

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Выксунский филиал Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС»

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
V РЕГИОНАЛЬНОЙ  
МЕЖВУЗОВСКОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
«ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ —  
РОДНОМУ РЕГИОНУ»**

*(г. Выкса, 20 апреля 2018 года)*

Казань  
Издательство «Бук»  
2018

УДК 005(063)  
ББК 72я43  
С23

**Научный редактор:**

Мялкин Игорь Васильевич, кандидат химических наук, доцент (Выксунский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»)

**Оргкомитет конференции  
Председатель оргкомитета:**

Купцова В. А., директор Выксунского филиала НИТУ «МИСиС»

**Члены оргкомитета:**

Тюрин В. А., профессор кафедры ТиО ОМД, д.т.н.

Корнеева Э. Н., заместитель директора филиала по УМР

Горовая Т. Ю., заместитель директора филиала по информационным технологиям

Фадеева И. В., начальник редакционно-издательского отдела

**Председатели секций:**

Самусев С. В., зав. кафедрой ТиО ОМД, профессор, д.т.н.

Сафонов В. М., профессор кафедры ЭМ, д.т.н.

Борисевич В. Г., зав. кафедрой ЕНД, доцент, к.х.н.

Мялкин И. В., зав. кафедрой ОПД, к.х.н.

Лещинская А. Ф., зав. кафедрой ГиСЭД, профессор, д.э.н.

**Ответственный секретарь:**

Дубровская Л.А., начальник учебно-методического отдела ВПО

С23 **борник материалов V Региональной межвузовской научно-практической конференции «Творчество молодых — родному региону»** : (г. Выкса, 20 апреля 2018 года) / [под ред. И. В. Мялкина] ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Выксунский фил. Национального исслед. технол. ун-та «МИСиС». — Казань : Бук, 2018 с.

ISBN 978-5-00118-153-8.

В сборник вошли материалы секций: «Металлургические машины и оборудование», «Металлургия», «Естественнонаучные дисциплины», «Общепрофессиональные дисциплины», «Гуманитарные и социально-экономические дисциплины».

Все материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 005(063)  
ББК 2я43

ISBN 978-5-00118-153-8

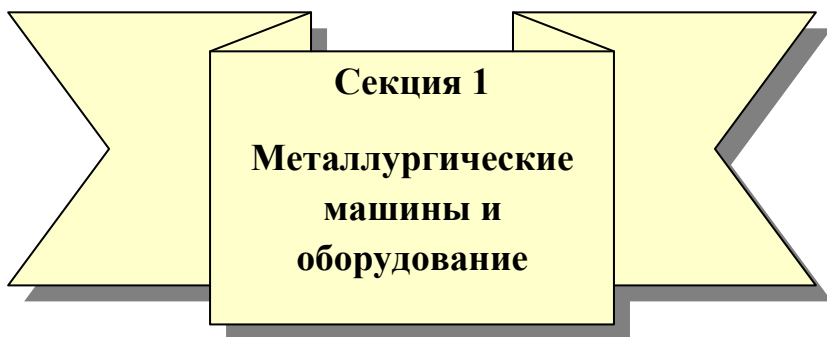
© Выксунский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Секция 1 Металлургические машины и оборудование</b> .....	6
<b>Л.М. Кавицян</b> Лабораторный стан горячей прокатки ДУО-270.....	7
<b>А.С. Чуднова, Е.О. Гаркуша</b> Исследование дефекта серповидности листа в условиях мкс (Стан-5000).....	12
<b>С.Э. Баринов, В.А. Чередников</b> Точность прокатки горячекатаной широкополосной стали в условиях ЛПК (Стан1950).....	14
<b>И.А. Кочетков, А.Н. Фортунатов</b> Моделирование процесса формоизменения трубной заготовки линии ТЭСА 1020 способом “УОЕ” на лабораторном прессе усилием 100 КН.....	17
<b>Т.А. Лабышкина, С.М. Ионов</b> Исследование процесса формирования показателей качества трубных сталей в условиях МКС-5000 АО «ВМЗ».....	24
<b>А.И. Морозов, С.В. Самусев</b> Моделирование процесса формоизменения трубной заготовки способом “JCOE” на лабораторном прессе усилием 100 КН.....	28
<b>А.Д. Никулин</b> Моделирование и определение параметров процессов формоизменения трубной заготовки на стане Olimpia 21-89 и на лабораторном стане 20-45.....	35
<b>В.В. Попов, А.В.Зиновьев</b> Конструкционные особенности системы охлаждения полос на отводящих рольгангах НШПС.....	41
<b>В.В. Гримберг, К.П.Лунёв</b> Выбор оптимальной режущей кромки кромокрошителей агрегата продольной резки в целях снижения нагрузки	51
<b>Н.В.Кадулин, Н.А. Фролова</b> Совершенствование технологии на участке АПР по производству труб малого диаметра АО «ВМЗ».....	51
<b>Е.С. Юшерев, В.П. Романенко</b> Получение особотолстостенных труб для полых вагонных соей на агрегате 73-270 в условиях АО «ВМЗ».....	55
<b>Д.А. Чванов</b> Снижение процента брака металлургического происхождения на готовых муфтах на участке подготовки производства в ТЭСЦ №5. Мероприятия для выявления дефектов металлургического происхождения на начальном этапе производства муфт.....	59
<b>А.С. Бойко, В.Н. Лавров</b> Реконструкция роликовой проводки тонкослябовой машины непрерывной разливки стали.....	60
<b>А.И. Седышев</b> Исследование влияния структуры и особенностей непрерывнолитой заготовки из стали марки Т по ГОСТ 10791-2011 поставки АО «Уральская Сталь» на физико-механические свойства железнодорожных колёс.....	63
<b>Е.А. Солдатов, А.В. Мунтин, Д.И. Ермаков, В.В. Подтелков, В.В. Науменко</b> Исследование технологических особенностей производства рулонного проката из среднеуглеродистых легированных марок стали на ЛПК АО «ВМЗ».....	65
<b>Т.В.Ковальчук, А.А.Гусев, К.В.Лицин</b> Разработка системы автоматического регулирования электропривода установки межклетьевого охлаждения листового проката в листопрокатном цехе АО «Уральская сталь».....	69
<b>К.А.Царуш, Я.В.Макаров, К.В.Лицин</b> Разработка системы автоматического регулирования электропривода устройства подачи слябов на продольную порезку АО «Уральская сталь».....	73
<b>В.К. Дородный, В.Н. Климов</b> Мобильные установки дробления и грохочения в конусных дробилках для обеспечения внутренних	

потребностей в щебне для содержания карьерных дорог.....	76
<b>Секция 2 Металлургия.....</b>	<b>82</b>
<b>В.В.Кислица, С.А.Сомов, Е.Л.Ворожева, К.С.Сметанин</b> Внутреннее качество «тонкого» сляба.....	83
<b>А.И.Демченко, Е.Л.Корзун, А.В. Бурда</b> Повышение качества литого цилиндрического слитка вакуумно-индукционной выплавки из сплава INCONEL 718 в условиях ПАО «РУСПОЛИМЕТ».....	87
<b>Е. В. Левина, Д. Г. Еланский</b> Оценка влияния параметров плавки на выход годного в ДСП.....	90
<b>А.С. Бойко, В.Н. Лавров</b> Реконструкция роликовой проводки тонкослябовой машины непрерывной разливки стали.....	94
<b>А.С. Бойко, В.Н. Лавров</b> Настройка электромагнитного тормоза (ЭМТ) для тонкослябовой МНРС ЛПК АО «ВМЗ».....	97
<b>Д.И. Ермаков, В.Н. Лавров, Е.А. Солдатов, С.А. Сомов, В.В. Подгёлков</b> Повышение экономической эффективности производства в условиях ЛПК ДНГПТ.....	102
<b>Е.А. Колобаев, С.Ю.Шилов, А.В.Чечулова</b> Исследование процесса модифицирования и легирования стали азотом, в условиях ПАО «РУСПОЛИМЕТ».....	104
<b>А.В. Лямин</b> Исключение дефектов формы шва.....	106
<b>М.О.Ташметова, Е.А. Шевченко</b> Исследование влияния параметров плавки вдуговой сталеплавильной печи на стойкость футеровки.....	108
<b>Д. А. Пышкин, Д. Г. Еланский, В. М. Сафонов</b> Исследование гидродинамических процессов в кристаллизаторе тонкослябовой МНРС.....	112
<b>А.А.Генералов, Е.Л.Корзун, Г.Н.Гаврилов, Ю.В. Воробьева</b> Кинетика формирования структуры у сплава ВЖ159 при термической обработке крупногабаритных поковок на ПАО «РУСПОЛИМЕТ».....	115
<b>А.С. Фомичев, Е.Л. Корзун Г.Н. , Гаврилов, Д.И. Лазарев</b> Исследование структуры и свойств мартенситно-ферритной стали 14X17H2 при термической обработке крупногабаритных поковок на ПАО «РУСПОЛИМЕТ».....	119
<b>А.В. Сазонов, И.Н. Кочергина</b> Некоторые особенности механизма разрушения огнеупорных изделий при эксплуатации сталеразливочных ковшей.....	123
<b>В.А.Скляр, Е.Н.Смирнов, Е.А.Черменев, А.Н.Гончарова</b> Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния при двухстадийной деформации непрерывнолитого блюма на стадии неполной кристаллизации.....	127
<b>Е.Н.Смирнов, В.А.Скляр, Д.И.Богадевич, А.В.Постникова</b> Экспериментальное исследование процесса «Мягкого» обжатия непрерывнолитого слитка.....	131
<b>Н.А.Шевчик, О.И.Малахова</b> Влияние компонентов металлошихты на химический состав полупродукта и себестоимость электростали.....	135
<b>Д. А. Шеманов</b> Сварка биметаллических изделий.....	139
<b>В.А. Бервинов</b> Исследование влияния состава окатышей на показатели доменной плавки в условиях АО «Уральская сталь».....	142
<b>Л.Н. Королькова, С.Н. Велеменчук</b> Повышение эффективности работы реформера.....	145

Д. Г. Петров, Е. В. Гришкина Совершенствование схемы рудоподготовки железистых кварцитов.....	149
А.С. Тимофеева, А.А. Кожухов, В.В. Федина, К.А. Захарова Исследование разупрочнения обожженных окатышей в зависимости от их гранулометрического состава .....	152
<b>Секция 3 Естественные научные дисциплины.....</b>	<b>155</b>
И.В. Мялкин, В.М.Сафонов, И.Х.Хамитжамонов, В.А.Левкин, А.В. Дырков Моделирование переходных процессов в скорректированной систем автоматического управления при ступенчатом изменении задающего и возмущающего воздействий.....	156
И.В. Мялкин, В.М.Сафонов, И.Х.Хамитжамонов, А.А.Митьков, А.С. Шеллер Линеаризация статической модели обжиговой печи.....	159
И.В. Мялкин, В.М.Сафонов, И.Х.Хамитжамонов, Г.А.Руфин, А.С.Шеллер Моделирование и оптимизация систем автоматического регулирования температуры отходящих газов.....	161
И.В. Мялкин, В.М.Сафонов, И.Х.Хамитжамонов, А.Е..Чураев, А.С.Шеллер, М.В.Градобоев Представление двумерной статической характеристики обжиговой печи в виде гладкой функции двух переменных	165
И.В. Мялкин, В.М.Сафонов, И.Х.Хамитжамонов, Е.О. Анисимова, А.С. Шеллер Двумерная статическая характеристика обжиговой печи.....	169
<b>Секция 4 Общепрофессиональные дисциплины.....</b>	<b>174</b>
А.А. Бубнов, И.В. Мялкин Производство металлических бесшовных труб	175
А.И. Сиднева, И.В. Мялкин Гидрохимический анализ с помощью тест - лаборатория JVL и тест-систем «Крисмас+» подземных вод г.о.г. Выкса.....	178
К.В. Бредихин, К.П. Лунев Модернизация поддерживающего ролика прессы шаговой формовки в линии 1420 при производстве прямошовных сварных труб большого диаметра АО «ВМЗ».....	180
А.Ю. Михалева, С.В. Теребикина Исследование достоинств и недостатков закрытия мартеновского цеха АО ВМЗ.....	183
А.Н.Бушуева, С.В. Теребикина Бездомные собаки как элемент экологической среды города Выксы.....	187
Е.А. Паршин, Л.В. Макова Потенциал планетарных механизмов.....	191
А.М.Чеснов, С.С.Козлова Компенсация реактивной мощности как способ энергосбережения предприятия.....	194
Д.А. Шестаков, О.А.Агапова Анализ работы современных микропроцессорных приводов на базе преобразователей частоты с автономными инверторами напряжения, их область применения в производстве и способы экономии энергии.....	197
<b>Секция 5 Гуманитарные и социально-экономические дисциплины.....</b>	<b>203</b>
Л.А.Симонова, С.В. Патракеева Особенности формирования и распределения бюджета городского округа г. Выкса.....	204
Ф.М. Васнев Исследование проблем инновационной занятости и развитие электронного бизнеса в республике Таджикистан.....	208



## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТАН ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ДУО-270

*Л.М. Кавицян, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса*

Зачастую при разработке новых технологий на металлургических предприятиях применяют практику обширных промышленных экспериментов. Это влечёт за собой большие затраты на разработку. Для снижения количества промышленных экспериментов целесообразно проводить опытную прокатку на лабораторном прокатном стане. В настоящей работе решается задача проектирования лабораторного стана ДУО-270 для Центра исследовательских лабораторий АО «Выксунский металлургический завод» (ЦИЛ АО «ВМЗ»).

### *Актуальность работы*

Основными идеями разработки и установки лабораторного оборудования прокатного стана ДУО-270 в ЦИЛ АО «ВМЗ» являются:

— наличие собственного лабораторного прокатного оборудования, позволяющего прокатать образцы необходимых размеров с заданными условиями и параметрами прокатки, для дальнейшего изучения механических и физических свойств, а также полученной микроструктуры материала;

— накопление экспериментальной статистической базы параметров прокатанных образцов;

— применение полученных данных в технологических расчетах и доработках технологии прокатки на МКС-5000 и на ЛПК.

*Цель работы:* представить конструкцию главной линии лабораторного стана ДУО-270, удовлетворяющую всем параметрам технологии прокатки на данном стане, а также требованиям, ограничивающим габаритные размеры стана, в соответствии с размерами участка цеха, где планируется размещать лабораторное оборудование.

### *Задачи работы:*

1. Произвести расчет энергосиловых параметров прокатки по наиболее «напряженному» режиму.

2. Подобрать допускаемые усилие прокатки и момент для расчетов конструкции рабочей клетки и привода стана.

3. Выполнить расчеты основных узлов и деталей рабочей клетки стана: узел валков, узел станин, подушки валков, нажимные винты, гайки нажимных винтов, уравновешивающие устройства, устройства для установки раствора валков.

### *Расчет энергосиловых параметров (ЭСП)*

Для проведения расчетов энергосиловых параметров (ЭСП) использовались основные положения теории академика А.И. Целикова [5], а также формулы Симса, Эжелунда, Б.П. Бахтинова, М.М. Штернова, М.М. Сафьяна, В.И. Мелешко, а так же положения методики, полученной для сталей 06Г2Б и 09Г2с на АО «ВМЗ» [2].

Расчет ЭСП производился для стали 09Г2С по режиму, указанному в таблице 1, в которой так же представлены и результаты расчета ЭСП.

Таблица 1 – Энергосиловые параметры прокатки заготовки из стали 09Г2С по заданному режиму на стане ДУО-270.

№ Прок.	H0, мм	B0, мм	H1, мм	B1, мм	$\lambda$	$\Delta h$ , мм	$\epsilon$	V0, м/с	P, Н	M, Н*м	T1, °C
1	75,00	100,00	60,00	107,62	1,1615	15,00	0,2	0,60	314645,8	13629,25	1150
2	60,00	107,62	47,70	113,73	1,1903	12,30	0,205	0,60	544190,1	21214,27	950
3	47,70	113,73	37,92	119,38	1,1983	9,78	0,205	0,60	528606,3	18259,11	941,1
4	37,92	119,38	30,15	124,58	1,2054	7,77	0,205	0,60	510199,9	15607,14	912,9
5	30,15	124,58	23,97	129,32	1,2117	6,18	0,205	0,60	493976,4	13373,16	892,6
6	23,97	129,32	19,05	133,61	1,2174	4,91	0,205	0,60	481062,3	11516,61	851,5
7	19,05	133,61	15,15	135,53	1,2400	3,91	0,205	0,60	469243,7	9924,384	809,6

#### Рабочая клеть ДУО-270

По итогам расчета энергосиловых параметров можно сделать вывод, что для прокатки заготовок из требуемых марок стали рабочая клеть должна выдерживать по прочности усилие не менее 545 кН и крутящий момент не менее 21,2 кН·м. Таким образом, с учетом возможных изменений режимов прокатки и материалов заготовок, прокатываемых на стане, допускаемые усилие прокатки и момент необходимо закладывать большими, чем расчетные.

Допускаемые для расчета усилие и момент прокатки были приняты следующими:

$$P = 1,2 \text{ МН}$$

$$M = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверочный расчет валков клетки ДУО-270 на статическую прочность

При расчете на статическую прочность прокатный валок условно представляют как балку, лежащую на двух опорах и нагруженную силами и крутящими моментами [7]. Поскольку ширина листа обычно бывает, сопоставима с длиной бочки валка, то нагрузку на бочку валка от усилия прокатки полагают равномерно распределенной по ширине листа и приложенной симметрично относительно вертикальной оси валка [7].

К приводной шейке валка приложен крутящий момент  $M_{кр}$ . Подверженный такому нагружению валок испытывает изгиб и кручение. Расчетная схема показана на рисунке 1.

Исходные данные:

Материал валка – сталь 40ХН

$$\sigma_B = 860 \text{ МПа}$$

$$\tau_B = 0,6 \cdot \sigma_B = 0,6 \cdot 860 = 516 \text{ МПа}$$



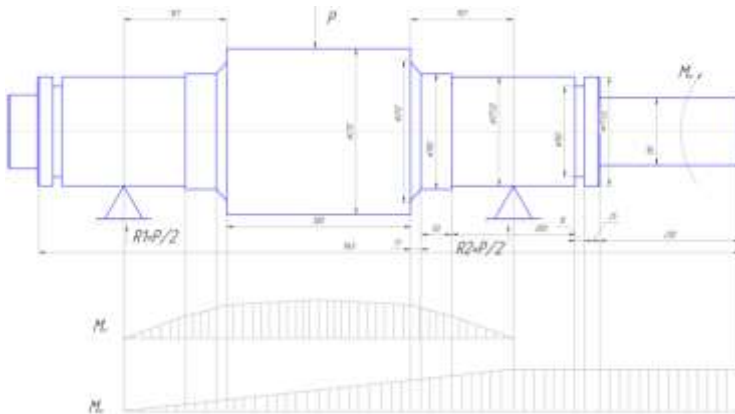


Рисунок 1 – Расчетная схема валка под нагрузкой, эпюры изгибающего и крутящего моментов

Расчет валка на статическую прочность производится традиционно в 3-х сечениях:

- бочка валка (изгиб)
- шейка валка (изгиб и кручение)
- приводная часть (кручение)

Коэффициенты запаса прочности для всех элементов валка:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_{ИЗ}^6} = \frac{860}{83,68} = 10,28 > 5 ; \Delta = 105,6\%$$

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_{ЭКВ}^{III}} = \frac{860}{128,87} = 6,67 > 5 ; \Delta = 33,4\%$$

$$n = \frac{\tau_B}{\tau_{кр}^{пр}} = \frac{559}{60,86} = 9,18 > 5 , \Delta = 83,6\%$$

Проверочный расчет станины клетки ДУО-270 на прочность

Станины рассчитывают на максимальную реакцию  $R_{max}$  от усилия прокатки, которая передается на станину через подушки, предохранительный элемент и нажимной механизм.

Станину закрытого типа рассматривают как жесткую статически неопределимую раму, состоящую из двух одинаковых стоек и двух поперечин.

В общем случае в станине можно выделить три опасных сечения: поперечное сечение нижней поперечины (Рисунок 2, сечение В-В,), поперечное сечение стойки (Рисунок 2, сечение Б-Б) и поперечное сечение верхней поперечины (Рисунок 2, сечение А-А).

Материал станин – Сталь 35Л,  $\sigma_B = 550$  Мпа.

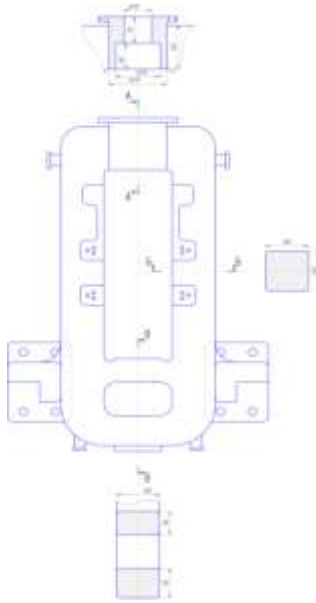


Рисунок 2 – Расчетная схема станины

Результаты расчета напряжений в 3-х сечениях сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Напряжения в опасных сечениях станины

Сечение	Напряжение изгиба $\sigma_{\max} = \frac{M}{W}$ МПа	Напряжение растяжения $\sigma_p = \frac{R_{\max}}{2 \cdot F}$ МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{\text{сум}} = \sigma + \sigma_p$ МПа	Допускаемое напряжение $[\sigma]$ МПа
А – А	45		45	55
Б – Б	25	7,5	32,5	55
В – В	11,9		11,9	55

Таким образом, на основании результатов расчета можно сделать вывод о том, что прочность станины, при подобранных геометрических параметрах, обеспечена.

Помимо расчетов на прочность, станину необходимо также проверить и на «опрокидывание» от действия поперечных сил со стороны подушек.

По результатам расчета было установлено, что установка одной полустанины на 4-е фундаментных болта с резьбой М42 является удовлетворяющей условию не «опрокидывания» станины рабочей клетки ДУО-270.

Так же были проведены расчеты других основных деталей рабочей клетки ДУО-270 – расчеты на прочность подушек валков прокатной клетки, подбор по условию единичного запаса по прочности предохранительного стакана, подбор пружин уравновешивающих устройств, расчет на прочность нажимных винтов и гаек, расчет резьбовой пары винт-гайка по методикам изложенным в [1].

Немаловажный аспект при проектировании рабочей клетки – это ее жесткость. Для расчета «пружины» клетки предварительно определялись упругие отжатия всех «связанных» деталей клетки.

В результате расчета был получен общий коэффициент жесткости клетки – «пружина» клетки:

$$C = \frac{P}{\delta_{\Sigma}} = 803,2 \frac{\text{кН}}{\text{мм}}$$

Оптимальные значения коэффициента жесткости клетки лежат в диапазоне от 600 до 4000  $\frac{\text{кН}}{\text{мм}}$  [6].

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что разработанная конструкция рабочей клетки стана ДУО-270 полностью удовлетворяет условиям жесткости и прочности.

#### **Литература:**

1. Коновалов Ю.В., Остапенко А.И., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. «Металлургия», 1986 г.
2. Куренков Ю.М., Мунтин А.В. Обзор технологических решений и оборудования для производства сверхтонкой горячекатаной полосы. «Студенческая весна 2015: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана
3. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке. «Теплотехник», 2008 г.
4. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г.
5. Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С. Теория прокатки. Справочник. «Металлургия», 1982 г.
6. Королев А.А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов Атлас. М.: Metallurgia, 1981.
7. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Metallurgia, 1985.
8. Шилов В.А., Инарович Ю.В. Расчеты рабочих клетей прокатных станов. Екатеринбург: УГТУ, 2000.
9. Колесников А.Г., Яковлев Р.А. Механизмы и устройства рабочих клетей прокатных станов. Учеб. Пособие по курсу «Расчет и конструирование прокатных станов». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. 63с.
10. Антипин В.Г., Тимофеев С.В., Нестеров Д.К., Грицук Н.Ф., Степанов В.В, Григорьев В.И., Орлов Е.Л., Пацека И.Е., Меляков В.И., Ланько В.В. Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т.3 Листопркатные станы и профилегибочные агрегаты. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Metallurgia. 1992. 433с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТА СЕРПОВИДНОСТИ ЛИСТА В УСЛОВИЯХ МКС (СТАН-5000)

*А.С. Чуднова, Е.О. Гаркуша*

*Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Выксунский металлургический колледж имени А. А. Козерадского», г. Выкса*

В настоящее время наблюдается увеличение в потреблении сварных труб большого диаметра, предназначенных не только для поддержания в рабочем состоянии уже существующих нефте- и газопроводов, но и для строительства таких ответственных магистралей, как «Южный поток», «Северный поток», «Сила Сибири». Это требует увеличения объёмов производства заготовок для труб большого диаметра.

Для производства одношовных сварных труб диаметром 1420 мм необходимо использовать лист шириной около 4600 мм. Обеспечить его производство в нашей стране может только толстолистовой реверсивный стан 5000.

*Ключевые слова:* горячекатаный толстолистовой прокат, серповидность листа, обжимная клеть, вертикальные валки.

Металлургический комплекс стан (далее – МКС) – 5000 на Выксунском металлургическом заводе ставит точку на 50-летней зависимости отечественной металлургии от поставок импортного стального листа.

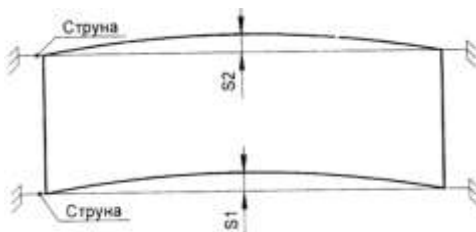
Качество полосы определяется не только физико-химическими свойствами, но и геометрией, т.к. правильная геометрическая форма снижает впоследствии обрезь кромки при производстве электросварных труб.

