 3,6 – зарядное сопротивление;

4 – конденсаторная батарея; 5 – электронный разрядник;

7 – индуктор; 8 – обрабатываемая деталь

Процесс начинается с зарядки конденсаторов до определенного уровня напряжения, после чего они разряжаются через индуктор. В результате вокруг индуктора создается мощное магнитное поле, воздействующее на металлическую заготовку и вызывающее ее деформацию.

Рассматриваемая технология позволяет выполнять операции штамповки, сборки, сварки, формовки, калибровки, можно получать не только трубчатые, но и плоские изделия, а также выполнять сборочные операции путем пластического деформирования одной детали по контуру другой, соединение концов труб, запрессовку в трубах колец и фланцев, соединение втулки со стержнем и т.д.

Магнитно-импульсные установки конструктивно сравнительно просты (рисунок 2). Они не имеют движущихся и трущихся частей, следовательно, надежны в эксплуатации. Применяются как специализированные (предназначены для осуществления одной операции), так и универсальные (выполняющие разные операции) магнитно-импульсные установки [3].

Штамповая оснастка отличается простотой конструкции и малой металлоемкостью. Это обусловлено тем, что в ее состав входит один элемент – матрица, оправка или формоблок, в зависимости от вида операции. Роль пуансона играет усилие, деформирующее заготовку [4].

В качестве примера, на рисунке 2, схематически представлена конструкция универсального технологического приспособления [2].

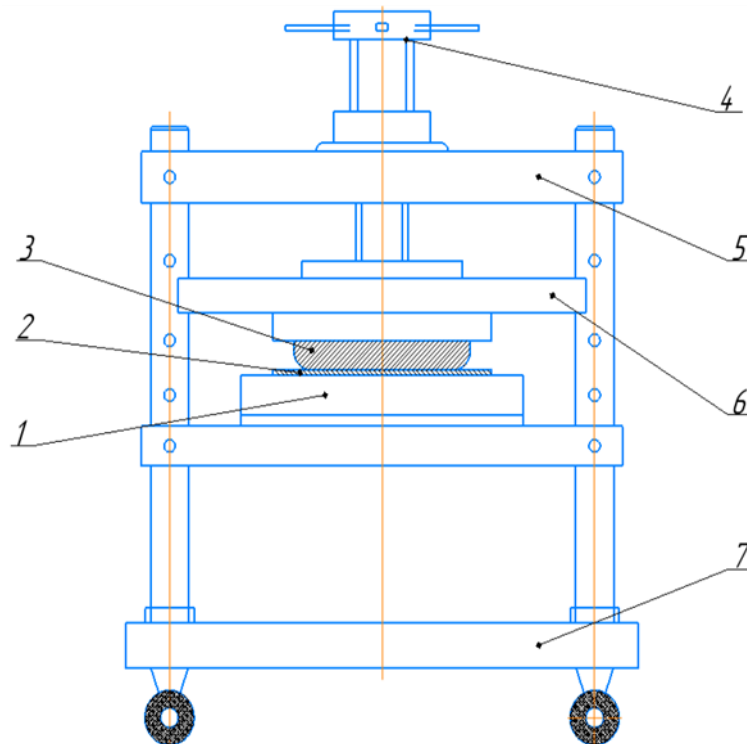


Рисунок 2 – Схема прессы портального типа с механическим приводом:  
1 – индуктор; 2 – заготовка; 3 – оснастка; 4 – механизм подъема-опускания;  
5 – фиксирующие штыри; 6 – подвижная плита; 7 – основание

Преимущества магнитно-импульсной обработки:

1 Высокая точность обработки, МИО позволяет достигать высокой точности геометрических параметров благодаря контролируемому воздействию;

2 Бесконтактность процесса, отсутствие механического контакта между инструментом и заготовкой исключает износ инструмента и повреждение поверхности металла;



3 Скорость и эффективность, процесс занимает считанные миллисекунды, что значительно ускоряет производственный цикл;

4 Улучшение механических свойств, за счет равномерного распределения напряжений в металле улучшаются его механические свойства, такие как прочность и твердость.

Существует ряд недостатков: форма детали не должна препятствовать протеканию индуцированного тока; трудно получать детали, требующие многопереходные процессы; ограниченный ресурс индуктора [3].

Одним из ярких примеров применения МИО является производство автомобильных кузовов. Традиционные методы сварки и механической обработки часто приводят к изменению структуры металла и появлению дефектов. МИО позволяет избежать этих проблем, обеспечивая высокую прочность соединений и минимизируя влияние на микроструктуру материала. Магнитно-импульсная обработка металлов представляет собой перспективную технологию, обладающую значительными преимуществами перед традиционными методами обработки. Она обеспечивает высокую точность, скорость и эффективность производственных процессов, а также улучшение механических свойств металлов. В будущем можно ожидать дальнейшего развития и внедрения МИО в различные отрасли промышленности, что позволит значительно повысить качество и конкурентоспособность продукции.

Магнитно-импульсная обработка уже доказала свою эффективность на практике, и ее применение будет расширяться по мере совершенствования технологий и оборудования. Это делает МИО одним из ключевых методов обработки металлов в современной промышленности.

#### **Список использованных источников**

1 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

2 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глущенко [и др.]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

3 Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

4 Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/258949/>. – Дата доступа: 02.03.2024.

### **Технологические особенности волочения проволоки в монолитной волоке**

Студенты гр. 10402220 Коротченко К.Г., Снежко А.В.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Волочение металлов – это процесс, при котором металлические изделия протягиваются через узкое отверстие, называемое волокой. Этот процесс используется для уменьшения диаметра и длины металлических изделий, а также для создания более точных форм и размеров.

Волочение металлов может быть выполнено вручную или с помощью специальных машин. В процессе волочения металл проходит через волоку, которая имеет форму отверстия, соответствующего размеру и форме конечного продукта. Волока может быть сделана из различных материалов, включая сталь, медь или бронзу.

При волочении металлов происходит деформация металла, что может привести к его разрыву или разрушению. Поэтому важно правильно выбрать материал волоки и контролировать процесс волочения.

Основным способом изготовления проволоки в настоящее время является волочение в монолитных волоках. Этот способ отличается относительной простотой и хорошо изучен теоретически. Для его осуществления имеется необходимое оборудование, освоено производство инструмента. Волоченные изделия отличаются большой точностью геометрических форм и высоким качеством поверхности.

При волочении проволоки для снижения трения применяют подготовку поверхности к волочению, которая заключается в очистке поверхности катанки (передельной проволоки) от окалины и загрязнений и нанесении специального подсмазочного слоя, а также обязательную подачу в очаг деформации технологической смазки. Снизить силу трения можно также изменением рабочей и калибрующей зон волоки [1].

Для очистки поверхности катанки (передельной проволоки) от окалины при производстве высокоуглеродистой проволоки применяют химические (травление в растворах серной и соляной кислот), механические (знакопеременный изгиб) и комбинированные методы обработки.

В качестве подсмазочных покрытий используют омеднение, фосфатирование, бурирование.

В последние годы, как в отечественной, так и в зарубежной практике производства проволоки для подготовки поверхности металла к волочению применяют комбинированные установки механического удаления окалины, совмещающие операции удаления окалины и нанесения подсмазочного слоя. Волочение высокоуглеродистой проволоки проводят на многократных волочильных станах всех применяемых сегодня типов: прямоточных, с накоплением, со сдвоенными барабанами, со скольжением [1].

Технологический процесс изготовления высокоуглеродистой арматурной проволоки кроме подпроцессов термообработки, подготовки поверхности металла и волочения включает операции профилирования (высокопрочная арматурная проволока), нанесение защитных металлических покрытий (проволока стальная канатная, кордовая) и т.д [2].

Процесс волочения осуществляется путем приложения переднего тянущего усилия к заготовке, которое создает благодаря эффекту клина необходимую для деформации металла поперечную силу и обеспечивает протягивание металла через неподвижную волоку, рабочая часть, которой имеет форму конуса. На поверхности раздела «металл – волока» действуют контактные силы трения, направленные против движения металла.

При волочении в монолитных волоках инструмент неподвижен, а при роликовом волочении ролики вращаются вокруг своих осей, что делает этот процесс схожим с прокаткой.

Этим определяется различный характер действия контактных сил трения, играющих решающую роль в реальных процессах обработки металлов давлением. В роликовых волокнах очаг деформации состоит из двух зон – отставания и опережения, что характерно для процесса прокатки. Однако, если при прокатке преобладает зона отставания, то при протяжке в роликовых волокнах – зона опережения, т.к. ролики приводятся в движение силами трения, накопленными в этой зоне. Для волочения в роликах характерно сочетание двух схем напряженного состояния: двухстороннего сжатия растяжением, как при волочении, и всестороннего сжатия, как при прокатке. Чем меньшую роль в схеме главных напряжений играют растягивающие напряжения, тем большую способность к пластической деформации проявляет металл. Холоднокатаная проволока обладает более выраженной текстурой волокон и лучшим распределением деформаций по сечению, чем холоднотянутая проволока [2].

Основными технологическими преимуществами использования процесса волочения в монолитной проволоке:

- низкая чувствительность к наличию на поверхности окисной пленки;
- отсутствие смазки и необходимости острения переднего конца;
- более длительный срок эксплуатации роликов;
- возможность работы на более высоких скоростях.

#### **Список использованных источников**

- 1 Перлин, И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин // Высшая школа. – 1971. – № 1. – С. 57–89.
- 2 Косилов, А. Г. Справочник технолога машиностроения / А. Г. Косилов // Машиностроение. – 1986. – № 2. – С. 42–78.

**Экструзия. Виды экструзии и оборудования для технологического процесса**

Студенты гр. 10402220 Мороз В.И., Лебедев А.Г.

Научный руководитель – Шкурдюк П. А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Экструзия в обработке металлов давлением является одним из наиболее широко применяемых технологических процессов в металлургии и машиностроении. Экструзию, другими словами, можно опередить как комплексный физико-химический процесс, протекающий под воздействием механических усилий, высокой температуры и влаги. Перерабатываемое сырье нагревается за счет тепла, которое выделяется в процессе преодоления внутреннего трения и деформации материала, а также благодаря внешнему нагреву. Переменными параметрами процесса экструзии является состав и влажность перерабатываемого материала, а также давление, температура, интенсивность и продолжительность воздействия на сырье. К основным методам экструзии можно отнести холодное формование, тепловую обработку и метод «горячей экструзии» (формовки). Экструзионной обработке могут подвергаться почти все основные виды полимеров: термопласты, эластомеры, реактопласты.

Экструдер (экструдинг-пресс) – машина для формования пластичных материалов, путём придания им формы, при помощи продавливания (экструзии) через профилирующий инструмент (экструзионную головку) представлен на рисунке 1.

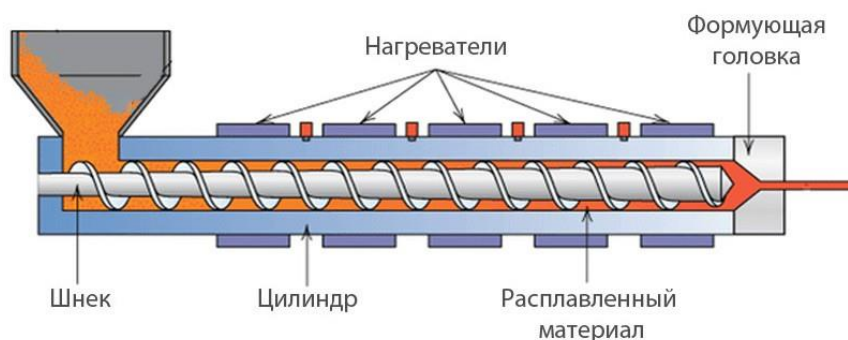


Рисунок –1 Экструдер

Схематично принцип действия экструдера можно описать следующим образом. Перерабатываемый полимер подается в зону приема сырья, а конкретно поступает в пазухи между витками шнека. По мере поступления новой порции материала, он уплотняется. Далее, шнек вращается и перемещает материал в зону пластификации, где материал подплавляется и пластифицируется, что способствует смешиванию. Спрессованный материал, образовав пробку, скользит по шнеку. В результате образования пробки уровень давления растет. Давление расходуется на преодоление сопротивления сеток и формование профиля. В зоне выпрессовывания продукта сырье полностью гомогенизируется и продавливается через формующую головку.

Современные экструдеры способны реализовывать технологию сухой (холодной), тепловой и горячей экструзии. Принцип действия экструдера может различаться в зависимости от используемой технологии.

Модели экструдеров отличаются конструктивным исполнением элементов, которые входят в рабочую часть, наличием дополнительных систем влияющих на технологические возможности экструдеров, количеством рабочих камер, конструкцией приводов, питателей.

Основные виды экструзионных машин представлены следующими агрегатами: одношнековыми, двухшнековыми, поршневыми дисковыми агрегатами.

Существуют также многошнековые экструдеры, выдувные, пленочные, а также специальные экструзионные линии для производства труб. В зависимости от типа экструдера, главным рабочим органом является шнек (винт/червяк), диск или поршень. Экструдеры оснащаются многоцелевыми шнеками, которые способны перерабатывать разные виды пластмасс или механизмами специализированного назначения. Существуют шнеки с наборными элементами, которые адаптируются под изготовление отдельных композиций.

Экструзионное оборудование в целом характеризуется несложностью в обслуживании. Ремонт и сервисное обслуживание одношнекового экструдера заключается исключительно в смене и чистке сеток-фильтров, замене масла в приводе, ремонте нагревательных цилиндров и замене электрических предохранителей. После того, как экструдер проработал предписанное производителем количество часов, его необходимо разобрать и заменить цилиндр и шнек, если это необходимо. Список необходимой документации на экструдер включает паспорт завода-изготовителя, электрическую схему, чертеж для сборки и описание работы [1].

Экструзия металлов может осуществляться с использованием различных материалов, таких как алюминий, медь, сталь, никель и их сплавы. Это позволяет достичь различных характеристик производимых изделий, включая прочность, устойчивость к коррозии и теплоустойчивость. Кроме того, экструзия может комбинироваться с другими технологиями, например, с термической обработкой, для получения более сложных свойств и структур материала.

К основным параметрам метода экструзии принято относить: температуру по зонам агрегата, уровень давления расплава, температура зон головки, а также режимы охлаждения экструдированного профиля. К основным технологическим параметрам экструзионной машины принято относить характеристики шнека, которым она оснащена: длина, Диаметр, показатель отношения длины шнека к диаметру, скорость вращения, профиль шнека. Главной характеристикой формующего инструмента, который включает в себя головку и калибрующий узел, является коэффициент сопротивления течению расплава полимера.

К агрегированным показателям работы любой экструзионной машины можно отнести эффективность работы, которая рассчитывается как отношение производительности к потребляемой им мощности.

Существуют три основных метода экструзии: холодная, теплая и горячая.

Метод холодной экструзии предполагает использование исключительно механических изменений в перерабатываемом материале при его медленном передвижении под воздействием давления и формованием изделия посредством головки.

Метод теплой экструзии предполагает смешения сухого сырья и воды, после чего данная смесь подается в экструдер. В экструдере смесь подвергается механическому и тепловому воздействию. Готовый продукт характеризуется невысоким уровнем плотности, увеличенным объемом, пластичностью и ячеистому строению. В некоторых случаях готовые изделия сушат.

Метод горячей экструзии предполагает протекание процессов на высокой скорости и при температуре около 20°C. Структура материала подвергается различным изменениям. Тепло поступает к продукту посредством нагревательных элементов, а также через наружные стенки экструдера. Уровень влажности сырья колеблется в диапазоне 10-20%.

Преимущества экструзии металлов:

1 Высокая точность и повторяемость размеров: экструзия позволяет получать изделия с высокой точностью размеров и форм, благодаря четкому контролю параметров процесса и использованию специальных пресс-форм. Это особенно важно при производстве деталей с тесными допусками или сложной геометрией.

2 Оптимальное использование материала: она позволяет минимизировать потери материала благодаря его рациональному расходованию. Это связано с возможностью производства изделий с практически готовыми поверхностями, что снижает необходимость в последующей механической обработке.

3 Высокая производительность: является высокопроизводительным процессом, позволяющим быстро и эффективно производить большие объемы изделий. Это обеспечивает экономию времени и снижает затраты на производство.

Недостатки экструзии металлов:

1 Высокая стоимость оборудования: для осуществления процесса экструзии требуется специальное оборудование, которое может быть затратным для компаний. Это может стать преградой для малых предприятий или стартапов с ограниченным бюджетом.

2 Ограниченные геометрические возможности: несмотря на высокую точность формирования, экструзия имеет определенные ограничения в создании сложных геометрических форм. Некоторые детали с очень тонкими стенками или очень сложной внутренней структурой могут быть сложными или невозможными для производства с использованием этой технологии.

3 Ограниченные размеры изделий: Размеры изделий, производимых методом экструзии, ограничены размерами диаметра и длины экструзионной пресс-формы. Это также может быть недостатком при производстве крупногабаритных изделий или длинных профилей [2].

#### **Список использованных источников**

1 Николаев, А. Ф. Технология полимерных материалов / А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов. – СПб.: Профессия, 2006. – 541 с.

2 Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения. Учебник для студентов машиностроительных специальностей, Е.П. Круглов [и др.]; — Казань: Политех, 2015. – 433с.

### Термомеханическое моделирование для металлургических исследований

Студент гр.10402321 Ма Инкэ  
Научный руководитель – Жогло А.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Для реализации методов физического моделирования необходимо создавать специальное оборудование. Созданный американской компанией «Dynamic Systems Inc.» (DSI) испытательный комплекс для физического моделирования GLEEBLE является на сегодняшний день самой передовой системой, используемой для изучения металлургических процессов, разработки новых материалов и воспроизведения реальных условий производственных процессов в лабораторных условиях. Системы Gleeble доступны в нескольких моделях, каждая из которых имеет широкий спектр доступных опций и конфигураций. Такая гибкость позволяет адаптировать систему Gleeble к необходимым требованиям при проведении испытаний [1].

Gleeble 563 (рисунок 1) это совершенно новый исследовательский инструмент, оптимизированный по производительности, универсальности и цене. Будучи наиболее функциональным представителем серии Gleeble 500, Gleeble 563 создан как компактное и экономичное решение для исследователей, сохраняя при этом возможности мирового класса, которые сделали системы Gleeble отраслевым стандартом.



Рисунок 1 – Термомеханическое моделирование для металлургических исследований Gleeble 563

*Прямой резистивный нагрев обеспечивает быстрый и точный контроль температуры, создавая желаемый тепловой профиль для широкого спектра испытаний и моделирования.*

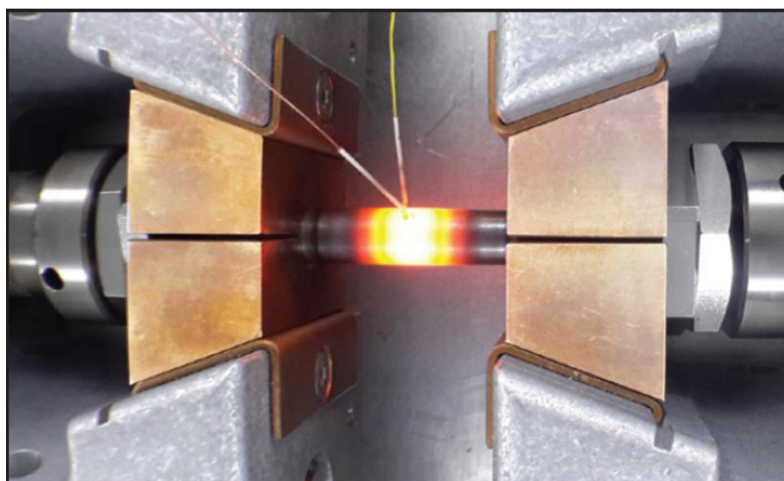


Рисунок 2 – Карта распределения тепла в эксперименте по тепловому моделированию Gleeble 563

*Gleeble 563* сочетает в себе впечатляющие тепловые характеристики с возможностями растяжения и сжатия. Для исследования деформаций можно использовать накопальни сжатия различных размеров и форм. Хотя Gleeble 563 – это экономичная и компактная система, требующая минимальных инвестиций, она обладает множеством возможностей и способна обеспечить широкий спектр испытаний и моделирования процессов. Особенности включают в себя:

- высокая скорость прямого нагрева сопротивлением до 10 000 °C/c;
- контролируемое охлаждение или ускоренное охлаждение с дополнительной закалкой (воздух/газ/вода/туман) ;
- моделирование различных применений, процессов и материалов;
- возможность испытаний в вакууме, воздух или инертный газ (доступны вакуумные и диффузионные насосы);
- удобные и простые в использовании элементы управления, и программное обеспечение;
- бесшумная работа и простая установка на небольшой лабораторной площади.

Таким образом система Gleeble 563 TMS обеспечивает высокоскоростные механические системы с непревзойденной производительностью в своем классе. Инновационная гидравлическая система позволяет сервосистеме достигать хода 200 мм в секунду с точным контролем и точностью измерения. В то же время система обеспечивает высокоскоростную тепловую систему со скоростью нагрева до 10 000 °C/c. Например, система Gleeble 563 выполняет испытания на термическую пластичность и термическое растяжение или термосжатие образцов различной геометрии, включая исследования одноосной и плоской деформации, которые могут обеспечить высокую скорость нагрева и охлаждения для широкого спектра типов образцов и материалов, значительно повышая способность воспроизводить различные тепловые распределения и градиенты, испытываемые материалами в реальных процессах, для успешного физического моделирования. Система Gleeble 563 TMS обеспечивает высокоскоростные механические системы с более точным контролем и точностью измерений при моделировании релаксации напряжений материала, распространения трещин, вызванных деформацией (SICO), кривых напряжений и деформаций, плавления и затвердевания, испытаний на нулевую прочность, термоциклирования термообработки, моделирования зоны термического влияния сварки, термической обработки образцов по Шарпи, локальных исследований хрупких зон, охрупчивания и восприимчивости к трещинам



Gleeble использует испытательные машины для создания моделей температурных процессов благодаря гибким и разнообразным функциям моделирования тепловых процессов, он чрезвычайно обширен. Промышленное применение данного комплекса актуально в связи с быстрым развитием современ. Он может выполнять различные типы термической деформации или термической обработки различных образцов металлических материалов, собирать соответствующие данные, исследовать и анализировать термодинамическое поведение материала, а также моделировать различные процессы термической обработки, такие как ковка, прокатка, непрерывное литье, сварка, нагрев. лечение и т. д. [2].

#### **Список использованных источников**

1 Баочунь, Чжао Исследование применения испытательной машины для теплового моделирования Gleeble-3800 / Баочунь Чжао, Гуйянь Ли, Цзин Ян // Anshan Iron and Steel Technology, 2010(5):28. – С 120–125.

2 Нью Дж. Методы физического моделирования в области материалов и термической обработки / Нью Дж. – Пекин: Национальная оборона Индустриальная пресса, 1999. – 200 с.

### Электрогидравлическая штамповка

Студенты гр. 10402220 Стафейчук Н.В., Копейко В.Д.,

Буримский С.В., Хань Я Тао.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национально технический университет

Ковка металла – это процесс деформации, при котором металлическая заготовка сжимается между двумя штампами, образуя деталь.

Сущность электрогидравлического эффекта заключается в том, что при высоковольтных импульсных разрядах в жидкости создаются мощные гидравлические давления. Возникающие при этом ультразвуковые и гравитационные явления могут быть использованы для различных технологических целей и, в первую очередь, для штамповки сложных деталей из высокопрочных материалов [1].