При горячей прокатке толстых листов часто возникает ситуация, когда головная и хвостовая часть проката отклоняются от прямолинейности и в горизонтальной плоскости приобретают форму дуги. Это свидетельствует о серповидности листа. Кроме того, когда такой прокат разрезают на мерные длины, то много металла уходит в обрезь. Поэтому для того, чтобы производить листы с жёсткими допусками без дополнительной обрезки, их серповидность должна быть минимальной.

Серповидность листов и полос может возникнуть в результате непараллельной установки валков, неравномерного нагрева слябов или неправильной установки направляющих линеек перед станом. В этих случаях одна из сторон раската больше обжимается и, следовательно, больше удлиняется. Серповидность может быть устранена обрезкой кромок листа, если после обрезки ширина полученного листа будет удовлетворять заказу.

При формовке сварных труб из серповидной исходной заготовки происходит их скручивание относительно продольной оси, что делает невозможной сварку кромок швом и приводит к получению бракованных труб из-за невысокого качества сварного шва.

Серповидность листа определяется наибольшим расстоянием (S1 или S2) между боковой поверхностью листа и натянутой струной, в соответствии с рисунком 1. Расстояние (S1 или S2) определяют измерительной линейкой.

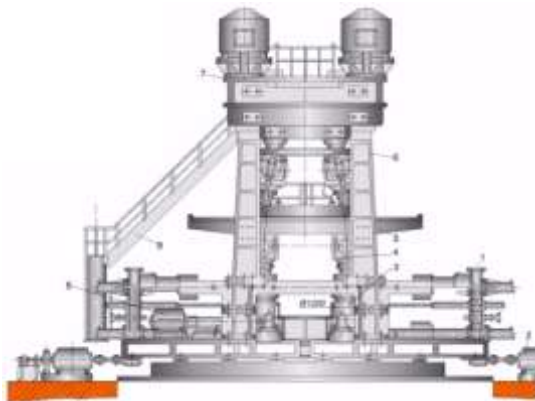


*Рисунок 1 – Замер серповидности листа*

Для получения трубной заготовки необходимого качества достаточно в принципе обеспечить симметричное расположение полосы по всей её длине относительно оси прокатки в процессе деформации. Этого можно добиться, если положение подката будет дополнительно контролироваться обжимными вертикальными валками.

Если в условиях ЛПК СТАН-5000 после рабочей клетки кварто установить дополнительную клетку с приводными реверсивными вертикальными валками, то сляб, проходя несколько раз через группу клеток в обоих направлениях, будет приобретать нужные размеры по геометрии. Также, при прокатке в клетке с вертикальными валками слитков, снимается конусность их боковых граней.

Кроме этого, при реверсивной прокатке в двухвалковой вертикальной клетке и горизонтальной клетке кварто также происходит интенсивное взрыхление окалины, облегчающее её дальнейшее отслоение.



*Рисунок 2 – Клеть с вертикальными валками*

Предлагаемая обжимная клетка (рисунок 2) включает в себя два вертикальных вала, установленных в станине открытого типа, нажимные механизмы и их приводы. Валки приводятся в движение через шпиндели.

Применение именно такого верхнего расположения привода с использованием универсальных шпинделей по сравнению с нижним расположением имеет ряд преимуществ:

- зубчатые передачи располагаются на станине, поэтому они не подвержены воздействию окалина или воды в узлы конических шестерен;
- можно применять как конические, так и цилиндрические передачи;
- не требуется перевалка при изменении ширины прокатываемой полосы, т.к. используются шпиндели с шарнирами Гука.

Основной недостаток привода с использованием универсальных шпинделей — значительный габарит по высоте. Данный недостаток будет не очень заметен в цехе, где размеры прокатной клетки по высоте превышают 15 метров.

#### **Литература:**

1. Технология производства горячекатаного проката в ЛПК СТАН-5000 ТИ-15-П-01-2012.
2. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов (эксплуатация, надежность). Учебное пособие для студентов сред. спец. заведений - М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 320 с.
3. Контроль геометрических параметров электросварных труб ДТБД. Методика. Редакция 1. М 32-102-2014.
4. Атлас дефектов поверхности рулонного проката и листов.

## **ТОЧНОСТЬ ПРОКАТКИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЛПК (СТАН1950)**

*С.Э. Баринов, В.А. Чередников*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новой техники и технологии, обеспечивающей наряду с увеличением объема производства – повышения качества прокатываемой стали. Одним из основных направлений повышения качества прокатанных полос является обеспечение минимальной поперечной разнотолщинности и планшетности полосы. Этот вопрос, безусловно, актуален и для всего производимого сортамента литейно-прокатного комплекса в городе Выкса.

На данный момент на производственных мощностях стана горячей прокатки 1950 освоено массовое производство ультратонких полос, толщиной менее 1,5 мм, при прокате которых проблемы поперечной разнотолщинности встают на первый план.

*Ключевые слова:* Стан 1950 ЛПК, разнотолщинность, уравнение Головина-Симса, автоматическая регулировка раствора валков, плоскостности поверхности.

При продольной прокатке различают отклонение размеров прокатываемых профилей по толщине, ширине и форме. Отклонение толщины по длине – продольная разнотолщинность, по ширине – поперечная. Разнотолщинность проката приводит к повышенному расходу металла, увеличению массы машин, разбросу механических свойств. На точность геометрических размеров проката влияют:

1. жесткость упруго-пластической системы рабочая клеть – прокатываемый металл;
2. режимы прокатки, обуславливающие нагрузки на клеть;
3. качество изготовления, состояния и обслуживания прокатных станов;
4. качество подката (колебания размеров, температуры, твердости и т.д.).

Система автоматического регулирования толщины полосы (САРТ) – одно из ключевых звеньев в АСУ ТП непрерывного широкополосного стана. Ее назначение – обеспечение минимальной продольной разнотолщинности готовой полосы. Основным критерием оценки САРТ является точность регулирования, обеспечиваемая совершенной аппаратурой управления и быстродействующими приводами изменения раствора валков.

Наибольшее распространение в составе САРТ современных широкополосных станов горячей прокатки получили системы, реализующие зависимость Головина – Симса [2]:

$$h_1 = S_0 + \frac{P}{M_{кл}}, \quad (1)$$

где  $h_1$  – толщина прокатываемой полосы,  $S_0$  – раствор ненагруженных валков,  $P$  – усилие прокатки,  $M_{кл}$  – коэффициент жесткости клетки.

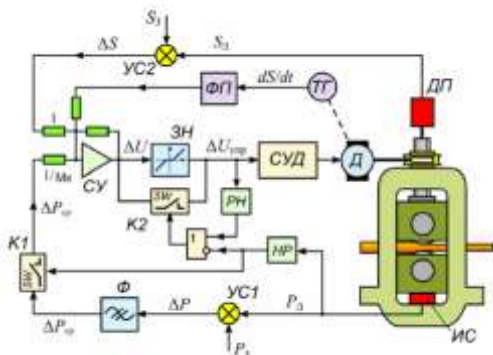


Рисунок 1 - Структурная схема САРТ на основе метода Головина – Симса применительно к регулятору толщины одной клетки

На стане 1950 используется замкнутый контур регулировки толщины, когда раствор валков выставляется на требуемый показатель до поступления металла в клеть.

Когда металл поступает в клеть, фактическая его толщина может отличаться от требуемой, если фактические характеристики материала не соответствуют прогнозируемым.

Измеритель толщины связывает опорное значение толщины с состоянием переднего конца полосы и затем проверяет их на соответствие, после чего прокатывает материал с согласованной толщиной, которая может отличаться от требуемой.

Использование системы корректировки зазора.

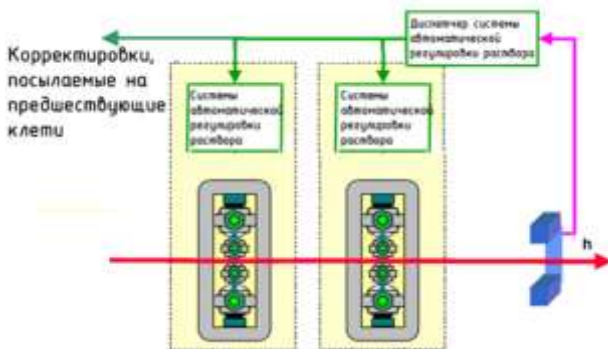


Рисунок 2 – Система корректировки зазора

В основе измерения лежит метод проецируемой кромки. Проектор проецирует матрицу из светлых/темных полос на поверхность измеряемой полосы, охватывая всю ширину измеряемого материала. Камера матрицы на приборах с зарядовой связью осуществляет непрерывную детекцию освещенного участка /7/.

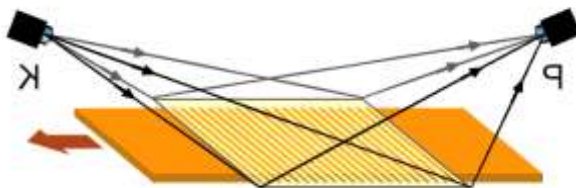


Рисунок 3 - Схема прибора для проверки плоскостности поверхности и измерения ширины

Система автоматического регулирования плоскостности полосы (САРП) относится к системам верхнего уровня автоматизации в составе АСУ ТП и совместно с САРГ обеспечивает качество готовой продукции /4/. САРП управляет работой одновременно нескольких локальных систем управления отдельными устройствами и механизмами стана на основании данных о ходе процесса прокатки и результатов измерения плоскостности полосы с помощью специальных измерителей.



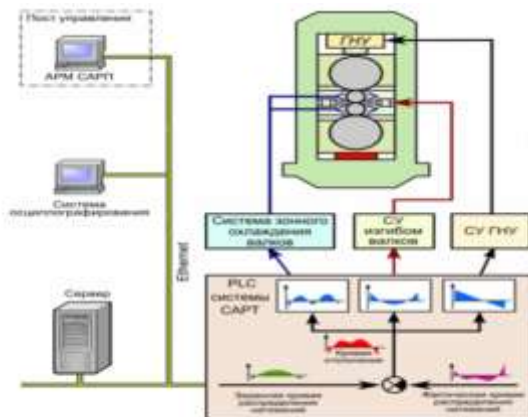


Рисунок 4 - Структурная схема системы автоматического регулирования плоскостности полосы 5-й клетки стана 1950

#### Заключение

Для повышения качества поверхности листа необходимо:

1. Обеспечить совершенной аппаратурой САПР и быстродействующими приводами;
2. Регулирование параметров согласно основному уравнению продольной разнотолщинности;
3. Повысить модуль жесткости клетки и валковой системы;
4. Следить за состоянием валков;
5. Своевременно осуществлять перевалку.

#### Литература:

- 1 Выдрин В.Н., Федосиенко А. С. Автоматизация прокатного производства: Учебник для вузов. - М.: Металлургия. 1984. - 472 с.
- 2 Целиков А.И, Гришков АЖ Теория прокатки. - М.: Металлургия. 1970.
- 3 Фомин Г.Г., Дубейковский А.В., Гринчук П. С. Механизация и автоматизация широкополосных станов горячей прокатки. - М.: Металлургия. 1979. - 232 с
- 4 <http://www.automation-drives.ru>
- 5 А. З. Комановский Листопркатное производство, Справочник, Москва «Металлургия», 1979г.
- 6 А. Восканьянц «Автоматизированное управление процессами прокатки», МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 2010г.
- 7 Functional description, Danieli Automation, Italy 2007

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ В ЛИНИИ ТЭСА 1020 СПОСОБОМ “УОЕ” НА ЛАБОРАТОРНОМ ПРЕССЕ УСИЛИЕМ 100 КН**

*И.А. Кочетков, А.Н. Фортунатов*

Современное трубное производство отличается большим разнообразием высокоэффективных способов изготовления продукции, среди которых определяющее значение имеют способы обработки металлов давлением. Выбор технологических схем и способов обработки определяются физическими свойствами обрабатываемого металла, требуемым качеством и размерами изделия, экономичностью производства, рациональной загрузкой оборудования [1,2].

*Ключевые слова:* трубное производство, обработка металлов давлением, пошаговое формоизменение.

В основу моделирования процесса заложен промышленный способ формовки труб «УОЕ» реализованный сегодня на ведущих трубных заводах РФ: АО «ВМЗ»; ЗАО «ИТЗ»; ОАО «ЧТПЗ». Способ формовки «УОЕ» включает в себя последовательную формовку заготовки в трёх гидравлических прессах. Сначала поочередно подгибают кромки листа на двух прессах, расположенных в шахматном порядке. Затем на прессе предварительной формовки формуется центральная часть заготовки. После чего на прессе окончательной формовки U - образная заготовка обжимается между штампами. В итоге получаем «О» - образную заготовку с зазором.

В распоряжении лаборатории ОМД имеется пресс 100 кН, с разработанной специализированной оснасткой для моделирования процесса формоизменения по этапам с различными технологическими параметрами.

Лабораторная установка ОМД-3 представляет собой комплекс технических и программных средств, основными элементами которого являются настольный гидравлический пресс и набор штампов. Для обеспечения работы пресса в состав установки входит насосная станция.

Сбор данных осуществляется устройством, интегрированным в систему управления прессом, а их обработка и визуализация осуществляется посредством персонального компьютера. Лабораторная установка представлена на (рис.1).



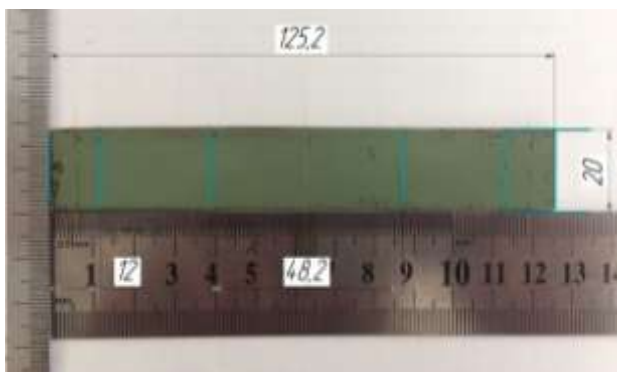
*Рисунок 1 - Лабораторная установка ОМД-3*

Ранее на данной лабораторной установке было проведено физическое моделирование процесса формоизменения трубной заготовки по способу «УОЕ» для типоразмера 40х1. Для сравнения также был проведён эксперимент для типоразмера 40х2. Результаты представлены в таблице 1.

#### Разметка листовой заготовки

Исходные параметры заготовки: ширина 125,2 мм; длина 20 мм; толщина стенки 2 мм.

По ширине листа наносим центральную линию на расстоянии 62,8 мм от края заготовки, два участка кромки шириной 12 мм, центральные линии шириной 6 мм и участок предварительной формовки равный 48,2 мм. Такую же разметку осуществляем и на торцевой части заготовки.



*Рисунок 2 – Разметка на поверхности листовой заготовки с нанесением участков кромки и центрального участка*

#### Подгибка кромки

Размеченную листовую заготовку помещают в рабочее пространство прессы и осуществляют центровку заготовку. Риска центра пуансона должна совпадать с центральной риской участка кромки. Исходное положение листовой заготовки перед процессом подгибки кромки изображено на (рис.3.а)

Далее осуществляется сам процесс подгибки путём вертикального перемещения верхнего рабочего инструмента. На (рис. 3.б) представлено изображение кромки под нагрузкой.

После снятия нагрузки кромка разгружается и происходит изменение её геометрических параметров.

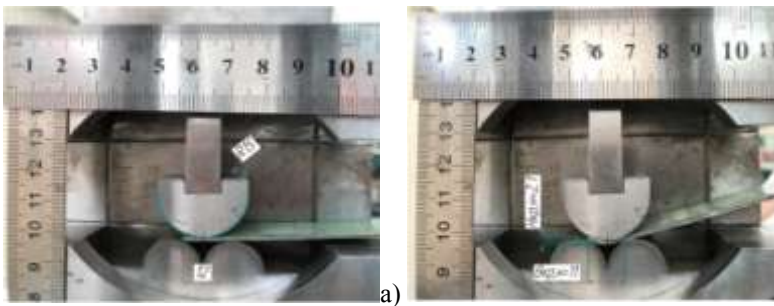


Рисунок 3 – Подгибка кромок: а) исходное положение заготовки перед процессом подгибки кромки; б) изображение кромки под нагрузкой

Аналогично осуществляется подгибка кромки с противоположной стороны заготовки.

После осуществления симметричной подгибки кромок заготовка обретает «корытообразный» вид (рис.4)



Рисунок 4 – Корытообразная заготовка.

#### Предварительная формовка

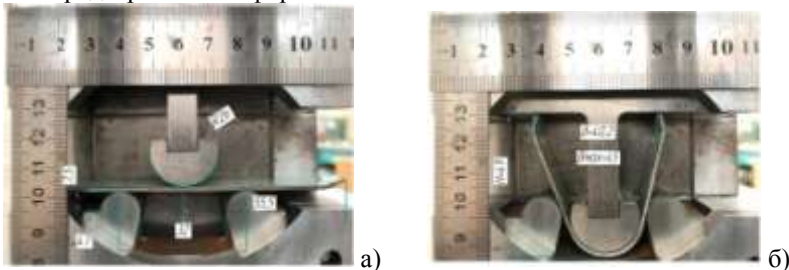


Рисунок 5 – Предварительная формовка: а) исходное положение т.з. перед процессом предварительной формовки; б) U-образная заготовка под нагрузкой в прессе

Для осуществления процесса предварительной формовки заготовку необходимо отцентрировать относительно центра пуансона. Исходное положение трубной заготовки изображено на (рис. 5.а)

При предварительной формовке корытообразная заготовка формоизменяется и приобретает U-образную форму. На (рис. 5.б) представлено изображение U-образной трубной заготовки под нагрузкой

Не разгружая пресс, производим доформовку с помощью специального приспособления, имитирующего гибочные ролики.

Процесс осуществляется симметрично, относительно центральной горизонтальной оси.

На (рис. 6.а) представлено исходное положение заготовки и рабочего инструмента

После снятия нагрузки происходит разгрузка центрального участка заготовки (рис. 6.б)



а)



б)

Рисунок 6 - U-образная заготовка: а) исходное положение заготовки и рабочего инструмента; б) U-образная заготовка после снятия нагрузки

Окончательная формовка

В процессе окончательной формовки U-образная заготовка обретает O-образную форму (рис. 7.а)

Далее два полуштампа сходятся (рис. 7.б)



а)



б)

Рисунок 7 - Окончательная формовка:

а) исходное положение трубной заготовки перед процессом О.Ф;

б) «О» - образная заготовка под нагрузкой

Трубная заготовка без зазора между кромками изображена на (рис. 8)



Рисунок 8 - «О» - Трубная заготовка без зазора между кромками после процесса О.Ф.

Геометрические параметры трубной заготовки, полученные в результате проведённого эксперимента приведены в таблице:

Таблица 1 - Геометрические параметры трубной заготовки, полученные в результате экспериментальных этапов формоизменения листа при формовке по схеме «УОЕ» для трубы типоразмером 40 x 1 мм и 40 x 2 мм.

1.Подгибка кромок								
Параметры	40x1				40x2			
	Левая кромка		Правая кромка		Левая кромка		Правая кромка	
	Нагрузк а	Разгрузк а	Нагрузк а	Разгрузк а	Нагрузк а	Разгрузк а	Нагрузк а	Разгрузк а
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радиус R, мм	16	19,5	16	19,5	16	17	16	17
Ширина В, мм	9,8	11,8	9,8	11,8	11	11,8	11	11,8
Высота Н, мм	2,0	4,0	2,0	4,0	2,1	4,8	2,1	4,8
Корытообразная заготовка								
Высота Н, мм	4,0				4,8			
Ширина заготовки В, мм	124,6				124,1			
2.Предварительная формовка								
2.1 Формовка центральной части								
	Нагрузка		Разгрузка		Нагрузка		Разгрузка	
Радиус R, мм	16		-		15		-	
Расстояние между кромками, мм	32		-		40,2		-	
Ширина В, мм	32		-		45		-	
Высота Н, мм	46		-		49		-	
2.2 Догибка центральной части								

	Нагрузка	Разгрузка	Нагрузка	Разгрузка
Радиус R, мм	16	19	15	17
Расстояние между кромками, мм	14	31,7	24	25
Ширина В, мм	32	40	31,6	32
Высота Н, мм	52	56	55	56
<b>3. Окончательная формовка</b>				
	Нагрузка	Разгрузка	Нагрузка	Разгрузка
Радиус R, мм	20	20	20	20
Ширина Н, мм	40	40	40	40
Высота В, мм	40	40	40	40

По результатам эксперимента видно, что распруживание трубной заготовки 40x2 мм на всех этапах формоизменения гораздо меньше, чем распруживание трубной заготовки 40x1 мм.

#### Заключение

В представленной статье:

1. Изучена действующая технология производства сварных труб большого диаметра АО «ВМЗ» линии ТЭСА 1020.

2. Проведено физическое моделирование формоизменения трубной заготовки по способу «УОЕ».

3. Сделаны сравнения геометрических параметров по данной схеме по двум типоразмерам 40x1мм и 40x2 мм. После снятия нагрузки на этапе окончательной формовки отсутствует зазор между кромками, так как произошло редуцирование, и заготовка находится в сжатом состоянии (преобладают сжимающие напряжения).

#### Литература:

1. Машины и агрегаты трубного производства: Учебное пособие для вузов/ А.П. Коликов, В.П.Романенко, С.В. Самусев и др. – М.: МИСиС, 2007. – 536 с.

2. Технология трубного производства: Учебник для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 640 с.: ил.

3. Теория, технология и оборудование для производства прямошовных труб большого диаметра в линии ТЭСА: Учебное пособие для практических занятий. С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов, Н.В. Овчарова. Выкса: Выксунский филиал НТУ "МИСиС", 2010-128 с.

4. Методы расчета калибровок инструмента и энерго - силовых параметров прессы производства сварных труб большого диаметра в линии ТЭСА-1420. Часть 1. С. В. Самусев, А.Н.Фортунатов, Н.В. Овчарова - Выксунский филиал НИТУ "МИСиС", 2013 - 140 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МКС-5000 АО «ВМЗ»

*Т.А. Лабышкина, С.М. Ионов*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

В настоящее время большое значение имеет вопрос о качестве выпускаемой продукции. На современном рынке большой спрос толстолистового проката, применяемого для производства газопроводных труб большого диаметра. Дальнейшее развитие трубного производства большое значение имеет повышение качества продукции, требующих увеличения потребительских свойств исходной заготовки, совершенствование технологии и организации производства, улучшение средств и системы контроля качества.

Прокат должен обладать полным комплексом механических характеристик, а так же должен соответствовать высоким требованиям чистоты по вредным примесям, газам, неметаллическим включениям и по однородности микроструктуры.

*Ключевые слова:* Прокатка, охлаждение, стали, технология, химический состав.

Постоянно возрастающие требования к сталям для производства труб, используемых в нефтегазовой промышленности, являются постоянным стимулом повышения их качества.

Требования, предъявляемые к прокату трубного назначения:

1 Наряду с прочностью и толщиной прокат должен обладать полным комплексом механических характеристик, включая вязкость составляющей в изломе образцов при испытании падающим грузом (обычно не менее 70-90%) и хладостойкость металла в больших сечениях, а так же пластичность для предотвращения разрушения труб в процессе укладки и эксплуатации (в случае подвижек грунта).

2 Важнейшей характеристикой проката для труб является хладостойкость, определяемая долей вязкой составляющей в изломе образцов для ИПГ при температуре эксплуатации трубопровода.

3 Для изготовления труб, стойких к сероводородному растрескиванию, металл должен соответствовать высоким требованиям чистоты по вредным примесям, газам, неметаллическим включениям и по однородности микроструктуры.

4 Для труб с особыми требованиями металл должен обладать дополнительными свойствами: стойкостью к водородному и сероводородному растрескиванию, стойкостью к коррозионному растрескиванию под напряжением, трещиностойкостью, равномерным удлинением и др.

5 Прокат должен обеспечивать заданные качественные характеристики (в том числе механические свойства, сплошность и т.д.) основного металла труб в зоне термического влияния при сварке.



6 Требования по пределу текучести трубных сталей возросли с 300-400 МПа (для класса прочности K42-K52) до 600 МПа (для класса прочности K65), также стали для производства труб большого диаметра классов прочности X100-X120 с требованиями по пределу текучести 750-900 МПа.

В настоящее время трубные стали легируются марганцем и кремнием, чтобы компенсировать снижение прочности при уменьшении содержания углерода. Марганец повышает хладостойкость стали. Микролегирующие ниобием, ванадием и титаном необходимо для образования карбидов и нитридов, которые в свою очередь замедляют рост и рекристаллизацию аустенитных зёрен при нагреве и прокатке, формируют в прокате мелкодисперсную структуру, т.е. повышают прочность и вязкость стали. Если необходимо дополнительно повысить механические свойства, то стали легируются хромом, никелем, медью или молибденом. Кроме этого, трубные стали имеют низкое содержание вредных примесей и газов[1].

Общий подход к выбору химического состава стали следующий:

- содержание углерода определяется в зависимости от требований по прочности и структуре стали и выбирается минимальным для обеспечения требований вязкости, хладостойкости, свариваемости и соотношения  $\sigma_T/\sigma_B$ ; максимальное содержание углерода для стали с высоким уровнем требований не более 0,09% С;

- уровень содержания легирующих элементов определяется уровнем упрочнения твердого раствора, кинетикой превращения аустенита и свариваемостью (углеродным эквивалентом);

Углеродистый эквивалент для марки стали К 54:

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V + Ti + Nb}{5} + \frac{Ni + Cu}{15};$$

$$C_{\Sigma} = 0,07 + \frac{1,55}{6} + \frac{0,1+0,1+0,02+0,017+0,044}{5} + \frac{0,1+0,1}{15} = 0,39\%$$

Свариваемость ограниченная, необходим подогрев и термообработка перед сваркой.

- необходимость микролегирования стали определяется управлением процессами структурообразования (рост зерна, рекристаллизация аустенита) и влиянием дисперсионного упрочнения на предел текучести;

- содержание вредных примесей и газов и загрязненность стали неметаллическими включениями определяются уровнем основных и дополнительных требований к прокату.

Существуют два основных метода производства проката для электросварных труб большого диаметра:

- термомеханическая контролируемая прокатка с охлаждением на воздухе;

- термомеханическая прокатка с последующим ускоренным охлаждением по различным вариантам.

Основой процесса следует считать термомеханическую обработку (ТМО), она представляет собой совокупность операций деформации, нагрева и охлаждения, в результате которых формирование окончательной структуры происходит в условиях повышенной плотности структурных несовершенств, созданных деформацией[2].

Граница применимости этих технологических вариантов зависит от толщины проката, класса прочности и дополнительных требований (сероводородостойкость, полосчатость и др.), и в концепции построения прокатного стана должны быть предусмотрены обе схемы.

Технология термомеханической прокатки предусматривает управление температурой нагрева, температурой прокатки, величин обжатия и процесса охлаждения после окончания прокатки[3].

Важной частью технологии контролируемой прокатки является возможность микролегирования такими элементами как ниобий, ванадий и титан. Эффект упрочнения низколегированных сталей достигается несколькими структурными составляющими, такими как: измельчение зерна, управление механизмом аустенитно-ферритного превращения, дисперсионное упрочнение твёрдого раствора. Измельчение зерна является важной частью упрочнения, которое оказывает положительное влияние на прочность и хладостойкость стали. В термомеханической прокатке главной целью является достижение измельченной структуры аустенита, что получается с помощью регулирования процесса рекристаллизации и последующего роста зерна в промежутках между пропусками при многопроходной прокатке.

В настоящее время на толстолистовых станах технология производства листового проката из трубных сталей состоит из следующих этапов:

1. Повторный нагрев слябов перед прокаткой. Нагрев слябов осуществляется в печах, температура и время нагрева оказывают значительное влияние на механические свойства готового листового проката. Обычно температура повторного нагрева слябов находится в диапазоне 1050–1200 °С

2. Черновая прокатка – первоначальный процесс деформации, проходящий обычно при наиболее высокой температуре – выше температуры рекристаллизации, сразу после выдачи сляба из нагревательной печи. Иногда процесс осуществляется на специальной черновой клетки. При этом в состав оборудования стана 5000 как правило входит только одна клеть, на которой осуществляется и черновая и чистовая стадии прокатки.

3. Между стадиями черновой и чистовой прокатки проводится промежуточное охлаждение, как на воздухе, так и водой.

4. Чистовая прокатка – окончательный процесс деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации и обычно выше температуры аустенитно-ферритного превращения. В определённых случаях прокатка может завершаться в двухфазной области.

5. Последеформационное охлаждение на воздухе или ускоренное охлаждение водой. Ускоренное охлаждение позволяет дополнительно увеличить дисперсность структуры. Начало охлаждения обычно близко к температуре начала фазового превращения из аустенита в феррит, однако иногда охлаждение может начинаться в двухфазной области.

Схема термомеханической прокатки представлена на рисунке 1.

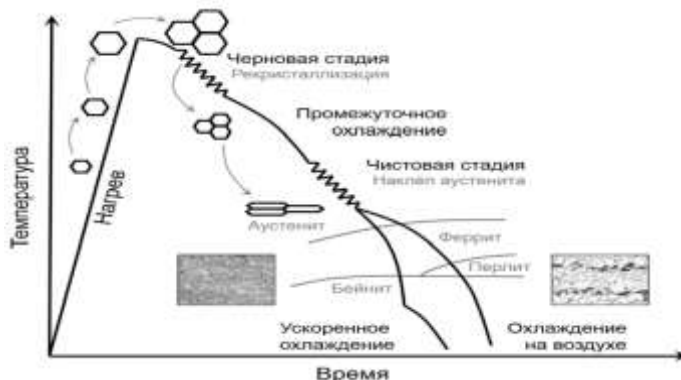


Рисунок 1 – Общая схема термомеханической прокатки

#### Заключение

В данной работе рассмотрены основные требования к прокату трубного назначения, которые непрерывно повышаются за счет значительного спроса на современном рынке проката. К этой продукции потребителями предъявляются особые требования по однородности структуры, повышенные требования по прочности и качества поверхности листов.

Достижение необходимого сочетания высокой прочности с высокой пластичностью, вязкостью, низкой чувствительностью к концентраторам напряжений и другими характеристиками, требуемыми от современного материала, практически невозможно лишь за счет легирования, но может быть обеспечено применением специальных технологических приемов.

В ходе исследовательской работы было выявлено, что эффективная разработка технологии производства листового проката возможна при комплексном подходе как с точки зрения обработки металлов давлением, так и металловедения.

#### Литература:

1. Эфрон Л.И. Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали - М.: Металлург издательство, 2012.
2. Металловедение, Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2008.
3. Металловедческие основы получения хладостойких трубных сталей путем высокотемпературной контролируемой прокатки / Л.И. Эфрон [и др.] // Сталь. 2003.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ СПОСОБОМ “JCOE” НА ЛАБОРАТОРНОМ ПРЕССЕ УСИЛИЕМ 100 КН

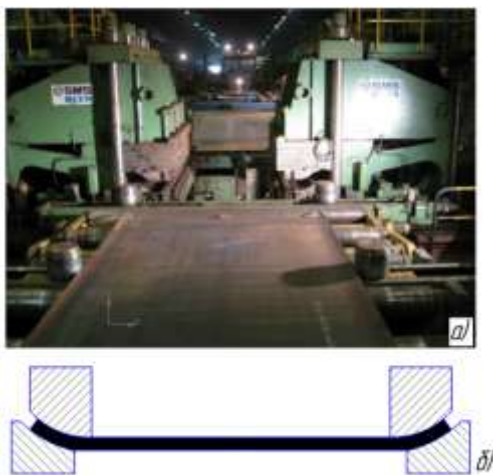
*А.И. Морозов, С.В. Самусев*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

В настоящее время металлургическая промышленность является одной из ведущих отраслей Российской Федерации. Особое значение имеет трубное производство большого диаметра, связано это с желанием занимать лидирующие позиции по поставке нефти-газовых продуктов за рубеж.

Существует лишь небольшое число промышленных методов изготовления труб большого диаметра из листовой или полосовой стали. Разработанный фирмой "SMSMeer" процесс формовки JCOE, при котором в качестве основного агрегата используется пресс шаговой формовки, утвердился в последние годы на рынке производства сварных труб большого диаметра в условиях конкуренции с технологией УОЕ(формовкой на U- и O-образных гибочных прессах, сваркой и экспандированием) и с технологией 3-валковой гибки благодаря более высокой степени гибкости, высочайшему качеству и более низким инвестиционным затратам.

Одним из первых кто освоил эту технологию и уверенно закрепился на рынке является АО «ВМЗ». Линия ТЭСА 1420 специализируется на производстве электросварных прямошовных труб диаметром 530-1420 мм с толщиной стенки до 48 мм и длиной 10,5-12,1 мм.



*Рисунок 1 - Общий вид кромкогибочного пресса: а) Кромкогибочный пресс в линии ТЭСА-1420; б) Схематичный процесс пошаговой гибки кромок*

Сегодня передо мной стоит задача изучить участок формовки труб большого диаметра линии 1420, обозначить предложение по совершенствованию процесса, а также найти решение по устранению дефектов, которые могут возникать в процессе формоизменения.

Процесс формоизменения труб по способу «КСОЕ» начинается с подгибки продольных кромок листов шаговым способом на кромкогибочном прессе одновременно с двух сторон, последовательно участками по всей длине. Общий вид кромкогибочного пресса и схематичный процесс формовки представлен на рисунке 1.

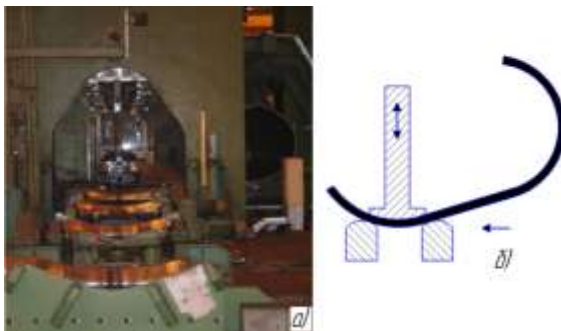
Формовка основной части профиля трубных заготовок осуществляется на прессе шаговой формовки способом многопереходной гибки участков от подогнутых кромок к середине профиля одновременно по всей длине заготовок и обеспечивает получение трубных заготовок незамкнутого О - образного профиля.

На рисунке 2 представлена первая операция гибки основной части профиля, подгибка осуществляется от кромки к середине листа.



Рисунок 2 – Первая операция гибки: а) Пресс шагового формоизменения;  
б) Схематичный процесс первой операции гибки на прессе шагового формоизменения

После проделанной операции заготовка перемещается в поперечном направлении при помощи горизонтальных манипуляторов и устанавливается в рабочей зоне для формовки участка профиля, примыкающего к другой подогнутой кромке. На рисунке 3 представлена первая операция гибки второй половины профиля.



*Рисунок 3 – Первая операция гибки второй половины профиля заготовки: а) Пресс шагового формоизменения; б) Схематичный процесс операции гибки второй части трубной заготовки на прессе шагового формоизменения*

Последний шаг гибки должен осуществляться точно по середине продольной оси заготовки, как представлено на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Последняя операция гибки: а) Последний шаг гибки б) Схематичный процесс завершения процесса шагового формоизменения (получение трубы «О» - образного профиля с разомкнутыми кромками)*

По окончании последнего шага формовки трубная заготовка приподнимается над опорными колодками подъемным рольгангом и выталкивается вдоль формовочного ножа в продольном направлении при помощи выталкивателя на выходной рольганг и отправляется на участок сварки, а именно на сборочно-сварочный стан.

Для моделирования процесса по схеме «ЖСОЕ» в лабораторию ВФ НИТУ «МИСиС» было приобретено современное экспериментальное оборудование, лабораторная установка ОМД-3 представленная на рисунке 5 включающая гидравлический пресс усилием 100 кН и технологическая оснастка (рисунок 6), которая позволяет смоделировать процесс в лабораторных условиях. При помощи персонального компьютера и установленного программного обеспечения происходит сбор, обработка и визуализация параметров, таких как величина хода, усилие и их зависимости.



Рисунок 5 - Лабораторная установка ОМД-3

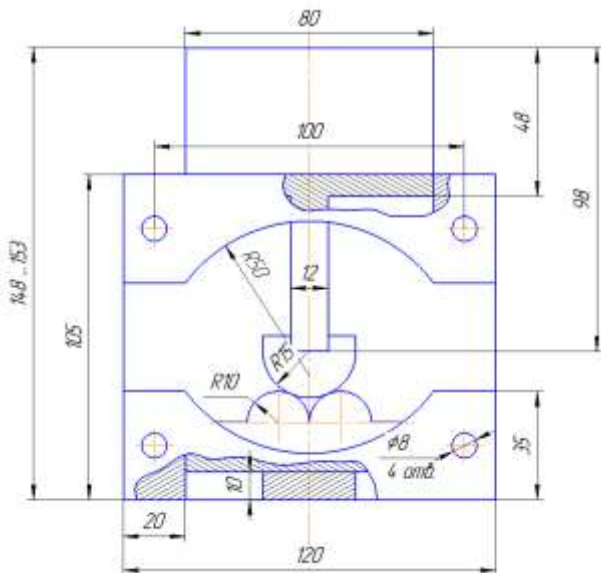


Рисунок 6 – Оснастка

На лабораторной установке ОМД-3 была проделана работа по физическому моделированию формовки заготовки с 7 шагами, а также представлен расчет геометрических параметров, разработанный профессором Самусевым С.В. и студентом Роциным А.А. Параметры расчета и физического моделирования, совпадали в пределах допустимого, но представленный способ формоизменения трубной заготовки не обеспечивал

требуемого качества. Связано это с тем, что заготовка получалась со значительными прямолинейными участками.

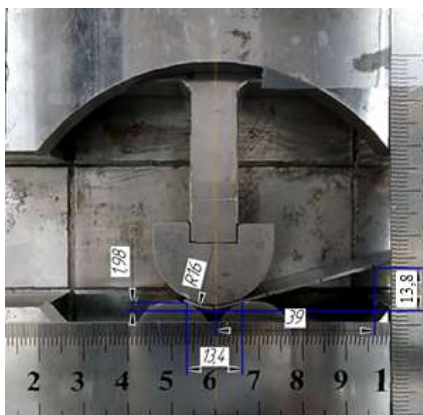
Для сокращения величины прямолинейных участков и достижения О - образного профиля необходимо смоделировать процесс и произвести расчет по 9 - ти шаговой схеме формоизменения трубной заготовки.

Процесс подгибки кромок на лабораторном прессе осуществляется в два этапа.

Трубная заготовка подается в рабочее пространство и удерживается на матрице, в это время подается пуансон на заданную величину хода. Происходит контакт заготовки с рабочим инструментом вследствие чего, наблюдается деформация трубной заготовки, которая необходима. Инструмент возвращается в исходное положение.

Видеофиксация данного эксперимента позволяет снять геометрические параметры заготовки под нагрузкой рисунок 7

Для более точного снятия геометрических параметров воспользуемся программой «Компас-3D». Изображенная на рисунке 7 измерительная линейка позволит нам вычислить масштабный коэффициент изображения с его действительными размерами.



*Рисунок 7 - Параметры кромки под нагрузкой эксперимент*

Эта же программа помогла визуально воспроизвести проделанный расчет геометрических параметров сохранив все пропорции рисунок 8.



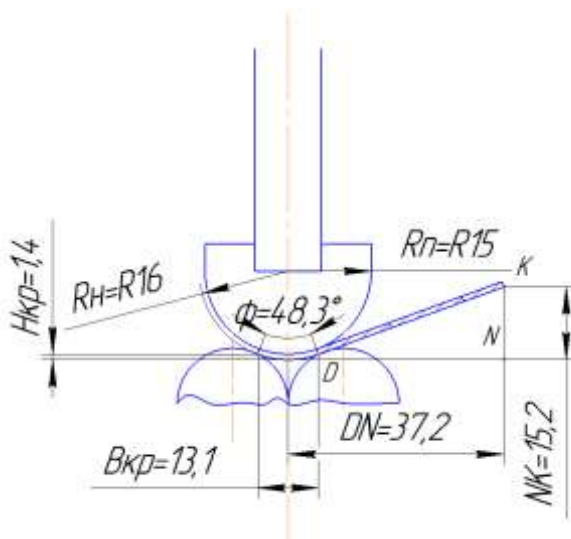


Рисунок 8 – Параметры кромки под нагрузкой расчетный метод

Был проведен анализ геометрических параметров под нагрузкой расчетного метода с экспериментом, результаты которого – в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение геометрических параметров под нагрузкой и после распружинивания

Параметр		Расчетные данные	Экспериментальные данные	Δ %
Подгибка правой кромки				
Нагрузка	Высота кромки, мм	1,4	1,98	- 41
	Ширина кромки, мм	13,1	13,4	- 2,3
	Ширина заготовки, мм	37,3	39	- 5,3
	Высота заготовки, мм	15,2	13,8	9,2
	Радиус формоизменения $R_n$ , мм	16	16	0
	Угол формовки $\varphi_{нагр.}$ , град	48,3	-	-
Распружинивание	Высота кромки, мм	5,2	5	3,8
	Ширина кромки, мм	12,5	13,5	- 8
	Ширина заготовки, мм	120,5	124	- 3
	Высота заготовки, мм	5,2	5	3,8
	Радиус сформованного участка после распружинивания, мм	17,6	18,5	- 5,2

Из полученных значений можно сделать вывод, что в основном все данные находятся в пределе допустимых и не превышают более 10%, за исключением высоты поднятия кромки, отклонение которого составило 41%. Объяснить это можно тем, что размер достаточно мал и определить действительный размер тяжело.

После снятия нагрузки кромка разгружается и происходит изменение её геометрических параметров. Экспериментальное отображение трубной заготовки после процесса подгибки кромки изображено на рисунке 9.



Рисунок 9 - Геометрические параметры кромки после снятия нагрузки эксперимент

Снять все необходимые параметры позволяет отображение заготовки на миллиметровке при помощи копировальной бумаги. Этот способ очень удобен и сохраняет все размеры без искажения.

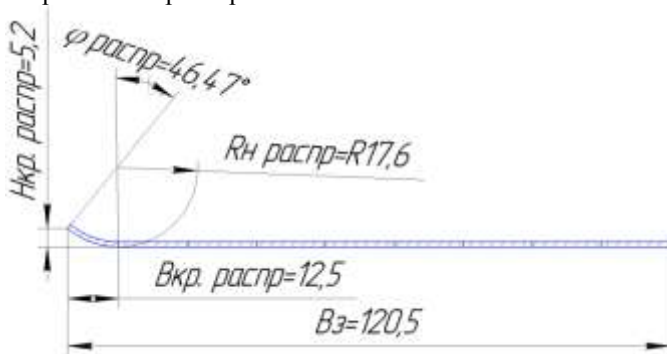


Рисунок 10 - Геометрические параметры кромки после снятия нагрузки расчетный метод

Таким же образом проведено сравнение геометрических параметров после распруживания результаты измерений занесены в таблицу 1.

Подгибка второй кромки осуществляется аналогично первой.

Проведенное исследование показало, что схема с 9-ю шагами формоизменения трубной заготовки по способу «JCOE» работает на практике в дальнейшем ее можно использовать для исследований и внесения предложений по совершенствованию способа «JCOE».

#### Закключение

В представленной статье:

1. Проанализирована действующая технология производства сварных труб большого диаметра АО «ВМЗ» линии ТЭСА 1420.

2. Рассмотрены особенности работы оборудования кромкогибочных прессов и прессы шаговой формовки, проанализированы причины образования возможных дефектов на этих участках.

3. Проанализирована 7 – ми шаговая схема формовки труб по способу ЖСОЕ и предложена 9 – ти шаговая схема формовки с новой технологической оснасткой.

4. Представлены пошаговые эксперименты формовки по способу ЖСОЕ, сведенные в итоговую сравнительную таблицу геометрических параметров заготовки под нагрузкой и после распруживания.

#### **Литература:**

1. Машины и агрегаты трубного производства: Учебное пособие для вузов/ А.П. Коликов, В.П. Романенко, С.В. Самусев и др. – М.: МИСиС, 2007. – 536 с.

2. Технология трубного производства: Учебник для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интернет Инжиниринг, 2002. – 640 с.: ил.

3. Теория, технология и оборудование для производства прямошовных труб большого диаметра в линии ТЭСА: Учебное пособие для практических занятий. С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов, Н.В. Овчарова. Выкса: Выксунский филиал НТУ "МИСиС", 2010-128 с.

4. Методы расчета калибровок инструмента и энерго- силовых параметров прессы производства сварных труб большого диаметра в линии ТЭСА-1420. Часть 1. С. В. Самусев, А.Н.Фортунатов, Н.В. Овчарова - Выксунский филиал НИТУ "МИСиС", 2013 - 140 с.

5. С.В.Самусев, Люскин А.В., Больдт В.В. Способ сборки профиля заготовки после прессы пошаговой формовки в линии ТЭСА 1420, Известие Вузов Черная металлургия , 2010, №3.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА СТАНЕ ОЛІМРІА 21-89 И НА ЛАБОРАТОРНОМ СТАНЕ 20-45.**

*А.Д. Никулин*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г.Выкса*

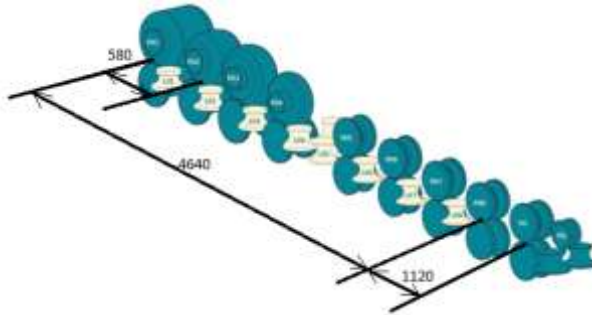
АО «ВМЗ» является одним из крупнейших производителей трубной продукции в нашей стране. Его продукция успешно продается как внутри страны так и за рубежом. Выпускаемая на заводе продукция соответствует требованиям отечественных и зарубежных стандартов. Но для повышения качества и конкурентоспособности продукции необходимо постоянное совершенствование производства.

Наиболее перспективными способами производства труб является разработка и внедрение более совершенных технологических процессов с более высокой степенью механизации и автоматизации, с автоматическим контролем качества труб. Поэтому необходимо постоянное изучение процессов деформирования

трубной заготовки для выявления оптимальных режимов работы оборудования и как следствие увеличение качества продукции.

*Ключевые слова:* трубное производство, обработка металлов давлением, непрерывная формовка труб.

В настоящее время широко распространён процесс непрерывной формовки труб. На АО «ВМЗ» он реализован в трёх цехах: ТЭСЦ-2, ТЭСЦ-3, ТЭСЦ-5.



*Рисунок 1- Схема валкового инструмента*

В ТЭСЦ-2 производство организовано на трех станах фирмы «Olimpia». Формоизменение происходит по двухрадиусной схеме в открытых калибрах, и по однорадиусной схеме в закрытых калибрах. Формовочный стан состоит из: 8-ми приводных клеток (4-х с калибром открытого профиля и 4-х закрытого).

Сравнительное исследование этого процесса проводилось на оборудовании лабораторного формовочного стана ТЭСА 20-45, состоящего из вертикальных (неприводных) и семи горизонтальных (рабочих) клеток с открытыми и закрытыми калибрами. Валки нижние и верхние - профилированные. Диаметры валков различные и определяются размером изготавливаемых труб. Верхние валки могут перемещаться в вертикальной плоскости при помощи нажимных винтов, причем это перемещение можно осуществлять отдельно по каждой клетки.

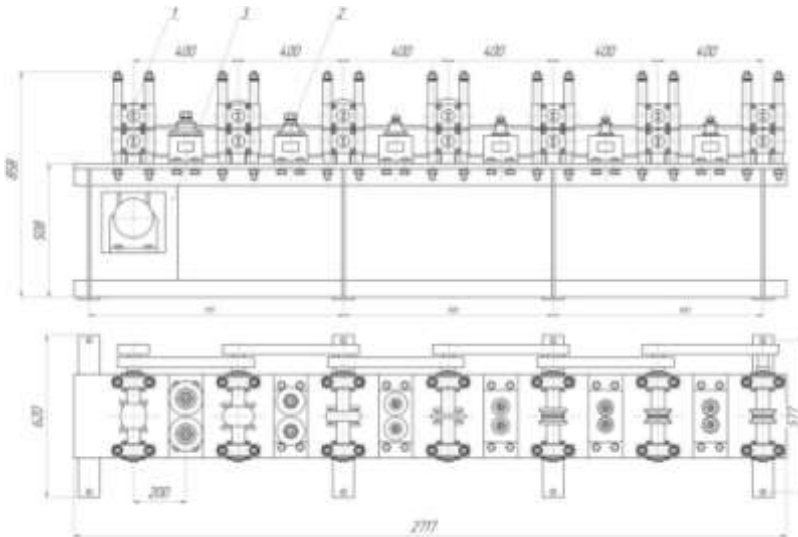


Рисунок 2- Формовочный стан 20-45: 1-горизонтальные (рабочие) клетки; 2-вертикальные (неприводные) клетки; 3- постамент

В распоряжении лаборатории ОМД имеются клетки, представляющие собой станины с направляющими. По ним перемещаются подшипниковые подушки с валами, несущие профилирующие части. Регулировка положения верхнего валка осуществляется с помощью нажимного механизма, что позволяет обеспечить калибр с полным и неполным контактом

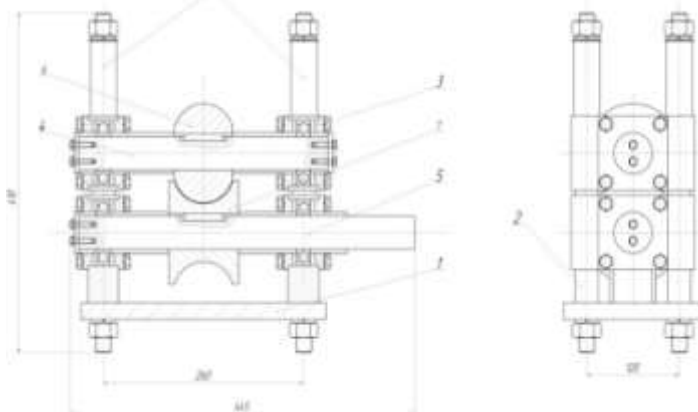


Рисунок 3- Общий вид горизонтальной рабочей клетки трубоформовочного стана: 1- станины; 2- направляющие; 3- подшипниковые подушки валов; 4- верхний вал; 5-нижний вал; 6,7-профилированные части; 8-нажимной механизм

Для лабораторных клеток был спроектирован и изготовлен комплект инструмента для трубы типоразмером 30x1.