Энергия электрического разряда в жидкости более эффективно используется при размещении рабочих электродов не в открытой емкости для формоизменения заготовки, а в замкнутой камере или внутри самой заготовки, в камере, закрытой с двух сторон крышками. Этим методом выполняют вытяжку плоских заготовок, отбортовку, раздачу трубчатых заготовок, оформление сложного контура на листовых и трубчатых заготовках, калибровку, пробивку и др.

Электрогидравлическая штамповка оснащается специальным оборудованием применительно к определенным группам деталей. Изготовление электрогидравлической установки обходится в несколько раз дешевле изготовления гидравлического пресса эквивалентной мощности. В установках в качестве емкостей применяются наборы батарей, которые разряжаются поочередно, что дает возможность сократить промежутки между импульсами для зарядки конденсаторов и производить удары с меньшим интервалом. Технологический блок установок, включающий матрицу, прижимное устройство, резервуар с водой и вакуум-насос, имеет набор электродов, располагаемых в резервуаре в соответствии с конфигурацией штампуемых деталей, исходя из условия получения необходимого давления в определенных зонах заготовки.

По сравнению с традиционными методами обработки металлов давлением электрогидравлическая штамповка имеет следующие преимущества:

– упрощается и удешевляется технологическая оснастка, что способствует сокращению сроков технологической подготовки производства и уменьшению затрат на освоение новых изделий;

– повышается точность штампуемых деталей из-за уменьшения пружинения и увеличения скорости деформирования;

– появляется дополнительная возможность совмещения ряда операций, выполняемых в одном штампе;

– увеличивается предельная глубина штамповки и критическая степень деформации из-за локализации воздействия и высоких скоростей деформирования;

– расширяются технологические возможности процесса [2].

Электрогидравлическая штамповка имеет ряд преимуществ перед взрывной штамповкой, к которым относятся несложное регулирование количества выделяемой энергии и возможность производить штамповку за несколько импульсов и получать благодаря дробности деформации сложные по форме детали с большим формоизменением заготовки. Электрический разряд в воде обеспечивает также более равномерное распределение давлений на заготовку. Однако необходимость создания мощных электрических установок, как источников энергии для деформирования заготовок, вызывает большие трудности.

### **Список используемых источников**

- 1 Ковка и объемная штамповка. Основные операции и технологии [Электронный доступ]. – Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/files/file/14197>. – Дата доступа: 21.04.2024.
- 2 Семенов, Т. И. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Т. И. Семенов. – М.: 2010. – 461 с.

### **Преимущества и недостатки штамповки на горизонтально-ковочных машинах**

Студенты гр. 30402121 Ширченко Е.В., Шабалина Т.С., Шептунова И.С.

Корунчик К.С., Новикова Я.Д.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Горизонтально ковочная машина представляет собой горизонтальный кривошипный горячештамповочный пресс и предназначены для штамповки поковок типа стержень с головкой, высаживаемой в торец, и поковок с поднутрениями в одной или двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Особенности штамповки таких поковок обуславливают особенности устройства штампов. Штампы ГKM (в отличие от молотовых и прессовых) должны иметь разъемы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Во-первых, главный разъем по плоскости смыкания подвижных частей рабочего инструмента (пуансоны, прошивни), закрепленных на главном (высадочном) ползуне и передающих активную нагрузку от привода, и, во-вторых, разъем по плоскости смыкания подвижной и неподвижной половин матрицы.

Смыкание с образованием рабочих полостей ручьев и раскрытие матрицы осуществляются при помощи целевого механизма зажима, на конечном звене которого - зажимном ползуне - закреплена подвижная половина матрицы; неподвижная половина матрицы находится в гнезде станины ГKM [1].

Учитывая, что штамповка происходит в условиях ограниченного течения металла, когда для четкого оформления конфигурации поковки не требуется создания подпора в виде развернутого заусенца, поглощающего избыток металла, в штамп ГKM должна быть задана заготовка с объемом, точно соответствующим объему полости ручья. Это тем более важно, что штамповку на ГKM для повышения производительности труда часто ведут не от мерной заготовки, а от прутка, рассчитанного на несколько поковок. Для того чтобы точно установить длину заданной заготовки, в машине предусмотрен специальный ограничитель подачи - передний или задний упор.

Штампы ГKM имеют два разъема. Первый разъем находится между пуансоном 1, закрепленным в ползуне, и матрицами 4 (подвижной) и 3 (неподвижной).

В исходном положении прутки диаметром  $d$  вставляют в полукольцевую выемку неподвижной матрицы 3 и проталкивают до упора 2. Таким образом, в рабочей полости остается прутки длиной, который может деформироваться. После этого ГKM включают на рабочий ход и части машины и штампов приводятся последовательно. В момент начала деформации часть прутка длиной зажата между матрицами 3 и 4, что предотвращает возможное осевое проталкивание прутка. При этом упор 2 отодвигается в сторону, освобождая путь деформирующему пуансону 1. После окончания процесса деформирования часть прутка уже подверглась высадке и заполнила полость между матрицами с образованием фланца. После этого совершается обратный ход пуансона 1 и разведение матриц 3 и 4 в исходное положение а. По окончании штамповки прутки с фланцем легко вынимаются из разъема между матрицами 3 и 4 и из машины (рисунок 3) [3].

Формующая полость может находиться одновременно в пуансоне и матрице или даже в одном пуансоне.

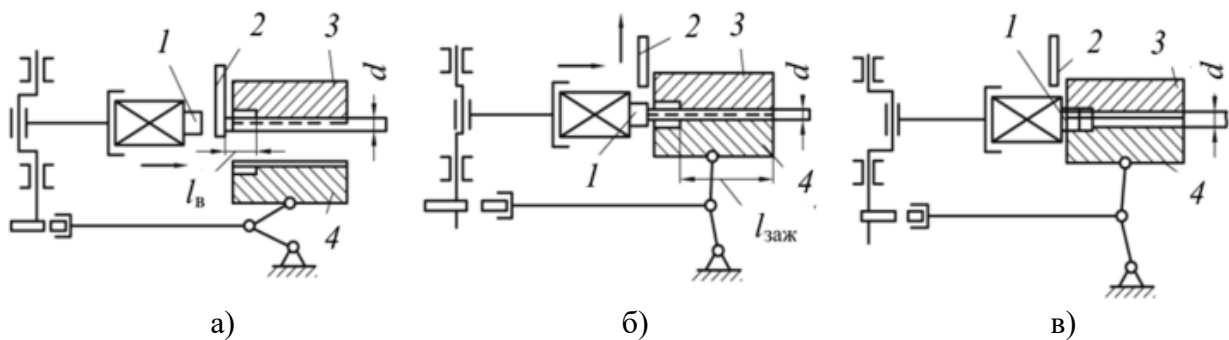


Рисунок 1 – Виды формирующих полостей ГКМ:

1 – пуансон; 2 – упор; 3 – неподвижная матрица; 4 – подвижная матрица;  
 а – исходное положение; б – начало деформации; в – окончание деформирования

На ГКМ можно также проводить штамповку в несколько переходов, выполняя последующие операции в других ручьях, оси которых в многоручьевых штампах ГКМ располагаются параллельно одна над другой.

Главными особенностями ГКМ являются: наличие разъема штампов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях; передвижение главного высадочного ползуна в горизонтальной плоскости, что позволяет штамповать детали сложной конфигурации и производить местную деформацию заготовок большой длины.

Основные преимущества горизонтально-ковочных машин:

- штамповка без облоя (за исключением отдельных деталей сложной конфигурации), что исключает применение обрезных прессов и штампов;
- отсутствие штамповочных уклонов, кроме внутренних полостей поковок, образуемых пуансонами с небольшими уклонами и при наличии буртов;
- возможность назначения меньших припусков на механическую обработку и более жестких допусков, по сравнению с применяемыми в работе на молотах, что обеспечивает значительную экономию металла;
- получение хорошей макроструктуры с направлением волокон, наиболее благоприятно ориентированных относительно действующих усилий при работе детали, включая отсутствие перерезывания волокон;
- возможность широкого применения рабочих вставок наиболее изнашиваемых частей штампов, что снижает их стоимость;
- возможность сочетания ГКМ в процессах комбинированной штамповки с молотом, прессом, ковочными вальцами и гибочной машиной;
- возможность производить штамповку из мерных заготовок и от прутка.

Недостатки горизонтально-ковочных машин:

- необходимость применения проката повышенной точности;
- ограниченное число форм поковок (цилиндрические);
- относительно низкая стойкость ставок штампа;
- необходимость очистки прутка от окалины;
- относительно высокая стоимость машины (в 1,5 раза дороже КГШП аналогичного усилия) [2].

#### Список использованных источников

1 Горизонтально-ковочные машины для штамповки (ГКМ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа (<https://www.heavy-lift.ru/takelazh-ot-a-do-ya/gorizontaljno-kochnie-mashini-dlya-shtampovki-gkm/>). – Дата доступа: 28.01.2024.

2 Достоинства и недостатки штамповки на ГКМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа (<https://vunivere.ru/work38095>). – Дата доступа: 28.01.2024.

3 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах, Сущность процесса – Кузнечно-штамповочное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа ([https://studref.com/390225/tehnika/shtampovka\\_gorizontalno\\_kovochnyh\\_mashinah?ysclid=lrz74pstf434290810](https://studref.com/390225/tehnika/shtampovka_gorizontalno_kovochnyh_mashinah?ysclid=lrz74pstf434290810)). – Дата доступа: 28.01.2024.

**Прецизионная листовая штамповка**

Студенты гр. 10402221 Германович М.С., Лебедев Д.С.

Научный руководитель – Жогло А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Прецизионная листовая штамповка – это процесс обработки металлических листов с использованием специального оборудования, называемого прессом. Во время штамповки листового материала на него действует сила, созданная штампом, что позволяет получить детали с высокой точностью и четкостью. Прецизионная штамповка широко используется в машиностроении, автомобильной промышленности, электротехнике и других отраслях для изготовления различных деталей и изделий [1].

Поскольку процесс автоматизирован, можно создавать большое количество практически идентичных деталей. Эта согласованность особенно важна в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная и медицинская, где точность и качество имеют первостепенное значение (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Детали изготовленные методом прецизионной листовой штамповкой

Основным преимуществом прецизионной штамповки металлов является точность производственного процесса. Поскольку процесс автоматизирован, можно производить детали быстро и эффективно, что может привести к значительной экономии средств. Кроме того, поскольку процесс отличается высокой точностью, возникает меньше отходов, что еще больше снижает затраты.

Прецизионная штамповка металла используется для создания широкого спектра деталей, от небольших компонентов, таких как разъемы и кронштейны, до более крупных деталей,

таких как панели кузова автомобиля. Этот процесс может использоваться с различными металлами, включая сталь, алюминий и медь, и может использоваться для создания деталей различной толщины и формы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Процесс прецизионной листовой штамповки

В заключение, прецизионная штамповка металла является важным производственным процессом, который позволяет создавать высококачественные, однородные детали. Его точность, эффективность и экономичность делают его идеальным решением для широкого спектра отраслей промышленности и приложений.

#### Список использованных источников

- 1 Прецизионная листовая штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Прецизионная штамповка сущность \(metal-detal.ru\)](http://metal-detal.ru) . – Дата доступа: 07.04.2024.
- 2 Детали изготовленные прецизионной штамповкой и область ее применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Прецизионные штампованные детали - Новости отрасли - Новости - Dongguan Precision Converting Co Co., Limited \(pre-ejeexpandable.com\)](http://pre-ejeexpandable.com) . – Дата доступа: 08.04.2023.



**Гидравлические бесшаботные молоты Lasco**

Студент гр. 10402221 Гиринский А.И.  
Научный руководитель – Жогло А.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

Оборудование обработки металлов давлением является ключевым элементом промышленности, поскольку обеспечивает возможность формирования металлических изделий с высокой точностью, эффективностью и масштабируемостью. Оно играет решающую роль в производстве широкого спектра продукции, начиная от крупных конструкций до мелких деталей, и является основой для инноваций и развития в различных отраслях промышленности. Оборудование обработки металлов давлением также обеспечивает экономическую выгоду предприятиям, позволяя им снижать затраты на производство благодаря автоматизации и оптимизации процессов. Более того, оно способствует повышению качества продукции за счет высокой степени повторяемости и точности формирования деталей, что особенно важно в отраслях, где требуются строгие стандарты качества и безопасности. Таким образом, оборудование обработки металлов давлением является неотъемлемой частью современной промышленности, обеспечивая основу для инноваций, конкурентоспособности и устойчивого развития предприятий [1].

Компания Lasco является одним из ведущих производителей оборудования для обработки металлов давлением (ОМД). Они специализируются на разработке, производстве и поставке широкого спектра пресс-машин и другого оборудования, которое используется для формирования металлических изделий с помощью давления.

Lasco известна своими высококачественными и надежными продуктами, которые широко применяются в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, авиационную, энергетическую, судостроение, машиностроение и другие.

Продуктовая линейка Lasco включает в себя различные типы пресс-машин, такие как гидравлические, механические и гидропневматические, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества в зависимости от конкретных потребностей производства. Компания Lasco также активно внедряет новейшие технологии в свои продукты, такие как компьютерное управление и автоматизация процессов, чтобы обеспечить более высокую производительность, точность и эффективность в производстве металлических изделий.

Благодаря своему опыту, инновациям и высокому качеству продукции, Lasco заслужила репутацию надежного партнера для предприятий во всем мире, стремящихся к оптимизации своих производственных процессов и повышению конкурентоспособности на рынке.

Гидравлический бесшумный молот GH представленный на рисунке 1, производства Lasco, представляет собой передовое оборудование в сфере обработки металла давлением. Этот молот является частью инновационной линейки промышленного оборудования, разработанной с учетом современных требований эффективности, безопасности и экологической устойчивости. Вот подробное описание ключевых характеристик и особенностей гидравлического бесшумного молота GH.



Рисунок 1 – Бесшаботный молот типа GH

**Принцип работы:** Молот GH основан на гидравлическом принципе действия. Он использует высокое давление жидкости для передачи силы на обрабатываемый материал, обеспечивая точное и эффективное формование металла.

**Бесшумность:** Одной из ключевых особенностей молота GH является его способность работать без шума. Это достигается благодаря специальной звукопоглощающей конструкции и инновационной системе подавления шума, что делает его идеальным выбором для использования в промышленных помещениях, где требуется соблюдение строгих норм безопасности и забота о окружающей среде.

**Эффективность:** Молот GH обеспечивает высокую производительность и точность обработки металла. Он способен легко формировать и деформировать различные металлические заготовки, обеспечивая высокое качество поверхности и точность размеров.

**Надежность и долговечность:** Конструкция молота GH выполнена из высокопрочных материалов и оборудована надежной гидравлической системой, что обеспечивает стабильную работу и долгий срок службы без необходимости частого технического обслуживания.

**Удобство в эксплуатации:** Этот молот имеет интуитивно понятный интерфейс управления, что делает его простым в использовании даже для непрофессионалов. Различные настройки и режимы работы позволяют адаптировать его под различные виды обработки металла и условия работы.

**Безопасность:** Молот GH оборудован различными системами безопасности, включая защиту от перегрузок, систему автоматического выключения в случае аварийной ситуации, а также механизмы предотвращения несанкционированного доступа и повреждений.

Гидравлический бесшумный молот GH производства Lasco является надежным и эффективным инструментом для обработки металла давлением. Его инновационные характеристики делают его идеальным выбором для различных промышленных задач, где требуется высокая производительность, точность и соблюдение строгих норм безопасности и экологической устойчивости [2].

Компания Lasco занимает лидирующие позиции на рынке промышленного оборудования благодаря своему инновационному подходу, высокому качеству продукции и непрерывному стремлению к совершенству.

Станки ОМД от Lasco представляют собой результат глубокого инженерного исследования и разработки, которые обеспечивают высочайший уровень производительности, точности и надежности. Их инновационные характеристики, такие как высокоточные системы управления, эффективные гидравлические и пневматические системы, а также продуманный дизайн, делают их незаменимым оборудованием для промышленных предприятий во всем мире.

Кроме того, компания Lasco активно стремится к соблюдению экологических стандартов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Это подтверждается разработкой бесшумных гидравлических молотков и других инновационных технологий, которые способствуют снижению шума, вибрации и энергопотребления.

В заключение, продукция компании Lasco не только соответствует самым высоким стандартам качества и производительности, но и подтверждает их репутацию надежного и инновационного лидера в области промышленного оборудования. Станки ОМД от Lasco — это инструменты, на которые можно полагаться, чтобы обеспечить эффективность, точность и надежность в любой области обработки металла.

#### **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 Технология обработки давлением «Lasco» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lasco.com/ru/forming-technology.html>. – Дата доступа: 16.03.2024.

### Взрывная резка металлов

Студенты гр. 10402222 Богославчик А.А., Давыдов В.И.,

Ковальчук А.Д., Юрцевич М.А.

Научный преподаватель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Для резки металлов применяют несколько типов взрывных операций:

- резка ножами под силовым действием взрыва;
- резание контактным зарядом.

#### Резка ножами под силовым действием взрыва

Резка ножами под силовым (рисунок 1) действием взрыва – это метод взрывной резки металлов, основанный на использовании специально сконструированных ножей, которые разгоняются энергией взрыва. Этот метод применяется для разделения металлических заготовок на отдельные части, обеспечивая высокую производительность и относительно низкую стоимость процесса [1].

Процесс резки ножами под силовым действием взрыва может быть описан следующим образом:

1 Подготовка заготовки: сначала металлическая заготовка, которую необходимо разрезать, подготавливается к процессу. Здесь могут включаться шлифовка краев, очистка поверхности и другие манипуляции для обеспечения точного и эффективного разделения.

2 Установка взрывчатого заряда на поверхности заготовки размещаются специальные ножи, обычно снабженные взрывчатыми зарядами. Эти ножи могут быть выполнены из ударопрочного материала, такого как сплавы металлов или специальные полимеры, и иметь форму и конфигурацию, оптимизированные для максимальной эффективности разделения металла.

3 Инициирование взрыва после установки ножей происходит инициирование взрыва. Взрывчатые заряды, расположенные на ножах, активируются, что приводит к быстрому разгону ножей в направлении разделения металла.

4 Разделение металла при силовом действии взрыва ножи вступают в контакт с металлом и создают ударную волну. Эта ударная волна вызывает появление трещин в металле, которые распространяются навстречу друг другу [2].

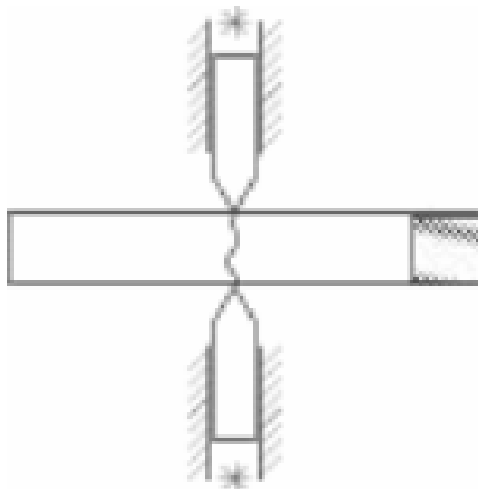


Рисунок 1 –Схема взрывной резки проката ножами

Преимущества:

– Высокая производительность: резка ножами под силовым действием взрыва обеспечивает быстрое и эффективное разделение металла на части, что позволяет существенно увеличить производительность процесса.

– Относительно низкая стоимость: в сравнении с некоторыми другими методами резки, такими как лазерная или плазменная резка, метод резки ножами под силовым действием взрыва может быть более экономически выгодным, особенно при работе с крупными заготовками или в условиях, где доступны ограниченные ресурсы.

– Применимость к различным материалам: этот метод может быть успешно применен для резки различных металлических материалов, включая сталь, алюминий, медь и их сплавы.

– Возможность автоматизации: процесс резки ножами под силовым действием взрыва может быть автоматизирован с использованием специального оборудования, что повышает его эффективность и позволяет обрабатывать большие объемы материала без необходимости постоянного присутствия оператора.[3]

Резание контактным зарядом

При резке контактным зарядом (рисунок 2) режущее действие сводится к сдвигу, который возникает под действием высокого давления на поверхности раздела между металлом и ВВ (взрывчатого вещества).

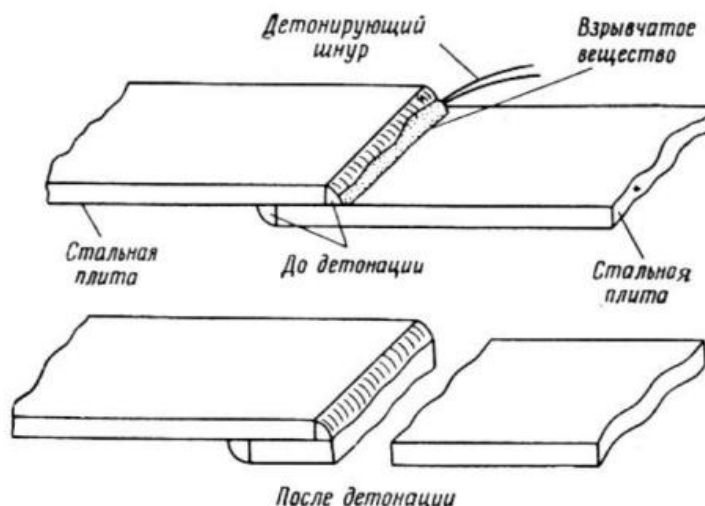


Рисунок 2 – Резка сварной плиты контактным зарядом

Резание контактным зарядом – это метод взрывной резки металлов, основанный на создании высокого давления на поверхности раздела между металлом и взрывчатым веществом (ВВ). Этот метод обеспечивает эффективное разделение металла на части без применения ножей или других специальных инструментов [3].

Подробное описание процесса резания контактным зарядом:

1 Подготовка заготовки: Металлическая заготовка, которую необходимо разрезать, подготавливается к процессу. Это может включать в себя очистку поверхности от загрязнений, установку специальных устройств для удержания или фиксации заготовки и другие меры.

2 Установка взрывчатого заряда: на поверхности заготовки наносится взрывчатое вещество в виде контактного заряда. Этот заряд обычно наносится вдоль линии разреза или в местах, где требуется разделение металла. Контактный заряд может быть различной формы и размера в зависимости от конкретных условий и требований процесса.

3 Инициирование взрыва: после установки контактного заряда происходит инициирование взрыва. Это может быть достигнуто с помощью взрывателей или других специальных устройств, которые активируются удаленно или автоматически. В результате инициирования

взрыва происходит быстрое расширение газов и создание высокого давления на поверхности раздела между металлом и ВВ.

4 Разделение металла: под действием высокого давления, создаваемого взрывом контактного заряда, металл разрывается вдоль линии раздела. Это приводит к образованию трещин и разрушению металла, что позволяет разделить заготовку на отдельные части.

5 Контроль качества и обработка: после завершения процесса разделения металла проводится контроль качества полученных частей. При необходимости могут быть выполнены дополнительные операции обработки, такие как удаление остатков взрывчатого вещества или обработка краев для улучшения внешнего вида или точности размеров [3].

6 Безопасность: при работе с контактным зарядом особое внимание уделяется безопасности. Это включает в себя соблюдение всех необходимых мер предосторожности, обеспечение безопасного удаления остатков взрывчатого вещества и предотвращение возможности несанкционированного доступа к месту проведения операции.