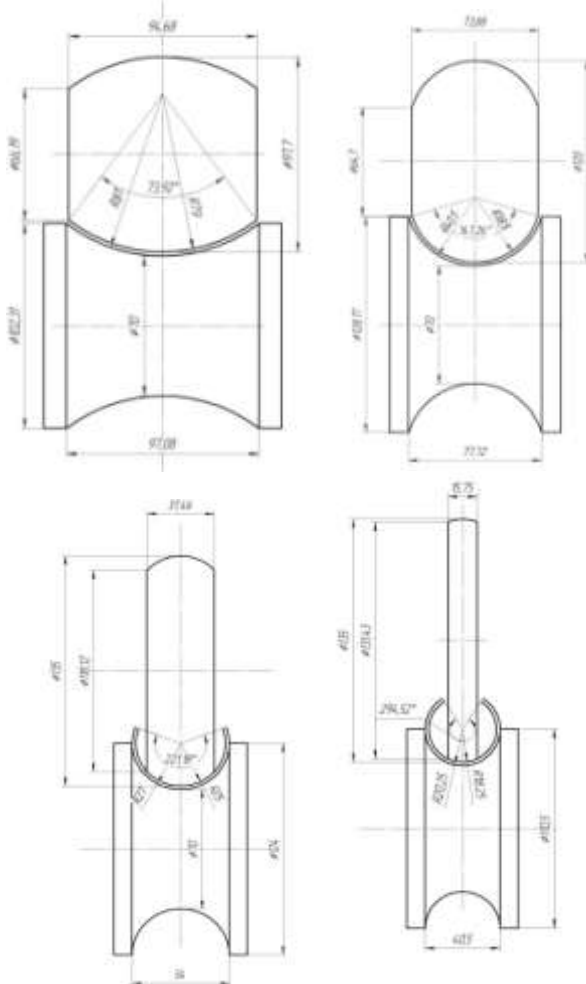


Рисунок 4- Комплект инструмента для трубы типоразмером 30x1

Для проведения эксперимента использовали листовые плоские образцы для моделирования валковых очагов деформации по трем зонам. На него наносили координатную сетку. Далее производилась настройка клеток, после чего происходило формоизменение трубной заготовки поэтапно в двух открытых клетях одновременно.



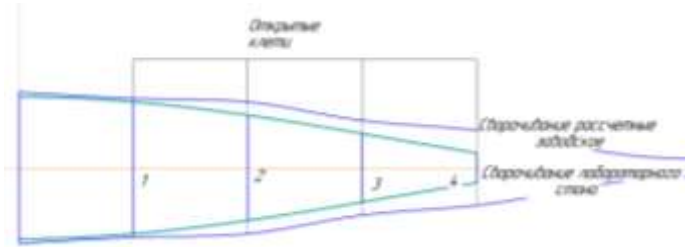
*Рисунок 5 – Деформирование заготовок в двух открытых калибрах одновременно*

При проведении каждого эксперимента фиксировались размеры распушивания заготовки меж клетями.



*Рисунок 6 – Замер распушивания меж двух клетей в процессе формовки*

После чего, был произведен сравнительный анализ геометрических параметров.



*Рисунок 7 – Сравнение очагов сворачивания вид сверху.*

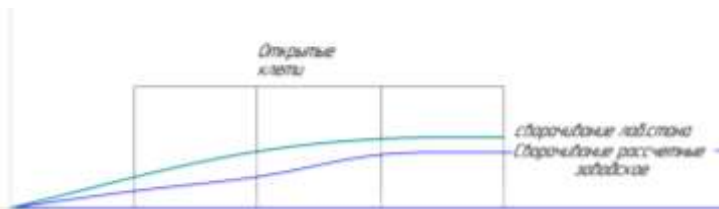


Рисунок 8 Сравнение очагов сворачивания вид сбоку.

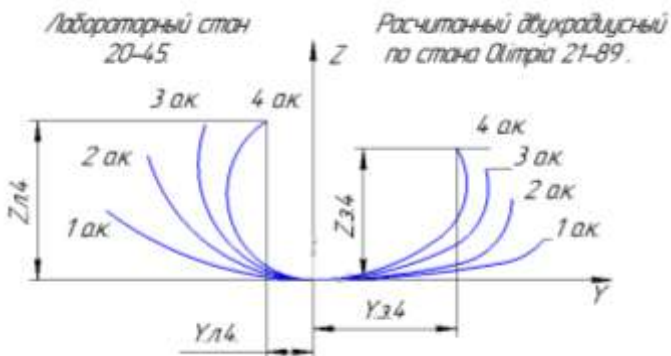


Рисунок 9 – Сравнение цветков сворачивания открытых калибров.

Таблица 1 – Сравнение геометрических размеров цветков сворачивания.

Номер клетки	Стан Olimpia 21-89		Лабораторный стан 20-45		$\Delta Z$ , мм	$\Delta Y$ , мм
	Z.з, мм	Y.з, мм	Z.л, мм	Y.л, мм		
1	9,35	54,29	16,28	48,7	6,93	-5,59
2	19,13	46,97	29,09	38,86	9,96	-8,11
3	22,04	40,98	36,46	25,28	14,42	-15,70
4	27,87	34,31	37,28	10,95	9,41	-23,36

Использование лабораторных клеток позволяет: смоделировать и исследовать процесс непрерывной формовки труб для различных схем, рассчитать напряженно-деформированное состояние металла и энергосиловые параметры при формоизменении заготовки.

#### Заключение

В ходе проделанной работы были:

- изучена методика формоизменении геометрии трубной заготовки при непрерывной формовки;
- изучено оборудование стана ТЭСА 21-89 фирмы «Olimpia», рассмотрено и освоено лабораторное оборудование лабораторное оборудование;
- проведены опыты формовки в лабораторных клетях;



– проведено сравнение расчетных данных геометрии очагов сворачивания в открытых калибрах формовочных станов.

#### **Литература:**

1. ТИ 37-ТР.ТС-03.1-2013 Трубы стальные электросварные диаметром 21-89 мм. Технологическая инструкция.
2. Расчёт технологических параметров и оборудования для различных компоновок непрерывных ТЭСА: Сборник задач/С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов А.Н. и др. – Выкса: Выксунский филиал НИТУ МИСиС, 2009.-336 с.
3. Методы расчета калибровок инструмента и энергосиловых параметров процесса производства сварных труб в линии прессов и ТЭСА: сборник задач/ С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов А.Н., Фролова Н.А., Пашков Н.Г.- ВФ МИСиС,2006 – 155 с

### **КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛОС НА ОТВОДЯЩИХ РОЛЬАНГАХ НШПС**

*В.В. Попов, А.В. Зиновьев*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

В настоящее время одной из основных целей в металлургии является усовершенствование производства горячекатаной полосы, которое более дешевое, чем холоднокатаное. Однако замена холоднокатаных полос горячекатаными возможна лишь в том случае, когда горячекатаный прокат будет полностью удовлетворять ряд технологических требований, т.е. иметь удовлетворительную микроструктуру и требуемый уровень механических свойств.

Развитие системы ускоренного охлаждения позволит обеспечивать в прокате из низколегированных сталей сочетание высокой прочности, ударной вязкости и хладостойкости благодаря формированию мелкодисперсной ферритно-бейнитной микроструктуры. Что приведёт к положительному экономическому эффекту.

*Ключевые слова:* Стан 1950 ЛПК, Ultra Fust Cooling, ламинарное охлаждение, Water Wall, струйное охлаждение, мелкодисперсная ферритная структура.

Цель ускоренного охлаждения состоит в том, чтобы получить прокат с необходимыми механическими свойствами (а именно достичь упрочнения стали) без дополнительного легирования, что значительно удешевляет производство.

Упрочнение при использовании УО можно объяснить следующими факторами:

а) измельчение зерна феррита, приводящая в определенных условиях к образованию кристаллов игольчатой формы со сравнительно малой их разориентировкой и повышенной плотностью дислокаций.

б) более эффективное дисперсионное упрочнение;

в) формирование более дисперсных низкотемпературных продуктов превращения аустенита;

г) пересыщение твердого раствора.

Таким образом, основная идея ускоренного охлаждения является увеличение скорости зарождения феррита за счет переохлаждения деформированного аустенита, что ведёт к измельчению зерна. Существует еще один фактор, который следует учитывать — после завершения превращения аустенита может происходить рост ферритного зерна, на что также оказывает влияние ускоренное охлаждение [3].

Исходя из необходимого уровня показателей механических и технологических свойств и их сочетания, можно получить требуемую структуру подбором и применением соответствующего химического состава стали и режима охлаждения горячекатаной полосы на отводящем рольганге. Например, для одной и той же температуры смотки полосы (620 °C) из низкоуглеродистой стали, микролегированной ниобием (0,09% C; 1,4% Mn; 0,1% Si; 0,05% Nb; 0,26% Mo; 0,016% P; 0,011% S; 0,006% N и 0,03% Al), при скорости регулируемого охлаждения 11 °C/с предел текучести на 18,2% выше, чем при скорости охлаждения 6 °C/с.

Следовательно, при одном и том же химическом составе скорость охлаждения и температура смотки являются определяющими факторами для получения необходимой структуры и показателей механических и технологических свойств горячекатаной полосы при охлаждении на отводящем рольганге [4].

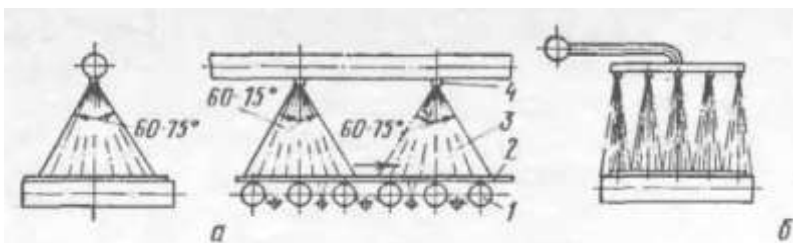
Существуют различные мнения, которые объясняют процессы при охлаждении на основе микроскопического анализа и позволяют делать практические выводы. Согласно одной теории, для пронизывания образующегося слоя пара охлаждающая вода должна подаваться на полосу под высоким давлением.

Согласно противоположной точке зрения при высоком давлении вода резко отражается, не обеспечивая отвода тепла от полосы, при подводе же воды без давления она плотно соприкасается с полосой и достигается оптимальный отвод тепла.

Согласно третьему мнению, для отвода тепла имеет значение величина поверхности капель воды, так как размер капель, помимо типа сопла, зависит только от давления. Поскольку при малом размере капель кинетическая энергия недостаточна для пронизывания слоя пара, считается, что для охлаждения полосы оптимальным является давление 5—8 ат.

Соответственно этим взглядам созданы характерные системы охлаждения.

Система с оросительными трубами работает на пониженном давлении и состоит из труб, поперечно расположенных вдоль рольганга, с просверленными отверстиями, из которых вытекает вода веерообразным плоским потоком, с целью её равномерной подачи по ширине полосы. Существенным недостатком этих систем является то, что отверстия и сопла с небольшими выходными отверстиями в коллекторах при недостаточной очистке воды засоряются. Схема ускоренного охлаждения полосы со струевой подачи воды показана на рисунке 1 [9].



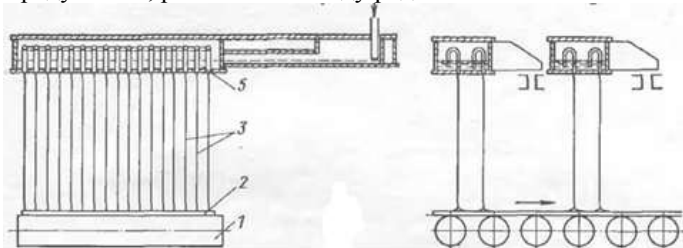
1 – рольганг; 2 – охлаждаемая полоса; 3 – струи воды; 4 – сопла (а – вид спереди; б – вид сбоку)

*Рисунок 1 – Схема ускоренного охлаждения полосы со струевой подачи воды*

Но струйное охлаждение менее эффективное, чем ламинарное в  $1,5 \div 2$  раза [5].

Данное заключение было установлено ещё в 70 – х годах двадцатого века. Было проведено сравнительное исследование теплотехнических параметров охлаждения полосы водой ламинарным и струйным способами в процессе движения раската по отводящему рольгангу после горячей прокатки на широкополосном стане 2000. Система ламинарного охлаждения изготовлена по проекту Ново-Липецкого металлургического завода, а система струйного охлаждения – Новокраматорского.

Обе системы расположены над отводящим рольгангом. Кроме того, под рольгангом предусмотрена система нижнего струйного охлаждения. При проведении исследований участок системы ламинарного охлаждения длиной 30 м состоял из пяти секций, в каждую из которых входило восемь баков установленных на высоте 1,3 м над уровнем роликов рольганга. Схема системы ламинарного охлаждения представлена на рисунке 2. Полоса охлаждалась струями воды, вытекающей из бака по смонтированным внутри него трубкам, выполненным в виде сифонов. Бак представляет собой закрытую камеру, внутри которой расположены в два ряда в шахматном порядке 79 трубок внутренним диаметром 18 мм. Шаг между соседними трубками в ряду 50 мм, расстояние между рядами 55 мм.



1 – рольганг; 2 – охлаждаемая полоса; 3 – струи воды; 4 – сопла; 5 – сифонные трубки

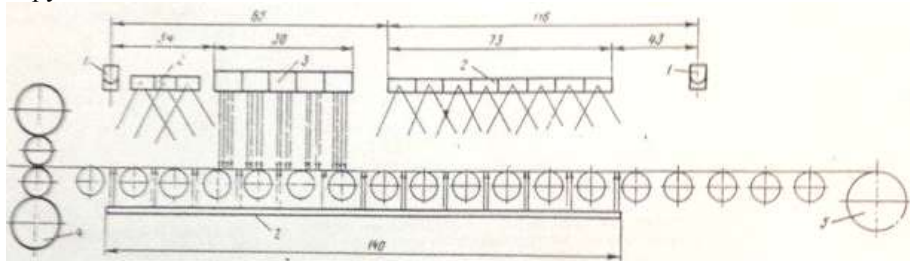
*Рисунок 2 - Схема ускоренного охлаждения полосы с верхним ламинарным и нижним со струевой подачей воды*

Бак заполняется водой под избыточным давлением 2—3 ат. Вода вытекает из бака по трубкам либо по принципу сифонного истечения.

При верхнем струйном охлаждении воду подавали на полосу из сопел, расположенных непосредственно над серединой раската на высоте 1.1—1.4 м или сбоку по обеим сторонам рольганга. К общим коллекторам, на которых установлены сопла, воду подавали под избыточным давлением до 16 ат.

Участок верхнего струйного охлаждения состоял из 22 секций, по 11 с каждой стороны рольганга. Шесть из этих секций располагались перед секцией ламинарного охлаждения, а 16 — после неё, схема которой представлена на рисунке 3. Каждая секция верхнего струйного охлаждения, показанная на рисунке 11, состояла из трубы и распределительного коллектора, на котором расположено 10 сопел. При исследовании теплотехнических параметров системы верхнего струйного охлаждения в работу включали только 16 секций, расположенных после участка ламинарного охлаждения.

Теплотехнические параметры систем охлаждения определяли следующим образом. Подбирали партию (60-80) слэбов и прокатывали их на полосу одинакового размера при постоянной скорости прокатки в чистой группе стана.



1 – пирометр; 2 – установки струйного охлаждения; 3 – установка ламинарного охлаждения; 4 – прокатная клетка №12; 5 – моталка

Рисунок 3 – Схема расположения систем охлаждения на стане 2000

После этого первые 4-5 полос прокатывали дальше при установившемся режиме работы стана, но при отключенной системе охлаждения. По результатам прокатки без охлаждения определяли коэффициент теплоотдачи металла на воздухе, а по величине этого коэффициента – температуру полосы на входе и выходе из системы охлаждения. После прокатки без охлаждения включали систему ламинарного охлаждения и прокатывали ещё 20÷25 полос. При работе установки ламинарного охлаждения на отдельных партиях (на 4÷5 полос) изменяли число и порядок включения секций. После прокатки 20÷25 полос установку ламинарного охлаждения отключали и через внутрицевовую повысительную станцию подавали воду в систему верхнего струйного охлаждения. При

работе этой системы прокатали ещё 10-15 полос. Общий расход воды в обеих системах охлаждения стремились установить примерно одинаковыми.

После отключения системы верхнего струйного охлаждения включали систему нижнего струйного охлаждения. При работе только этой системы прокатали 6 – 10 полос.

Наиболее общим показателем эффективности работы различных систем охлаждения является отношение коэффициента теплоотдачи от полосы к охлаждающей воде на удельный расход воды.

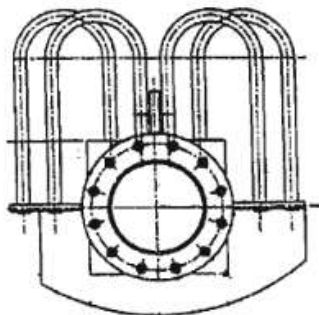
В результате данного исследования установлено, что по эффективности использования охлаждающей воды оба способа охлаждения примерно равноценны. Но если увеличить расстояние между работающими секциями ламинарного охлаждения до 6 м (при включении секций в работу через одну неработающую секцию) эффективность использования воды при охлаждении увеличивается на 15 – 20%.

Это можно объяснить тем, что при ламинарном охлаждении под действием силы тяжести энергия струи обеспечивает локальное разрушение слоя водяного пара, создавая тем самым небольшую зону интенсивного охлаждения. Совместное действие таких зон приводит к увеличению удельного теплового потока. По сравнению со струйной системой охлаждения потребление воды снижается, а удельный тепловой поток увеличивается.

Управление линией ламинарного охлаждения обычно осуществляется путем включения (или отключения) коллекторов. В зависимости от толщины полосы скорость охлаждения может регулироваться только путем изменения схем распределения воды. Недостатком системы являются большие затраты времени на включение и отключение, этот способ подачи воды отличается большой инерционностью, что затрудняет его использование при автоматическом регулировании температуры смотки [7].

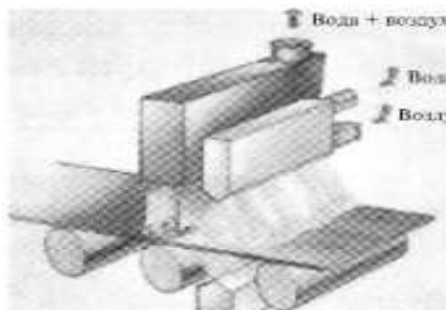
Активные работы по разработке и совершенствованию систем охлаждения полос на отводящем рольганге ведет фирма VAI. Предлагается в зонах интенсивного охлаждения применять последовательную установку коллекторов ламинарного охлаждения с разными расходами воды. Поскольку оптимальная скорость истечения воды для коллекторов с двумя рядами U-образных трубок-сифонов возможна лишь в определенных пределах, то предложено применять коллектор с четырьмя рядами охлаждающих трубок.

Схема разработанного фирмой VAI коллектора показана на рис. 4. Цилиндрические с антизавихрителем сопла позволяют поддерживать непрерывный однородный и устойчивый ламинарный поток воды, что улучшает регулирование процесса охлаждения полосы.



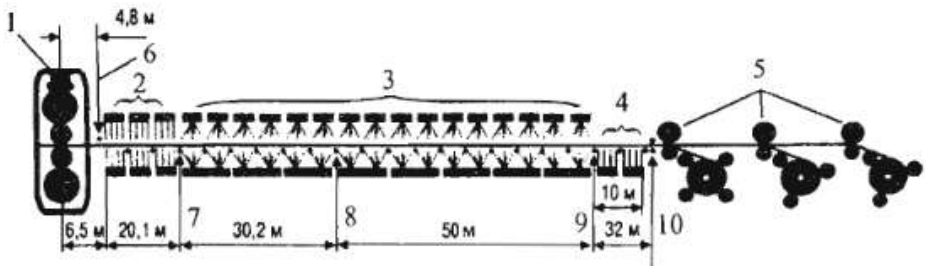
*Рисунок 4 – Схема ламинарного коллектора, с контролируемым потоком струи*

С целью получения равномерного охлаждения по всей плоскости проката, что приведёт к однородной структуре прокатываемой полосы и достижения желаемых механических свойств по всей её длине, была разработана технология ADCO (дословно расшифрованная как технология с регулированием охлаждением), представленная на рисунке 5. Водовоздушное охлаждение и система удаления влаги обеспечивают равномерное распределение температуры. Для достижения оптимальной производительности также регулируется скорость охлаждения верхней и нижней сторон полос. Технологию ADCO можно применять для ускоренного охлаждения. Она широко используется в производстве трубной, судостроительной, высокопрочной конструкционной, износостойкой стали и др.



*Рисунок 5 – Технология охлаждения ADCO*

Возникла проблема выдержки температуры смотки полос в диапазоне 500 ÷ 600 °С, связанная с неравномерным распределением температуры как по длине, так и по ширине полосы. Эта задача решена применением на отводящем рольганге установки ускоренного охлаждения, схема которой показана на рисунке 6.



1 – последняя клеть чистой группы стана; 2 – участок ламинарного охлаждения; 3 – участок струйного охлаждения; 4 – участок точного регулирования температуры смотки; 5 – моталки; 6 – измеритель температуры конца прокатки; 7-9 – приборы контроля температуры полосы; 10 – измеритель температур смотки

*Рисунок 6 – Схема душирующей установки ШСГП*

Охлаждающая установка состоит из трёх участков.

Первый участок – ламинарное охлаждение (12 секций над полосой и 12 секций под ней), второй – спрейерное охлаждение (16 секций над полосой и 8 секции под ней), третий — точное регулирование температуры смотки полосы (8 секций под полосой). По линии установлено пять приборов контроля температуры полосы, выдающих сигналы на интенсивность охлаждения на каждом из участков установки. На участке ламинарного охлаждения производится интенсивное охлаждение полосы, результаты которого оцениваются датчиком температуры 7. По результатам оценки либо сохраняется выбранный режим охлаждения на участке струйного охлаждения, либо он корректируется. Причем на этом участке производится промежуточный контроль температуры. Наконец, по датчику 9 оценивают конечную температуру смотки полосы. Датчик 10 фиксирует полученный результат [6].

Особенности системы охлаждения горячекатанного полосового проката на отводящем рольганге Стана 1950

В настоящий момент времени на линии стана 1950 ЛПК на отводящем рольганге, расположенный между последней чистой клетью и подпольной моталкой, расположилась система охлаждения полосы с 23 коллекторами типа «водяная стена», подача воды осуществляется по ширине поверхности полосы сплошными плоскими струями, и коллекторов с множеством форсунок в нижней части. В секции охлаждения воду подают по трубам, снабженным расходомерами, электропневматическими вентилями и клапанами регулирования расхода воды. Схема системы охлаждения типа «водяная стена» стана 1950 горячей прокатки представлена на рисунке 7. Так же система оборудована воздушными сдувами и водяными смывами для очистки поверхности полосы от воды и пара.

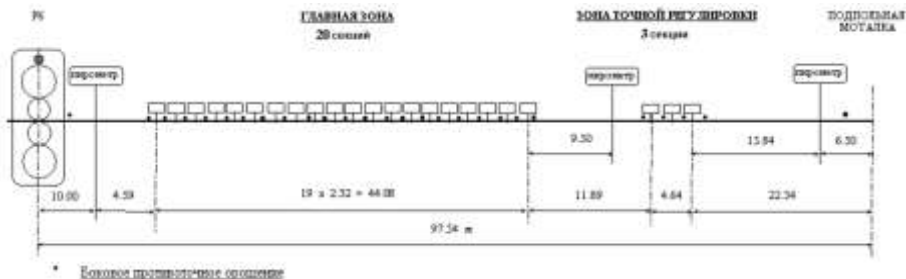


Рисунок 7 – Схема системы охлаждения типа «водяная стена» стана 1950 горячей прокатки

Скорость вращения роликов на отводящем рольганге контролируется с целью поддержания полосы в натянутом состоянии, во избежание образования водяной подушки [8].

Недостатком данной системы так же является высокая инерционность управления интенсивности охлаждения, заключающаяся включением или отключением коллекторов, данное обстоятельство существенно затрудняет автоматическое регулирование температуры смотки полосы, во время технологического процесса.

По разработкам фирмы Davy Mc Kee в секции охлаждения воду подают по трубам, снабженным расходомерами, электропневматическими вентилями и клапанами регулирования расхода воды. Это позволяет изменять интенсивность охлаждения металла не числом работающих секций охлаждения, а расходом воды в каждой секции, при этом длина охлаждающего участка на отводящем рольганге может быть уменьшена, не увеличивая расход воды [6].

Однако в настоящее время, одним из последних направлений в модернизации систем охлаждения полосы на непрерывных широкополосных станах является установка секций интенсивного охлаждения (Ultra Fast Cooling).

Для реализации интенсивных стратегий охлаждения полосы на стане 1950 ЛПК инициирована совместная работа ОМК и Daniel по разработке требуемых оборудования и технологии.

Совместными усилиями специалистов ОМК и Daniel разработана конструкция секции в виде двух плит с отверстиями для подачи воды, представленная на рисунке 8. Исследования, проведённые на прототипах в лабораторных условиях компании Daniel, показали эффективность предложенной конструкции. Для проведения производственных испытаний изготовлена и установлена на отводящем рольганге стана 1950 опытная секция охлаждения на позицию коллектора №1. В августе 2016 года проведены холодные и горячие испытания опытной секции в условиях реального производства. Проведённая работа позволила подтвердить



принципиальную возможность применения подобной секции охлаждения в условиях ЛПК.



*Рисунок 8 – Установка интенсивного охлаждения (UFS) полосы стана 1950 ЛПК*

Опыт применения секций интенсивного охлаждения на других заводах показывает, что длина UFS должна составлять не менее 8÷10 метров для получения заметного эффекта в упрочнении стали. В случае стана 1950 ЛПК данный интервал сопоставим с длиной четырёх секций. Необходимо отметить, что секция интенсивного охлаждения планируется использовать без коллекторов тримминговой зоны (управление температурой смоткой будет осуществляться последним коллектором интенсивного охлаждения или следующим за ним коллектором Water Wall).

Эксперименты, проведённые на дилатометре, показали что использование секций интенсивного охлаждения позволяют повысить временное сопротивление, по сравнению с ламинарным охлаждением на величину до 50 МПа для рулонного проката толщиной 12 мм. Таким образом, станет возможным снижение содержания легирующих элементов (например, марганца на величину около 0,4%) при сохранении текучих прочностных свойств проката. Ожидаемый экономический эффект от легирования составит от 45 до 76 млн. руб./год [9].

#### Заключение

Модернизация ЛПК необходима, чтобы удовлетворить требования к горячекатаному прокату. Применение различных технологий ускоренного охлаждения металла позволяет без изменения химического состава стали получать различные механические свойства горячекатаной полосы. В связи с этим, с минимальными затратами произойдёт снижение себестоимости горячекатаной полосы.

Режим ускоренного охлаждения определяет формирование конечной микроструктуры проката. Поэтому необходимо контролировать ускоренное охлаждение, с целью предотвращения роста зерна феррита после завершения превращения аустенита. Это достигается путём автоматизирования системы, контролирующая движение полосы и введение пирометров для регистрации температуры полосы. Создание натяжения прокатной полосы на отводящем рольганге, во избежании образования водяной подушки.

Необходимо постоянно поддерживать температуру смотки по всей длине полосы, в связи с этим скорость подачи охлаждающей воды на прокат, во время технологической операции, должна быть постоянна.

Отвод тепла от обеих поверхностей полосы должен быть симметричным, что обеспечивает получение симметричной структуры по ее толщине;

В зависимости от химического состава и геометрических параметров готового необходимо использовать разнообразные режимы охлаждения для полосы.

Таким образом, процесс охлаждения полос на отводящем рольганге должен быть стабильным и рациональным.

#### Литература:

1. Питюл К. З. Литейно-прокатный комплекс в Выксе: реализация крупного проекта в черной металлургии России // Сталь. 2009. № 7.
2. ОМК - Сталь. Предприятия ОМК. Выксунский металлургический завод. Публикации. Успех государственного масштаба.; 09.10.2008. Web: [http://www.omk.ru/enterprises/omk/smi/6337/?back\\_url\\_list=](http://www.omk.ru/enterprises/omk/smi/6337/?back_url_list=) (29.05.2017).
3. Эфрон Л.И. Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали – М.: Металлургиздат, 2012. С. 474 – 476.
4. Денисов С.В., Горшков С.Н., Шаргунов А.В., Посажеников Г.Н., Галкин В.В. Технология горячей прокатки полос после модернизации установки ламинарного охлаждения на отводящем рольганге стана 2500 горячей прокатки // Металлург. 2007. №1.
5. Полухин П.И., Федосов Н.М., Королев А.А., Матвеев Ю.М. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд. «Металлургия», 1982.
6. Коновалов Ю.В. Настоящее и будущее агрегатов для производства горячекатаных листов и полос. Сообщение 3. Широкополосные станы горячей прокатки // Производство проката. 2008. № 7.
7. Зюзин В.И., Герцев А.И., Ломтев Л.Д., Лазарев Е.В., Шуйкин Г.А., Франценюк И.В., Мирошников И.К., Заключение О.В., Лаптев М.Д. Сравнение эффективности охлаждения полос ламинарным и струйным способами на отводящем рольганге широкополосного стана // Чёрные металлы. № 3.
8. ВТИ П-01-99637759-2008 (Временная технологическая инструкция ЛПК 1950).
9. Мунтин А.А., Ткачук М.А. Модернизация системы охлаждения полосы на отводящем рольганге стана 1950 ЛПК; АО «ВМЗ», Инженерно-технологический центр
10. Раздел 2.7 // Технологический процесс и производительность стана горячей прокатки 1950 ЛПК г. Выкса фирмы Danieli.

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ КРОМКОКРОШИТЕЛЕЙ АГРЕГАТА ПРОДОЛЬНОЙ РЕЗКИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ**

*В.В. Гримберг К.П. Лунёв*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г.Выкса*

Агрегат продольной резки (АПР) эксплуатируется в ТЭСЦ-5 АО «ВМЗ» и служит для резки на штрипсы заготовок электросварных прямошовных обсадных труб. Резка осуществляется дисковыми ножницами. В комплект АПР входят два кромкокрошителя, которые измельчают кромки в мелкие полоски, идущие в отходы.

Кромкокрошитель представляет собой два барабана, вращающиеся навстречу друг другу. Каждый барабан оснащен четырьмя прямыми ножами, которые встречаются между собой в момент отрезки.

Момент отрезки сопровождается ударом, который передается приводу вращения барабанов.

Кромкокрошитель имеет противоударное устройство, но оно снижает только часть ударной нагрузки.

В барабанах применяется гильотинная схема резания: ножи барабанов имеют прямые режущие кромки, которые при отрезке параллельны друг другу.

Сам процесс отрезки проходит в два этапа: сначала ножи режущей кромкой вминаются в отрезаемый металл, затем начинается процесс резания, заканчивающийся резким снижением усилия резания – ударом, предающийся приводу барабанов.

Существует несколько других схем резания: резание наклонными ножами односторонними, резание несколькими ножами двусторонними (шеvronный рез), резание ножами с дуговой режущей кромкой и т.п.

В работе рассмотрены три схемы резания: прямыми ножами, наклонными и шевронными ножами.

В работе выполнены расчёты на усилие резания с целью выбрать такую схему резания, которая бы снизила ударную нагрузку и усилие на элементы привода барабанов кромкокрошителей.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УЧАСТКЕ АПР ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТРУБ МАЛОГО ДИАМЕТРА АО «ВМЗ»**

*Кадулин Н.В., Фролова Н.А.*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Выкса*

Даны сведения о технологическом процессе порезки рулонного проката на штрипсы.

Предложены мероприятия по совершенствованию технологии.

*Ключевые слова:* исходная заготовка, штрипс, дисковые ножницы, агрегат продольной резки.

В ТЭСЦ-2 производятся трубы диаметром 12,7 до 133 мм для выпуска водогазопроводных и профильных труб малого диаметра с улучшенными потребительскими свойствами.

Исходной заготовкой для производства труб является штрипс в рулонах, полученный после порезки на АПР.

На сегодняшний момент в цехе произведена реконструкция линий по производству труб малого диаметра, поэтому агрегату продольной резки требуется реконструкция. АПР сегодня - «узкое» место в ТЭСЦ-2.

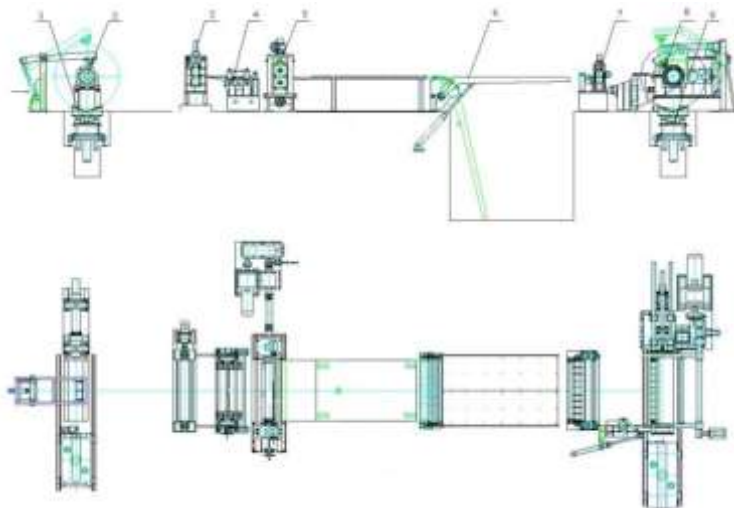
В данной работе предлагается заменить старый агрегат продольной резки на новый – марки Fagor (Италия).

Оборудование состоит из накопителя рулонов, разматывателя с отгибателем переднего конца полосы, гильотинных ножниц, задающего устройства, дисковых ножниц, моталки, электронной системы управления.

Краткое описание технологического процесса агрегата продольной резки:

1.1 Рулоны устанавливаются мостовым краном в накопитель, откуда каждый из них подхватывается грузочной тележкой, доставляющей его к разматывателю, поднимается и автоматически заводится на барабан.

1.2 Откидывающийся стол для раскрытия рулона помогает начать разматывание первых витков рулона и завести его конец в тянущие ролики. Барабан разматывателя оснащен двигателем переменного тока, выполняющим торможение, благодаря чему обеспечивается оптимальное и неизменное значение усилия тяги при разматывании.



*Рисунок 1*

1.3 Чтобы устранить эффект кривизны рулона, используется портал в виде откидывающейся рамы с гидравлическим приводом. Раздвижной откидной стол позволяет работать с рулонами различного диаметра и служит для облегчения процесса разматывания первых витков рулона и для поддержания полосы до их заправки в тянущие ролики.

1.4 Для удаления поверхностных загрязнений со стальной полосы на выходе из правильного устройства предусматривается один щеточный ролик система вакуумного отсоса сразу за правильным устройством. Гильотинные ножницы выполняют торцевую обрезку полосы. На инспекционном столе может производиться визуальный контроль полосы сверху и снизу.

1.5 Разматыватель, тянущий ролик, правильное устройство, вертикальные направляющие и подающие ролики перед дисковыми ножницами устанавливаются на подвижной раме, автоматически перемещаемой для центрирования полосы на входе в дисковые ножницы. Данная система управляется с помощью индуктивного портала, размещенного около дисковых ножниц. Вертикальные направляющие и тянущие ролики, предназначенные для направления полосы во время резки, расположены на входе в дисковые ножницы. Боковые направляющие ролики находятся в контакте с кромкой полосы.

1.6 Дисковые ножницы служат для продольной резки исходной полосы на более узкие полосы согласно установленным значениям количества резов и ширины. Дисковые ножи установлены на валах, разделяются с помощью металлических дистанционных втулок. Валы с ножами крепятся с одной стороны на неподвижной стойке с помощью опорных валов, установленных в подшипниках и обеспечивающих параллельность; и с другой стороны – они установлены в подшипниках на передвижной стойке.



*Рисунок 2*

1.7 Поворотная консоль позволяет заранее подготовить три комплекта инструмента и служит для выгрузки и загрузки инструмента в

автоматическом режиме (рисунок 2). Консоль может поворачиваться на 360° с помощью гидравлического двигателя и блокироваться в четырех позициях с помощью гидравлического цилиндра. Весь узел может передвигаться по направляющим в сторону дисковых ножниц с приводом от гидравлического двигателя. Кромки, обрезанные в дисковых ножницах, подаются на кромкокрошительные ножницы, где происходит измельчение обеих кромок и выгрузка порезанного скрапа.

1.8 На выходе их компенсационной ямы порезанные полосы разделяется с помощью сепараторных валов, установленных на передвижном устройстве натяжения. Данное устройство служит также для создания необходимого натяжения для наматывания и поддержания его неизменным в течение всего процесса и для подхватывания порезанных полос и перемещения от дисковых ножниц на барабан разматывателя. После системы натяжения порезанные полосы поступают на моталку.

1.9 Готовые рулоны подхватываются разгрузочной тележкой и переводятся на разгрузочную консоль. Разгрузочная тележка оснащена системой «пианино» для мин. диапазона ширины штрипса, которая придерживает рулоны и позволяет снять их с моталки без обвязки. Тензодатчики, интегрированные в разгрузочную тележку, соединенные с термопринтером для распечатки наклеек на готовые рулоны, определяют вес рулонов на разгрузочной тележке. Принтер распечатывает также информацию с этикетки исходного рулона.

1.10 С помощью 4 телевизионных камер, расположенных в зоне разматывателя, дисковых ножниц, кромкокрошителя и моталки рабочий процесс отражается на экране, разделенном на 4 секции. Этот экран устанавливается на основном пульте управления. Защитные ограждения линии обеспечивают безопасность оператора, они закрывают доступ к линии во время ее работы. Доступ к узлам, входящим в состав линии, возможен только через специальные двери.

Технические характеристики оборудования:

Макс. наружный диаметр рулона, мм	2300
Мин. наружный диаметр рулона, мм	1200
Максимальная отрезаемая длина, мм	1000
Цикл резки, секунды	13

Установка нового АПП позволит:

- автоматический контроль качества ленты;
- синхронизация с линией стана;
- автоматическая регистрация данных;
- управление работой агрегата продольной резки осуществляется на сенсорном пульте управления;
- автоматическая замена режущего инструмента.

На основании выше изложенного было принято решения о демонтаже старого агрегата и о приобретении установки агрегата продольной резки фирмы Fagor (Италия).

В процессе выполнения работы были выполнены прочностные расчеты вала, расчеты часовой производительности агрегатов, а так же приведены расчеты технико-экономических показателей.

#### Литература:

1. [www.ao-vmz.pf](http://www.ao-vmz.pf)
2. [www.fagorarrasate.com](http://www.fagorarrasate.com)
3. Технология и оборудование трубного производства / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец и др. Инжиниринг, 2007.- 560 с.
4. Технологическая инструкция ТИ ТЭСЦ-2.

### ПОЛУЧЕНИЕ ОСОБОТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ ДЛЯ ПОЛЫХ ВАГОННЫХ СОЕЙ НА АГРЕГАТЕ 73-270 В УСЛОВИЯХ АО «ВМЗ»

*Е.С. Юшеров, В.П. Романенко*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Выкса*

Среди других видов транспорта, железнодорожный, во многих промышленно развитых странах занимает одно из ведущих мест. Это объясняется его универсальностью и возможностью обслуживать производящие отрасли хозяйства и удовлетворять потребности населения в перевозках. Именно поэтому, несмотря на относительно интенсивное развитие автомобильного, воздушного и трубопроводного транспорта, железнодорожный транспорт остаётся важным средством перемещения грузов и перевозок населения.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, особотолстостенные трубы, винтовая прокатка, очаг деформации, заготовки для вагонных осей.

Работа посвящена исследованию возможности получения особотолстостенных труб на агрегате 73-270, с соотношением D/S от 2,8 до 4,0, различных полых изделий.

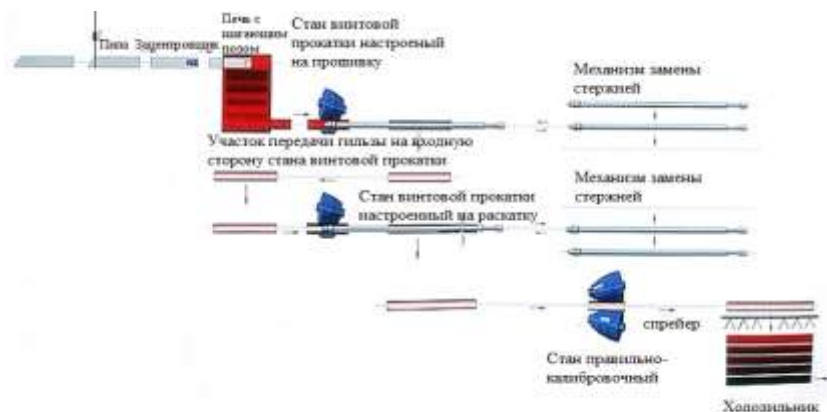
Такие исследования являются актуальными, в частности, для получения таких труб в качестве заготовок полых вагонных осей. В настоящее время в этой области работают учёные «НИТУ «МИСиС», АО «ВМЗ», ВНИИЖТ и др.

Целью работы является исследование возможности получения особотолстостенных труб на агрегате 73-270 в условиях АО «ВМЗ».

Представляемый агрегат был введён в 2009 году, для производства муфтовых труб диаметром от 73 до 269,9 мм.

Технологическая схема ТПА 73-270 представлена на рисунке 1. Круглая заготовка, порезанная на мерные длины с точной зацентровкой переднего торца, в холодном состоянии передается в нагревательную печь,

где обеспечивается равномерный нагрев по диаметру и по длине заготовки в заданном интервале температур.



*Рисунок 1. Последовательность производственного процесса*

При достижении конечной температуры нагрева, толкатель отправляет заготовку из печи по рольгангу в двухвалковый стан винтовой прокатки для прошивки.

Осуществление прошивки происходит на универсальном стане прошивки-раскатки. Прошивка заготовки осуществляется на сферической оправке. Второй стадией обработки на этом участке является раскатка прошитой заготовки на том же стане, но с применением конической оправки.

После прошивки заготовка транспортируется на входную сторону стана.

Одновременно с перемещением заготовки для последующей раскатки происходит автоматическая замена стержней. Применение при раскатке короткой конической оправки и корректировка ее положения в очаге деформации позволяют повысить управляемость процессом и расширить размерный сортамент труб.

После раскатки черновая труба транспортируется в калибровочный стан. Калиброванные трубы по диаметру производятся в трехвалковом стане винтовой прокатки при угле подачи 12 градусов и обжатия по диаметру до 5 процентов.

После процесса калибровки готовые трубы при температуре 870-940 градусов Цельсия поступают на холодильник цветного типа. По мере продвижения по холодильнику трубы могут быть подвергнуты водовоздушной обработке, что дает возможность улучшить их физико-механические и служебные свойства.



Представляемый трубопрокатный агрегат является мобильной и эффективной трубопрокатной установкой, предназначенной для производства высококачественных труб и трубных заготовок широкого размерного сортамента из углеродистых и легированных марок стали и различных сплавов.

В работе была поставлена задача получение особотолстостенных труб с соотношением D/S до 4,0 на данном агрегате. Для этого были рассчитаны очаги деформации, режимы прокатки и параметры настройки, для труб 237x70 мм, 225x75 мм, 219x77,5 мм, рассчитаны энергосиловые параметры на прошивном стане. Выполнен расчёт рабочего инструмента – оправок и линеек для получения таких труб. Расчёты выполнены по методикам, изложенным в литературе [1,2]. При использовании таких заготовок в качестве исходных для полых вагонных осей типа РУ1Ш [3,4] важным элементом является расчёт экономии металла, так как это позволяет увеличить грузоподъёмность железнодорожных составов. По проверочным расчётам [5], такая экономия составляет от 80 до 100 кг.



*Рисунок 2. Схема очага деформации при прошивке особотолстостенной трубы 237x70мм*

По методике представленной в [1] была рассчитаны режимы прокатки особотолстостенных труб на оборудовании агрегата 73-270.

Таблица 1. Таблица прокатки заготовок на ТПА 73-270.

Конечная особотолстостенная труба		Заготовка	Прошивной стан			Раскатной стан			Калибровочный стан		
D	S		D <sub>з</sub>	D	d	μ	D	d	μ	D	d
219	77,5	240,2	240,2	71	1,35	225,7	68,3	1,43	223,9	68,3	1
225	75	253,4	253,4	84	1,51	231,85	79,45	1,44	230,05	79,45	1
237	70	260	260	101	1,86	241,64	99,18	1,49	239,84	99,18	1

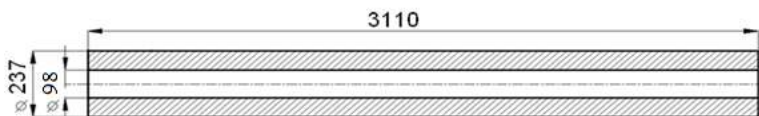


Рисунок 3. Заготовка для полых вагонной оси типа РУШ



Рисунок 4. Заготовки для полых вагонных осей типа РУШ

#### Выводы.

1. Рассмотрен процесс получения особотолстенных труб на агрегате 73-270 АО «ВМЗ». Установлено, что на этом агрегате возможно получение особотолстенных заготовок с соотношением D/S от 3,38 до 2,82.

2. Рассчитан очаг деформации и режимы прокатки особотолстенных труб, размером 237х70 мм, 225х75мм, 219х77,5мм, на прошивно-раскатном и калибровочном станах.

3. По результатам полученных энергосиловых параметров прокатки таких труб на прошивном стане агрегата, которые показали, что их значения меньше технических характеристик (2 МН). Так, при прокатке трубы размером 237х70, усилие металла на валок равно 1,5 МН, а при прокатке трубы 219х77,5 – 1,8 МН.

4. При использовании таких труб в качестве заготовок для полых вагонных осей, показано, что экономия металла может составлять от 80 до 100 кг на одну ось.

5. Такие заготовки могут быть использованы как полые заготовки для полых вагонных осей, валов различного назначения, втулок и других полых изделий машиностроения.

#### Литература:

1. Технология трубного производства: Учебник для вузов /В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 640 с.: ил.

2. Трубное производство: учеб. /Б.А. Романцев [и др.], - 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 970с.

3. Школьник Л.М., Коваленко Ю.Е., Мартынов Н.И., Усова Л.А. Полые оси и валы. М. : Машиностроение, 1968.

4. ГОСТ 33200-2014 «Оси колёсных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия».

**СНИЖЕНИЕ НА ГОТОВЫХ МУФТАХ ПРОЦЕНТА БРАКА  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА УЧАСТКЕ  
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В ТЭСЦ №5.  
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ДЕФЕКТОВ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА НАЧАЛЬНОМ  
ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА МУФТ**

*Д.А. Чванов*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

Для повышения конкурентоспособности трубной продукции, выпускаемой АО «ВМЗ», большое внимание уделяется качеству выпускаемой продукции, в том числе муфтовых заготовок.

В работе был проведен сравнительный анализ по отбраковки муфт, выявлены ключевые переделы где происходит основная отбраковка, так же предоставлены металлографические исследования выявленных дефектов, произведена оценка ключевых факторов, которые влияют на образование данного дефекта в виде «плена», таких как исходный металл для производства бесшовной трубы, поверхностная окалина образовавшаяся при производстве бесшовной трубы, состояние рабочего инструмента прошивного стана (валок, оправка), температура нагрева заготовки.

Для снижения процента отбраковки по нецеховой причине в виде дефекта «плена» были предложены 5 таких направлений развития, как обточка муфты или бесшовной трубы перед задачей в производство, травление труб в ванной с химическими реагентами, обработка муфты или трубы на иглофрезерном станке, дробиметная обработка, и модернизация уже существующего прошивного, установка гидросбива окислыны и применение более качественных валков.

В данной работе представлена экономическая часть проекта, где был произведен расчет статьи затрат на муфтонарезной комплекс за месяц, рассчитаны затраты на изготовление резьбы, рассчитан средний расходный коэффициент металла, потери, вызванные отбраковкой по не цеховой причине.

Результатом работы явились:

- увеличение объемов производства за счет снижения времени на зачистку и перепроверку муфтовых заготовок;
- исключение поставок несоответствующей продукции потребителю;
- сокращение отбраковки на готовых муфтах;
- снижение затрат на производство муфт: уменьшение производственного цикла на изготовление одной муфты, снижение

энергозатрат, уменьшение затрат на режущий инструмент, экономия человеческих ресурсов.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ РОЛИКОВОЙ ПРОВОДКИ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

*А.С. Бойко, В.Н. Лавров*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г.Москва,  
Инженерно-технологический центр АО «ВМЗ», г. Выкса*

Непрерывная разливка стали - сложный процесс получения из жидкой стали слитков – заготовок, формируемых непрерывно по мере поступления жидкого металла с одной стороны кристаллизатора и вытягивания частично затвердевшей заготовки с противоположной стороны.

В Литейно-прокатном комплексе (ЛПК) г. Выкса существует проблема образования продольной трещины на слябе. Одна из причин появления дефекта – недостатки в существующей конструкции машины непрерывного литья заготовок. Решением данной проблемы является модернизация роликовой проводки машины.

*Ключевые слова:* машина непрерывного литья заготовок, литейно-прокатный комплекс, роликовая проводка.

Недостатки конструкции роликовой системы приводят к серьезным проблемам с качеством слябов и производительностью МНЛЗ. В процессе эксплуатации МНЛЗ отмечаются отклонения от режимов разливки и от требований по качеству разливаемой продукции. Причина в том, что существующая конструкция роликов зоны вторичного охлаждения ТС МНЛЗ имеет конструктивные недостатки, которые заключаются в:

- большом диаметре роликов;
- большом расстоянии между торцами роликов в центральных опорах;
- большим и постоянным шаге между роликами.

В результате может происходить выпучивание затвердевающей корочки сляба между роликами и внедрение роликов в тело сляба, а также повышенные колебания уровня жидкого металла в кристаллизаторе [1].

Данные недостатки обусловлены «возрастом» конструкции, так как она проектировалась исходя из уровня технического развития подшипниковой промышленности 16-летней давности.

Выпучивание корочки сляба между роликами является основной причиной возникновения горячих «гнездообразных» трещин, проходящих через поперечное сечение сляба по всей ширине. Прокат из таких слябов имеет дефекты в виде внутренних трещин, что для трубного металла не допустимо (рис.1).



*Рис.1. Внутренняя трещина в слябе*

Наиболее подвержены образованию трещин среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,17...0,22% (Ст.20, 22ГЮ и т.п.), таким образом, данная проблема распространяется на 60% портфеля заказов ЛПК.