Резание контактным зарядом является эффективным методом взрывной резки металлов, который может быть применен в различных отраслях промышленности для разделения металлических заготовок на части с минимальными затратами времени и ресурсов.

Преимущества:

1 Высокая производительность: резка контактным зарядом обычно происходит быстро и эффективно, что позволяет быстро разделять металлические заготовки на части.

2 Применимость к различным металлам: этот метод резки может быть успешно применен для различных металлов и их сплавов, включая сталь, алюминий, медь и другие.

3 Относительная простота и низкая стоимость оборудования: взрывные заряды и оборудование для резки контактным зарядом могут быть относительно доступными по сравнению с некоторыми другими методами резки, такими как лазерная или плазменная резка.

4 Минимальные требования к обработке поверхности: в отличие от некоторых других методов резки, резка контактным зарядом может не требовать предварительной подготовки поверхности металла, такой как очистка от окислов или загрязнений.

Вот общий обзор применения каждого метода:

1 Резка ножами под силовым действием взрыва:

– Этот метод часто применяется в промышленности, где требуется быстрое и эффективное разделение крупногабаритных металлических конструкций, таких как мосты, башни, корабли и другие.

– Он также может использоваться на металлургических заводах и в металлообрабатывающей промышленности для разделения заготовок и изделий больших размеров.

2 Резание контактным зарядом:

– Этот метод широко используется в строительстве и сносе зданий, а также в демонтаже промышленных объектов, таких как трубопроводы, резервуары и прочее.

– Также может применяться в автомобильной и железнодорожной промышленности для разделения металлических конструкций и деталей.

– Также может использоваться в производстве металлических изделий, особенно там, где требуется высокая точность и минимальные деформации.

#### **Список использованных источников**

1 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 108 с.

2 Кобзарь, И. В. Взрывное резание металлов / И. В. Кобзарь, А. С. Крюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 261 с.

3 Баранов, Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработки и новые материалы / Ю. В. Баранов. – Москва: МГИУ, 2011. – 844 с.

## Координатные прессы для штамповки с автоматической сменой инструмента на примере прессы Amada серии EM-mII

Студент гр. 10402221 Лукашевич В.В.

Научный руководитель – Жогло А.Г.

Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

Координатные прессы для штамповки с автоматической сменой инструмента, такие как пресс AMADA серии EM-ZR (рисунок 1)

Серия EM-MII оснащена непревзойденной 30-тонной системой перфорации с двойным сервоприводом и ведущей в отрасли инструментальной револьверной головкой AMADA, которая доступна в двух различных конфигурациях (версии Z и K). Эти функции обеспечивают более быструю и качественную обработку.

Дополнительные системы идентификации инструмента и специальные устройства для нарезания резьбы сокращают время настройки и обеспечивают еще большую интеграцию процесса для повышения эффективности.



*Рисунок 1 – Координатный пресс AMADA серии EM-MII*

Преимущества рассматриваемого прессы AMADA серии EM-MII:

1. Идентификация инструмента:

Цифровое управление инструментом (AITS), основанное на технологии Barcode 2D, предотвращает любые ошибки при установке. Идентификация пуансонов также означает, что пуансона можно поддерживать в оптимальных условиях и улучшать качество обработки.

2. Универсальная Башня:

Время наладки станка сокращается за счет быстрой и простой замены матрицы благодаря тому что верхняя и нижняя револьверные головки имеют разные диаметры (версия Z).

3. Специальные резьбовые устройства:

Дополнительная револьверная головка на 44 позиции оснащена специальными блоками для нарезания резьбы. Эта технология позволяет полностью автоматизировать процесс нарезания резьбы и включить его в этап вырубки, что сокращает время обработки.

4. Рабочая зона:

Версия EM-MII 3612 может обрабатывать листовый металл размером 3050 x 1525 без необходимости изменения положения! Это значительно сокращает время обработки и повышает эффективность.

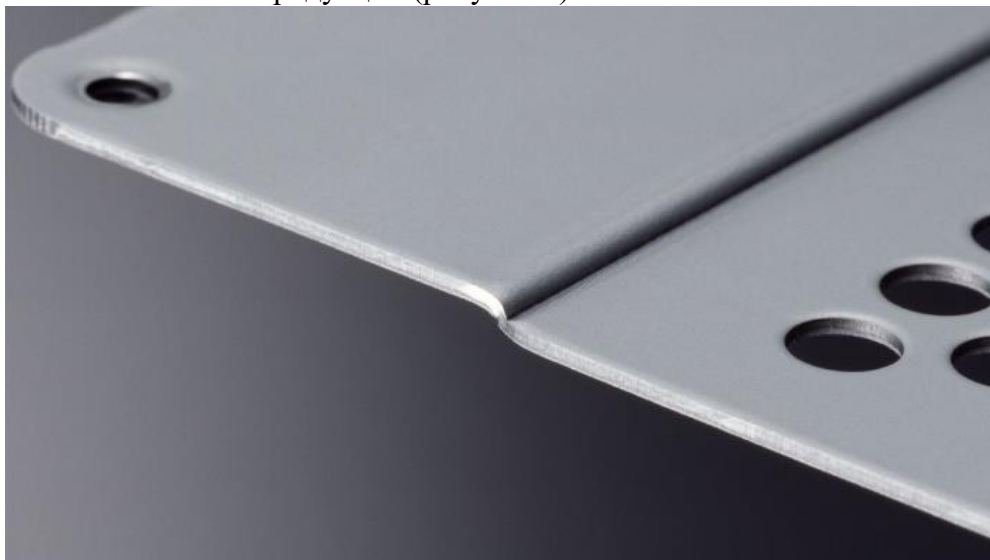
#### 5. Сохранение энергии:

Машина полностью электрическая, ее средняя потребляемая мощность составляет 4,5 кВт, что гарантирует низкое энергопотребление. Кроме того, в отличие от штамповочных машин с гидравлическим приводом не требуется дополнительная система охлаждения.

#### 6. Технология V-CUT

Вырезав V-образную канавку на внутренней стороне детали с помощью специального инструмента, можно создать изгибы со значительно уменьшенным внешним радиусом, что упрощает гибку. V-Cut — это лишь один из особых процессов, которые может выполнять EM-MII.

Примеры изготавливаемой продукции (рисунок 2):



**Рисунок 2 – Пример продукции**

Технические характеристики прессов AMADA серий EM-ZR (Таблица 1):

**Таблица 1**

	ЭМЗ-3510ММII (45)	ЭМК-3510МIIII (58)
Усилие пресса (кН)	300	300
Точность позиционирования (мм)	± 0,1	± 0,1
Количество станций	45	58
Рама машины	Каркас моста	Каркас моста
Расстояние перемещения оси (мм)	2500×1270	2500×1270
Тип стола станка	Стол для щеток	Стол для щеток
Размеры:		
Длина (мм)	4998	4998
Ширина (мм)	5128	5128
Высота (мм)	2342	2342
Вес (кг)	19000	19500
	ЭМЗ-3612ММII (45)	ЭМК-3512МIIII (58)
Усилие пресса (кН)	300	300
Точность позиционирования (мм)	± 0,1	± 0,1
Количество станций	45	45
Рама машины	Каркас моста	Каркас моста
Расстояние перемещения оси (мм)	3050×1525	3050×1525
Тип стола станка	3050×1525	3050×1525



Усилие прессы (кН)	Стол для щеток	Стол для щеток
Размеры:		
Длина (мм)	5436	5436
Ширина (мм)	6212	6212
Высота (мм)	2342	2342
Вес (кг)	21000	21500

### Список использованных источников

1 Брюханов, А.Н. Высокоскоростное деформирование металлов / А.Н. Брюханов. – М.: МАШГИЗ, 1960. – 368 с.

2 Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/451/5964-4.php>. – Дата доступа: 30.04.2024.

3 Артюхов, С. Листовая штамповка [Электронный ресурс] / С. Артюхов. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/obrabotka-davleniem/listovaya-shtampovka.html>. – Дата доступа: 30.04.2024.

4 Описание координатный пресс AMADA серии EM-MII [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.amada.eu/index.php?id=117&L=40&no\\_cache=1&MP=5-1353&mtm\\_campaign=BackLink2EUWebsite&mtm\\_kwd=EMM2&mtm\\_source=GmbHWebsite&mtm\\_placement=OldWebsite](https://www.amada.eu/index.php?id=117&L=40&no_cache=1&MP=5-1353&mtm_campaign=BackLink2EUWebsite&mtm_kwd=EMM2&mtm_source=GmbHWebsite&mtm_placement=OldWebsite) – Дата доступа: 30.04.2024.

**Технология изготовления безвоздушных шин**

Студенты гр.10402221 Кашмель А.В.  
Научный руководитель – Жогло А.Г.  
Белорусский национальный технический университет г.Минск

Безвоздушные шины представляют собой перспективное решение для ряда проблем, с которыми сталкивается автомобильная промышленность. Они решают проблемы контроля давления в шинах, износа при активной езде и деформации дисков. Отличие безвоздушных шин заключается в использовании высокоэластичных материалов, которые обеспечивают упругость и прочность шин. В отличие от обычных шин, нет необходимости создавать внутреннее давление.[1]

Безвоздушные шины имеют внутренний каркас, состоящий из эластичных пластин с ячеистой структурой. Также существуют конструкции с центральной ступицей и полиуретановыми спицами, расходящимися от неё к протектору. Эти шины легко возвращаются в исходную форму после деформации при преодолении препятствий на дороге (рисунок 1).



Рисунок 1 – Автомобильное колесо с безвоздушной шиной

Существуют два основных типа безвоздушных шин: закрытые и открытые. Закрытые шины внешне выглядят так же, как и обычные шины, но внутри они заполнены стекловолокном. Открытые шины состоят из основы, которая крепится на ось, растяжного хомута, проходящего по верхней части шины, и устойчивой к деформации структуры [1].

Появление безвоздушных шин высокой скорости является революционным шагом в повышении безопасности автомобилей и живучести военной техники. Благодаря успехам зарубежных компаний-производителей шин и накопленному опыту в создании нетрадиционных пневматических шин, стало возможным разработать и производить колеса с

новыми конструкциями безвоздушных шин из эластичных полиуретанов. В рамках научно-исследовательских работ были созданы и изготовлены образцы колес с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов для легковых автомобилей малого класса.

Безвоздушные шины обеспечивают упругое сопротивление и несущую способность с помощью гибких радиальных спиц и опорного кольца. Гибкие полиуретановые спицы испытывают напряжения сжатия и продольного изгиба под воздействием весовой нагрузки в зоне контакта колеса с опорной поверхностью, а в верхней полуокружности безвоздушной шины они находятся в напряженном состоянии под воздействием растягивающих сил [2].

Исследования показывают, что уменьшение общей жесткости гибких спиц позволяет снизить неоднородность силового воздействия на безвоздушную шину, обусловленную ее циклической симметрией, но при этом снижается несущая способность колеса. Для обеспечения требуемой несущей способности в зоне контакта безвоздушной шины с опорной поверхностью и снижения силовой неоднородности при качении используется опорное кольцо из полиуретанового эластомера с высоким модулем упругости по сравнению с материалом гибких спиц.

Преимущества использования безвоздушных шин по сравнению с пневматическими включают: при движении по неровностям дороги колесо способно поглощать и смягчать колебания, восстанавливая свою первоначальную форму (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изменение формы безвоздушного колеса

Безвоздушные шины имеют несколько преимуществ, включая отсутствие необходимости постоянного контроля давления воздуха, продолжительный срок эксплуатации и меньшую массу, что способствует экономии топлива. Они также просты в эксплуатации, не требуют дисков и герметичных тороидальных камер для воздуха.

Однако у безвоздушных шин есть и некоторые недостатки. Они имеют относительно низкий безопасный предел скорости, ограниченный до 80 км/ч. Некоторые конструкции шин могут проявлять недостатки, такие как излишний шум и нагрев при длительной высокоскоростной эксплуатации. Также у них ограничена грузоподъемность [3].

Стандарты ГОСТ 17697-72 и ОСТ 37.001.252-82 предусматривают экспериментальное получение характеристик радиальной или нормальной жесткости шины посредством сильной

нагрузки шины в направлении, перпендикулярном опорной поверхности, с учетом совпадения плоскости нагрузки и плоскости вращения колеса.

#### **Список использованных источников**

1 Безвоздушные шины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtozvukinfo.info.ru/interesnoe/bezvozdushnye-shiny>. – Дата доступа: 04.03.2024.

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

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

Прокатная плакировка делится на горячекатаную плакировку и холоднокатаную плакировку. Основной принцип заключается в том, что в условиях сильного давления прокатного стана, иногда сопровождающегося нагревом, оксидная окалина на поверхности слоя детали разрушается и пластическая деформация происходит во всем сечении металла, образуя атомные связи и пазовое соединение между слоями компонента на свежей поверхности металла, обнаженной после дробления.

При прокатке компаундирования основным препятствием является оксидная пленка на поверхности слоя детали. Активная поверхность, обнаженная после разрушения оксидной пленки при деформации композита, является одним из необходимых условий формирования сварочного ядра. Рост сварочного ядра может привести к полнофазному соединению, чего можно достичь за счет отжига. Температура оказывает большое влияние на прочность соединения. Другим важным фактором при формировании неразъемных соединений является давление. При достаточно высоком давлении может возникнуть деформация сдвига, чтобы обеспечить необходимые дислокаций. Фундаментальное различие между композитной прокаткой и прокаткой одного металла заключается в том, что величина деформации при первом проходе должна быть большой, чтобы способствовать физическому соединению между слоями компонентов [1]

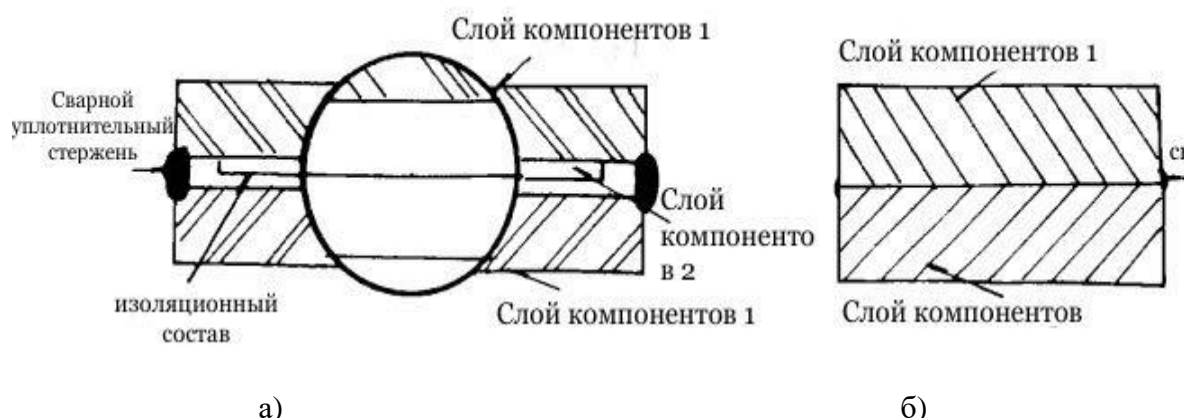


Рисунок 1 – Горячекатаный композитный общий сборочный материал:  
а – Симметричная сборка; б – асимметричная сборка

На рисунке 1 представлена общая схема сборки горячекатаного композита. Материалы слоев компонентов превращаются в листы, и при определенных условиях температуры и давления (обычно  $\geq 50\%$ ) соединение между слоями компонентов завершается.

В процессе производства особое внимание следует уделять таким параметрам процесса, как чистота поверхности соединения, прочность сварного шва, целостность сварного шва, температура нагрева, время выдержки, степень обжатия первого прохода. Разделительный состав, показанный на рисунке 1 (а), следует выбирать тщательно. Неправильный выбор может привести к ухудшению качества композита и даже к поломке всего материала.

Процесс горячекатаного композитного материала используется относительно давно и уже промышленно развит, однако в технологии прокатки композиционных материалов оста-

ется еще много технических вопросов, заслуживающих внимания. Например, после вакуумной обработки заготовки чистота границы композита значительно улучшается, деформация композита при прокатке значительно снижается (иногда деформация при первом проходе должна превышать 25–30 % по отношению к композиту) и соединение прочностью улучшается.

Холоднокатаный композит означает холодную прокатку двух или более перекрывающихся слоев металла с большим обжатием (обычно от 65 % до 80 %), чтобы можно было произвести атомарное соединение, а затем путем последующей диффузии и отжига.

На поверхности металла обычно имеется оксидная пленка, для получения композита холодной прокатки ее необходимо удалить механическим или (и) химическим путем. Важным условием получения хорошего межфазного соединения является гладкая поверхность металла, которая зависит от очистки и повторного окисления. Однако, что касается текущих условий процесса, простое достижение полной гладкости требует технологических мер при определенной шероховатости, чтобы облегчить концентрацию напряжений и колебания энергии во время пластической деформации. Во время плакирования холодной прокаткой величина деформации за первый проход обычно составляет от 65 % до 85 %, так что слои компонентов могут достичь предварительного соединения. Существует три возможных метода соединения: (а) соединение, вызванное механической подгонкой; (б) Соединение стыков, подобное зернограничной структуре; (в) несоединенные участки, вызванные воздушными зазорами, посторонней пылью или внутренними включениями O.

Обычно исходная деталь изготавливается из одного металлического материала, а затем на поверхность исходной детали распыляется другой металлический материал, затем они нагреваются при высокой температуре для достижения плавления композитного материала. Из-за ограниченного качества исходного и напыляемого материалов этот метод можно использовать только для производства более простых композитов с металлической матрицей.

Этот метод используется для материалов, у которых температуры плавления двух составных слоев сильно различаются и их сложно скомпоновать обычным методом прокатки. В зазор между формой и сплавом помещаются специальные материалы для уменьшения поверхностного окисления.

#### **Список использованных источников**

1 Ли, Чжэнхуа Редкометаллические материалы и техника / Чжэнхуа Ли. – 1990. – 71–74 с.

2 Кеньон Дж. Крид. Металломатричные композиты / Кеньон Дж. Крид.. – Пекин : Национальная пресса оборонной промышленности, 1982. – 225 с.

# **Материаловедение в машиностроении**

## Выбор современного оборудования для металлографического анализа и испытаний металлов и сплавов

Студенты группы 10405520 Ткачёва А.А., Макаревич В.О.

Научный руководитель – Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Часто механические свойства материалов являются основными, поскольку готовые изделия в разных степенях подвергаются механическим нагрузкам. Выбор материала для определенной области применения также основывается на его механических свойствах: ударной прочности, удлинении при разрыве или пределе прочности, износоустойчивости, высокого уровня воспламеняемости, которые позволяют определить сферу использования полимеров, металлов, сплавов и т.д. Поэтому использование современного оборудования при проведении физико-механических испытаний является необходимым условием для получения точных и правильных данных [1].

Для определения реальных механических свойств различных материалов проводятся их механические испытания с использованием специального оборудования:

- универсальные машины, выполняющие проверку материала на прочность, пластичность при помощи растяжения, сжатия и изгиба образца;
- твердомеры, помогающие изучить степень устойчивости материала к внешнему воздействию;
- маятниковые копры;
- ферритометры, предназначены для измерения объёмной доли (содержания) ферритной фазы;
- стереомикроскоп, предназначенный для измерения объектов или деталей структуры;
- спектрометр оптико-эмиссионный, предназначенный для определения химического состава;
- спектрометр рентгено-флуоресцентный, предназначенный для измерения массовой доли химических элементов;
- металлографический микроскоп, позволяющий измерять линейные размеры фрагментов микроструктуры твердых тел [2].

**Разрывная машина.** Машина испытательная разрывная KASON WDW-100 (рисунок 1) предназначена для проведения испытаний на изгиб, растяжение, сжатие, определения механических свойств металлов и неметаллов.



Рисунок 1 – Разрывная машина KASON WDW-100



Основной блок прибора состоит из одной направляющей стойки, на которой расположены две зоны для проведения испытаний: верхняя зона предназначена для тестов на растяжение, нижняя для тестов на сжатие.

Данная машина применяется для тестирования широкого диапазона материалов на растяжение, сжатие, изгиб и т. д. Подходит для тестирования металла, резины, пластмассы, пружин, текстиля и др. [3].

Совместно с испытательной машиной для высокотемпературных испытаний применяется высокотемпературная камера GYW-500A.

В обшивке высокотемпературной печи используется материал из нержавеющей стали, изоляционный материал, представляющий собой новое высокоглиноземистое волокно, в том числе хромосодержащее волокно и алюминий-силикатный волокнистый хлопок и изделия из войлочной формовки, с легким весом, стойкостью к термическому удару, хорошими изоляционными свойствами, химической стабильностью и т. д. [4].

### **Твердомеры**

**Твердомер по Роквеллу.** Цифровой твердомер Роквелла KASON 59-H (рисунок 2а) с новым широкоформатным дисплеем, с хорошей надежностью, работоспособностью и интуитивностью, является высокотехнологичным продуктом, объединяющим электрические и механические функции. Его основными функциями являются следующие:

- Выбор шкалы твердости по Роквеллу (A, B, C, D, F, G).
- Проведение испытания.
- Проведение испытания.
- Преобразование одной шкалы твердости в другую [5].



а



б



в

Рисунок 2 – Твердомеры:  
а – KASON 59-H; б – KASON 59-HB; в – KASON 59-HBRV

**Твердомер по Бринеллю.** Твердомер по Бринеллю KASON 59-HB (рисунок 2б) с сенсорным дисплеем, использует шарик из карбида определенного диаметра, чтобы оказывать испытательное усилие на поверхность тестируемого материала после обозначенного времени воздействия, прибор прекращает испытательное воздействие на образец [6].

Диаметр для расчета твердости по Бринеллю рассчитывается следующим образом:

$$HB=0,102 \times 2F/\pi D$$

**Универсальный твердомер.** Универсальный твердомер KASON 59-HBRV (рисунок 2в) использует LCD экран с сенсорным управлением, имеет адаптированную структуру меню операционной панели, надежность. Электрическая нагрузка по замкнутому циклу. Три метода измерения: Бринелль, Роквелл, Виккерс. Преобразование различных шкал твердости. Автоматическое приложение предварительной и основной нагрузки [7].

**Копер маятниковый.** Копер маятниковый Time JB-W300A (рисунок 3) предназначен для измерения энергии разрушения образцов при испытаниях на двухопорный ударный изгиб и применяется для исследования механических свойств металлов и сплавов в различных отраслях промышленности.



Рисунок 3 – Копер маятниковый Time JB-W300A

Принцип действия основан на измерении количества энергии, затраченной на разрушение образца единичным ударным нагружением. Количество энергии определяется как разность между значениями потенциальной энергии маятника копра до удара, и после разрушения [8].

Так же с маятниковым копром используют установку для охлаждения образцов до минус 80°C. Низкотемпературная камера охлаждения DWY-80A предназначена для низкотемпературных испытаний металлов [9].

**Ферритометр.** Ферритометр МФ-510 AKASCAN (рисунок 4) предназначен для измерения объёмной доли (содержания) ферритной фазы в литых ковшовых пробах при выплавке коррозионностойких, нержавеющей хромоникелевых сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов, а также в образцах металла сварочных и наплавочных материалов, сварных швов и наплавленных антикоррозионных покрытий.



Рисунок 4 – Ферритометр МФ-510 AKASCAN

Ферритометр представляет собой электронный блок с гнездом для установки погружного пенала с контролируемым образцом.

Контролируемый образец (образец для измерения содержания ферритной фазы) помещается в объемный магнитоиндукционный преобразователь, представляющий собой соленоид с дифференциально включенными измерительной и компенсирующей обмотками. При размещении контролируемого образца в измерительной обмотке магнитоиндукционного преобразователя возникает ЭДС, пропорциональная намагниченности исследуемого материала. Намагниченность, в свою очередь, пропорциональна объёмной доле (содержанию) ферромагнитной ферритной фазы, распределённой в парамагнитной аустенитной фазе.

Зависимость между содержанием ферритной фазой в контролируемом металле и измеряемой ЭДС устанавливается с помощью комплекта стандартных образцов содержания ферритной фазы (СФФ) [10].

### Спектрометры

**Спектрометр оптико-эмиссионный.** Спектрометр оптико-эмиссионный PMI-MASTER Smart KKS 00STA20AW477 (рисунок 5а) предназначен для определения химического состава металлов и сплавов на различных основах, входного контроля, идентификации марок сталей и сплавов, быстрой сортировки образцов и готовой продукции [11].



Рисунок 5 – Спектрометры:  
а – Оптико-эмиссионный PMI-MASTER Smart KKS 00STA20AW477  
б – Рентгено-флуоресцентный X-MET8000

**Спектрометр рентгено-флуоресцентный.** Спектрометр рентгено-флуоресцентный X-MET8000 (рисунок 5б) предназначен для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах.

Для управления прибором X-MET8000 используется кнопка питания и перехода на главный экран, а также сенсорный экран. На сенсорном экране может отображаться виртуальная клавиатура для ввода букв и цифр. Для доступа к основным функциям и настройкам используется экран «Меню» и строка состояния, а в некоторых случаях может отображаться меню «Сервис» [12].

### Микроскопы

**Стереомикроскоп.** Стереомикроскоп Leica S-серии (рисунок 6а). Оптические системы представляют собой два канала для прохода лучей, образующие между собой угол  $12^\circ$ . Пары объективов каждого оптического канала расположены близко друг к другу, так что стереомикроскопы могут иметь очень «тонкую» конструкцию, в частности, по направлению к основанию прибора.



## Рисунок 6 – Микроскопы:

а – Стереомикроскоп Leica S-серии; б – Металлографический микроскоп GX53

Микроскоп, предназначенный для получения увеличенных изображений, а также измерения объектов или деталей структуры, невидимых или плохо видимых невооружённым глазом [13].

**Металлографический микроскоп.** Инвертированный металлографический микроскоп GX53 (рисунок бб) – анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел.

Измеряет линейные размеры фрагментов микроструктуры твердых тел, подготовленных в виде шлифов или аншлифов с обработкой поверхности, выполненной по требованию соответствующего стандарта. Автоматически выполняет преобразование результатов измерения в результаты анализа с помощью управляющих программ, ведет статистический анализ и формирует отчет по результатам исследования с выводом данных на печать. Основным измерительным инструментом анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел является поверенный объект-микрометр или мера штриховая высокоточная МШВ-0 [14].

## Список использованных источников

1. Оборудование для испытания свойств материалов [Электронный ресурс] / Оборудование для испытания свойств материалов. – Режим доступа: [https://metallischekiy-portal.ru/articles/tehnologii/ispitania/oborudovanie\\_dla\\_ispitania\\_svoistv\\_materialov](https://metallischekiy-portal.ru/articles/tehnologii/ispitania/oborudovanie_dla_ispitania_svoistv_materialov) – Дата доступа: 10.04.2024.
2. Современного оборудования при проведении физико-механических испытаний [Электронный ресурс] / современного оборудования при проведении физико-механических испытаний. – Режим доступа: <https://www.kontaktor.su/sovremennoe-oborudovanie-dlya-fiziko-mehanicheskikh-ispytaniy-materialov.html> – Дата доступа: 10.04.2024.
3. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Машина испытательная разрывная Kason WDW-100, 2019г.
4. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. высокотемпературная камера GYW-500A, 2019г.
5. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Твердомер по Роквеллу KASON 59-NR, 2020г.
6. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Твердомер по Бринеллю Kason 59-NB, 2020г.
7. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Универсальный твердомер KASON 59-NBRV, 2020г.
8. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Копер маятниковый Time JB-W300A, 2019г.
9. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Низкотемпературная камера охлаждения DWY-80A, 2019г.
10. ПАСПОРТ. Объемный ферритометр МФ510, 2018г.
11. ПАСПОРТ. Спектрометр оптико-эмиссионный PMI-MASTER Smart KKS 00STA20AW477, 2019г.
12. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Спектрометр рентгено-флуоресцентный X-MET8000, 2020г.
13. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Стереомикроскоп Leica S-серии, 2020г.
14. ПАСПОРТ / РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. Инвертированный металлографический микроскоп GX53, 2019г.

В современном мире сплавы медицинского назначения являются важным классом материалов, которые используются для изготовления имплантатов, ортопедических устройств, хирургического инструментария и прочих изделий.

Они обладают специальными свойствами, которые делают их подходящими для использования в чувствительных медицинских условиях, где требуется высокая биосовместимость, механическая прочность и стойкость к коррозии в агрессивных средах человеческого организма.

В качестве таких материалов широко применяются титановые сплавы, сплавы системы CoCr и некоторые нержавеющие стали.

Биологическая безвредность и инертность титана делает его незаменимым материалом в восстановительной хирургии [1]. Он идет на изготовление пластин, шайб, винтов, стержней, применяемых для восстановления костных тканей.

Сплавы системы CoCr являются широко используемыми биоматериалами для изготовления искусственных имплантатов, которые подвергаются повышенным циклическим нагрузкам [2]. Они предназначены для изготовления коронарных и периферических стентов, стентов для венозных шунтов, эндопротезов коленного сустава и зубных протезов.

Нержавеющая сталь должна обеспечивать стерильность, механическую прочность и твердость изделия [3]. Из нержавеющей стали медицинского назначения производят высокоточные хирургические инструменты многоразового использования.

Высокими перспективами повышения эксплуатационных характеристик поверхностных термодиффузионных слоев медицинских сплавов является метод упрочнения в плазме тлеющего разряда или же ионно-плазменное азотирование (ИПА).

Метод ИПА является относительно новым и инновационным способом термодиффузионной обработки материалов.

Полный технологический процесс упрочнения изделий методом ИПА включает в себя следующие операции [4]: предварительная термообработка, механическая обработка, защита поверхности детали, непосредственно термодиффузионное насыщение, постобработка.

При ИПА в разряженной газовой среде между насыщаемой деталью (катодом) и стенками вакуумной камеры (анодом) возбуждается тлеющий разряд, который ионизирует газ. Процесс ИПА проводится при аномальном (нестабильном) и сильноточном тлеющем разряде [4]. Тлеющий разряд является самостоятельным газовым разрядом, отличающимся малой плотностью тока на катоде и большим катодным падением потенциала.

Сущность метода ионно-плазменного азотирования заключается в следующем: положительные ионы газа, ускоренные в области катодного падения потенциала, непрерывно бомбардируют поверхность насыщаемой детали и выбивают из него электроны. Ионная имплантация насыщающего элемента осуществляется посредством «бомбардировки» поверхности детали положительно заряженными ионами насыщающего газа. При взаимодействии положительно заряженных ионов насыщающего газа с насыщаемой деталью происходит равномерный нагрев поверхности детали. В процессе ионы газа проникают в насыщаемую деталь и тормозятся в нем за счет многократных соударений с атомами насыщаемой детали [4].

Характер распределения насыщающего элемента зависит от энергии внедряемых ионов, физико-химических свойств насыщающего элемента и насыщаемой детали [4].

Процесс ионно-плазменного азотирования включает в себя две стадии, отличающиеся технологическими параметрами:

–Катодное распыление (очистка поверхности детали) происходит в течении 5-60 мин при напряжении 1100-1400 В и давлении азотсодержащей атмосферы 13-26 Па. При этом температура поверхности детали не превышает 250°C;

–Импантация ионов их перераспределение в кристаллической решетке насыщаемой детали. Осуществляется при температуре 470-580°C и давлении азотсодержащей атмосферы 130-1300 Па в течении 1-24 ч при напряжении 400-1100В [5].

Как показано в работе [5] при ИПА увеличиваются не только микротвердость (микротвердость поверхностного слоя деталей после азотирования достигает HV 11000-12000) и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость, в том числе и в агрессивных средах человеческого организма.

При сравнительной оценке существующих методов термодиффузионной обработки в первую очередь необходимо учитывать их достоинства и недостатки [5].

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов азотирования

№	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Газовое азотирование	Технологическая простота, отсутствие специального оборудования	Большая длительность процесса
2	Азотирование в жидких средах	Высокие физико-механические свойства покрытий	Токсичность и высокая стоимость материалов
3	Ионно-плазменное азотирование	Сокращение времени обработки, экологичность и безопасность	Дорогостоящее оборудование

Следует отметить, что в настоящее время не существует метода азотирования, который бы по своим технико-экономическим показателям значительно превосходил все остальные. Каждый из методов азотирования имеет достоинства и недостатки. Выбор метода должен проводиться с учетом характера обрабатываемых изделий, условий их работы, массовости изготовления и экономической эффективности.

Выбор ИПА в качестве метода получения термодиффузионных слоев связан с наличием некоторых преимуществ по сравнению с прочими методами: она имеет самый короткий, а соответственно и более экономически эффективный, технологический процесс, а также обладает малой степенью деформации деталей, отсутствие необходимости в депассивации, экономичностью и экологичностью. Так же ИПА титана и его сплавов не допускает появление водородной хрупкости за счет отсутствия в насыщающей газовой смеси атомарного водорода.

Таким образом можно заключить, что надлежащее повышение механических и эксплуатационных свойств термодиффузионных защитных слоев на титановых сплавах, сплавах системы CoCr и нержавеющей сталях медицинского назначения возможно осуществить при помощи метода ИПА. Данный метод выгодно отличается от других способов азотирования сокращением времени обработки, малой степенью деформации изделий, а также экономичностью, экологичностью и безопасностью.

## Список использованных источников

1. Храмкова, А. С. Особенности изготовления и применения титана и его сплавов в медицине / А. С. Храмкова, М. И. Филонова // Приборостроение-2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16-18 ноября 2022 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 272-274.

2. Структура и свойства сплавов на основе системы Co-Cr для биосовместимых изделий медицинского назначения / П. Е. Луцкич [и др.] // Литье и металлургия. – 2022. – № 4. – С. 108-114.

3. Медицинская нержавеющая сталь: особенности и свойства металла / [Электронный ресурс]. – режим доступа URL: <https://oomedikon.ru/articles/meditsinskaya-nerzhaveyushchaya-stal-osobennosti-i-svoystva-metalla> (дата обращения: 12.11.2023).

4. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – М.: Новое знание; Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.

5. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

**Влияние параметров ионно-плазменного азотирования на глубину диффузионных слоев на титановых сплавах**

Магистранты гр. 50401123 Матюков И.М., Шматова А.А.

Научный руководитель - Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Ряд механических и эксплуатационных свойств таких, как высокая коррозионная стойкость, коррозионно-механическая прочность, эрозионно-кавитационная стойкость, высокая удельная и абсолютная прочность и прочность при пониженных и повышенных температурах позволяет рассматривать титановые сплавы как универсальный материал.

Вышеприведенные свойства обуславливают широкое применение в авиационно-космической, медицинской, энергетической, химической и судостроительной промышленности титановых сплавов.

Высокая биосовместимость делает титановые сплавы незаменимыми материалами в восстановительной хирургии. Он идет на изготовление пластин, шайб, винтов, стержней, спиц, применяемых для восстановления костных и суставных тканей человеческого организма.

Однако, некоторые характеристики титановых сплавов такие, как прочность, износостойкость, микро- и макротвердость все еще имеют потенциал для их повышения. Высокими перспективами повышения эксплуатационных характеристик титановых сплавов является термодиффузионная обработка.

Одним из наиболее широко используемых методов термодиффузионного упрочнения титановых сплавов является метод упрочнения в плазме тлеющего разряда или же ионно-плазменное азотирование (ИПА).

При ионно-плазменной обработке в разряженной газовой среде между катодом и анодом возбуждается тлеющий разряд, который ионизирует газ. Процесс ионно-плазменной ХТО проводится при аномальном (нестабильном) и сильноточном тлеющем разряде [1].

Сущность метода заключается в следующем: ионы газа, ускоренные в области катодного падения потенциала, бомбардируют поверхность насыщаемой детали и выбивают из него электроны. Ионная имплантация насыщающего элемента осуществляется посредством «бомбардировки» поверхности детали положительно заряженными ионами насыщающего газа [1].

Во время процесса ионы газа ускоряются до энергий до  $10^6$  эВ. Они проникают в насыщаемую деталь и тормозятся в ней за счет многократных соударений с атомами насыщаемой детали. Характер распределения насыщающего элемента в приповерхностных микрообъемах зависит от энергии внедряемых ионов, физико-химических свойств насыщающего элемента и насыщаемой детали [1].

Процесс ионно-плазменной обработки включает две стадии:

–Катодное распыление (происходит в течении 5-60 мин при напряжении 1100-1400 В и давлении азотсодержащей атмосферы 13-26 Па);

–Ионная имплантация (осуществляется при температуре 470-580°C и давлении азотсодержащей атмосферы 130-1300 Па в течении 1-24 ч при напряжении 400-1100В) [1].

Как показывает практика [1] при ионно-плазменной обработке используют давление 50-300 Па при напряжении зажигания разряда 300-1400 В.

**Анализ литературных источников [2, 3, 4] показывает, что на формирование диффузионных слоев на титановых сплавах при ИПА существенное влияние оказывают следующие параметры: химический состав и структура титановых сплавов, а также температура, длительность, давление и состав газовой смеси.**



Влияние химического состава и структуры титановых сплавов на формирование диффузионных слоев при азотировании связано с особенностями взаимодействия азота с  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазами, а также степени их легированности. В исследовании [2] показано, что увеличение количества  $\beta$ -фазы в структуре титановых сплавов приводит к увеличению глубины азотированного слоя до 1,5 раза по сравнению с чистым титаном за счет более высокой скорости диффузии азота в  $\beta$ -фазе.

Легирование титана алюминием способствует ускорению диффузии азота. Но легирование титана ванадием и молибденом ( $\beta$ -стабилизаторы) приводит к замедлению диффузии азота в титане. Уменьшение структурных составляющих титана приводит к росту протяженности границ и усилению вклада зернограничной диффузии, которая характеризуется более высокими скоростями [2].

В исследовании [3] показано, что с увеличением температуры азотирования быстрее протекает диффузия азота в титан и увеличивается глубина азотированного слоя.

Толщина азотированного слоя на титановых сплавах возрастает при увеличении времени диффузионного насыщения по параболической зависимости, при увеличении температуры процесса и уменьшении давления в вакуумной камере [4].

При ИПА образующийся на поверхности слой нитрида титана препятствует проникновению азота вглубь образца.

Как показано в источнике [4] увеличить эффективность катодного распыления можно путем снижения давления газовой смеси. Снижение давления приводит к увеличению энергии бомбардирующих поверхность ионов, что способствует генерации в приповерхностном слое вакансий, ускоряющих диффузию атомов азота.

Для интенсификации процесса азотирования можно увеличить количество атомарного азота, что возможно путем формирования смеси с повышенным содержанием азота с постепенным (ступенчатым) уменьшением концентрации азота [4].

Аргон активно распыляет нитридную зону. Одновременно с этим при упругом соударении ионов азота с атомами кристаллической решетки в тонком поверхностном слое металла возрастает плотность дефектов – дислокаций. Повышение плотности дислокаций увеличивает проводящую способность диффузионной зоны, приводя к росту доли объемной диффузии [4].

#### Список использованных источников

1.Л.Г. Ворошнин Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.

2.Исследование микроструктуры и состава слоев, сформированных в процессах ионно-плазменной обработки поверхности сплава титана / В. В. Поплавский [и др.] // Информационные технологии : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. - Минск : БГТУ, 2022. – С. 216-220.

3.Исследование формирования упрочненных слоев на титановых сплавах методом ионно-плазменного азотирования / И. Л. Поболь [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. физ.-тэхн. Навук. – 2019. – Т.64, №1. – С. 25-34.

4.Верещак Н.А. Исследование процесса азотирования сплавов медицинского назначения: дис. магистр: 17.01.2021. – БНТУ, Минск – 90 с.

## Основные процессы, возникающие в твердых материалах при действии на них внешней нагрузки

Студенты группы 10405521 Бобкович М.П., Козлова А.В.

Научный руководитель – Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Деформация стали – это изменение формы или размера стали под воздействием механических сил. Она может происходить как при обработке стали (например, при прокатке или штамповке), так и в результате внешних нагрузок, например при деформации конструкций. Основные виды деформации представлены на рисунке 1. Все материалы под нагрузкой деформируются, т. е. меняют форму и размеры [1].

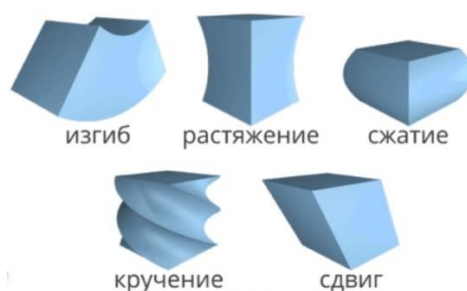


Рисунок 1 – Виды деформации

Одним из основных примеров деформации является изгиб – вид деформации, при котором нарушается прямолинейность главной оси тела (рисунок 2). Деформации изгиба испытывают все тела, подвешенные на одной или нескольких опорах. Каждый материал способен воспринимать определённый уровень нагрузки, а твёрдые тела в большинстве случаев способны выдерживать не только свой вес, но и заданную нагрузку [2].

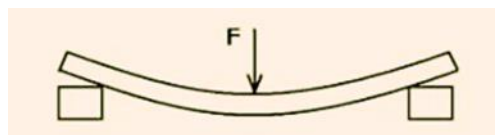


Рисунок 2 – Схема изгиба образца

Кручение – вид сопротивления (деформирования), при котором из шести внутренних усилий не равно нулю одно – крутящий момент. Кручение возникает при действии внешних сил, образующих момент относительно его продольной оси. Например, возьмём вал, который передает крутящий момент от одного механизма к другому: при воздействии крутящего момента на стальной вал он подвергнется кручению и изменит свою форму и свойства, чтобы передать механическую энергию.

Растяжение-сжатие – это вид деформации, при котором в поперечном сечении возникает только продольная сила  $N$ . Чтобы вызвать растяжение-сжатие нужно приложить внешнюю силу вдоль продольной оси к центру тяжести сечения (рисунок 3). Если, например, стальной стержень расположить вертикально и приложить определённую сжимающую силу сверху, то под воздействием этой силы стержень будет сжиматься. При сжатии возникнут внутренние напряжения, которые могут привести к тому, что стержень изменит свою форму или свой размер.

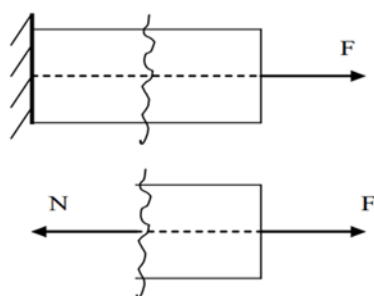


Рисунок 3 – Схема растяжения образца

Характер деформации легко проследить при испытании материалов на растяжение. Перед испытаниями цилиндрический образец закрепляется в захватах разрывной машины, растягивается и доводится до разрушения. При этом записывается график зависимости между приложенным усилием и деформацией, который называется диаграммой растяжения. В качестве примера на рисунке 4 представлена диаграмма растяжения малоуглеродистой стали.



Рисунок 4 – График зависимости между приложенной силой и деформацией при растяжении

На диаграмме можно выделить особые точки: от точки 0 до точки 1 – деформация прямо пропорциональна нагрузке. Если прервать испытания до точки 2, то образец вернется к исходным размерам – эта область называется областью упругих деформаций.

Известны 3 вида реакций твердого тела на нагружение:

1. Упругая деформация.
2. Пластическая деформация.
3. Разрушение.

Упругая деформация – это обратимое изменение формы и размеров тела, которое является следствием обратимого смещения атомов из положения равновесия. Упругая деформация существует только во время приложения внешнего усилия, а при снятии его – исчезает. Упругая деформация в чистом виде проявляется в эластичных материалах, когда силы взаимодействия, определяющие целостность материала, сохраняются при значительном изменении расстояния между частицами (атомами) и пропорциональны этому расстоянию.

Благодаря упругой деформации все связи в материале восстанавливаются после напряжения. Постепенно данные свойства металла ослабевают, иногда он даже утрачивает пластичность, становится хрупким.

Пластическая деформация – это необратимое изменение формы и размеров тела. Пластическая деформация сохраняется, в отличие от упругой, после снятия нагрузки, и является следствием необратимого смещения атомов (а точнее группы атомов). Известно, что пластическая деформация – это результат движения в металлах специфических дефектов кристаллического строения – дислокаций.

Чтобы объяснить суть пластической деформации, нужно подробно рассмотреть процессы кристаллографической природы – перемещения кристаллов (рисунок 5). Двигаться кристаллы могут по-разному, что зависит от приложенного усилия.

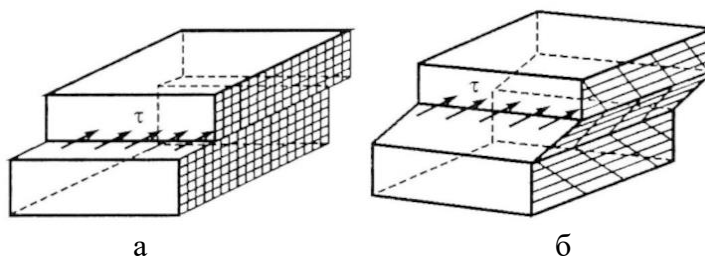


Рисунок 5 – Схемы пластической деформации:  
а – скольжение; б – двойникование

В случае скольжения перемещение (смещение) кристаллов происходит из-за касательного напряжения. То есть части кристалла смещаются относительно друга по касательной. Изменения, которые протекают в одном кристалле, называют линейными. Но как только на кристаллической поверхности появляются выступы, размер которых равен периоду решетки, значит, процесс затронул весь материал. Скольжение вызывает напряжение. Возникают новые ступеньки атомов со сдвигами. Появление дополнительных атомных плоскостей приводит к нарушению только крайних частей дислокации. Кроме того, связи между атомами остаются, они все не разрываются.

В металлических кристаллах могут возникать зоны, где происходит закономерное изменение ориентации кристаллической структуры. В этом случае говорят о двойниковании. Такие изменения не сильно деформируют материал. Двойникование возникает в металлах с гексагональными и объемно-центрированными атомными решетками. Явление характерно для железа, молибдена, цинка, титана и так далее.

Разрушение – это разделение металлического объекта как минимум на 2 части (рисунок 6). Разрушение является следствием зарождения и распространения трещин.