Повышенные колебания уровня в кристаллизаторе приводят к увеличению содержания неметаллических включений. Вероятность внедрения роликов в тело сляба не позволяет увеличить скорость разливки узких слябов выше 4 м/мин. Эксперименты по устранению перечисленных недостатков за счет изменения технологических параметров разливки, не дали положительных результатов. Единственным возможным способом полного устранения данных проблем является модернизация конструкции роликовой проводки с использованием роликов новой конструкции.

Во избежание раздутия сляба его поверхности поддерживают роликами, расположенными в сегментах зоны вторичного охлаждения. Диаметры роликов и шаг между ними выбираются, исходя из величины ферростатического давления, необходимости обеспечения жёсткости роликов (возможность воспринимать нагрузку без прогибов), а также несущей способности подшипников и минимально возможного выпучивания сляба в шаге между роликами [2].

Тем не менее, на слябовых МНЛЗ (и особенно для литья тонких слябов), даже при наличии многоопорной конструкции роликов с уменьшенными диаметрами и шагами, может происходить выпучивание затвердевающей корочки между роликами.

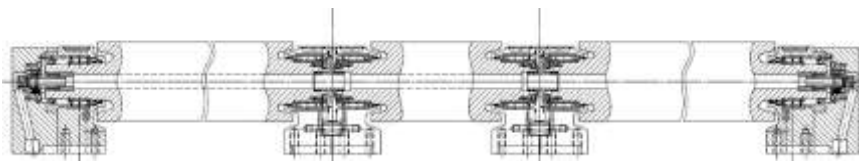
МНЛЗ ЛПК проектировалась более 15 лет назад, исходя из технического уровня подшипниковой промышленности того времени. Конструкция её роликовой проводки характерна для МНЛЗ того периода и не позволяет минимизировать выпучивание.

Наличие недостатков в роликовой проводке МНЛЗ приводит к следующим негативным последствиям:

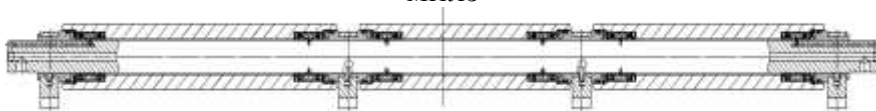
- образуется дефект макроструктуры сляба в виде внутренних горячих трещин;
- вызывает повышенные колебания уровня металла в кристаллизаторе;
- ограничивает возможность в широких пределах изменять интенсивность вторичного охлаждения;
- ограничивает возможность увеличения скорости разливки и, как следствие, производительности МНЛЗ.

Главным объектом модернизации машины непрерывного литья заготовок является изменение конструкции роликов и расстояния между торцами соседних роликов - шага.

На рисунке 2 и 3 представлены конструкции ролика, используемого в настоящее время, и ролика «рукавного» типа, который должен стать заменой используемому.



*Рис.2. Конструкция ролика, используемого в данный момент на МНЛЗ*



*Рис.3. Конструкция ролика «рукавного» типа*

Ролик МНЛЗ работает в тяжелых условиях, определяемых циклическим термонагрузением и восприятием значительных нагрузок от ферростатического давления и разгиба слитка.

В результате на поверхности бочки развиваются термические трещины, довольно быстро превращающиеся в сетку разгара, причем первоначально образование сетки разгара носит положительный характер, так как при этом снимается стеснение температурных деформаций и исчезают термонапряжения в поверхностном слое. В дальнейшем от воздействия силовых нагрузок, вызывающих большие изгибные деформации (так как ролик при относительно малых диаметрах имеют большую длину), трещины интенсивно растут и могут приводить к поломкам роликов [3].

Главным отличием роликов являются подшипниковые узлы. На ролик новой конструкции будут установлены подшипники, состоящие из двух подвижных колец подшипника (втулок) и сепаратора с игольчатыми роликами.

При повышении и понижении температур во время и по окончании разливки, втулки расширяются и, соответственно, сужаются. Таким образом, постоянно сохраняется зазор в подшипнике, который предотвращает заедание направляющих валков.

Преимуществом для конструкторов является то, что нет необходимости предусматривать возможность демонтажа подшипника в сложных конструкциях, так как монтаж и демонтаж разъемного подшипника осуществляется без снятия других элементов конструкции.

С целью выполнения условий эксплуатации подшипников, верхние части корпуса подшипника снабжены системой водяного охлаждения. В подобных случаях узлы подшипника специально конструируются для каждой отдельной установки с учетом конкретных условий. Это касается конструктивных особенностей подшипников, а также корпусов и уплотнений. В этом случае именно промежуточные подшипники должны выдерживать самую большую нагрузку.

Реконструкция роликковой проводки МНЛЗ ЛПК позволит:

- привести оборудование МНЛЗ в соответствие с современными техническими решениями и сделать задел для дальнейшей успешной работы ЛПК, в частности, по увеличению производительности и расширению марочного сортамента;
- уменьшить выпучивание кристаллизующейся корочки и улучшить качество макроструктуры слябов, проката и труб из среднеуглеродистых сталей;
- стабилизировать уровень металла в кристаллизаторе;
- увеличить производительность МНЛЗ за счёт увеличения скорости разливки слябов шириной 1000 – 1300 мм;
- снизить вероятность образования поперечных трещин по следам качания за счёт повышения температуры поверхности слябов в зоне разгиба.

#### **Литература:**

1. Мирсалимов В.М., Емельянов В.А. Напряженное состояние и качество непрерывного слитка. М.: Металлургия. 1990. – 151 с.
2. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. – М.: Металлургия, 1988. – 143 с.
3. Исаев О.Б., д.т.н. Конспект лекций по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали».

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ И ОСОБЕННОСТЕЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛИ МАРКИ Т ПО ГОСТ 10791-2011 ПОСТАВКИ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЁС**

*А.И. Седышев*

*АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса*

В настоящее время на Выксунском Металлургическом Заводе проходит активная модернизация и оптимизация технологических процессов, в частности, в КПЦ ДЖДК производство железнодорожных колёс из комплектных слитков стали собственного производства переводится на изготовление данной продукции из непрерывнолитой заготовки поставки АО «Уральская Сталь».

Мировой опыт показывает, что замена слитка, отлитого в изложницу, непрерывнолитой заготовкой (НЛЗ) требует внесения определённых корректировок в существующие технологические режимы производства продукции. Коренное изменение технологии производства стали требует проведения комплексных исследований качества продукции на всех стадиях производства.

На начальном этапе освоения производства железнодорожных колёс из непрерывнолитой заготовки на АО «Уральская Сталь» специалисты предприятия столкнулись с тем, что при одинаковом химическом составе и режимах термического упрочнения, колёса, изготовленные из непрерывнолитой заготовки, после прохождения всех технологических

операций, имеют более низкие прочностные характеристики, в сравнении с колёсами, изготовленными из слитка собственного производства, несмотря на более дисперсную исходную структуру металла и довольно высокую степень чистоты по неметаллическим включениям.

Материалом для исследования послужили образцы, изготовленные из слитка сифонной разливки собственного производства Ø470 мм и непрерывнолитой заготовки производства АО «Уральская Сталь» Ø455 мм из стали марки Т по ГОСТ 10791-2011, а также образцы изготовленных из них колёс, отобранные на различных переделах колёсопрокатного производства.

В процессе работы проведено исследование особенностей формирования дендритной структуры, сформированной в процессе охлаждения микроструктуры по сечению слитка сифонной разливки собственного производства Ø470 мм и непрерывнолитой заготовки производства АО «Уральская Сталь» Ø455 мм из стали марки Т по ГОСТ 10791-2011, загрязнённости неметаллическими включениями, ликвации и распределения химических элементов по их сечению. Определено влияние особенностей строения слитка и НЛЗ на процессы, протекающие в металле, и изменения структуры, оказывающие влияние на физико-механические свойства на всех переделах колёсопрокатного производства.

Проведены сравнительные физико-механические испытания образцов из колёс, отобранных после проката, проведения нормализации и термического упрочнения с отпуском. По результатам проведенного анализа следует отметить, что несмотря на более высокую твёрдость по сечению исходной заготовки (разница 30 НВ) и более высокое содержание легирующих элементов (Mn на 0,03% и Cr на 0,06%) колёса, изготовленные из непрерывнолитой заготовки производства АО «Уральская сталь», после окончательной термической обработки (заковки и отпуска) при испытаниях на растяжение образцов из обода показали более низкие значения временного сопротивления (ниже на 40 Н/мм<sup>2</sup>) в сравнении с колёсами, изготовленными из слитка по идентичным режимам, при практически одинаковом уровне твёрдости и пластических характеристик (относительное удлинение и сужение). По результатам испытаний образцов на растяжение из диска колеса, временное сопротивление на 20 Н/мм<sup>2</sup> выше у колёс, изготовленных из НЛЗ и составляет 948 Н/мм<sup>2</sup>, пластические характеристики (относительное удлинение и сужение) находятся на одном уровне. По результатам спектрального химического анализа на образцах из колёс, изготовленных из НЛЗ производства «Уральская Сталь», отмечается значительный разброс содержания углерода и других элементов по всему сечению колеса, что связано с повышенными скоростями охлаждения при кристаллизации заготовки в процессе непрерывной разливки стали, что в значительной мере оказывает влияние на ликвацию химических элементов и дендритное строение заготовки. На образцах из колёс, изготовленных из слитка собственного производства, значительной ликвации углерода и других химических элементов отмечено не было, что связано с более



равномерным охлаждением металла при разливке стали сифонным способом в изложницы.

Данная закономерность в механических свойствах объясняется исходными особенностями кристаллического строения непрерывнолитой заготовки производства АО «Уральская сталь». Место вырезки разрывного образца приходится на зону столбчатых кристаллов в заготовке. Замечено, что содержание пор и сульфидных включений на данном уровне в непрерывнолитой заготовке производства АО «Уральская сталь» в 1,5 раза выше, чем в слитке сифонной разливки собственного производства. В готовых колесах разница в значениях физико-механических свойств сопоставима с микроструктурными особенностями металла на этом уровне.

На предприятиях АО «ЕвразНТМК» и АО «Интерпайп НТЗ» получение более высоких и стабильных прочностных свойств металла решается за счёт дополнительного легирования колёсной стали такими элементами как С, V, Cr, Ni, Mo, что приводит к значительному повышению себестоимости производства стали для железнодорожных колёс. По результатам проведенной работы в колёсопрокатном производстве АО «ВМЗ» скорректирована технология термического упрочнения колёс из НЛЗ для получения более высоких и стабильных прочностных свойств железнодорожных колёс, при отсутствии дополнительного легирования стали.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА РУЛОННОГО ПРОКАТА ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛИ НА ЛПК АО «ВМЗ»**

*Е.А. Солдатов, А.В. Мунтин, Д.И. Ермаков, В.В. Подтелков, В.В. Науменко  
АО «Выксунский металлургический завод», Выкса*

Литейно-прокатный комплекс (ЛПК) АО «ВМЗ» обладает большим потенциалом, который позволяет не уменьшать объемы готовой продукции даже в самые кризисные времена. ЛПК первым в России освоил выпуск горячекатаного плоского проката по наиболее экономичной технологии из тонких слябов (толщиной 90 мм) на основе совмещения выплавки, непрерывной разливки и прокатки в едином процессе, создавая при этом условия для сокращения затрат и обеспечения энергетической эффективности. Уникальная компоновка основного оборудования стана 1950 включающая в себя туннельную печь, две группы клетей, подогреваемый ролянг, секции промежуточного и ускоренного охлаждения, предоставляет широкие возможности в использовании технологии контролируемой прокатки, которая является эффективным, но одновременно сложным способом, ввиду большого числа технологических факторов, влияющих на получение проката с заданными свойствами.

Принимая во внимание общепринятую классификацию, на ЛПК основной марочного сортамента являются низколегированные марки с массовой долей углерода до 0,22 %. Это обусловлено спецификой комплекса, которая заключается в том, что он, в первую очередь, предназначен для обеспечения высококачественным трубным металлом АО «ВМЗ». Самый сложный с точки зрения механических свойств на настоящий момент - рулонный прокат из стали класса прочности К60, однако, потенциальные заказы со стороны внешних потребителей предусматривают необходимость в освоении продуктовой линейки с более высокими прочностными и эксплуатационными показателями (кроме хладостойкости). Увеличивая содержание углерода в стали и вводя такие легирующие элементы как марганец, хром и никель можно добиться исполнения требований заказчика. Однако при переходе к массовому производству таких сталей и с учетом сложности технологической цепочки получения продукта, необходимо детальное понимание процессов, происходящих при разливке, прокатке и охлаждении металла в ходе экспериментов на действующем промышленном оборудовании, которые при минимальных первичных наработках с большой вероятностью окажутся без требуемого результата.

В связи с этим актуальной задачей становится проведение комплекса лабораторных и исследовательских работ направленных на снижение рисков и значительных затрат перед предварительным опробованием производства среднеуглеродистого легированного сортамента.

Основной целью работы является определение ключевых параметров технологии производства высокопрочных конструкционных сталей, обеспечивающих качество, требуемые механические свойства и служебные характеристики листового и рулонного проката.

Для достижения поставленной цели проведены комплексные исследования, как в лабораторных, так и в промышленных условиях:

1. Определение возможности разливки на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) основано на результатах исследования горячей пластичности в условиях комплекса физического моделирования Gleeble 3180.

2. Оценка энергосиловых параметров при прокатке среднеуглеродистых сталей на стане 1950 с различными деформационными параметрами (степень обжатия, скорость деформации, температура) проводилась двумя методами – по специально разработанной формуле (первичными данными для которой послужили эксперименты на Gleeble 3800) и методом базисных давлений.

3. Исследование способов охлаждения до и после смотки полосы в рулон проходило по результатам экспериментов на дилатометре, опытных прокаток и охлаждения в условиях ЦНИИчермет, промышленного производства, моделирования в программной системе конечно-элементного анализа «ANSYS».

По полученным результатам сделаны следующие выводы:

1. Возможности электросталеплавильного и прокатного цеха не ограничены производством стальной с массовой долей углерода до 0,28 %. Уникальная компоновка основного оборудования предоставляет широкий потенциал для разработки и освоения марок сталей с более высоким набором легирующих элементов, к числу которых относится среднеуглеродистый высокопрочный сортамент.

2. Проведение полного комплекса экспериментов и исследований позволяет выработать оптимальные с технологической точки зрения маршрут и требуемые настройки оборудования для выпуска качественной продукции. В качестве материала для исследований выбран горячекатаный прокат промышленного производства с содержанием углерода до 0,36 %. Выбор сталей обусловлен необходимостью определения степени влияния композиции химических элементов на процессы, протекающие в условиях ЛПК АО «ВМЗ».

3. Высокоуглеродистый марочный сортамент, легированный хромом, никелем, молибденом обладает повышенной чувствительностью к трещинообразованию в части продольных трещин, трещин по складкам качания кристаллизатора. При разработке режимов разлива, в зависимости от легирования, следует учитывать характеристики горячей пластичности для каждой стали в отдельности. В ходе работы показана хорошая сходимость кривых, построенных по результатам оценки относительного сужения образцов после испытаний на растяжение на Gleeble 3180, с экспериментами по прокатке слитков с литой структурой нагретых до различных температур на лабораторном стане ДУО-300. Благоприятный температурный диапазон в зоне вторичного охлаждения должен соответствовать областям с высокими значениями относительно сужения в местах исключаяющих резкие переходы от точки высокотемпературного падения пластичности и точки минимальной пластичности.

4. Показано, что для определения возможности прокатки полос из среднеуглеродистых легированных марок сталей и предотвращения возможных аварийных ситуаций, связанных с отключением элементов главной линии из-за превышения допустимых энергосиловых параметров, требуется точный расчет сопротивления деформации. При определении допустимых режимов прокатки для высокопрочной среднеуглеродистой легированной марки стали с содержанием углерода 0,35 % выработана схема определения ЭСП (усилие при прокатке) основанная на результатах лабораторной продольной прокатки на стане ДУО-300, экспериментов по сжатию цилиндрических образцов на установке Gleeble 3800 и промышленного производства горячекатаных полос в условиях стана 1950. В ходе сравнительной оценки используемых моделей установлена практическая ценность методики определения сопротивления деформации. Обозначены оптимальные температурно-деформационные режимы, обеспечивающие стабильные условия прокатки в клетях стана 1950 и учитывающие склонность сталей к закаливанию.

5. Условия охлаждения для сталей с повышенным углеродом играют решающую роль при формировании требуемых механических свойств. При промышленном производстве ряда марок наблюдалась высокая корреляция аттестационных параметров проката и режимов охлаждения на отводящем рольганге. Так как зачастую высокопрочный прокат подвергается дополнительной термообработке (отжиг, отпуск, нормализация), в металле важно обеспечить однородную феррито-перлитную структуру, равномерно распределенную по длине и ширине полосы. Следствием последнего становится стабильный процесс порезки в линии АПР и оптимальный профиль полосы. В ходе работы рассмотрено два этапа охлаждения: охлаждение на отводящем рольганге и замедленное охлаждение в рулоне. Первый этап показал применимость термокинетических диаграмм и модели охлаждения реализованной в Excel, совокупное использование которых, позволило установить причины получения высоких прочностных и неравномерных свойств промышленного проката. Исследование неравномерного распределения временного сопротивления разрыву и предела текучести по длине позволило определить границы неравномерности, для которых созданы особые условия охлаждения на отводящем рольганге – маскирование концевых участков. Второй этап в большей мере предназначен для среднеуглеродистых легированных сталей содержащих хром, марганец, молибден. При проведении эксперимента по охлаждению предварительно деформированного проката на воздухе и с печью, выявлена существенная разница в микроструктуре и прочностных свойствах проката, которая составляла около 800 МПа. Для выбранных температурно-деформационных параметров прокатки подтверждено, что превращение аустенита будет протекать в смотанном рулоне. При таких обстоятельствах конечная структура и свойства будут определяться условиями охлаждения рулона. Техническим приемом, позволяющим предотвратить недостатки замедленного охлаждения на спокойном воздухе в радиальном и осевом направлении, является замедленное регулируемое охлаждение в специальных устройствах – термосах (коробках). Моделирование процесса остывания рулона в данных устройствах определило требуемую конструкцию короба, а также подтвердило его необходимость в случае реального производства стали марки среднеуглеродистых легированных сталей.

7. Общие и положительные результаты работы складываются из принципиально нового подхода к разработке и освоению сталей сложного химического состава, который объединил в общей схеме параметры, полученные с лабораторных экспериментов, промышленного производства и компьютерного моделирования. Анализ сравнительных данных велся с использованием новых программных продуктов (модель определения коэффициентов сопротивления деформации, модель охлаждения на отводящем рольганге, оффлайн модель стана PWS), которые нашли свою практическую применимость по ходу проведения работы. Главный итог –

техническая возможность производства среднеуглеродистого легированного сортамента требуемого качества в условиях ЛПК есть, однако для ее реализации требуется проведение промышленных экспериментов по выданным рекомендациям с учетом технологических особенностей каждого участка.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ МЕЖКЛЕТЬЕВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ЛИСТОПРОКАТНОМ ЦЕХЕ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

*Ковальчук Т.В., Гусев А.А., К.В. Лицин,  
Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",  
Новотроицкий филиал*

В данной статье авторами разработана система автоматического регулирования электропривода установки межклетьевого охлаждения листового проката в ЛПЦ-1 АО "Уральская сталь". Обоснован выбор векторного преобразователя частоты. Предложено описание принципа работы установки межклетьевого охлаждения. Представлена функциональная схема предлагаемой системы автоматического регулирования. Проведен расчет необходимых параметров для реализации предлагаемой системы.

*Ключевые слова:* система автоматического регулирования, электропривод, преобразователь частоты, листовой прокат, охлаждение.

В настоящее время в листопрокатном цехе в установке межклетьевого охлаждения (УМО) используется двигатель постоянного тока. Как известно, двигатели постоянного во многом уступают по некоторым показателям статических и динамических характеристик двигателям переменного тока [1-3]. В связи с этим, предварительно были выбраны асинхронный двигатель и преобразователь частоты для модернизации УМО [4]. В данной статье необходимо разработать систему автоматического регулирования для того, чтобы развить тенденцию к применению автоматизированных электроприводов для обеспечения автоматизации всего процесса.

Задачами для осуществления данной цели являются:

- осуществление выбора системы автоматического регулирования электропривода согласно необходимым требованиям;
- расчет системы автоматического регулирования электропривода установки межклетьевого охлаждения АО «Уральская Сталь».

Так как в большинстве случаев в каталогах фирмы производителя не указываются все параметры обмотки двигателя, необходимые для расчета статических характеристик двигателя, а также расчета регуляторов, то все требуемые для этого данные рассчитываются с некоторой погрешностью, согласно методическим указаниям [5].

Одним из основных требований к электроприводу установки межклетьевого охлаждения является точность останова. Поэтому, а также,

согласно другим требованиям, целесообразно использовать векторный преобразователь частоты, который в совокупности с выбранным асинхронным двигателем образует систему автоматического регулирования, представленную на рисунке 1. Остальные требования приведены в [6].

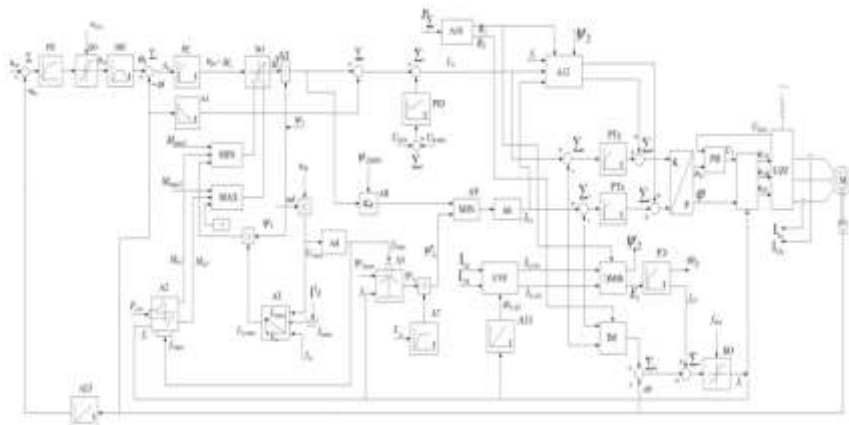


Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматического регулирования электропривода установки межклетьевого охлаждения

В таблице 1 представлены рассчитанные значения схемы замещения асинхронного двигателя, согласно методике [7].

Активное сопротивление статора, $R_s$ , Ом	Активное приведенное сопротивление ротора, $R'_s$ , Ом	Индуктивность статора, $L_s$ , Гн	Приведенная индуктивность ротора, $L'_r$ , Гн	Индуктивность рассеяния статора, $L_{ls}$ , Гн	Взаимная индуктивность, $L_m$ , Гн
0,1064	0,0329	0,01603	0,01603	0,000297	0,0157

Динамические свойства преобразователя частоты с блоками измерения и преобразования координат могут быть упрощенно представлены передаточной функцией инерционного звена (1).

$$W_{nc}(p) = \frac{K_{nc}}{T_\mu p + 1}, \quad (1)$$

$$W_{nc} = \frac{38}{0,002p + 1}.$$

где  $K_{nc}$  - коэффициент усиления преобразователя частоты;

$T_\mu = 0,002$  с - некомпенсируемая малая постоянная времени преобразователя частоты.

Канал регулирования потокосцепления состоит из двух аperiodических

звеньев с передаточными функциями (2) и (3):

$$W_1 = \frac{1/R_s}{T_s p + 1}, \quad (2)$$

$$W_1' = \frac{L_m}{T_r p + 1}. \quad (3)$$

Поэтому система регулирования канала потокосцепления строится как двухконтурная система подчиненного регулирования - с внутренним контуром управления по току статора  $I_{sx}$  и с внешним - по модулю потокосцепления ротора.

В структурной схеме системы управления образованы два независимых канала регулирования, в которых параметры регуляторов рассчитываются известными методами [8].

Номинальное значение потокосцепления АД  $\Psi_n$  (4):

$$\Psi_n = \frac{2 \cdot M_n}{3 \cdot p_n \cdot L_m / L_r \cdot I_{sy}}, \quad (4)$$

$$\Psi_n = \frac{2 \cdot 292}{3 \cdot 2 \cdot (0,0157 / 0,01603) \cdot 76,908} = 1,289 \text{ Вc}.$$

где  $I_{sy}$  – активная составляющая тока статора, А;

$p_n$  - число полюсов статора;

$M_n$  – номинальный момент двигателя.

В соответствии с методикой расчета систем подчиненного регулирования, каждый из контуров канала потокосцепления настраивается на модульный оптимум с применением ПИ-регуляторов, компенсирующих соответствующие аperiodические звенья.

Внутренний контур тока  $I_{sy}$  настраивается на модульный оптимум, и, следовательно, имеет ПИ-регулятор тока с передаточной функцией, рассчитываемой по формуле (5):

$$W_{pmy}(p) = \frac{T_s p + 1}{T_{uy} p}, \quad (5)$$

где  $T_{uy}$  - постоянная времени интегрирования контура регулирования активной составляющей тока статора, с;

$K_{om}$  - коэффициент обратной связи по току статора.

Внешний контур регулирования потокосцепления содержит ПИ-регулятор потока с передаточной функцией, которая в свою очередь рассчитывается по формуле (6):

$$W_{P\psi}(p) = \frac{T_{\psi} p + 1}{T_{u\psi} p}, \quad (6)$$

$$W_{P\psi}(p) = \frac{0,487 p + 1}{0,057 p}.$$

где  $T_{\psi}$  - электромагнитная постоянная времени роторной цепи, с;

$T_{u\psi}$  - постоянная времени интегрирования контура регулирования.