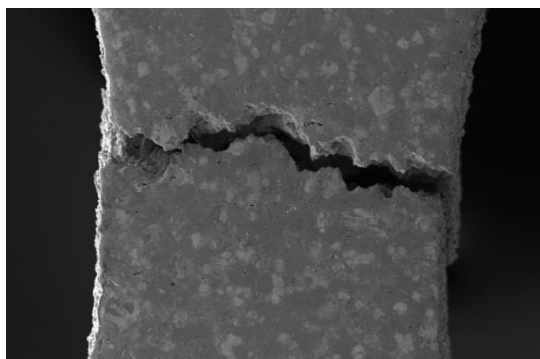


Рисунок 6 – Пример разрушения металлического объекта

Причиной появления трещин является концентрация движущихся дислокаций, на пути которых возникают определенные препятствия. Когда кристаллическая дислокация двигается и встречается с зоной, через которую не может пройти, усиливается напряжение. Постепенно конфликт зон возрастает, что приводит к появлению трещин. Дефект растет, и когда достигает максимума, трещина начинает разрастаться в произвольном направлении. Для хрупких материалов характерны острые трещины с большим количеством разветвлений. Такой дефект будет расти очень быстро. Целостность поверхности нарушается моментально.

Важно понимать, что появление трещин в большинстве случаев – это результат пластической деформации. Явление возникает, когда между пределами текучести и прочности металла прослеживается разница. Если между показателями разница большая, сталь будет обладать высокой пластичностью. У непластичных сплавов текучесть и прочности равны. Поэтому, когда непластичные (хрупкие) металлы разрушаются, это не связано с пластическими изменениями.

Деформация стали – важный аспект при проектировании и изготовлении различных конструкций и машин. Понимание ее свойств и поведения позволяет инженерам создавать более надежные и безопасные изделия [3].

#### **Список использованных источников**

1. Эльяш Н. Н. Теоретическая и прикладная механика: Электронное учебное пособие : в 2 ч. / Н. Н. Эльяш. – Екатеринбург : ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2015. – Ч. 2. – 44 с.
2. Интернет-портал по оборудованию и технологиям обработки металлов, дерева и камня [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sterbrust.tech>. – Дата доступа: 05.04.2024.
3. Водопьянов, В. И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами : учеб. пособие / В. И. Водопьянов, А. Н. Савкин, О. В. Кондратьев. – Волгоград : ВолгГТУ, 2012. – 136 с.

**Дислокации и их влияние на свойства твердых тел**

Студенты группы 10405521 Козлова А.В., Бобкович М.П.

Научный руководитель – Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Дислокации – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей, т. е. линейные искажения типа обрыва или сдвига атомных слоев в кристаллической решетке (рисунок 1). На атомном уровне в элементарном виде сдвиг одной части кристалла относительно другой можно представить, как результат пробега через него дислокации, например, краевой, длина которой равна ширине кристалла.

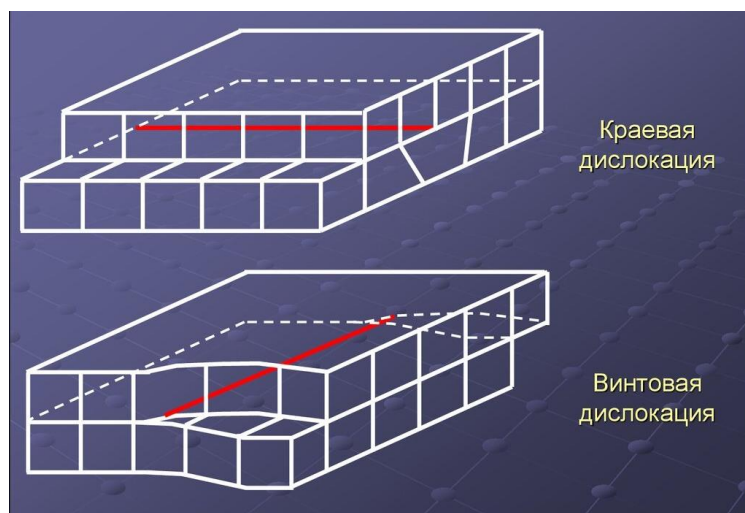


Рисунок 1 – Краевая и винтовая дислокации

Краевая дислокация является одним из типов дислокаций, которая присутствует внутри кристаллического материала и связана с деформацией его кристаллической решетки у его края или границы, представляет собой локализованное искажение кристаллической решетки, вызванное наличием в ней лишней атомной полуплоскости. Она возникает, когда в кристаллическую решетку добавляется или удаляется один дополнительный плоский слой атомов.

Винтовые дислокации представляют собой спиральные дефекты, которые образуются, когда часть кристаллической решетки смещается вокруг оси. Они имеют форму спирали и образуются в результате вращательной деформации материала. Данный тип дислокации в кристаллическом материале характеризуется тем, что плоскость среза решетки кристалла отклоняется на определенный угол от плоскости его решетки, что и создает спиральное или винтовое движение атомов вдоль оси дислокации. Винтовые дислокации также могут двигаться вдоль своей линии и взаимодействовать с другими дислокациями [1].

Также существуют смешанные дислокации, состоящие из двух дислокаций – краевой и винтовой. Они возникают при незавершенном сдвиге за счет образования винтовой дислокации, при этом линия дислокации изогнута.

Чем больше количество движущих дислокаций и длиннее их суммарный путь, тем больше величина макропластической деформации. Плотность дислокаций – это суммарная длина всех дислокаций в единице объема металла. Влияние плотности дислокаций на проч-

ность показано на рисунке 2. От плотности дислокаций зависит большинство технических важных свойств металлов и сплавов. Плотность дислокаций, которая может быть разной в различных микроучастках материала, влияет на механизм, скорость и направление структурных изменений.

Кроме линейных дефектов в реальном кристалле также имеют место поверхностные дефекты, представляющие собой поверхности раздела между зёрнами и блоками (субзёрнами), из которых состоят зёрна. Различие зёрен и блоков состоит в различной пространственной ориентации кристаллической решетки (рисунок 2), где границы блоков образованы дислокациями. Углы разориентации могут составлять до нескольких десятков градусов ( $\theta$ ), а граница между зёрнами представляет собой тонкую в 5-10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка расположения атомов. Строение этого переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций [2].

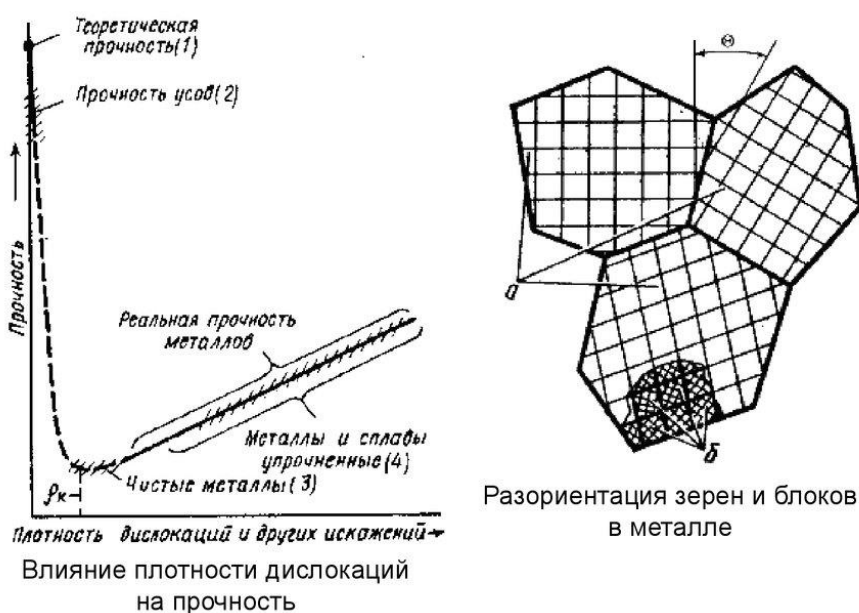


Рисунок 2 – Плотность дислокаций в кристалле

Дислокации играют ключевую роль в определении ряда механических, электрических и оптических свойств материалов:

1. Механические свойства:

– Прочность: дислокации действуют как препятствия для движения других дислокаций, что повышает сопротивление материала деформации и увеличивает его прочность.

– Пластичность: дислокации позволяют материалу пластически деформироваться без разрушения. При перемещении дислокаций материал может образовывать новые участки кристаллической решетки, обеспечивая пластичность.

2. Электрические свойства:

– Электропроводность: дислокации могут влиять на электропроводность материала, создавая локальные дефекты в кристаллической структуре, которые могут увеличить электрическое сопротивление.

– Пьезоэлектрические свойства: дислокации могут вызывать изменение электрического поля в материале при механическом напряжении, что приводит к генерации электрического заряда.

3. Оптические свойства:

– Прозрачность: дислокации могут влиять на прозрачность материала, изменяя оптические свойства, такие как преломление и поглощение света.

– Поляризация света: в некоторых материалах дислокации могут вызывать изменение поляризации света при прохождении через них, что используется в оптических приложениях [3-4].

#### Список использованных источников

4. Корпоративный портал «Томский Политех» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.tpu.ru>. – Дата доступа: 04.04.2024.
5. Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gc.lebedev.ru>. – Дата доступа: 13.04.2024.
6. Кужир, П. Г. Физика конденсированных сред / П. Г. Кужир [и др.]. – Минск: «Техно-принт», 2002.
7. Леонович, С. Н. Основы физики твердого тела / С. Н. Леонович, С. И. Петренко. – Минск: БНТУ, 2010



**Порошковая  
металлургия, сварка и  
технология  
материалов**

### Теоретический расчет и фактическое определение погонной энергии при импульсной дуговой сварке

Студент гр.10403122 Пугацевич М.В.

Научный руководитель – Бендик Т.И.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

На определении погонной энергии основано большинство методик регулирования термомодеформационного цикла сварки с целью выбора оптимальной скорости охлаждения, температуры предварительного подогрева, расчета размеров участков зоны термического влияния, а также прогнозирования напряжений и деформации при сварке.

Международный стандарт на квалификацию технологических процессов дуговой сварки ISO 15614-1:2017 раздел 8.4.7 [1] предусматривает документирование значений тепловложения (энергии дуги), которые должны быть рассчитаны в соответствии со стандартом ISO/TR 18491 [2].

В простейшем случае (при сварке на постоянном токе) для расчета эффективной погонной энергии  $q_{\text{п}}$  (Дж/мм) используется зависимость [3]:

$$q_{\text{п}} = \frac{q}{V_{\text{СВ}}} \quad (1)$$

где  $q$  – эффективная тепловая мощность дуги, Вт (Дж/с);

$V_{\text{СВ}}$  – скорость сварки (скорость перемещения сварочной ванны), мм/с.

Эффективная тепловая мощность дуги представляет собой количество теплоты, введенное за единицу времени в основной металл, и затраченное на его нагрев:

$$q = U_{\text{д}} \cdot I_{\text{СВ}} \cdot \eta_{\text{эфф}} \quad (2)$$

где  $U_{\text{д}}$  – напряжение на дуге, В;

$I_{\text{СВ}}$  – сила сварочного тока, проходящего по электроду, А;

$\eta_{\text{эфф}}$  – эффективный к.п.д. процесса нагрева изделия дугой, представляющий отношение количества теплоты, введенного дугой в основной металл, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги. Значения эффективного к.п.д. нагрева для различных способов сварки приводятся в ISO/TR 17671-1 [4]: для 121 процесса сварки  $\eta_{\text{эфф}} = 1$ ; для 111, 135, 131, 136, 137 -  $\eta_{\text{эфф}} = 0,8$ ; для 141, 15 -  $\eta_{\text{эфф}} = 0,6$ .

Электрическую мощность дуги, равную произведению  $U_{\text{д}} \cdot I_{\text{СВ}}$  нужно определять с максимальной точностью. При определении падения напряжения на дуге измерение проводят максимально близко к дуге. Значения напряжения, отображаемые на вольтметре сварочного источника питания, всегда выше напряжения дуги из-за сопротивления токоподводящих кабелей (это вносит погрешность в расчет мощности дуги).

Сварочный ток измеряют с помощью измерителя индуктивности (измерительные клещи). Если при сварке происходят колебания длины дуги или изменяется сопротивление электрода по мере его плавления, то это приводит к колебаниям тока и напряжения. В этом случае для расчета по формуле (1) используют средние измеренные значения тока  $I_{\text{м}}$  и напряжения  $U_{\text{м}}$ .

Согласно требованиям ISO/TR 18491 для 111, 141 процессов сварки измерения сварочного тока и напряжения можно проводить на клеммах источника питания, для сварки в защитных газах 131, 135 – на контактах устройства подачи проволоки, для сварки под флюсом – на сварочной горелке.

Скорость сварки при ручном и механизированном процессах находят как частное от деления длины прохода  $L$  на время горения дуги  $t_{CB}$ . Длина прохода измеряется линейкой от начала валика шва до центра кратера в конце шва (при 111 процессе сварки длина прохода равна длине шва, наплавляемой одним покрытым электродом). Рекомендуемое время непрерывного прохода при сварки составляет более 30 секунд. При автоматической сварке скорость сварки устанавливается на ходовой каретке, управляемой двигателем.

Формула (2) применима, если сварочный ток и напряжение незначительно колеблются относительно своих постоянных значений в процессе сварки. Но для многих режимов современных источников питания сварочной дуги традиционная формула (2) дает большую погрешность. Например, при использовании импульсной дуги MMA Pulse, р-GTAW или р-GMAW (рисунок 1) ток пульсирует с заданной частотой от минимального значения (базовый ток  $I_B$ ) до максимального значения (импульсный ток  $I_I$ ). Среднее значение между  $I_B$  и  $I_I$  дает приблизительное значение  $I_m$  для оценки мощности дуги:

$$I_m = \frac{I_B \cdot t_B + I_I \cdot t_I}{t_B + t_I} = \frac{I_B \cdot t_B + I_I \cdot t_I}{f} \quad (3)$$

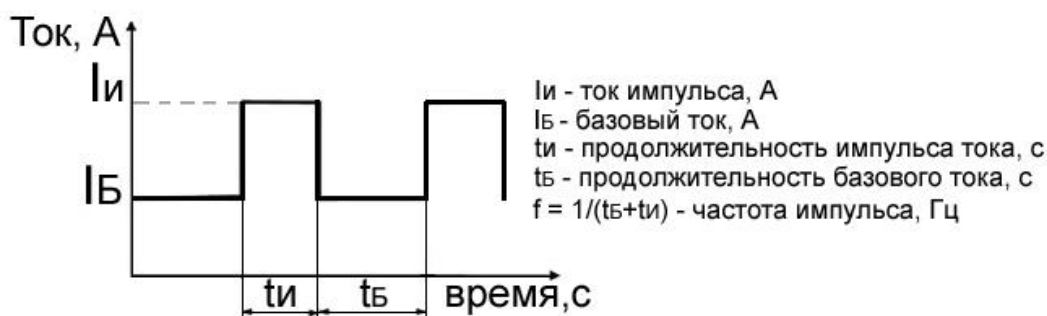


Рисунок 1 - Схема изменения сварочного тока при импульсной сварке

Для научных экспериментов по определению скорости охлаждения и тепловложению или в случае использования источников питания со сложными формами изменения тока (например, Lincoln STT, Fronius CMT, ESAB Superpulse, Kemppi WISEROOT и т.д.) обычно требуется более точный метод, основанный на мониторинге мгновенных значений напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$  на протяжении всего цикла  $t_{ц}$ :

$$I_{CB} = \int_0^{t_{ц}} i(t) dt, \quad U_{CB} = \int_0^{t_{ц}} u(t) dt \quad (4)$$

Если сварочное оборудование не осуществляет регистрацию мгновенной энергии или мощности, то внешнее оборудование может использоваться для измерения мгновенной энергии или мощности. Регистрация значений параметров режима сварки в виде осциллограмм силы сварочного тока и напряжения на дуге может осуществляться с помощью регистратора сварочных процессов посредством передачи данных с датчиков тока и напряжения на персональный компьютер.

В случае применения сварочного тока или напряжения сложной формы (изменяющихся во времени для контроля переноса электродного металла, глубины проплавления, формы шва) применяются два метода расчета согласно ISO /TR 18491. Первый метод основан на измерении мгновенной энергии при сварке и длины прохода:

$$q_{\Pi} = \frac{IE}{L} \quad (5)$$

где  $IE$  – мгновенная энергия при сварке, кДж;

$L$  – длина прохода, мм.

Мгновенная энергия при сварке определяется суммированием произведения измерений тока и напряжения, выполненных с малыми временными интервалами, которые фиксируют изменения формы сварочного тока.

Второй метод основан на измерении мгновенной мощности при сварке и скорости сварки:

$$q_{\Pi} = \frac{IP}{V_{CB}} \quad (6)$$

где  $IP$  – мгновенная мощность при сварке, кДж/с;

$V_{CB}$  – скорость сварки, мм/с.

Мгновенная мощность при сварке определяется путем усреднения произведения измерений тока и напряжения, выполненных во времени с малыми интервалами, которые фиксируют изменения формы данных сигналов.

Для измерения мгновенной мощности или мгновенной энергии можно использовать сварочный источник питания или внешний ваттметр, способный вычислять и отображать энергию или мощность. Частота измерений должна быть достаточной для фиксации изменений формы сварочного тока (используется частота дискретизации, по крайней мере в 10 раз превышающая частоту изменения формы тока).

### Список использованных источников

1. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys: ISO 15614-1. Введ. 01.06.2017. – 46 с.
2. Welding and allied processes - Guidelines for measurement of welding energies: ISO/TR 18491. Введ. . 01.05.2015. – 16 с.
3. Теория сварочных процессов : учебное пособие / В. М. Неровный, А. В. Коновалов, Б. Ф. Якушин [и др.] ; под редакцией В. М. Неровного. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 702 с. — ISBN 978-5-7038-4543-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106410> (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Welding — Recommendations for welding of metallic materials — Part 1: General guidance for arc welding: ISO/TR 17671-1:2002(E) Введ. 01.02.2002. – 18 с.

**Исследование возможности рециклинга компактированных пылевидных железосодержащих отходов в качестве шихты в лабораторной индукционной печи**

Студенты группы 10403121 Маршалковский Р.С., Пузынин Я.С.;

Кривошеев М.И.; Тимохов К.В.;

10403122 Пугачевич М.В.

Научный руководитель - Урбанович Н.И.

Белорусский Национальный технический университет  
г. Минск

Решение проблемы отходов производства является приоритетным направлением деятельности в области ресурсосбережения и охраны окружающей среды. В процессе производственной деятельности металлургического и литейного производств в Республике Беларусь образуется большое количество разнообразных отходов, многие из которых являются ценными вторичными ресурсами.

К ценным вторичным ресурсам, например, можно отнести такие отходы, как железосодержащие пыли газоочисток электросталеплавильных печей, дробеструйных установок, пыли газоочисток, образующейся в процессе отсева литой дроби, а также при колке дроби.

Наиболее перспективным направлением переработки пылевидных железосодержащих отходов является совместное компактирование (брикетирование) данных отходов вместе со связующим и использование их в составе шихты при плавке железоуглеродистых сплавов. Оценку возможности утилизации железосодержащих пылевидных отходов проводили на пыли, полученной в результате колки дроби. Внешний вид пылевидных отходов газоочисток, полученных в результате отсева литой чугуновой дроби и её помола (колки) показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид пылевидных отходов газоочисток, полученные в результате отсева литой чугуновой дроби и её помола (колки)

Из рисунка 1 видно, что пыль имеет серый металлический цвет, что свидетельствует о неокисленности дисперсных частичек. С целью определения варианта технологической переработки пыли был проведен анализ состава, морфологии и размера частиц. Исследования морфологии и размера частиц отхода проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU. Результаты исследования приведены на рисунке 2.

На рисунке 2 показаны морфология и размер частиц пылевидных отходов газоочисток, полученных в результате отсева литой чугуновой дроби и её помола (колки).

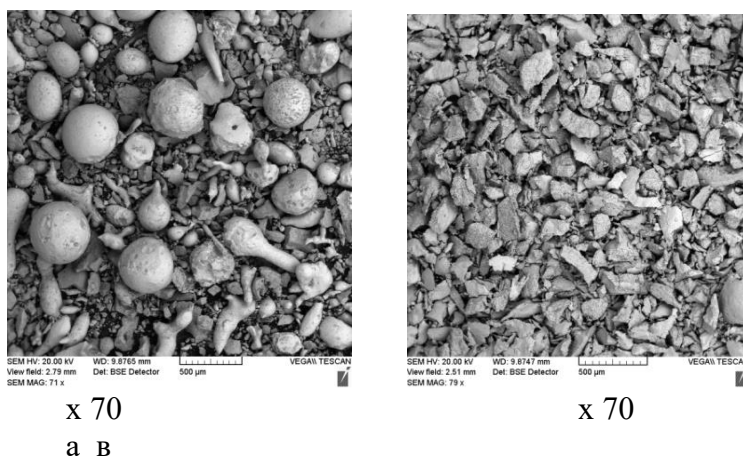


Рисунок 2 – Внешний вид и морфология частиц железосодержащей пыли газоочисток: а – отход, полученный в процессе отсева дробы; б – отход, полученный в процессе колки дробы

На рисунке 2, а видно частицы круглой и веретенообразной формы размером до 270 мкм. Пыль, полученная в результате колки дробы, состоит из деформированных металлических частиц размером до 300 мкм, морфологию которых можно рассмотреть на рисунке 2, б. Химический состав пыли представлен в таблице 1, он соответствует химическому составу выпускаемой заводом (Могилевский металлургический завод) литой чугуновой дробы.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в пылевидном отходе газоочисток, полученном в результате отсева литой дробы и её помола (колки)

Элемент	C	Si	Mn	Fe
Содержание элементов, мас. %	0,35-0,40	0,8-1,5	0,3-0,85	остальное

Как показал анализ состава и размера частиц данный пылевидный отход, образующийся в результате отсева литой дробы и её колки, имеющий в своем составе высокое содержание железа, можно перерабатывать путем брикетирования совместно с необходимым количеством восстановителя и связующего [1].

Были изготовлены экспериментальные образцы брикетов из пылевидных отходов, полученных в результате отсева при производстве литой дробы, где в качестве связующего использовали натриевое жидкое стекло. Окускование осуществляли с помощью трамбовки в пластиковых формах. Следует отметить, что брикеты легко извлекались из пластмассовых форм, так как они не вступали в химическое взаимодействие с жидким стеклом. После изготовления брикеты сушили при температуре 120°C в течение 1 часа. На рисунке 2 показан внешний вид, полученных брикетов.



Рисунок 3 – Внешний вид брикетов из пылевидных отходов, полученных в результате отсева при производстве литой дробы, где в качестве связующего использовали натриевое жидкое стекло

С целью определения степени усвоения брикетов в составе шихты в лабораторной индукционной печи емкостью 2,5 кг, представленной на рисунке 4, проводили плавку.



Рисунок 4 – Лабораторная индукционная печь ёмкостью 2,5 кг

Первую плавку осуществляли без брикетов. В качестве шихты использовали чугун состава (% , массе): C – 2,38; Si – 1,367; Mn – 0,089; Ni – 0,267; Cr – 0,072; Cu – 0,091; Fe – 95,735. Плавку вели при мощности 7 – 8 кВт и частотой 11кГц. Полученный расплав заливали в графитовую форму, внешний вид которой представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид графитовой формы

Перед заливкой металла в форму с поверхности ванны снимали шлак. На рисунке 6 представлен, полученный слиток и снятый шлак.



Рисунок 6 – Внешний вид слитка

Полученный чугунный слиток имеет следующий химический состав (% по массе): 2,38С; 1,36Si; 0,089Mn; 0,27Ni; 0,072Cr; 0,091Cu; остальное Fe.

Вторую плавку также в количестве 1 кг вели с применением брикетов. На дно печи загружали брикеты в количестве 95 г, что составило 10 % от массы расплавляемой шихты. На брикеты погружали кусочки чугуна в количестве 908 г, приведенного выше состава, и включили печь. Плавку вели на тех же режимах, что и первую. При проведении плавки не наблюдалось изменения показателей её хода. Разливку чугуна осуществляли в ту же графитовую форму, предварительно скачав шлак. Полученный чугунный слиток имел следующий химический состав (% по массе): 2,38С; 1,31Si; 0,099Mn; 0,37Ni; 0,072Cr; 0,091Cu; остальное Fe.

На рисунке 7 показан слиток, полученный с применением брикетов в составе шихты, и шлак.



Рисунок 7 – Слиток, полученный с применением брикетов в составе шихты, и шлак

Из рисунка 7 видно, что при плавке с применением брикетов в составе шихты, скаченного шлака получили несколько большее количество, чем без брикетов. В таблице 2 представлены данные по массе, загружаемой шихты в печь и массе полученных слитков и шлака.

Таблица 2 – Данные по массе, загружаемой шихты в печь и массе полученных слитков и шлака

Характеристика плавки	Масса загружаемой шихты, кг	Масса загружаемых брикетов, кг	Масса, полученного слитка, кг	Масса, снятого шлака, кг
Плавка чугуна без брикетов	1	-	0,983	0,017
Плавка чугуна с брикетами	0,908	0,095	0,954	0,035

Используя, представленные в таблице данные, расчетным путем можно определяли выход годного металла при плавке с использованием брикетов из пылевидных отходов в составе шихты. Это значение составило примерно, 79 %. Таким образом, проведенная экспериментальная плавка в лабораторной индукционной печи емкостью 2,5 кг с добавкой в состав шихты брикетов в количестве 10 % показала, что выход годного металла из брикета составил 79 %.

Проведенная экспериментальная плавка в лабораторной индукционной печи емкостью 2,5 кг с добавкой в состав шихты брикетов в количестве 10 % показала, что выход годного металла из брикета составил 79 %.

Таким образом, апробация рециклинга металлосодержащих пылевидных отходов показала возможность использования их в виде брикетов в качестве шихты при плавке железоуглеродистых сплавов (чугуна).

#### Список использованных источников



1. Комаров О.С., Комаров О.Д., Урбанович Н.И. Переработка и использование отходов, содержащих цветные металлы. Минск, БНТУ. 113 с.

# **Охрана труда и промышленная безопасность**

**Оценка рисков и опасностей, связанных с  
использованием средств персональной мобильности**

Студент гр. 10605120 Толкачев Д.Д.

Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Квалификация пешеходов, использующих средства персональной мобильности, играет важную роль в обеспечении безопасности и предотвращении возможных происшествий на дороге. Хотя нет специальной лицензии или сертификата для пешеходов, использующих такие средства, следующие требования к квалификации и программам обучения могут помочь обеспечить безопасность [1]:

1. Знание правил дорожного движения. Пешеходы, использующие средства персональной мобильности, должны иметь хорошее знание правил дорожного движения, таких как соблюдение скоростных ограничений, уступание дороги, управление в условиях плохой видимости и т.д.;

2. Опыт управления. Пешеходы должны иметь достаточный опыт управления средствами персональной мобильности и способны выполнять маневры, а также поддерживать баланс и обеспечивать безопасность себя и окружающих;

3. Знание обслуживания и ремонта. Пешеходы должны знать, как обслуживать и ремонтировать свои средства персональной мобильности, проверять состояние своих средств, обнаруживать неисправности и выполнять простые ремонтные работы.

Программы обучения для пешеходов, использующих средства персональной мобильности, могут включать в себя следующие аспекты:

1. Теоретическое обучение. Пешеходам необходимо пройти обучение, включающее правила дорожного движения, нормы безопасности и другие соответствующие теоретические аспекты. Подобное может быть достигнуто с помощью классов, лекций, онлайн-курсов и тестов;

2. Практическое обучение. Пешеходам необходимо получить практическую подготовку в управлении своими средствами персональной мобильности. подобное может быть достигнуто через индивидуальные или групповые тренировки, включающие упражнения по управлению, выполнению маневров и обучению техникам безопасности.

3. Обучение по безопасности. Пешеходы самостоятельно проходят курс по основам безопасности, таким как использование защитного снаряжения, соблюдение дистанции и правил общения с другими участниками дорожного движения.

4. Информационные кампании. Проведение информационных кампаний и мероприятий, направленных на повышение осведомленности о безопасности пешеходов, использующих средства персональной мобильности. Это может включать распространение информационных материалов, организацию тренингов и проведение просветительских мероприятий.

С развитием технологий и стремительным развитием электромобильной индустрии все больше людей выбирают средства персональной мобильности, это приводит к необходимости создания специальных парковочных мест, адаптированных под потребности этих современных транспортных средств [2].

Создание парковочных мест для средств персональной мобильности имеет несколько целей. Во-первых, оно обеспечивает удобство и доступность для пользователей средств персональной мобильности, предоставляя им специально выделенные места для парковки. Во-вторых, это способствует продвижению экологически устойчивой мобильности и снижению загрязнения окружающей среды, поскольку создание таких парковочных мест стимулирует использование более экологически чистого средства передвижения [3].

Специальные парковочные места для средств персональной мобильности могут быть размещены на улицах, в общественных парковках, на автозаправочных станциях и в других публичных местах. Они должны быть обозначены специальными знаками или маркировкой на асфальте, чтобы было легко узнать и использовать эти места (рисунок 1). Кроме того, важно размещать зарядные станции на парковочных местах для обеспечения возможности зарядки средств персональной мобильности. Это позволяет пользователям удобно заряжать свой транспорт во время стоянки и расширяет сеть зарядных инфраструктур, что является ключевым фактором для увеличения привлекательности использования электрических средств персональной мобильности [2].

Помимо этого, важно обеспечить безопасность и комфорт пользователей средств персональной мобильности, особенно в условиях недостаточной освещенности и неблагоприятных погодных условий. Для этого следует улучшить освещение и сигнализацию на дорогах. Это может предусматривать установку дополнительных осветительных приборов, энергоэффективных и экологически дружелюбных источников освещения, таких как светодиодные лампы, которые обеспечивают яркий свет и потребляют меньше энергии, установка дорожных знаков и сигналов, указывающих на наличие специальных зон для парковки и зарядки средств персональной мобильности, возможно использование технологических решений, таких как электронные информационные табло и мобильные приложения, чтобы предоставить пешеходам-водителям актуальную информацию о доступных парковочных местах и зарядных станциях.

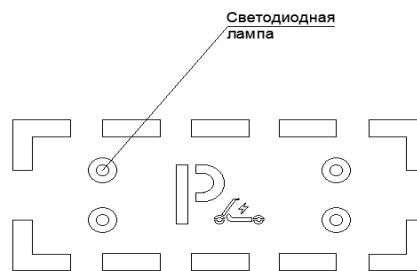


Рисунок 1 – Пример изображения парковочного места для средств персональной мобильности на асфальте

Шум на дороге, включая шум от движущихся транспортных средств, может влиять на качество сна и способность отдыхать. Постоянное или повторяющееся воздействие шума может приводить к бессоннице или нарушению сна, что в свою очередь может негативно сказываться на общем физическом и психологическом здоровье.

Таблица 1 – Фактические цифровые показатели шума на пользователя средства персональной мобильности

Средство персональной мобильности	Уровень звукового давления (дБ)	Уровень звуковой мощности (дБ)	Частота (Гц)	Чувствительность (дБ)
Электросамокат	65	75	100-5000	80
Гироскутер	60	70	100-4000	75
Моноколесо	55	65	100-3000	70
Электровелосипед	70	80	100-6000	85

Однако, степень влияния шума (таблица 1) на организм может зависеть от индивидуальных факторов, таких как длительность и интенсивность экспозиции, генетическая предрасположенность, а также общее состояние здоровья. Кроме того, влияние шума на организм может быть смягчено или усилено другими факторами, такими как использование защитных наушников или общий уровень фонового шума в окружающей среде.

Использование электросамокатов, в отличие от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, не приводит к прямым выбросам вредных веществ в атмосферу. Однако, в настоящее время средства персональной мобильности широко используются, что способствует увеличению общего числа транспортных средств на дорогах, что может повлиять на качество воздуха в городских районах (таблица 2).

Таблица 2 – Фактические цифровые показатели выбросов вредных веществ в городе Минске

Наименование	Углерода оксид	Азота диоксид	Серы диоксид	Углеводороды	Сажа	Бенз(а)пирен, кг	Всего
<b>Значение (тыс. т)</b>	93,3	13,3	0,0	27,3	2,9	86,7	136,8

Эти факторы инфраструктуры могут варьироваться в разных городах и районах, и их влияние на человеческий организм будет зависеть от конкретной ситуации и условий использования средств персональной мобильности [4].

#### Список использованных источников

1. Электронный учебно-методический комплекс Охрана труда (в области транспорта и транспортной деятельности) / Лазаренков А.М., Фасевич Ю.Н. – Регистр. № БНТУ-ЭУМК-МТФ 35-878. Регистр. свид-во Государственное предприятие «ЦЦР» № 1862334033 от 11.04.2023 г.
2. Правила по охране труда при эксплуатации автомобильного и городского электрического транспорта, утверждены Постановлением Министерства труда и Министерства транспорта Республики Беларусь от 06.12.2022 № 78/104.
3. Постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь "Об утверждении Инструкции о правилах дорожного движения для пешеходов, велосипедистов, пользователей электросамокатов и иных средств индивидуальной мобильности" (от 19.11.2018 № 43).
4. Жук А.А. Анализ опасных и вредных производственных факторов, на условиях труда водителя электрического городского транспорта /А.А. Жук; научн. руковод. Ю.Н. Фасевич//

**Организация труда и анализ факторов производственной среды на рабочем месте водителя при международных перевозках опасных грузов**

Студент гр. 10605120 Астренков А.Д.

Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Труд водителя носит определенный характер и существенно отличается от других видов работ. Данная особенность заключается, в частности, в том, что этот труд связан с движущимся транспортным средством, представляющий источник повышенной опасности. Управляя грузовым автомобилем, водитель подвергается воздействию внешних факторов: в кабине – шумно; от руля и сидения передается вибрация; водитель вдыхает испарения топлива и т.п.

К управлению автомобилями для перевозки опасных грузов допускаются водители не моложе 21 года, имеющие непрерывный стаж работы по профессии «водитель автомобиля» не менее 3 лет, прошедшие специальную подготовку, стажировку и проверку знаний на допуск к самостоятельной работе и получившие свидетельство установленного образца. Водитель грузового транспортного средства перед рейсом обязан проходить в установленном порядке медицинское обследование с отметкой в путевом листе. Водители проходят повторный инструктаж по охране труда в сроки не реже одного раза в 6 месяцев, ежегодную проверку знаний по вопросам охраны труда. Водители, осуществляющие перевозку опасных грузов, проходят переподготовку не реже одного раза в 3 года. [1, 3]

Из-за разных обстоятельств, происходящий во время рейса или несвоевременной проверки колес, происходят случаи взрыва шин, что приводят к дорожно-транспортному происшествию. В добавок, при давлении выше нормы или ниже нормы водителю сложнее справиться с автомобилем, что также приводит к ДТП (см. рисунок 1). Рассмотрим, какие еще бывают риски. Опасность неправильного давления — это следующие риски: изменение тормозного пути; увеличение расхода топлива; ухудшение управляемости; увеличение нагрузки на систему стабилизации, рулевую рейку и детали подвески.

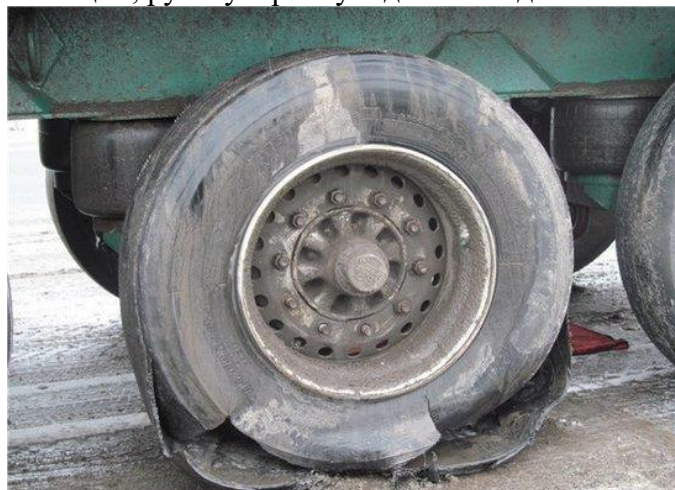


Рисунок 1 – Взрыв колеса во время рейса

Данные о давлении непосредственно пересылаются на центральный контрольный модуль в автомобиле. Программное расширение блока управления системы ABS (основана на работе датчиков скорости вращения колес системы ABS). В основе принципа — измерение скорости вращения каждого колеса, т.е. измеряется скорость вращения колеса, а уже на основании этого электронный блок определяет давление (таблица 1). При падении давления ниже

установленного срабатывает индикатор. Также можно измерить вручную при помощи манометра. При этом важно, чтобы шины в момент проверки были холодные, следовательно проверку нужно делать перед выездом на маршрут.

Таблица 1 – Оптимальное давление воздуха в шинах грузовых автомобилей

Размер автошины	Давление (бар) в автошинах при нагрузках на ось, т								Максимально допустимая нагрузка на ось, т
	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	
10.00 R20 (PR16)		5,5	6,3	7,1					10,9 при давлении 7,8 бар
11.00 R20 (PR16)			5,8	6,5	7,25	8,0			12 при давлении 8 бар
12.00 R20 (PR16)			5,5	6,25	7,0	7,8	8,5		13 при давлении 8,5 бар
12.00 R204(PR18)				4,8	5,5	6,0	6,6	7,2	14,6 при давлении 7,5 бар
11.00 R22.5 (PR16)		5,25	6,0	6,8	7,5				11,6 при давлении 8 бар
12.00 R22.5 (PR16)			5,8	6,5	7,25	8,0			12,6 при давлении 8,5 бар
13.00 R22.5 (PR18)				6,2	6,5	7,5	7,8		13,4 при давлении 8 бар

Очень важно водителям соблюдать режим труда и отдыха, а фирме контролировать и проверять их. Ежедневная продолжительность рабочего дня водителя не может превышать 10 часов, однако есть случаи, когда водитель имеет право его продлить до 12 часов: городских и пригородных автомобильных перевозок в регулярном сообщении; междугородной автомобильной перевозки, когда водителю необходимо дать возможность доехать до соответствующего места отдыха; автомобильных перевозок для собственных нужд.

Водителям в течение рабочего дня предоставляется перерыв для отдыха и питания продолжительностью не менее 20 минут и не более 2 часов. При смене более 8 часов – два перерыва общей продолжительностью не более 2 часов и не менее 40 минут [3]. Если часть ежедневного периода отдыха, которая попадает на этот 24-часовой период, составляет, как минимум, 9 часов, но менее 11 часов, то данный ежедневный период отдыха рассматривается в качестве сокращенного ежедневного периода отдыха. При работе экипажей из двух водителей в течение каждых 30 часов, каждому водителю предоставляется период отдыха продолжительностью не менее 8 часов подряд.

В исключительных случаях (форс-мажорные обстоятельства, оказание помощи, авария) при условии соблюдения безопасности дорожного движения водитель может отступить от положений, регламентирующих продолжительность управления и отдыха экипажа, в той мере, в которой это требует обеспечение безопасности людей, транспортного средства или груза, а также достижения подходящего пункта остановки.

Санитарно-гигиенические нормы и правила, которые устанавливают требования к факторам производственной среды, режимам труда и отдыха, санитарно-бытовому обеспечению, личной гигиене водителей автомобильного транспорта, а также санитарному состоянию автомобильного транспорта. Данные нормы утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 47 от 14.06.2013 [2]. Измерение параметров микроклимата производилось при движении автомобиля со скоростью 40 - 60 км/ч при закрытых окнах, форточках, фрамугах, потолочных люках. Замеры проводятся с учетом

факторов, влияющих на микроклимат рабочих мест, не менее трех раз за смену (в начале, середине и в конце смены).

Оптимальные и допустимые значения микроклимата для водителей в кабинах автотранспорта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные и допустимые значения микроклимата для водителей в кабинах автотранспорта

Период года	Тип транспортного средства	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
<b>Оптимальные значения параметров микроклимата</b>				
Холодный	Грузовые	18-20	60-40	не более 0,2
Теплый	Грузовые	21-23	60-40	не более 0,2
<b>Допустимые значения параметров микроклимата</b>				
Холодный	Грузовые	17-23	не более 75	не более 0,3
Теплый	Грузовые	не более чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 28 °С	не более 55 при 28 °С не более 65 при 26 °С не более 75 при 24 °С и ниже	0,2-0,5

Инфразвук, действуя на центральную нервную систему, вызывает чувство сонливости у водителя, что увеличивает вероятность совершения им ДТП(таблица 3).

Таблица 3 – Предельно допустимые уровни инфразвука

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Общий уровень звукового давления в полосах частот 2-16 Гц, дБЛин
	2	4	8	16	
Водители транспортных средств	105	105	105	105	110

Для снижения воздействия инфразвука на водителей в кабинах устанавливаются глушители интерференционного типа и соблюдаются режим труда и отдыха.

Вибрация является одним из основных неблагоприятных факторов, действующих на водителя (таблица 4). Основными источниками локальной вибрации, передающейся через органы управления автомобилем, являются двигатель и трансмиссия. Для уменьшения вибрации применяют динамическую балансировку деталей, увеличивают жесткость вибрирующих элементов, используют вибропрокладки и вибропоглощающие элементы и смазки.

Таблица 4 – ПДУ звукового давления в октавных полосах частот

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровень звука, дБА
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
Рабочие места водителей грузовых автомобилей	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

#### Список использованных источников



1.Правила автомобильных перевозок грузов, утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 30.06.2008 г. № 970 (в ред. постановлений Совмина от 13.04.2011 г. № 493), с изм. и доп. от 29.06.2020 № 381, от 30.12.2020 № 772 – 38с.

2.Лазаренков, А.М. Электронный учебно-методический комплекс Охрана труда (в области транспорта и транспортной деятельности)/ А.М. Лазаренков, Ю.Н. Фасевич – Регистр. № БНТУ-ЭУМК-МТФ 35-878. Регистр. свид-во Государственное предприятие «ЦЦР» № 1862334033 от 11.04.2023 г.

3.Лаптанович М.С. Требования к условиям водителей автомобильного транспорта/ М.С. Лаптанович; научн. руковод. Ю.Н. Фасевич //Новые материалы и технологии их обработки [Электр. ресурс]: сб. научных трудов XXI Республиканская студенческая научно-техническая конференция, 22 – 24 апреля 2021/ сост. А.П. Бежок. – Минск: БНТУ, 2021, с. 164 – 166.

**Роль охраны труда и техники безопасности на предприятии**

Студенты гр. 10904123 Шевелёва А.Ю., Малевич П.А.

Научный руководитель - Шрубенко Т.П.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Аннотация: в данной статье рассмотрены вопросы значимости организации охраны труда на предприятии, их влияние на конечный результат производственной деятельности. Также рассмотрены основные факторы, влияющие на состояние безопасности трудящихся на производстве, и предложены пути решения возникающих проблем в сфере охраны труда.

Безопасность и охрана труда относятся к руководящим принципам, программам и практикам, которые гарантируют безопасность, благополучие и здоровье работников. Конечной целью любой программы по охране труда и технике безопасности является обеспечение максимально безопасных условий труда и сведение к минимуму вероятности травм, несчастных случаев и смертей на рабочем месте. Здоровье и безопасность на рабочем месте защищают здоровье работников, населения в целом и всех других людей, которые могут находиться в том же окружении. Соблюдение правил охраны труда и техники безопасности помогает предотвратить несчастные случаи и снизить вероятность травм и заболеваний сотрудников. Они также могут сократить медицинские расходы, отпуск по болезни и пособия по инвалидности.

Независимо от того, чем она занимается, любая организация несет ответственность за соблюдение правил охраны труда и техники безопасности на рабочем месте. Эти правила четко изложены, и, если предприятие не соблюдает их, оно может быть привлечено к ответственности за любой ущерб или несчастные случаи. Кроме того, предприятия несут финансовые и юридические обязательства по соблюдению стандартов безопасности и гигиены труда. У них также есть моральное обязательство обеспечивать здоровье, безопасность и безопасность сотрудников.

Безопасная и здоровая рабочая среда имеет важное значение для благополучия сотрудников, клиентов и других представителей общественности. Проблемы со здоровьем и безопасностью могут возникать из различных источников, включая воздействие опасных материалов, небезопасные методы работы и несчастные случаи. Чтобы обеспечить здоровье и безопасность работников, работодателям важно четко понимать, какие опасности для здоровья и безопасности существуют на их рабочем месте. Работодатели также должны быть осведомлены о потенциальных последствиях воздействия этих опасностей. Выявляя и контролируя угрозы для здоровья и безопасности на рабочем месте, работодатели могут помочь защитить своих сотрудников от травм, болезней и смерти. Существует множество федеральных законов и законов регионов, регулирующих охрану труда и технику безопасности на рабочем месте. Эти законы устанавливают минимальные стандарты, которым работодатели должны следовать для защиты работников от потенциально опасных условий.

Безопасность на рабочем месте — это условие отсутствия признанных опасностей, которые вызывают или могут привести к смерти или серьезному физическому ущербу, и включает безопасные и здоровые условия труда. Безопасное и здоровое рабочее место — это место, где сотрудники могут выполнять свои обязанности, не подвергаясь рискам, которые могут привести к травмам, заболеваниям или смерти.

Когда большинство людей думают о безопасности на рабочем месте, они сразу же думают о физических опасностях, таких как проскальзывания, спотыкания и падения. Однако многие другие виды опасностей на рабочем месте могут угрожать безопасности и здоровью сотрудников. К ним относятся эргономические опасности, химические опасности, биологические опасности и психологические опасности.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), «гигиена труда охватывает все аспекты здоровья и безопасности на рабочем месте и направлена на предотвращение опасностей в качестве основной цели». Здоровье определяется как «состояние полного психического, физического и социального благополучия, а не просто отсутствие болезней или заболеваний».

Сфера гигиены труда — это многопрофильная область здравоохранения, направленная на то, чтобы люди могли выполнять свою работу наиболее эффективным способом, нанося минимальный вред своему физическому здоровью.

Существует множество причин, по которым работники нарушают правила безопасности на работе. В некоторых случаях работники могут не знать об опасностях, связанных с определенными задачами, или, возможно, не прошли надлежащую подготовку. В других случаях у работников может возникнуть соблазн срезать путь, чтобы сэкономить время или повысить производительность. Наконец, некоторые работники могут быть просто небрежны и не соблюдать процедуры безопасности.

Примером нарушения правил безопасности является несоблюдение надлежащих средств индивидуальной защиты (СИЗ). СИЗ предназначены для защиты работников от воздействия опасных материалов, поражения электрическим током и других опасностей. Когда работники не носят СИЗ, они подвергают себя и других риску получения травм или смерти. Обучение технике безопасности и охране труда важно по целому ряду причин. Во-первых, это помогает обеспечить осведомленность сотрудников о потенциальных опасностях в их рабочей среде. Это также помогает убедиться, что они знают, как защитить себя от этих опасностей. Наконец, обучение по вопросам охраны труда и техники безопасности может помочь снизить количество несчастных случаев и травм, которые происходят на рабочем месте.