Передаточная функция регулятора скорости описывается выражением (7):

$$W_{pc}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu}} \cdot \frac{2 \cdot L_r \cdot J_{\Sigma} \cdot K_{oc}}{3 \cdot p_n \cdot L_m \cdot K_{om} \cdot \psi}, \quad (7)$$

$$W_{pc}(p) = \frac{1}{4 \cdot 0,002} \cdot \frac{2 \cdot 0,01603 \cdot 0,32 \cdot 0,064}{3 \cdot 2 \cdot 0,0157 \cdot 0,017 \cdot 1,289} = 39,59.$$

где  $J_{\Sigma}$  - суммарный момент инерции электропривода, кг·м<sup>2</sup>;

$K_{oc}$  - коэффициент обратной связи по скорости, В·с.

Таким образом, была предложена автоматическая система установки межклетьевого охлаждения листового проката в ЛПЦ-1 АО "Уральская сталь". Проведен расчет параметров передаточных функций для реализации математической модели системы электропривода переменного тока. Точная настройка (параметрирование) преобразователей частоты для выбранных электродвигателей может быть проведено на месте.

#### Литература:

1. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И.Вольдек. – М.: Энергия, 1998. – 311 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода учебник для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
3. Басков С.Н. Принцип векторно-импульсного управления электродвигателями переменного тока / С.Н. Басков, К.В. Лицин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – 2013. – Т. 13, №1. – С. 92-95.
4. Лицин К.В. Автоматизация установки межклетьевого охлаждения листового проката в ЛПЦ-1 АО «Уральская Сталь» / К.В. Лицин, Т.В. Ковальчук, Я.В. Макаров // Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 460 с. : ил. с. 219 - 222.
5. Басков С.Н. Исследование положения вектора потокосцепления ротора при векторно-импульсном пуске / С.Н. Басков, А.С. Коньков, Т.В. Черкас, К.В. Лицин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – 2012. – №37. – С. 68-72.



6. Ковальчук Т.В. Модернизация системы электропривода сталкивателя установки межклетьевого охлаждения ЛПЦ-1 АО «Уральская сталь» / Т.В. Ковальчук, К.В. Лицин // Актуальные проблемы в машиностроении: научно-технический производственный журнал. Материалы пятой международной научно-практической конференции. – 2018. – Т.5. – №1. – С. 60-65.

7. Басков С.Н. Исследование положения вектора потокосцепления ротора при векторно-импульсном пуске / С.Н. Басков, А.С. Коньков, Т.В. Черкас, К.В. Лицин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – 2012. – №37. – С. 68-72.

8. Маклаков А.С. Влияние на сеть трёхфазного мостового двухуровневого активного выпрямителя напряжения при различных видах ШИМ / А.С. Маклаков, А.А. Радионов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2013. – №2. – С. 40-47.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ СЛЯБОВ НА ПРОДОЛЬНУЮ ПОРЕЗКУ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

*К.А. Царуш, Я. В. Макаров, К.В. Лицин*

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский технологический университет МИСИС», г.Новотроицк*

Рассмотрена разработка системы автоматического регулирования электропривода устройства подачи слябов на продольную порезку в условиях электросталеплавильного производства АО «Уральская Сталь» (г. Новотроицк, Оренбургская обл.). Обоснован выбор системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» для данной системы. Проведен расчет для двух установок данного устройства. Реализована математическая модель системы автоматического регулирования.

*Ключевые слова:* электропривод, математическая модель, сталкиватель, преобразователь частоты.

В эру технического прогресса улучшение уже имеющегося оборудования и замена его новым является актуальной задачей, в результате выполнения которой предприятия получают дополнительную выгоду [1]. При повышении требований к качеству выпускаемой продукции возникает тенденция к усовершенствованию уже существующих производственных процессов путём внедрения прогрессивных методов решения тех или иных технологических задач, а иногда и к полной замене устаревшего оборудования новым, отвечающим нормам и требованиям современных стандартов качества и производительности [2].

Целью данной статьи является разработка системы автоматического регулирования электропривода устройства подачи слябов на продольную порезку в ЭСПЦ АО «Уральская Сталь».

Достигнуть поставленной цели предлагается за счет решения следующих задач:

- осуществить выбор системы автоматического регулирования электропривода переменного тока согласно необходимым требованиям;
- провести расчёт необходимых параметров для реализации системы электропривода переменного тока.

Для разработки системы автоматического регулирования электропривода переменного тока необходимо произвести ряд расчетов, на основании которых будет составлена математическая модель системы автоматического регулирования устройства подачи слябов на продольную порезку в условиях электросталеплавильного цеха АО «Уральская Сталь». Так как устройство подачи слябов на продольную порезку состоит из установки сталкивателя и подъемника расчет будет произведен для двух двигателей. Реализацию работы электропривода предлагается реализовывать по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» [3].

Упрощённая модель системы регулирования электропривода переменного тока представлена на рисунке 1 [4].

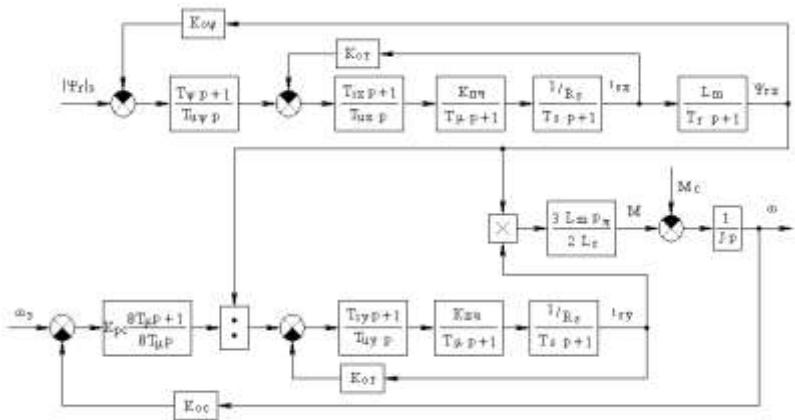


Рисунок 1 – Упрощенная математическая модель системы регулирования электропривода переменного тока

В таблице 1 представлены рассчитанные обмоточные данные двигателя АИР180S4 для установки сталкивателя. Обоснование и выбор данного двигателя проведён в статье [5].

Таблица 1

Активное сопротивление статора, $R_s$ , Ом	Активное приведенное сопротивление ротора, $R's$ , Ом	Индуктивность статора, $L_s$ , Гн	Приведенная индуктивность ротора, $L'r$ , Гн	Индуктивность рассеяния статора, $Lls$ , Гн	Взаимная индуктивность, $Lm$ , Гн
0,0914	0,264	0,03	0,03	0,00059	0,0302

Расчет передаточных функций проводились по методике, изложенной в [6]. Динамические свойства преобразователя частоты,

выбранного в статье [5], с блоками измерения может быть упрощенно представленной передаточной функцией инерционного звена (1):

$$W_{ПЧ} p = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu p+1}}, \quad (1)$$

$$W_{ПЧ} p = \frac{38}{0,02p + 1},$$

Объектом регулирования во внутреннем контуре регулирования тока  $I_{SY}$  (ток статора), является обмотка статора, описываемая аperiодическим звеном (2):

$$W_2 p = \frac{1 \cdot R_s}{T_{sp+1}}, \quad (2)$$

$$W_2 p = \frac{3,82}{0,098p + 1},$$

Контур настраивается на модульный оптимум, и, следовательно, имеет ПИ-регулятор тока с передаточной функцией, рассчитываемой по формуле (3):

$$W_p p = \frac{T_s+1}{T_{uy}p}, \quad (3)$$

$$W_p p = \frac{0,098p + 1}{0,013p},$$

Внешний контур регулирования потокосцепления содержит ПИ-регулятор потока с передаточной функцией, которая в свою очередь рассчитывается по формуле (4):

$$W_{p\psi} p = \frac{T_{\psi p+1}}{T_{uv}p}, \quad (4)$$

$$W_{p\psi} p = \frac{0,337p + 1}{0,009p},$$

Передаточная функция регулятора скорости будет иметь следующий вид (5):

$$W_{pc} p = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu}} \cdot \frac{2 \cdot L_r \cdot J_{\Sigma} \cdot K_{oc}}{3 \cdot p \cdot L_m \cdot K_{от \cdot \psi}} \quad (5)$$

$$W_{pc} p = 9,85$$

В таблице 2 представлены рассчитанные обмоточные данные двигателя АИР200М4 для установки подъемника. Обоснование и выбор данного двигателя проведён в статье [5].

Таблица 2

Активное сопротивление статора, $R_s$ , Ом	Активное приведенное сопротивление ротора, $R's$ , Ом	Индуктивность статора, $L_s$ , Гн	Приведенная индуктивность ротора, $L'r$ , Гн	Индуктивность рассеяния статора, $Lls$ , Гн	Взаимная индуктивность, $Lm$ , Гн
0,13	0,0491	0,014	0,014	0,0001	0,0141

Аналогичные расчеты, по формулам (1) – (5) проводятся и для двигателя подъемника:

$$W_{пч\ p} = \frac{38}{0,02p + 1},$$

$$W_2\ p = \frac{7,69}{0,098p + 1}$$

$$W_p\ p = \frac{0,00041p}{0,248p + 1}$$

$$W_{p\psi}\ p = \frac{0,284p}{0,284p}$$

$$W_{pc}\ p = 25,98$$

В итоге, была предложена автоматическая система устройства подачи слэбов на продольную порезку в условиях электросталеплавильного цеха АО «Уральская Сталь». Проведен расчет параметров передаточных функций для реализации математической модели системы электропривода переменного тока. Точная настройка (параметрирование) преобразователей частоты для выбранных электродвигателей может быть проведён на месте.

#### Литература:

1. Сивак Б.А. Актуальные направления и задачи развития металлургического машиностроения России / Б.А. Сивак, А.В. Наливайко // Вестник ЮНИДО в России. – 2014. – №13. – с.33-36.
2. Ганин, Д.Р. Обзор и анализ устройств для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок / Д.Р. Ганин, К.В. Лицин, Е.А. Шевченко // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2018. № 1. С. 58-65.
3. Baskov S.N., Litsin K.V. Vector-pulse control principle of ac motors // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2013. Т. 13. № 1. С. 92-95.
4. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И.Вольдек. – М.: Энергия, 1998. – 311 с.
5. Лицин К.В. Царуш К. А., Гусев А.А. Разработка алгоритма автоматизации подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ / Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с. : ил. с. 82 – 84
6. Ключев, В.И. Теория электропривода учебник для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

## **МОБИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДРОБЛЕНИЯ И ГРОХОЧЕНИЯ В КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ЩЕБНЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ДОРОГ**

*В.К. Дородный, В.Н. Климов,*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования*

*«Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»,*

*г. Старый Оскол*

В статье приведена информация о мобильных дробильно-сортировочных установках с конусными дробилками компании Metso Minerals, об их экономической эффективности, а также рекомендации по области применения данных установок.

*Ключевые слова:* мобильные дробильно-сортировочные установки; Metso Minerals; экономическая эффективность; область применения.

Цель исследования. Изучить предлагаемую технологию переработки рудных и нерудных материалов с помощью мобильных дробильно-сортировочных установок с конусными дробилками компании Metso Minerals серии Lokotrack и выявить преимущества использования данных установок по сравнению со стационарными ДСК и рекомендовать для применения на открытых горных выработках.

Постановка задачи. В настоящее время большую популярность обретают мобильные дробилки и дробильные комплексы, имеющие ряд существенных преимуществ перед стационарными. Основное их достоинство - мобильность, позволяющая быстро устанавливать дробильный комплекс в наиболее удобное место для обработки породы.

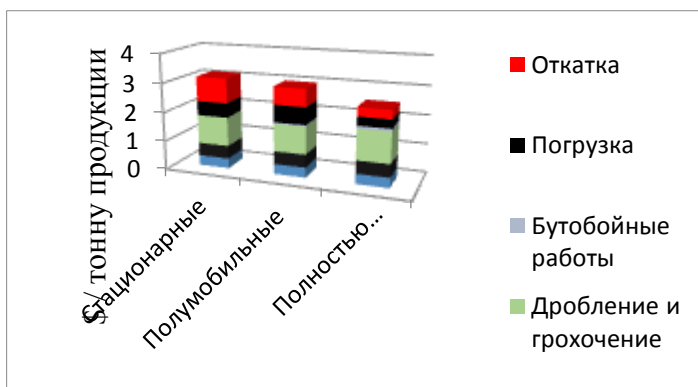


Рисунок 1. Общие затраты на тонну продукции

Мобильность позволяет осуществлять дробление "на ходу", что снижает затраты на транспортировку породы и продукции, а также устранить необходимость в карьерных самосвалах и снизить потребности в рабочей силе. Важным преимуществом является и то, что мобильные дробилки не нуждаются в дорогостоящих массивных фундаментах, на возведение которых затрачивается много времени и средств. В совокупности эти факторы дают снижение общих затрат на тонну продукции по сравнению с использованием стационарных ДСУ (рис. 1).

Инновации и модернизация. В настоящее время мобильные установки объединяют процессы дробления и грохочения. В результате проведения данной операции, формируются дробильно-сортировочные комплексы.

Объект исследования. Одним из фаворитов в данной области выступает компания Metso Minerals. Данная компания использует технологию SmartScreen™, которая с помощью интеллектуального контроллера автоматически контролирует и управляет установкой для достижения оптимальных и стабильных результатов грохочения.

Применяется данная технология в мобильных дробильных установках серии Lokotrack (рис. 2). Их особенностью является возможность установки в непосредственной близости от рабочего забоя, а так же перемещения в случае необходимости на различные отрезки времени.



Рисунок 2. Установки Lokotrack LT200HP и Lokotrack 1100

Одним из преимуществ является использование конвейера для транспортировки руды или материала на последующие этапы переработки. Плюс состоит в том, что использование самосвалов весьма неэффективно, так как они используют до 60% энергии для перемещения собственного веса и лишь 40% на перемещение взорванной породы, к тому же половину рабочего времени самосвал движется пустым. Вторым плюсом является экономичность как в эксплуатации, так и в ремонте: мобильные конвейера содержат меньшее количество деталей, чем карьерные самосвалы, а следовательно, требуют меньшую потребность в запчастях.

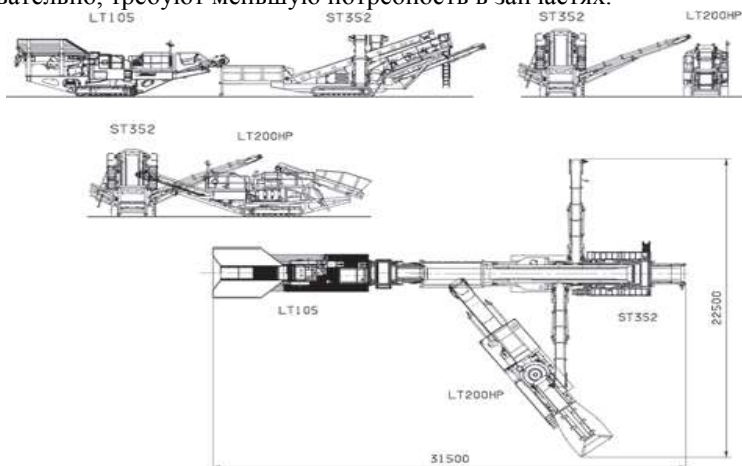
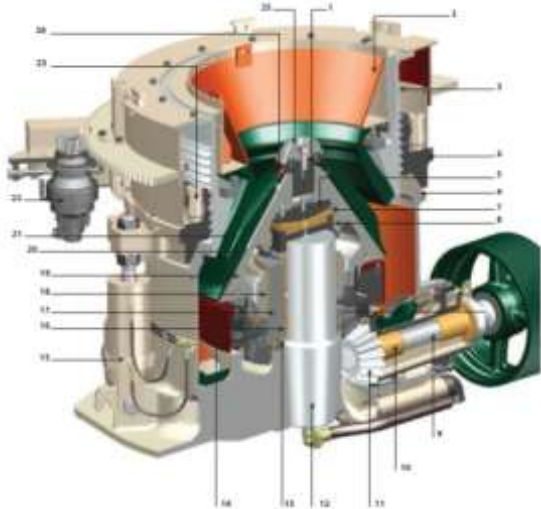


Рисунок 3. Установки со щековой и конусной дробилкой и мобильные грохоты

Мобильные конусные дробилки работают совместно с мобильными щековыми дробилками, образуя небольшой комплекс (рис. 3). Дополнительно присутствует мобильный грохот и мобильный конвейер. Принцип дробления в данных установках ничем не отличается от принципа дробления стационарных дробилок (рис. 4). С той лишь разницей, что сам процесс происходит непосредственно у забоя.



*Рисунок 4. Устройство конусной дробилки, используемой в мобильных ДСУ: 1 - Стопорный болт; 2 - Бункер питания чаши; 3 – Чаша; 4 - Регулировочное кольцо; 5 - Шаровая опора; 6 - Главная рама; 7 - Вкладыш гнезда шаровой опоры; 8 - Верхний вкладыш дробящего конуса; 9 - Приводной вал; 10 - Вкладыши приводного вала; 11 - Зубчатая пара; 12 - Главный вал; 13 - Упорный подшипник эксцентрика; 14 - Защита противовеса; 15 - Узел выгрузки недробимых кусков; 16 - Вкладыш эксцентрика; 17 – Эксцентрик; 18 - Нижний вкладыш дробящего конуса; 19 - Дробящий конус; 20 - Футеровка дробящего конуса; 21 - Футеровка чаши; 22 - Гидропривод регулировки; 23 - Зажимные цилиндры; 24 - Отрезное кольцо; 25 - Плита распределения питания.*

Конвейер Lokolink обеспечивает главное преимущество мобильным дробилкам – быстрое перемещение. Он связывает главный конвейер с дробильной установкой Lokotrack. В следствие этого снижается время простоев во время взрывных работ и перемещения забоя по карьере.

В таблице 1 приведены технические параметры мобильных установок дробления с конусной дробилкой с смонтированным грохотом. В них подающаяся руда сначала проходит операцию грохочения, в результате чего продукт питания сразу классифицируется. Это позволяет избежать попадания мелочи в дробилку, из-за чего повышается производительность, а так же срок эксплуатации.

Таблица 1. Технические характеристики мобильных установок с конусной дробилкой.

	Lokotrack LT200HP	Lokotrack LT1100
Конусная дробилка	Nordberg HP200: Загрузочное отверстие: 210 мм Разгрузочная шель: 14-19 мм	Nordberg GP11F Загрузочное отверстие: 200 мм Разгрузочная шель: 75 мм
Грохот	Nordberg ТК11-30-S	В380Т
Производительность	250 т/ч	350 т/ч
Габариты	Длина: 16750 мм Ширина: 3000 мм Высота: 3400 мм Вес: 30000 кг	Длина: 18500 мм Ширина: 3500 мм Высота: 3800 мм Вес: 51200 кг

Рекомендации по использованию МДСУ. Комплекс МДСУ рационально использовать непосредственно в карьере горно-транспортного комплекса.

Данные комплексы могут использоваться для дробления рудных и нерудных материалов. Исходя из производительности, их можно использовать для производства щебня кубовидной формы (рис. 5).

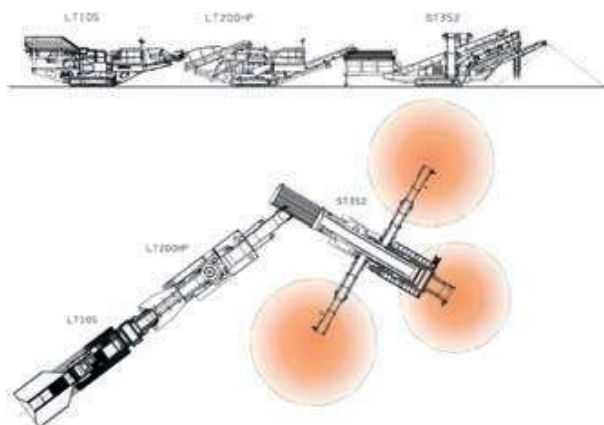


Рисунок 5. Схема комплекса мобильных щековой и конусной дробилок для производства щебня

Такой продукт можно использовать для покрытия внутрикарьерных дорог. Вследствие этого уменьшается износ протекторов шин внутрикарьерных самосвалов. Эта же форма щебня пользуется спросом у производителей строительных материалов.

На большинстве карьеров в настоящее время используются ДСК старых конструктивных моделей для производства такого щебня. Хотя они и выполняют необходимые задачи, их эксплуатационные затраты велики.



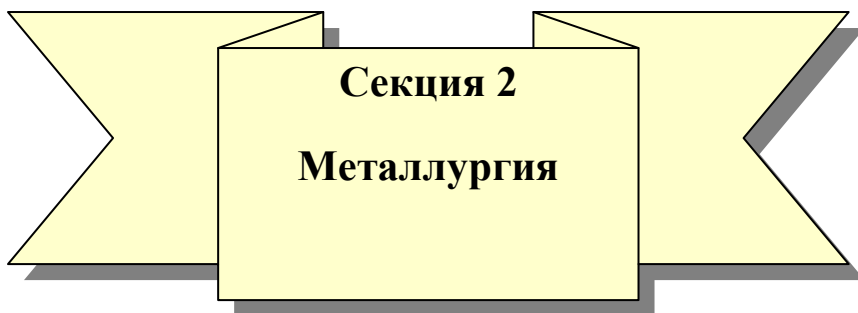
Использование МДСУ обеспечивает годовой объем получаемого щебня в 2190000 - 3066000 т. Это вполне покрывает внутренние потребности для содержания карьерных дорог.

#### Заключение

Использование МДСУ обеспечит экономическую эффективность в результате сокращения расходов на эксплуатацию карьерных самосвалов, а так же повысит качество получаемой продукции и обезопасит ведение работ в области первичного и вторичного дробления руды.

#### Литература:

1. URL: <http://www.metso.com/products/lokotrack-mobile-plants/mobile-cone-crusher-screen-lokotrack-lt220d/>
2. URL: <http://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/lokotrack-mobile-crusher-screen-plants-ru-2975.pdf>



## ВНУТРЕННЕЕ КАЧЕСТВО «ТОНКОГО» СЛЯБА

*В.В.Кислица, С.А.Сомов, Е.Л.Ворожеева, К.С.Сметанин  
Инженерно-технологический центр, АО«ВМЗ», г.Выкса*

На литейно-прокатном комплексе регулярно контролируется внутреннее качество слябов толщиной 90мм. В данной работе представлена методика оценки макроструктуры тонкого сляба, приведены результаты воздействия дефектов макроструктуры слябов на качество металлопродукции.

*Ключевые слова:* сляб, макроструктура, методика.

Внутреннее качество сляба являлось одним из параметров гарантийных обязательств поставщика технологического оборудования ЛПК - фирмы DANIELI: «...все образцы слябов не будут иметь сегрегации, осевой пористости, внутренних трещин и включений, которые имеют отрицательное влияние на качество конечной горячекатаной полосы, что определяется макротравлением». Фрагменты от слябов первых разливаемых плавков начали отбираться с целью контроля качества металла с 27 июня 2008 г. Оценка внутреннего качества проводилась визуальным сравнением выявленной макроструктуры сляба с таблицей стандартов DANIELI, указанных в «гарантированных эксплуатационных показателях МНЛЗ». Эти таблицы представляют собой набор фотографий, не содержащих описание и размеры дефектов (рисунок 1). Контроль внутреннего качества сляба по таблицам DANIELI показал, что оценка происходит приближённо и субъективно.



*Рисунок 1 – Стандарты DANIELI.*

На рисунке 2 приведена макроструктура сляба 2-ой плавки стали 20 (содержание С 0,19%), изготовленной 27.06.2008. По шкалам DANIELI уровень внутренних дефектов соответствовал гарантиям компании DANIELI: сегрегация не более 2 класса, осевая пористость не более 2 класса, внутренние трещины не более 2 класса, включения не более 2 класса.

После завершения гарантийных испытаний в текущем производстве оценка внутреннего качества сляба стала проводиться по шкалам ОСТ 14-4-73 «Сталь. Метод контроля литой заготовки, полученной методом непрерывной разливки». В этом документе содержится описание дефектов, что значительно упрощает присвоение баллов макроструктуре.



*Рисунок 2 – Макроструктура сляба 2-ой плавки, разлитой 26.07.2008г.*

В слябах проводилась оценка осевой рыхлости, осевой химической неоднородности, осевых трещин, трещин угловых и ликвационных полос, трещин гнездообразных. Вид дефектов с максимальными баллами в поперечном сечении приведён на рисунке 3.



*осевая рыхлость*



*осевая химическая неоднородность*



*осевые трещины*



*трещины гнездообразные*

*Рисунок 3 – Вид внутренних дефектов в поперечном сечении*

Существенным затруднением в ходе работы по ОСТ 14-4-73 явилось то, что шкалы в документе схематичные и разработанные в период производства «толстого» сляба. Проводить объективный контроль макроструктуры «тонкого» сляба по этому документу затруднительно. Например, рисованные шкалы дефектов «осевая рыхлость», «осевая химическая неоднородность», «осевые трещины» выглядят идентично (Рисунок 4). Каждый раз в ходе оценки возникали споры и обсуждения. Техническими сотрудниками АО «ВМЗ» разработан внутренний стандарт предприятия по оценке макроструктуры тонкого сляба. Основой документа послужила база макроструктур «тонких» слябов, накопленная с запуска литейно-прокатного комплекса. Требования к вырезке темплетов из сляба,

подготовке контролируемой поверхности сформулированы исходя из потребностей в технологическом контроле и результатов множества экспериментов.