Существует множество различных видов обучения по охране труда и технике безопасности, которые работодатели могут предоставить своим сотрудникам. Один из видов обучения называется тренингом по информированию об опасности. Этот тип обучения помогает сотрудникам понять опасности, связанные с определенными химическими и другими веществами, которым они могут подвергаться на рабочем месте. Другой тип обучения по охране труда и технике безопасности называется обучением пожарной безопасности. Этот тип обучения помогает сотрудникам понять опасности, связанные с пожарами на рабочем месте. Наконец, работодатели также могут проводить обучение своих сотрудников по вопросам охраны труда и техники безопасности в рамках обучения оказанию первой помощи.

Все эти виды обучения по охране труда и технике безопасности важны по разным причинам. Тем не менее, самая важная причина для проведения обучения по вопросам охраны труда и техники безопасности для сотрудников — это помочь обеспечить их безопасность во время работы. Предоставляя сотрудникам обучение по вопросам охраны труда и техники безопасности, работодатели могут помочь обеспечить безопасную и эффективную работу своих сотрудников на рабочем месте.

## Токарные станки

Студенты гр. 10904123 Олехнович А.А., Сенько И.В.

Научный руководитель - Новик А.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

### Токарные станки: основные принципы работы и области применения

Токарные станки являются одними из наиболее распространенных и важных инструментов в металлообрабатывающей промышленности. Они используются для обработки деталей, которые имеют вращательную симметрию, таких как валы, болты, гайки, фланцы и другие изделия. В этой статье мы рассмотрим основные принципы работы токарных станков и их области применения.

Принцип работы токарного станка заключается в том, что заготовка крепится на шпинделе и вращается вокруг своей оси. Одновременно с этим режущий инструмент (точильный нож) перемещается вдоль оси заготовки и удаляет слой материала, создавая нужную форму и размер детали. Токарные станки могут быть ручными или станочными, автоматическими или полуавтоматическими, а также компьютеризированными (CNC), что позволяет выполнять сложные операции обработки.

Токарные станки используются в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, авиационная и автомобильная промышленность, медицинское оборудование, электроника и другие. Они позволяют изготавливать детали с высокой точностью и повторяемостью, что является ключевым фактором в производстве качественной продукции.

Основные операции, которые можно выполнить на токарном станке, включают наружное и внутреннее точение, нарезку резьбы, фрезерование, сверление отверстий и другие. Также существуют специализированные токарные станки для выполнения определенных операций, например, шлифовальные токарные станки для обработки поверхностей высокой точности.

### Охрана труда при работе с токарным станком

Охрана труда при работе с токарным станком является крайне важным аспектом, так как данное оборудование имеет высокий уровень опасности из-за вращающихся частей, режущих инструментов и возможности возникновения аварийных ситуаций. В этой статье мы рассмотрим основные меры по охране труда при работе с токарным станком.

1. Обучение и инструктаж. Перед началом работы с токарным станком необходимо пройти обучение и получить инструктаж по правилам безопасности. Работники должны быть ознакомлены с основными принципами работы станка, опасностями, связанными с его эксплуатацией, и методами предотвращения аварийных ситуаций.

2. Использование защитного оборудования. При работе с токарным станком необходимо использовать защитное оборудование, такое как защитные очки, перчатки, наушники, фартук и другие средства защиты. Это поможет предотвратить травмы и контакт с опасными частями станка.

3. Проверка состояния оборудования. Перед началом работы необходимо проверить состояние токарного станка, убедиться в исправности всех механизмов, наличии защитных кожухов и прочности креплений. В случае выявления неисправностей следует немедленно обратиться к специалистам для проведения ремонта.

4. Соблюдение правил эксплуатации. Работа на токарном станке должна выполняться в соответствии с инструкцией по эксплуатации и правилами безопасности. Нельзя допускать нарушений в работе, несанкционированных изменений в настройках станка или использование неодобренных методов обработки.

5. Проведение регулярных проверок и технического обслуживания. Для обеспечения безопасной работы с токарным станком необходимо проводить регулярные проверки состояния оборудования и его техническое обслуживание. Это позволит выявить потенциальные проблемы заблаговременно и предотвратить аварийные ситуации.

В заключение, охрана труда при работе с токарным станком играет ключевую роль в обеспечении безопасности работников и предотвращении производственных травм. Соблюдение правил безопасности, использование защитного оборудования, регулярные проверки и обслуживание оборудования – это основные меры, которые помогут минимизировать риски и обеспечить безопасную работу с токарным станком.

#### **Список использованных источников**

1. Пособие для студентов направления специальности 1-08 01 01 - 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)». Металлорежущие станки. [Данильчик, С. С.](#)
2. Сфера применения токарных станков и основные функции [[Электронный ресурс](#)] – Режим доступа: <https://spk-stanok.by/articles/sfera-primeneniya-tokarnyh-stankov->

## **Методы контроля и меры защиты параметров воздушной среды от вредных веществ**

Студент группы 11201222 Богурин М. А.

Научный руководитель- Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

Одним из наиболее значимых факторов окружающей среды является атмосферный воздух. Он представляет собой смесь газов, заполняющих атмосферу. Атмосферный воздух формирует воздушную среду жилых и производственных помещений.

С ростом крупной промышленности и транспорта, с активным процессом урбанизации возрастают масштабы возможных вредных изменений воздушной среды. Соответственно продолжает оставаться актуальной проблема углублённого изучения методов контроля и мер защиты параметров воздушной среды от вредных веществ.

Загрязнение воздуха – это любое негативное изменение состава атмосферы, вследствие попадания в нее различных веществ в результате каких-либо природных процессов или в ходе деятельности человека. Бывает биологическим и антропогенным, естественным и искусственным.

В настоящее время существует лабораторные, экспрессные и автоматические методы контроля загрязнений параметров воздушной среды.

Лабораторные исследования воздушной среды осуществляют по специальным методикам:

- термометрия - измерение температуры воздуха ртутными или спиртовыми термометрами;
- психрометрический метод измерения влажности воздуха - используют волосяные гигрометры, а также психрометры;
- замер скорости движения воздуха осуществляют кататермометрами и термоанемометрами;
- интенсивность теплового излучения измеряют актинометрами;
- весовым методом определяют запыленность воздуха, заключающимся в определении массы пыли в определенном объеме воздуха;
- газохроматографические методы - отбор и последующее сжигание пробы вещества в приборе с получением хроматограммы, с последующей ее расшифровкой используют при определении загазованности воздуха.

Экспрессный метод позволяет оценить концентрацию вредных веществ и основан на быстро протекающих химических реакциях с изменением цвета реактива.

Данный метод разделяется на два вида:

- линейно-колористический метод основан на протягивании исследуемого воздуха через стеклянные индикаторные трубки и измерении длины окрашенного столбика порошка по заранее подготовленным шкалам определяет концентрацию сернистого газа;
- метод биоиндикации основан на наблюдении за биологическими объектами - индикаторами (чаще это лишайники и мхи).

Экспрессные анализы воздушной среды выполняют с помощью газоанализаторов. Например, для определения углекислого газа в воздухе применяют:

- объемные методы Холдена, Кудрявцева, Калмыкова;
- титрометрические методы Субботина - Нагорского и Гесса;
- сравнительный метод Прохорова.

Удобным индикатором загрязнения атмосферного воздуха является снежный покров. Чем ближе источник загрязнения, тем больше в пробе снега будет содержаться различных тяжелых металлов, пыли и т. д.

Непрерывный контроль с записью результатов измерения обеспечивают автоматические методы контроля. Датчиками контроля служат автоматические газоанализаторы.

С целью охраны воздушной среды от загрязнения проводятся следующие мероприятия:

1. Законодательные;
2. Технологические;
3. Санитарно-технические;
4. Планировочные;
5. Организационные.

Законодательные мероприятия определяют ответственность различных организаций за охрану воздушной среды. При решении данного вопроса руководствуются Конституцией Республики Беларусь, Законом об охране окружающей среды, Законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и др. Важное значение в охране атмосферного воздуха от загрязнения принадлежит Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных пунктов и мест отдыха населения», утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 июня 2009 г. № 77 и Санитарным нормам и правилам «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов», утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 29.12. 2012 № 215. Разработаны «Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и нормативы ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения», утвержденные Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 декабря 2010 г. № 186, с дополнениями № 38, № 71.

К группе законодательных мер относится разработка гигиенических нормативов, включающая установление предельно допустимых концентраций для химических и предельно допустимых доз и уровней для физических и биологических загрязнителей.

Основными мероприятиями, ограничивающими загрязнение, следует рассматривать технологические. Это:

- создание замкнутых технологических процессов, при которых отсутствовали бы хвостовые газы, или абгазы;
- безотходные технологии;
- замена вредных веществ менее вредными;
- очищение сырья от примесей;
- внедрение в производство принципа рационального использования природных ресурсов, т.е. извлечение всех полезных компонентов и утилизация отходов.

Планировочные мероприятия содержат комплекс приемов, включающих:

- учет среднегодовой «розы ветров»;
- зонирование территории города;
- организацию санитарно-защитных зон;
- озеленение населенных мест;
- планировку жилых районов.

Размещать промышленные зоны необходимо на хорошо проветриваемых территориях города, подветренно по отношению к жилым районам.

Организация общего благоустройства города связана с борьбой от природной запыленности за счет озеленения санитарно-защитных зон, магистральных улиц и внутриквартальные зеленые насаждения. Санитарно-защитные зоны являются естественным барьером от промышленных выбросов. Для озеленения этих зон рекомендованы конструкции лесозащитных

полос, а также ассортимент газоустойчивых древесно-кустарниковых пород. Зеленые насаждения способны поглощать пылевые загрязнения и некоторые газы, что позволяет в три раза снизить уровень концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

Зонирование застройки кварталов, граничащих с магистральными улицами, заключается в том, что ближайшую к магистрали зону застраивают зданиями коммунально-бытового назначения, следующую - малоэтажными постройками, третью зону - зданиями повышенной этажности, а четвертую - детскими, лечебными учреждениями, т.е. застройкой с повышенными требованиями к качеству воздуха.

Для борьбы с отработавшими газами автотранспорта в жилых кварталах имеет значение тип застройки. Замкнутые типы застройки целесообразно применять только в городах, где преобладают ветры больших скоростей (выше 5 м/с).

Специальными мерами по защите воздушного бассейна при помощи очистных сооружений являются санитарно-технические мероприятия.

Очистные сооружения для улавливания пыли подразделяются на 4 вида:

- сухие механические пылеуловители;
- аппараты фильтрации;
- электростатические фильтры;
- аппараты мокрой очистки.

К сухим механическим пылеуловителям относятся:

- пылеосадочные камеры, которые эффективны лишь для крупной пыли. Используют для предохранения газоотходов от выпадающей пыли или как первая ступень очистки выбросов;

- циклонные пылеуловители работают по принципу центробежного пылеотделения. Применяются как самостоятельные очистные сооружения, так и в комбинации с другим газоочистительным оборудованием. Эффективность достигает 85-90 %;

- жалюзийные золоуловители имеют вращающиеся части. Осаждение пыли происходит при прохождении газа через пористые перегородки. Степень очистки газов в них может быть очень высокой для высокодисперсной пыли.

Принцип работы электростатических фильтров основан на способности пылинок приобретать заряд в силовом поле высокого напряжения и оседать на электроде противоположного знака.

По характеру улавливаемого продукта они делятся на «сухие» и «мокрые», по направлению хода газов - горизонтальные и вертикальные.

Электрофильтры получили широкое распространение потому, как являются универсальными аппаратами для очистки газов. Их применяют для улавливания как твердых, так и жидких аэрозолей. Эффективность составляет 99,9 %.

Для очистки промышленных выбросов от вредных газообразных примесей используют процессы абсорбции в различных аппаратах: скрубберах, пенных аппаратах, тарельчатых скрубберах, барботерах и др.

Самыми распространенными аппаратами для мокрой очистки газов являются скрубберы. Они имеют большое количество разновидностей по конструктивному оформлению - полые, насадочные, одноступенчатые, каскадные, по методу подачи орошающих жидкостей - форсуночные, переливные.

Организационные мероприятия заключаются в осуществлении выбросов и сбросов в разное время суток, сменной работе технологического оборудования и др.

Таким образом, применяя методы контроля и мероприятия по защите воздушной среды, возможна минимизация рисков воздействия загрязнения вредными веществами.



**Аттестация рабочих мест по условиям труда**

Студент группы 11201222 Пузанова А.С.

Научный руководитель - Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Человек проводит на рабочем месте достаточно много времени и чаще всего даже большую часть дня. Следовательно, то, в каких условиях он находится, будет прямо влиять на состояние здоровья и работоспособность. Ни в коем случае нельзя пренебрегать оценкой вредных производственных факторов, а также степенью тяжести и напряженности труда. Наниматель должен понимать, что работник, находящийся в плохих условиях труда, не столь эффективен, однако, многих это не останавливает. Именно поэтому проводится обязательная аттестация рабочих мест по условиям труда, а именно обязательная для любого работодателя.

Что же включает в себя понятие «аттестация рабочего места»? Одним из первых критериев является гигиеническая оценка уже имеющихся условий труда и его характера. Также дается оценка травмобезопасности рабочих мест и проверяется обеспеченность средствами индивидуальной защиты всех работников.

Главными целями в свою очередь являются улучшение условий труда и установление пенсии по возрасту на льготных условиях труда в связи с особыми условиями труда. Решают, какие работы и профессии, получают право на более раннюю пенсию, прибегая к помощи списков №1 и №2. Разница между ними в степени тяжести условий труда. К первому списку относятся профессии с особо вредными, опасными, тяжелыми условиями труда и выход на пенсию происходит на 10 лет раньше. Второй список охватывает работу во вредных и тяжелых условиях труда и ускоряет выход на пенсию уже не на 10 лет, а на 5. Однако не всегда тяжесть условий работы может позволить более ранний выход на пенсию. В таких случаях происходит установка льгот, компенсаций или же доплат за работу в определенных неблагоприятных условиях труда.

Если работодатель отрицает свою обязанность в проведении аттестации, он будет вынужден более тщательно ознакомиться со Статьей 17 Закона Республики Беларусь «Об охране труда». Называется она следующим образом «Обязанности работодателя по обеспечению охраны труда» и согласно ей обеспечение проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, а также осуществление паспортизации санитарно-технического состояния условий и охраны труда являются обязательными. Наниматель также обязан обеспечивать проведение аттестации рабочих мест согласно Закону Республики Беларусь «О профессиональном пенсионном страховании».

Если при проведении аттестации были выявлены нарушения (или при уклонении от ее проведения), должностному лицу грозит штраф в размере от 20 до 50 базовых величин, если же лицо будет юридическим, штраф повышается до 100 базовых величин.

Далеко не на каждом рабочем месте будет проводиться аттестация. Согласно Постановлению №253 в сферах текстильного производства, медицины и педагогики, а также на производствах, в цехах, на профессиях и должностях с вредными (опасными) условиями труда, где продолжительность рабочего дня сокращена обязательно будет проводиться аттестация. Также важным является наличие на рабочих местах вредных и опасных факторов производственной среды, которые обусловлены технологическим процессом. На остальных рабочих местах аттестация, скорее всего, не будет являться обязательной. Стоит отметить, что данная процедура обязательна и для существующих рабочих мест, и для вновь созданного бизнеса (в том числе реконструкции).

Но как часто следует проводить аттестацию? В случае если не было реконструкции здания, не происходит существенных изменений в штатных процессах, не появляются новые рабочие места, техника, виды сырья и материалы, а расписание остается прежним, проводится плановая аттестация будет раз в пять лет. Внеплановая происходит в течение шести месяцев с появления нововведения или важного изменения. Данные эти хранятся 75 лет.

Разберем основные этапы аттестации рабочих мест по условиям труда:

1. Первоначально подбирается состав аттестационной комиссии и издается приказ о необходимости проведения аттестации. Также решают, какие будут сроки выполнения работ.

2. Выбираются определенные специальности, которые будут просматриваться и готовиться перечень рабочих мест, подлежащих аттестации, т. к. не для всех она обязательна. Изначально в перечень входят профессии списков №1 и №2 с последующим возможным добавлением других работников.

3. Следующим этапом является составление карт-фотографий рабочего времени работников, чьи рабочие места будут аттестованы.

4. Важно, что аттестацию должны проводить аккредитованные лаборатории.

5. Проводится измерение уровня вредных и опасных факторов нужной производственной среды и их исследование. Происходит это под наблюдением инженера по охране труда. Основными измеряемыми показателями являются освещение, шум, вибрация, микроклимат и т.д.

6. К моменту, когда все данные собраны и графики работ изучены, наступает время оформления карт аттестации и протоколов.

7. Наниматель утверждает перечни работников, согласно категории, в которой они заняты, посредством приказа. Работникам из списка будут положены компенсации (связанные либо с продолжительностью рабочего, либо, например, доп. платой). Результаты аттестации должны быть предоставлены в нужные контролирующие органы. Работники предприятия обязаны ознакомиться с приказом и проставить свои подписи.

8. Как принято, если найдены неполадки, их нужно устранить и поэтому заключительным этапом является планирование мероприятий и принятие мер по улучшению условий труда, если таковые необходимы.

Контролирует качество проведения аттестации и правильное применение списка №1 и №2 Государственная экспертиза условий труда. По результатам аттестации рабочих мест устанавливают классы условий труда. Существуют: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что аттестация рабочих мест необходима для создания комфортных и безопасных условий труда и сохранения здоровья сотрудников. А ведь именно сотрудники являются основным двигателем производства, следовательно экономить на них определенно нельзя.

**Охрана труда при изготовлении протезно-ортопедических изделий**

Студенты гр. 11307220 Бондаренко В.А., гр. 11307120 Храмкова А.С.

Научный руководитель - Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Возросший спрос на услуги по эксплуатации и ремонту привел к совершенствованию технологий компонентов, материалов и клинических навыков, начиная с 1960-х годов. Особого внимания заслуживает появление в 1970-х годах композитных материалов, таких как стекловолокно и высокотемпературные термопласты. Ускоренные инновации в дизайне ортопедических изделий и протезов продолжились и в 21 веке, чему способствовал рост мирового спроса, микропроцессорные технологии и правительственные программы по обеспечению высококачественными протезами и ортезами все группы населения.

Изготовлением протезно-ортопедических изделий в Республике Беларусь занимается Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр, а именно ведущие инженеры протезисты и техники, чьи должностные инструкции перекликаются. Работа техников-ортопедов и протезистов аналогична работе квалифицированного мастера. Обычно они очень ограниченно общаются с пациентами, проводя большую часть времени за работой над ортопедическими и протезными устройствами. Их работа начинается с чтения схем и спецификаций, составленных ортопедом или протезистом, чтобы определить тип устройства, которое необходимо изготовить, а также какие материалы и инструменты потребуются.

Техники часто создают модели или слепки конечностей пациентов, чтобы использовать их при создании устройств. Они полагаются на эти модели при изготовлении пластиковых косметических заменителей, а также при установке протезов на культю пациента. Для изготовления этих моделей техники используют восковой или пластиковый слепок (негатив) ампутированной области пациента. По негативу делают позитив (форма), в который заливают гипс. Чтобы убедиться, что форма соответствует части тела пациента, техникам, возможно, придется вырезать, шлифовать или наращивать части модели.

При изготовлении ортопедических устройств техники сгибают, сваривают и разрезают куски металла или пластика, чтобы придать им форму структурных компонентов устройства. Для этого используют молотки, наковальни, сварочное оборудование и пилы. Затем они сверлят и нарезают отверстия в компонентах для заклепок и скрепляют детали вместе.

Чтобы обеспечить правильную посадку устройства после завершения, они часто формируют пластиковые или металлические детали вокруг отлитой модели туловища или конечностей пациента. Когда основная конструкция устройства собрана, ее покрывают и прокладывают слоями резины, войлока, пластика и кожи. Для изготовления составных частей протезов техники вырезают и шлифуют дерево, пластик, металл и ткань. Они могут использовать дисковые пилы, режущие станки и ручные режущие инструменты. Когда техники-протезисты заканчивают сборку базового устройства, они оснащают его внешним покрытием, используя швейные машины, клепальные пистолеты и ручные инструменты. При необходимости они смешивают пигменты, чтобы повторить цвет кожи пациентов, и наносят пигменты на внешние покрытия протеза [1].

Исходя из вышеизложенного приняты положения, обеспечивающие охрану труда при изготовлении протезно-ортопедических изделий, включающие 1. Постановление Министерства труда и социальной защиты от 18.07.2012 № 80 об утверждении выпуска 25 Единого квалификационного справочника должностей служащих и об отмене некоторых постановлений Министерства труда Республики Беларусь и Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и их структурных элементов, регламентирующий требования к знаниям и

умениям работника во избежание травматизма и приобретения профессиональных заболеваний.

2. Приложение к постановлению Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 15 октября 2010 г. N 145 «Об установлении перечня средств индивидуальной защиты, непосредственно обеспечивающих безопасность труда, и о признании утратившим силу постановления Министерства труда Республики Беларусь от 19 апреля 2000 г. N 65», согласно которому наниматель исходя из характера и условий труда, анализа результатов оценки рисков от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов на рабочем месте работника, аттестации рабочего места по условиям труда (если ее проведение предусмотрено требованиями нормативных правовых актов), наличия вредных и (или) опасных производственных факторов и с учетом перечня средств индивидуальной защиты, непосредственно обеспечивающих безопасность труда, установленного согласно приложению, самостоятельно определяет средства индивидуальной защиты, необходимые для обеспечения безопасных условий труда работника, а также для защиты от загрязнения, и устанавливает нормы их выдачи [2].

Одним из наиболее вредных факторов производства при изготовлении протезно-ортопедических изделий является пыль и стружка, образующиеся при обработке материалов типа пластика, пенопласта, гипса и т.д. Для снижения рисков получения профессиональных заболеваний в помещениях используется вентиляция с естественным побуждением (проветривание) и механическим (вытяжка), а также предусмотрена выдача средств индивидуальной защиты: респираторов, масок, резиновых и тканевых перчаток, очков и наушников. Применяется высокотехнологичное оборудование на отдельных операциях с целью уменьшения воздействия негативных факторов производства, таких как шум и вибрации. Для предупреждения несчастных случаев предусмотрено проведение плановых инструктажей и внеплановых семинаров по охране труда.

#### **Список использованных источников**

1. The latest methods of designing and manufacturing orthopedic implants [Electronic resource]. - Mode of access: <https://healthnewscenter.com/en/post/65-orthopedic-implant-manufacturing-process>. – Date of access: 27.03.2024.

2. Приложение к постановлению Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 15 октября 2010 г. N 145 «Об установлении перечня средств индивидуальной защиты, непосредственно обеспечивающих безопасность труда, и о признании утратившим силу постановления Министерства труда Республики Беларусь от 19 апреля 2000 г. N 65».

**Оценка условий труда на рабочих местах формовщиков**

Студенты гр. 10404121 Дыдыка Е.В., Славинский А.Л.

Научный руководитель - Лазаренков А.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Условия труда на рабочих местах формовщиков определяются следующими производственными факторами: шум, вибрация, запыленность, параметры микроклимата (температура и скорость движения воздуха) [1, 2].

Уровень шума на рабочих местах формовщиков в зависимости от применяемого оборудования и ручного инструмента находится в интервале от 81 до 96 дБА и превышает допустимый уровень 80 дБ, что согласуется с данными работы [3]. Наибольшие уровни шума отмечаются при изготовлении форм из песчано-глинистой смеси на машинах с уплотнением смеси встряхиванием (на 6-16 дБ), с вибрационным уплотнением (на 6-10 дБ), с использованием пескометов с ручным управлением (на 9-16 дБ). Не наблюдается превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) при изготовлении форм из жидких самотвердеющих смесей, при вакуумно-пленочной формовке и уплотнением прессованием. Шум, создаваемый оборудованием, непостоянный, с максимальным уровнем звуковой мощности в области средних и высоких частот. Это говорит о значительном воздействии шума на формовщиков, что подтверждается зарегистрированными случаями профессиональных заболеваний (неврит слухового органа).

Превышения уровней общей технологической вибрации регистрировались только у формовочных машин с уплотнением встряхиванием без амортизации ударов (на 2-6 дБ) и встряхиванием с подпрессовкой (на 1-4 дБ), что хорошо согласуется с данными работы [4]. Превышение уровней локальной вибрации наблюдалось у формовщика при ручном управлении пескометом (на 2-6 дБ). Однако значительно большему воздействию локальной вибрации подвергаются формовщики, использующие ручной пневматический инструмент. Уровень локальной вибрации при использовании ручного инструмента превышает допустимые значения на 5 – 9 дБ. Работы выполняются при высокой напряженности труда в неблагоприятных условиях (значительные уровни шума, запыленность, повышенные температуры и скорость движения воздуха). А это увеличивает вероятность развития профессионального заболевания вибрационной болезни в короткие периоды.

Содержание пыли в воздухе рабочей зоны формовщиков (при наполнении опок песчано-глинистой смесью, очистке лишней смеси, очистке подмодельных плит) превышает предельно допустимые концентрации в 1,3 – 3, 4 раза, что может привести к заболеванию пылевым бронхитом, о чем говорится в работе [5].

Превышение содержания вредных веществ в воздухе рабочих мест отмечалось только у установок холоднотвердеющих смесей (в 1,4-1,7 раза). На остальных рабочих местах регистрировались вредные вещества (оксид углерода, фенол, формальдегид и др.) с содержанием в пределах предельно допустимых концентраций. Наличие указанных вредных веществ на рабочих местах формовщиков обусловлено миграцией с соседних неизолированных друг от друга участков (стержневой, заливочный и др.) [6].

Результаты исследований параметров микроклимата на рабочих местах формовочных участков литейных цехов показывают, что в теплый период года температура воздуха на рабочих местах формовщиков превышает на 3 - 6°C нормативные величины в зависимости от характера производства, расположения формовочных участков в литейных цехах. Аналогичное положение отмечается и в холодный период года. Превышения допустимых значений скоростей движения воздуха на рабочих местах в теплый период года составляют 1,3 – 2, 0 раза, а в холодный – 1,1 – 1,5 раза. Аналогичные данные приведены в работах [7, 8].

Полученные данные свидетельствуют о том, что в литейных цехах не приняты все необходимые меры по стабилизации микроклимата на рабочих местах. Такое положение приводит к тому, что при увеличении скорости наружного воздуха в помещениях цеха появляются сквозняки, при жаркой погоде в цехе душно, а в холодный период года – холодно. Все это приводит к снижению работоспособности и к росту количества простудных заболеваний.

По тяжести трудового процесса профессия формовщиков 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, при комплексной оценке условий труда формовщиков необходимо учитывать вышеуказанные факторы производственной среды, продолжительность нахождения у работающего оборудования, используемое оборудование и характер производства.

#### **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.Классификация производственных факторов литейного производства / А.М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2021, № 3 – С. 118-122.

3. 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.

4. 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.

5. Лазаренков А.М, Хорева С.А.. Влияние пыли в воздухе рабочих мест на профессиональную заболеваемость работающих в литейных цехах //Труды 24-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2016, Беларусь». Минск, 19-21 октября 2016. С. 115-116.

6. Лазаренков А.М. Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А.М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2019, № 2 – С. 138-142.

7. 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.

8. Лазаренков А.М.Влияние параметров микроклимата на работающих в литейных цехах / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева // Литейное производство и металлургия. – Минск, 2012, № 3 (67) – С. 82-84.

### Мероприятия по улучшению условий труда литейщиков

Студенты группы 10405220 Ключико Д.А., Рукина К.А.

Научный руководитель - Лазаренков А.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

К производственным факторам, определяющим условия труда на рабочих местах литейщиков относятся запыленность, загазованность, параметры микроклимата (температура воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения), шум, вибрация, воздействие которых может привести к общей и профессиональной заболеваемости и травматизму работающих. Оценка вышеуказанных параметров проводилась по результатам проведенных исследований на рабочих местах участков сталелитейных, чугунолитейных и цехов цветного литья и данных работ.

Вредные вещества в воздухе рабочей зоны определяются применяемыми технологическими процессами и производственным оборудованием. Содержание оксида углерода, оксидов азота, фенола, формальдегида, пыли и других вредных веществ превышает предельно допустимые концентрации в 1,2 – 2, 3 раза [1, 2, 4].

Результаты исследований параметров микроклимата на рабочих местах показали, что в теплый период года температура воздуха на рабочих местах превышает нормативные величины на 7 - 12 °С, а в холодный – на 2 – 4 °С. Скорость движения воздуха на рабочих местах превышает допустимые значения в теплый период года в 1,3 – 1, 8 раза, а в холодный – 1,1 – 1,4 раза. Интенсивность теплового излучения на рабочих местах при выполнении работ у оборудования, являющегося источниками излучений, находится в интервале от 780 до 6200 Вт/м<sup>2</sup> (в зависимости от производственного оборудования и выполнения операций по изготовлению литья) [ 3 ].

Уровень шума на рабочих местах находится в интервале от 82 до 94 дБА при допустимой норме 80 дБА, что подтверждается результатами работы [6]. Уровень локальной вибрации при применении ручного виброинструмента (рубильные молотка, пневматические зачистные машинки и др.) превышает допустимое значение на 2 – 6 дБ [7, 8]. Это говорит о значительном воздействии шума и вибрации на работающих и может привести к возникновению профессиональных заболеваний.

По тяжести трудового процесса профессии работающих в литейных цехах 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, комплексная оценка условий труда на рабочих местах литейщиков может быть проведена объективно только при учете всех этапов применяемых технологических процессов, типов используемого оборудования и ручного инструмента, продолжительность нахождения в различных условиях и воздействия всего комплекса производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса [9]. Это позволит разработать и реализовать мероприятия по улучшению условий труда литейщиков, к которым можно отнести:

- для снижения содержания пыли и вредных веществ в воздухе рабочих зон следует: использовать экологически более чистые технологические процессы и производственное оборудование; выплавлять металл в индукционных печах и дуговых печах постоянного тока; располагать участки с разными уровнями выделений пыли и вредных веществ изолированно для предотвращения переноса их на рядом расположенные участки;

- для снижения уровней шума на рабочих местах: использовать для изготовления стержней холоднотвердеющие смеси, СО<sub>2</sub>-процесс, Ашланд-процесс, Бетасет-процесс; применять безударные формовочные машины; выплавлять жидкий металл в индукционных

печах и электродуговых печах постоянного тока; использовать средства индивидуальной защиты;

- для снижения уровней вибрации на рабочих местах: применять вибробезопасные литейные машины; использовать устройства по виброизоляции и виброгашению в конструкциях литейного оборудования; использовать средства индивидуальной защиты;

- для нормализации параметров микроклимата: осуществлять теплоизоляцию поверхностей источников излучения теплоты; экранировать источники тепловых излучений или рабочие места; применять устройства механической вентиляции;

- для снижения нагрузок на организм литейщиков: использовать автоматизированные и роботизированные комплексы для уменьшения доли ручного тяжелого труда.

Создание безопасных и здоровых условий труда работающих в литейном производстве возможно только при комплексном решении этой проблемы.

### **Список использованных источников**

9. 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.

10. Лазаренков А.М. Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А.М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2019, № 2 – С. 138-142.

11. 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.

12. Лазаренков А.М. О влиянии условий труда на работающих в литейных цехах / А.М. Лазаренков // Литейное производство. – Москва, 2020, № 3. – С. 33-36.

13. Лазаренков А.М. Анализ условий и безопасности труда литейщиков / А.М. Лазаренков, Ю.А. Николайчик, М.А. Садоха // Литейное производство. – Москва, 2022, № 1. – С. 26-32.

14. Лазаренков А.М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. 2011. № 3 (62). С. 194-195.

15. Лазаренков А.М. Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. 2011. № 3 (62). С. 192-193.

16. Лазаренков А.М. Влияние локальной вибрации на работающих в литейных цехах / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева // Литье и металлургия. 2016. № 3 (84). С. 128-130.

17. Лазаренков А.М. Экспертная оценка эффективности мероприятий по улучшению условий труда в литейных цехах / А.М. Лазаренков, М.А. Садоха, Т.П. Кот // Литье и металлургия. – Минск, 2022, № 3. – С. 116-121.



## Травматизм и профессиональные заболевания в электронной отрасли

Студент группы 11003121 Бохан Г.С.

Научный руководитель - Свистун А.Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Огромное место в электронной отрасли занимают компьютерная техника и оргтехника. Работающие с компьютерной техникой и оргтехникой могут подвергаться воздействию опасных и вредных факторов.

Несмотря на то, что офис принято считать достаточно безопасным местом работы, статистика говорит об обратном.

Офисные работники подвержены такого рода профессиональным заболеваниям как сколиоз, неврозы, синдром сухого глаза и др., несчастные случаи, которые влекут за собой травматизм, в офисах происходят достаточно часто.

Если сравнивать офис и производственное помещение, то статистика говорит о том, что шансы получить травму от падения в условиях офиса в 2 раза выше. Неровный пол или подогнувшийся ковер, высокий порог, скользкое покрытие или мокрый пол, недостаточное освещение и неправильно протянутые провода – это все факторы, которые являются прямым источником падения, если проявить невнимательность.

Опасность заключается в том, что инстинктивно при падении человек выбрасывает вперед руки. А падение с вытянутыми руками может грозить переломом или серьезным ушибом руки, плеча, запястья и др.

Неаккуратно поставленные на верхнюю полку предметы также несут в себе опасность.

Прозрачные перегородки в офисе – это современно и практично. Благодаря такому оформлению пространства можно создать полную тишину в рабочей зоне при этом, не отбирая ощущения пространства и света, не урезая объем.

Однако несобранный или задумавшийся работник может не заметить такую стену или прозрачную дверь и получить серьезные ушибы. В первую очередь опасны такие ушибы, происходящие на голову.

Выдвинутый ящик стола, не скругленные, выступающие углы мебели – такие банальные вещи могут нести в себе опасность. Можно получить достаточно серьезную травму об такой угол.

Обеспечить безопасность можно не только благодаря покупке мебели без острых углов, но и проявляя внимательность и аккуратность рядом с ними.

Офис — это зона, где электрические приборы сконцентрированы в больших количествах. Все они имеют разную мощность, разные габариты, но все они одинаково опасны для человека риском получить электротравму.

Для того, чтобы снизить потенциальную опасность данного фактора, важно соблюдать ряд правил, актуальных для работников офиса:

–использование электрического оборудования возможно в случае его регулярных проверок квалифицированным персоналом;

–при обнаружении дефектов на оргтехнике не допускается ее эксплуатация, о проблеме необходимо сообщить специалистам по ремонту и обслуживанию;

–сразу после обнаружения неисправности электрического прибора необходимо его обесточить;

–эксплуатация электрооборудования должна производиться в соответствии с руководством по эксплуатации;

–при использовании удлинителей и тройников важно соблюдать допустимую нагрузку;

–после завершения рабочего дня все электрические приборы должны быть выключены.

Работодатель должен регулярно проводить контроль за соблюдением техники безопасности в офисах, а также проводить работу по разъяснению работникам о важности соблюдения установленных правил. Немаловажной в профилактике несчастных случаев в офисе является работа службы по охране труда на предприятии.

Большую опасность также представляет действие электрического и магнитного полей.

Электромагнитные волны могут вызывать острые и хронические поражения. Поражения сказываются в нарушениях нервной системы, сердечнососудистой системы, системы кроветворения, травмы глаз. Чаще наблюдаются легкие хронические поражения. Субъективные ощущения при этом – быстрая утомляемость, головные боли и т.п.

Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см вокруг поверхности видеомонитора должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц- 2КГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц- 400 кГц – 2,5 В/м.

Магнитная составляющая электромагнитного поля нормируется:

- в диапазоне частот 5Гц- 2кГц – не более 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц- 400 кГц – не более 25 нТл.

Для измерения параметров электрического и магнитного полей используется прибор «Измеритель ВЕ-метр-АТ-002». Этим прибором измеряются напряженность электрической составляющей ЭМП (Е, В/м) и плотность магнитного потока магнитной составляющей ЭМП, (В, нТл) [3]:

1) Напряженность электрического поля в диапазоне частот:

5Гц- 2кГц и 2 кГц- 400 кГц;

2) Плотность магнитного потока магнитного поля в диапазоне частот:

5Гц- 2кГц и 2 кГц- 400 кГц.

Использование этого прибора позволяет оценить условия труда работающих, занятых на следующих категориях работ:

– категория 1 – выполнение основной работы на ВДТ в диспетчерских, операторских, расчетных кабинетах и постах управления, залах вычислительной техники и другом, а также в помещениях с ВДТ, ЭВМ, ПЭВМ всех типов учреждений образования;

– категория 2 – выполнение работы на ВДТ, ЭВМ и ПЭВМ в помещениях, где работают инженерно-технические работники, осуществляющие лабораторный, аналитический или измерительный контроль;

– категория 3 – выполнение работы в помещениях операторов ЭВМ (без дисплеев);

– категория 4 – выполнение работы на ВДТ, ЭВМ и ПЭВМ в помещениях для размещения шумных агрегатов (Алфавитно-цифровые печатающие устройства, принтеры и другое).

Инструментальный контроль электромагнитной обстановки, создаваемой ПЭВМ, ЭВМ, ВДТ, осуществляется:

- при комплексной гигиенической оценке условий труда работников;

- при вводе ПЭВМ, ЭВМ, ВДТ в эксплуатацию, а также для организации новых рабочих мест;

- проведении производственного контроля;

- после проведения организационно-технических мероприятий, направленных на нормализацию электромагнитной обстановки.

Проведенные исследования электрических и магнитных полей от компьютера на расстоянии в 200, 400, 600 и 800 мм от монитора марки Horizont 17 M/L do всем диапазоне частот от 5Гц до 400кГц показали превышение нормы напряженности электрического поля в самой ближней точке у экрана монитора (на расстоянии 200мм). Поэтому крайне важно соблюдать меры защиты работающих у мониторов людей от ЭМП: выбирать рациональные режимы работы оборудования, соблюдать расстояние от глаз до монитора (60-70мм), ограничивать места

и время нахождения персонала в зоне воздействия полей (не более 2 часов непрерывной работы), рационально размещать оборудование, регулярно проветривать помещение, выполнять влажную уборку и т.д.

## Содержание

<b>Металлургия чёрных и цветных сплавов .....</b>	<b>4</b>
Морская Е.А., Пугачевич М.В. Оптимизация химического состава выплавляемых сплавов с использованием базы данных Excel .....	5
Оленцевич А.А., Микулич А.Д. Анализ процесса накопления стронция при модифицировании силуминов .....	7
Фармонова Г.Б., Рукина К.А. Повышение механических свойств поршневых сплавов с повышенным содержанием железа .....	9
Руленков А.Д., Клименок У.Б., Патенко Н.А. Гидролиз шлаковых отходов литейного производства алюминиевых сплавов .....	12
Сороговец А.Д., Пылило В.И., Котов И.В. Перспективы получения самофлюсующих порошков литейно-металлургическим методом .....	15
Демидчук Н.В., Петричиц М.Г., Клименок У.Б. Обобщенные результаты испытаний опытных порошков из легированного чугуна, полученных с использованием металлургических методов .....	22
Даничев А.О., Якимчук И.В., Сороговец А.Д. Исследование особенностей процесса изготовления опытных образцов промышленных катодов –мишеней литейными технологиями .....	27
Раков И.Г., Федорович Д.С., Даничев А.О., Морская Е.А. Моделирование процесса затвердевания отливки «шнек» из высоколегированного чугуна .....	30
Раков И. Г. Неорганические связующие для пропитки сетчатой основы фильтров металлических расплавов .....	35
<b>Машины и технология литейного производства .....</b>	<b>37</b>
Франчук А.А. Влияние легирующих элементов на структуру и эксплуатационные свойства износостойкого чугуна, предназначенного для изготовления дробеметных лопаток .....	38
Моргунов Е.А. Влияние добавок на металлической основе на физико-механические свойства стержневых песчано-смоляных смесей .....	40
Рипинский М.А. Влияние специальных добавок, содержащих оксиды железа на технологические свойства формовочных и стержневых смесей .....	43
Шатилло С.Д. Расчет литниково-питающей системы для различных типов отливок .....	46
Дыдыка Е.В. Технология изготовления стержней для отливок моторной группы в холодной оснастке .....	48
Галенкина А.В. Применение чугуна с шаровидным графитом в промышленности .....	51
Киреев А.К., Новиков К.Н., Моцкус Э.Д. Разработка технологического цикла получения отливок в замораживаемые формы .....	53
Абдимуминов Ф.Ю., Снитко Д.С., Галенкина А.В. Получение отливок из алюминиевых сплавов с использованием форм из холоднотвердеющих смесей .....	55
Рипинский М.А., Буча Е.О. Получение отливок методом центробежного литья .....	57
Шатилло С.Д., Зорька И.С. Производство отливок поршней из алюминиевых сплавов .....	59
Моцкус Э.Д. Подбор оптимального материала для получения компактного теплораспределителя высокой эффективности холодной зоны хотенда для модельного FFF 3D-принтера .....	61
Усович Н. П., Самойленко Н. Д., Кукса М.Р. Основные принципы работы с трёхмерными сканами отливок в Geomagic Design X .....	64
Кукса М.Р., Усович Н.П., Самойленко Н.Д. Разновидности и принцип работы трёхмерных сканеров, применяемых для контроля геометрии в литейном производстве .....	66
Крыжевич И.С. Особенности проектирования системы охлаждения FDM-принтера .....	69

<b>Машины и технология обработки металлов давлением .....</b>	<b>71</b>
Прохира А. Д., Булва М. А., Гао Цзинчао Сортамент продукции, получаемой волочением ..	72
Кореневский А.Р. _Формообразующие магнитно-импульсные операции.....	74
Якубчик Н.Г., Комар А.В. Особенности компьютерного моделирования комбинированных операций электрогидроимпульсной штамповки в комплексе LS-DYNA .....	77
Инжеватов М. П., Овсяян Д. З., Костевич В. С. Применение электрогидравлического эффекта в автомобильной промышленности .....	80
Старостенко Я.А., Брига Н.В., Буйко М.А. Волочение.....	82
Зарников А.А., Атрощенко А.А., Лобах Д.А., Терзян А.А. Высокоскоростная штамповка листового металла.....	84
Прокопеня А В., Корнилов Д.С. Определение, виды и характеристики взрывчатых веществ для обработки металлов .....	89
Мусский А.А. Напряженное и деформированное состояние при штамповке осесимметричных изделий при разных температурах .....	92
Юнчиц А А. Испытательный комплекс «GLEEBLE 3180-GTC».....	95
Зеленый С.К., Полещук В.Д., Долидович Я.Р., Шихарко Е.В. Импульсные методы обработки металлов давлением.....	97
Бабей Д.Д, Леоненко Е.А, Лушкевич В.С., Мельник А.А, Чернышев В.Д. Прокатка на современном этапе.....	100
Вышадко С.И., Жук З.В., Пашковский Е.А., Рыбак А.Н. Применение штамповки взрывом в современном производстве .....	103
Абакумов Е.А., Сташкевич Е.А. Волочение .....	106
Заренок В.Д., Янь Цзюньвэй Пневматический молот.....	109
Дун Ифань Исследование технологии теплой экструзии формования металлических материалов.....	111
Завольский М.К., Хаозе Ян, Зенько А.А., Борисовец И.В. Листовая штамповка .....	115
Кучинский В.А., Баханович А.А. Рожков В.А., Магнитно-импульсная обработка материалов давлением.....	119
Коротченко К.Г., Снежко А В. Технологические особенности волочения проволоки в монолитной волоке .....	122
Мороз В.И., Лебедев А.Г. Экструзия. Виды экструзии и оборудования для технологического процесса .....	124
Ма Инкэ Термомеханическое моделирование для металлургических исследований .....	127
Стафейчук Н.В., Копейко В.Д., Буримский С.В., Хань Я Тао Электрогидравлическая штамповка.....	130
Ширченко Е.В., Шабалина Т.С., Шептунова И.С., Корунчик К.С., Новикова Я.Д. Преимущества и недостатки штамповки на горизонтально-ковочных машинах .....	132
Германович М.С., Лебедев Д.С. Прецизионная листовая штамповка.....	135
Гирицкий А.И. Гидравлические бесшаботные молоты Lasco .....	137
Богославчик А.А., Давыдов В.И., Ковальчук А.Д., Юрцевич М.А. Взрывная резка металлов .....	140
Лукашевич В.В. Координатные прессы для штамповки с автоматической сменой инструмента на примере прессы Amada серии Em-mII .....	143
Кашмель А.В. Технология изготовления безвоздушных шин .....	146
Яо Линь Технология обработки слоистых композиционных материалов .....	149
<b>Материаловедение в машиностроении .....</b>	<b>151</b>

Ткачёва А.А., Макаревич В.О. Выбор современного оборудования для металлографического анализа и испытаний металлов и сплавов .....	152
Матюков И.М. Методология повышения механических свойств термодиффузионных слоев на сплавах медицинского назначения .....	157
Матюков И.М., Шматова А.А. Влияние параметров ионно-плазменного азотирования на глубину диффузионных слоев на титановых сплавах .....	160
Бобкович М.П., Козлова А.В. Основные процессы, возникающие в твердых материалах при действии на них внешней нагрузки.....	162
Козлова А.В., Бобкович М.П. Дислокации и их влияние на свойства твердых тел.....	166
<b>Порошковая металлургия, сварка и технология материалов.....</b>	<b>169</b>
Пугацевич М.В. Теоретический расчет и фактическое определение погонной энергии при импульсной дуговой сварке .....	170
Пугацевич М.В., Маршалковский Р.С., Пузынин Я.С., Кривошеев М.И.; Тимохов К.В. Исследование возможности рециклинга компактированных пылевидных железосодержащих отходов в качестве шихты в лабораторной индукционной печи .....	173
<b>Охрана труда и промышленная безопасность .....</b>	<b>178</b>
Толкачев Д.Д. Оценка рисков и опасностей, связанных с использованием средств персональной мобильности.....	179
Астренков А.Д. Организация труда и анализ факторов производственной среды на рабочем месте водителя при международных перевозках опасных грузов .....	182
Шевелёва А.Ю., Малевич П.А. Роль охраны труда и техники безопасности на предприятии .....	186
Олехнович А.А., Сенько И.В. Токарные станки.....	188
Богурин М. А. Методы контроля и меры защиты параметров воздушной среды от вредных веществ.....	190
Пузанова А.С. Аттестация рабочих мест по условиям труда.....	193
Бондаренко В.А., Храмова А.С. Охрана труда при изготовлении протезно-ортопедических изделий.....	195
Дыдыка Е.В., Славинский А.Л. Оценка условий труда на рабочих местах формовщиков...	197
Клюйко Д.А., Рукина К.А. Мероприятия по улучшению условий труда литейщиков.....	199
Бохан Г.С. Травматизм и профессиональные заболевания в электронной отрасли.....	201