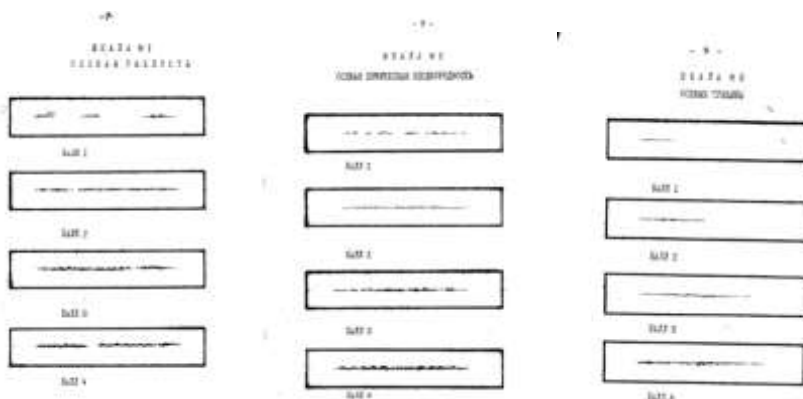


Рисунок 4 – Шкалы дефектов ОСТ 14-4-73

Шкалы составлены из «живых» накопленных фотографий слябов различного сортамента и с различными вариантами развития дефектов. Ещё одним преимуществом внутреннего стандарта по сравнению с ОСТ 14-4-73 стала расширенная описательная часть дефектов. Например: в ОСТ внутренние трещины систематизируются по своим размерам и количеству в поперечном сечении, в стандарте предприятия присвоение баллов происходит по размеру, количеству, а также по раскрытию трещин. В стандарте предприятия принято важное методическое решение: дефекты измерять на продольных темплетях, расчёт количества дефектов проводить на поперечных темплетях. Данный подход значительно уменьшил споры, недоразумения и позволил объективно оценивать баллы дефектов макроструктуры «тонкого» сляба.

Регулярная оценка внутренних дефектов «тонкого» сляба позволила собирать и консолидировать информацию о качестве полупродукта – «тонкого» сляба и его влиянии на качество готового проката.

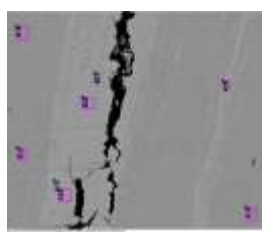
Внутренние дефекты непрерывнолитого сляба трансформируются в ходе деформации при горячей прокатке и оказывают влияние на конечное качество готовой металлопродукции. Наиболее примечательными с точки зрения влияния на качество готового продукта являются дефекты макроструктуры такие как «гнездообразные трещины» в слябах с содержанием С  $0,15 \div 0,35\%$ . Гнездообразные трещины – это внутренние «горячие» поперечные трещины, образованные при воздействии растягивающих напряжений вдоль оси заготовки, превышающих прочность стали при данной температуре.

Грубые гнездообразные трещины при последующей прокатке вытягиваются вдоль продольной оси полосы (рисунок 5 - вид в поперечном

сечении: а – сляб, б – подкат после черновой группы, в – готовый прокат). При последующей формовке трубы внутренние дефекты раскрываются и трансформируются в «околошовные трещины» из-за возникающих растягивающих напряжений (рисунок 5 г – околошовная зона трубы в поперечном сечении) либо из-за обогащения ликватами приводят к формированию некачественного сварного шва, появлению индикаций УЗК и неудовлетворительным результатам на сплющивание.



Рисунок 5 – Макроструктура в поперечном сечении: а) – сляб, б) – подкат, в) – готовый прокат, г) сварное соединение

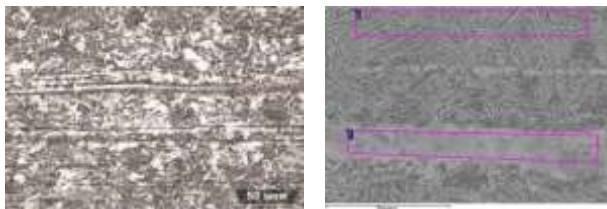


Спектр	C	Mg	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	3.67		0.56			0.16	2.37	92.67	0.24	0.33
2	3.26		0.60			0.14	2.56	92.91	0.25	0.28
3	3.62		0.53			0.10	2.09	92.90	0.27	0.48
4	3.17		0.31			0.09	1.21	94.93	0.10	0.19
5	3.02		0.33			0.08	1.26	94.83	0.21	0.28
6	3.10		0.32			0.11	1.19	95.06	0.17	0.06
7	3.36	0.23	0.34		9.56	0.19	19.17	66.77	0.14	0.23
8	3.74		0.62	0.21	3.07	0.18	7.33	84.24	0.22	0.39

Рисунок 6 – Содержание химических элементов вдоль трещины в околошовной зоне.

Как видно на рисунках 5 (г) и 6 околошовная трещина распространяется в вдоль линии сплавления из  $\frac{1}{4}$  толщины стенки трубы (по месту раскатанной гнездообразной трещины). Микроструктура вдоль трещины представляет собой мартенсит, обогащенный химическими элементами, повышающими прокаливаемость стали: Si 0,57%, Cr 0,17%, Mn 2,5%, содержание которых больше в 2 раза, чем в основном бездефектном металле. В основном металле с феррито-перлитной структурой содержание элементов составляет Si 0,32%, Cr 0,1%, Mn 1,24%. Вдоль трещины присутствуют сульфиды марганца и меди; субмикронные частицы с элементами Pb, Ag размером 100÷250нм, примеси цветных металлов Ni, Cu, As.

Спектр	Si	Si	Fe
1	0.55	2.88	92.45
2	0.30	1.34	94.35



*Рисунок 7 – Вид вытянутых локальных участков с химической сегрегацией в прокате*

Механические характеристики локальных участков с химической сегрегацией значительно отличаются от остальной толщины проката, что характеризуют значения микротвёрдости: 512 против 250HV<sub>0,1</sub>. На рисунке 7 видно, что в структуре проката присутствуют локальные вытянутые участки с содержанием марганца в 2 раза больше, чем в основном металле: 2,88% против 1,34%.

Разработанная методика оценки макроструктуры «тонкого» сляба является востребованным инструментом контроля внутреннего качества полупродукта. Достоверная идентификация внутренних дефектов металлопродукции необходима для принятия правильных технологических решений.

#### **Литература:**

1. Металлографические заключения АО «ВМЗ» 2012÷2018г.г.
2. Аналитические записки АО «ВМЗ» 2012÷2018г.г.

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛИТКА ВАКУУМНО-ИНДУКЦИОННОЙ ВЫПЛАВКИ ИЗ СПЛАВА INCONEL 718 В УСЛОВИЯХ ПАО «РУСПОЛИМЕТ»**

*А.И. Демченко, Е.Л. Корзун, А.В. Бурда  
ПАО «РУСПОЛИМЕТ», г. Кулебаки*

Выполнен анализ существующей технологии разливки цилиндрических слитков из сплава Inconel 718, выплавленных в вакуумно-индукционной печи, в условиях ПАО «Русполимет». Выполненный анализ показал, что существующая технология не обеспечивает получения плотного слитка требуемого качества вследствие наличия пористости в осевой зоне, а также ликвации на макроуровне. С использованием программы Thermo-Calc версии 2017a была рассчитана неравновесная температура солидус, равная 1091°C. На основании полученных результатов с помощью системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) было рассчитано оптимальные значения скорости разливки и скорректирована температура разливки с 1470°C до 1460°C. Выплавлена партия слитков по скорректированной технологии, получено снижение пористости осевой зоны слитка и снижение ликвации на макроуровне. Авторами статьи предлагается в качестве основного второй вариант технологии, при котором получены слитки необходимой пористости. Показано, что в современной спецметаллургии

компьютерное моделирование металлургических процессов позволяет разработать оптимальную технологию, позволяющую получить качественный слиток уже на первом переделе, избежав при этом появления несоответствующей продукции.

*Ключевые слова:* никелевый жаропрочный сплав Inconel 718, вакуумно-индукционная печь, разливка, цилиндрический слиток, макроструктура.

В последнее время в мире наблюдается рост потребности в жаропрочных сплавах на хромоникелевой основе, изделия из которых обладают высоким сопротивлением к высокотемпературной коррозии и используются при производстве деталей турбинных двигателей для самолетов и других отраслей в нефтяной, химической и атомной промышленности. Существующая технология получения слитков из сплава Inconel 718 базируется на вакуумно-индукционной печи (ВИП) с последующим переделом на вакуумно-дуговой печи (ВДП) или электрошлаковой печи (ЭШП). При этом основы качества металла закладываются уже на стадии его выплавки, где основными критериями выступают химический состав металла и параметры разливки, которые и определяют свойства металла.

Цель данной работы – разработка технологических параметров разливки металла ВИП (температуры и скорости), обеспечивающих получение качественного, плотного, однородного литого слитка.

Разливка производится через специальный промковш футерованный корундом [1]. Наличие промковша обеспечивает возможность регулирования скорости разливки и дополнительную очистку металла от неметаллических включений.

Основным сортаментом продукции, получаемой на ВИП-4,6 в условиях ПАО «Русполимет» являются цилиндрические слитки диаметром от 285 до 600 мм, предназначенные для последующего передела на ЭШП и ВДП. В таблице 1 приведены основные параметры разливки и охлаждения слитков из сплава Inconel 718 диаметром 410 мм.

Таблица 1 – Параметры разливки сплава Inconel 718 в цилиндрический слиток диаметром 410 мм.

Вариант технологии	Диаметр разливочного стаканчика, мм	Время охлаждения слитка в аргоне, мин	Время охлаждения слитка на воздухе, мин
1	32	30	90
2	28	30	135

Слитки, разлитые по первому варианту технологии (табл.1) имели отклонения химического состава от целевых значений в пределах одного темплета, как показано в таблице 2.

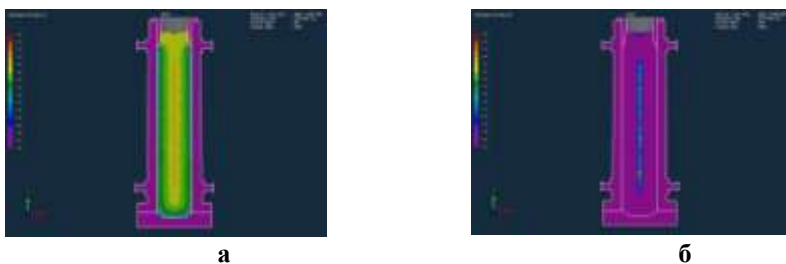
Таблица 2 – Средние отклонения химического состава от целевых значений в пределах одного темплета.

Легирующий элемент	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	Nb
Среднее относительное отклонение от целевого содержания, %	0,4	0,7	0,2	0,05	0,1	0,25



При дальнейшем ВДП электродов полученных слитков наблюдали нестабильность переplава, характеризующуюся колебаниями силы тока и падениями уровня вакуума.

Для уточнения времени выдержки слитка до полного его затвердевания вначале были уточнены температура солидус для равновесного процесса (1211°C) затвердевания и для неравновесного процесса (1091°C), процесс моделирования проводился в программном пакете Thermo-Calc версия 2017a. С целью снижения осевой пористости [2] и уменьшения химической неоднородности металла [3] было проведено компьютерное моделирование процесса разлики и затвердевания слитка по первому варианту технологии, затем были скорректированы скорость разлики путем снижения диаметра разливочного стаканчика с 32 мм до 28 мм и снижена температура разлики на 10°C. Моделирование проводилось с помощью системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП), которая использует для решения поставленной задачи метод конечных элементов. Для этого объем трехмерной математической модели разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции, причем значение функции на границах элементов заранее неизвестно, и является ее решением. В процессе расчета СКМ ЛП ищет решения этих дифференциальных уравнений, которые затем визуализируются. Итоговым результатом расчета является трехмерное представление отливки (слитка, формы и т.п.) с отображением температурных полей, доли жидкой фазы, значением усадки в зависимости от времени заливки. Программа учитывает снижение температуры солидус, рассчитанной в программе Thermo-Calc, в процессе кристаллизации слитка, что происходит за счет изменения химического состава в сторону снижения количества тугоплавких компонентов. Результаты программного моделирования пористости слитков, отлитых по двум вариантам технологии, представлены на рисунке 1.



*Рисунок 1– Результаты моделирования пористости слитка Inconel 718, разлитого (а – по первому варианту технологии; б – по второму варианту технологии)*

Выплавлена партия слитков по второму варианту технологии, отобраны продольные темплеты от слитков, выплавленных по обоим вариантам технологии (рис.2)



**а**



**б**

*Рисунок 2 – Макроструктура слитка Inconel718, разлитого (а – по первому варианту технологии; б – по второму варианту технологии)*

#### Выводы

1. После компьютерного моделирования получены необходимые параметры температуры скорости и разливки металла.

2. Разливка слитков по полученным параметрам позволила снизить пористость осевой зоны слитка и снизить химическую неоднородность в пределах одного темплета.

#### Литература:

1. INTECO special melting technologies GmbH. Справочник по эксплуатации. 8600 Bruck an der Mur AUSTRIA. 660с.
2. Смирнов А.Н., Макуров С.Н., Сафонов В.М., Цупрун А.Ю. Крупный слиток, Донецк 2009, 278 с.
3. Дюдкин Д.А., Крупман Л.И., Максименко Д.М. Усадочные раковины в стальных слитках и заготовках. М.: Metallurgia, 1983, 136с.

#### Bibliography:

1. INTECO special melting technologies GmbH. Operating Manual. 8600 Bruck an der Mur AUSTRIA. 660с.
2. Smirnov A.N., Makulov S.N., Safonov V.M., Tsuprun A.Yu. The large ingot, Donetsk 2009, 278 p.
3. Dudkin D.A., Krupman L.I., Maksimenko D.M. Shrink sleeves in steel ingots and billets. M.: Metallurgy, 1983, 136p.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВКИ НА ВЫХОД ГОДНОГО В ДСП**

*Е. В. Левина, Д. Г. Еланский*

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*

Одним из главных факторов, определяющих выход годного при плавке в ДСП, является состав металлозавалки. В данной работе было исследовано влияние составляющих металлозавалки на выход годного полупродукта на ДСП и проведен сравнительный анализ выхода годного между двумя заводами - Литейно-прокатным

комплексом (ЛПК), г. Выкса, и другим современным российским электросталеплавильным заводом (Завод 2).

*Ключевые слова:* выход годного металла, статистический анализ, множественная регрессия, металлошихта.

Темой данного исследования является изучение выхода годного при производстве полупродукта на ДСП, сравнение выхода годного между металлургическими заводами, - ЛПК и «Заводом 2», оценка влияния состава металлозавалки на выход годного металла. Вопрос повышения выхода годного является одним из самых актуальных в последние годы. Аналитический обзор литературы показывает, что предприятия стремятся к увеличению выхода годного, и данному вопросу уделяется большое внимание. В мире предприятия стараются повысить выход годного и снизить затраты, а для этого применяют новые решения в технике и оборудовании [3]. Например, компания «АББ Металлургия» в Швеции создала новую электромагнитную мешалку для повышения выхода годного на ДСП [4]. Предприятие «Годо Сталь» в Японии повышает выход годного путем снижения расхода кислорода и минимизации содержания оксидов железа в шлаке за счет оптимизации режима топливно-кислородных горелок [5]. На заводе компании Арселор Миттал в Мексике проводят исследования по влиянию пустой породы в ГБЖ на выход годного [6]. А на заводе Badische Stahl Werke изучили влияние углеродсодержащего материала, подаваемого в завалку, и работы кислород-подающих устройств на выход годного и усвоение ферросплавов. Результатом этих исследований стало изменение технологии и увеличение выхода годного на 0,8 % [7]. И многие другие заводы в мире разрабатывают усовершенствования технологии с целью повышения выхода годного. Но, в литературе отсутствуют данные о систематических исследованиях влияния состава металлозавалки при работе на ломе на выход годного. В основном проводили исследования других факторов влияния: окисление металла, потери металла при выпуске из ДСП, потери металла со шлаком, и т. п. [8]. Целью данного исследования является сравнение выхода годного при выплавке полупродукта в ДСП на двух заводах, а также анализ влияния состава металлошихты на выход годного при выплавке в ДСП с построением модели множественной регрессии.

Методика проведения исследования включала следующее:

- 1) Подготовка массивов данных по паспортам плавов двух заводов.
- 2) Сравнительный анализ выхода годного на ДСП ЛПК (ДСП-1) и Завода 2 (ДСП-2). Для этого в программе «STATISTICA» выполнили t-тест с использованием статистики Стьюдента, который позволяет определить, отличаются ли исследуемые выборки данных.

- 3) Анализ влияния состава металлозавалки и других параметров плавки на выход годного с помощью программы “STATISTICA”, получение коэффициентов множественной регрессии для зависимости выхода годного от массы составляющих металлошихты и расхода кислорода, природного газа и углерода. Определение значимости коэффициентов.

Задачей работы было оценить влияние основных показателей плавки на выход годного полупродукта на двух современных российских ДСП. Анализ провели с помощью программы “STATISTICA”.

Исходными данными для ДСП-1 служили 500 паспортов плавок за 2017 год, сталь марок 20, 22ГЮ, 3сп.

По результатам анализа паспортов плавок построили статистическое уравнение множественной регрессии:

$$Y_{\text{ДСП-1}} = 174,9 \pm 3,8 - 0,11 \pm 0,01 \cdot Q_{\frac{\text{э}}{3}\text{-уд.}} - 0,199 \pm 0,02 \cdot m_{\text{лом}} - 0,01 \pm 0,03 \cdot m_{\text{чуг.}} - 0,2 \pm 0,04 \cdot m_{\text{ГБЖ}} - 0,22 \pm 0,07 \cdot m_{\text{O2-уд.}} - (1 \pm 0,34) \cdot m_{\text{CH4-уд.}}$$

где  $Y_{\text{ДСП-1}}$  – выход годного полупродукта на ДСП-1, массовая доля;

$Q_{\frac{\text{э}}{3}\text{-уд.}}$  – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т;

$m_{\text{лом}}$  – общая масса лома в завалке, т;

$m_{\text{чуг.}}$  – общая масса чугуна в завалке, т;

$m_{\text{ГБЖ}}$  – общая масса ГБЖ в завалке, т;

$m_{\text{O2-уд.}}$  – удельный расход кислорода, м<sup>3</sup>/т;

$m_{\text{CH4-уд.}}$  – удельный расход природного газа, м<sup>3</sup>/т.

Интересно отметить, что на выход годного не влияет время от выпуска до выпуска плавки и время работы под током, а также удельный расход углерода. При этом парные коэффициенты корреляции между выходом годного и временем работы под током и временем от выпуска до выпуска самые высокие. На таком видимом парадоксе сказываются вариации иных параметров плавки.

На рисунке 1 представлена гистограмма распределения выхода годного на ДСП-1.

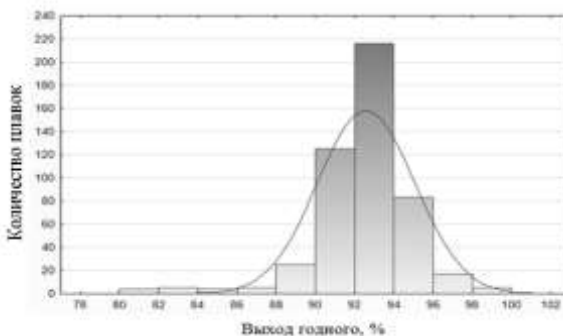


Рисунок 1 – Выход годного в ДСП-1

Был проведён сравнительный анализ выхода годного в ДСП-1 и в ДСП-2. На рисунке 2 представлена гистограмма распределения выхода годного в ДСП завода 2.

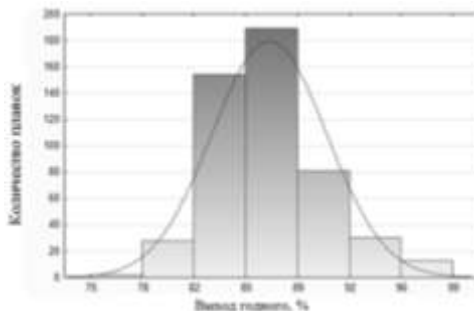


Рисунок 2 – Выход годного в ДСП-2

Для статистического анализа данных 500 паспортов плавков в ДСП-2 были взяты марки стали: 3Сп, 35ГС и 25Г2С. Результат проведенного t-теста между ДСП-1 и ДСП-2 представлен на рисунке 3.

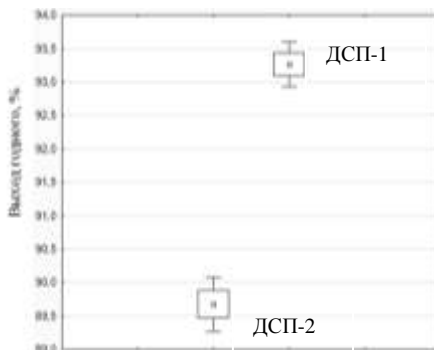


Рисунок 3 - Сравнение выхода годного между ДСП-1 и ДСП-2

Выход годного при выплавке в ДСП этих заводов статистически различается, и средний выход годного на ДСП-1 выше, а стандартная ошибка ниже, что свидетельствует о лучшей работе и лучшей стандартизации процесса выплавки на ДСП-1.

#### Выводы

Аналитический обзор литературы показывает, что металлургические предприятия в мире стремятся увеличить выход годного, так как это означает повышение производительности и экономической эффективности производства. Оптимизация расходов в ДСП обычно включает в себя компромисс между производительностью, потреблением электроэнергии и выходом годного в качестве основных факторов. Как показало проведение t-теста, выход годного при выплавке полупродукта в ДСП на «Заводе 2» и ЛПК статистически различается, что свидетельствует о лучшей стандартизации процесса выплавки на ЛПК. Множественная регрессия по ДСП на ЛПК показала, что на выход годного значительно влияет расход

кислорода и природного газа, а так же стальной лом и ГБЖ. В дальнейшем планируется исследовать влияние иных параметров плавки на выход годного.

#### **Литература:**

1. Sara A. Hornby Mini-Mill Burdening for Maximum Efficiency and Yield? // AISTech 2014 Proceedings.-2014.-P. 1027-1038.
2. Innovative Solution for Higher Productivity and Lower Cost in the EAF / Lidong Teng, Aaron Jones, Helmut Hackle. // AISTech 2015 Proceedings.-2015.-P. 1965-1973.
3. Йошинари Т. Выход годного // 9 европейская конференция по электрометаллургии.-2008.
4. Optimizing Fe Yield in an All-DRI-Fed EAF / Ruben Lule Gonzalez, Francisco Lopez Acosta, Dr. Michael Lowry e. a. // AISTech 2015 Proceedings.-2015.-P. 1906-1917.
5. Повышая эффективность использования энергии / Д. Г. Еланский, А. Гроссе, А. Опферман и др. // XIII международный конгресс сталеплавильщиков.-2014.-С. 73-76.
6. Стомахин А. Я., Еланский Г. Н., Еланский Д. Г. Основные достижения и пути дальнейшего развития технического уровня электросталеплавильного производства // Научное наследие кафедры МСиФ.-2013.-№ 2.

### **РЕКОНСТРУКЦИЯ РОЛИКОВОЙ ПРОВОДКИ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ**

<sup>1</sup>А.С. Бойко, <sup>2</sup>В.Н. Лавров

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
Инженерно-технологический центр АО «ВМЗ», г. Выкса*

Непрерывная разливка стали - сложный процесс получения из жидкой стали слитков – заготовок, формируемых непрерывно по мере поступления жидкого металла с одной стороны кристаллизатора и вытягивания частично затвердевшей заготовки с противоположной стороны.

В Литейно-прокатном комплексе (ЛПК) г. Выкса существует проблема образования продольной трещины на слябе. Одна из причин появления дефекта – недостатки в существующей конструкции машины непрерывного литья заготовок. Решением данной проблемы является модернизация роликовой проводки машины.

*Ключевые слова:* машина непрерывного литья заготовок, литейно-прокатный комплекс, роликовая проводка.

Недостатки конструкции роликовой системы приводят к серьезным проблемам с качеством слябов и производительностью МНЛЗ. В процессе эксплуатации МНЛЗ отмечаются отклонения от режимов разливки и от требований по качеству разливаемой продукции. Причина в том, что существующая конструкция роликов зоны вторичного охлаждения ТС МНЛЗ имеет конструктивные недостатки, которые заключаются в:

- большом диаметре роликов;
- большом расстоянии между торцами роликов в центральных опорах;
- большим и постоянном шаге между роликами.

В результате может происходить выпучивание затвердевающей корочки сляба между роликками и внедрение роликков в тело сляба, а также повышенные колебания уровня жидкого металла в кристаллизаторе [1].

Данные недостатки обусловлены «возрастом» конструкции, так как она проектировалась исходя из уровня технического развития подшипниковой промышленности 16-летней давности.

Выпучивание корочки сляба между роликками является основной причиной возникновения горячих «гнездообразных» трещин, проходящих через поперечное сечение сляба по всей ширине. Прокат из таких слябов имеет дефекты в виде внутренних трещин, что для трубного металла не допустимо (рис.1).



*Рисунок - 1 Внутренняя трещина в слябе*

Наиболее подвержены образованию трещин среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,17...0,22% (Ст.20, 22ГЮ и т.п.), таким образом, данная проблема распространяется на 60% портфеля заказов ЛПК.

Повышенные колебания уровня в кристаллизаторе приводят к увеличению содержания неметаллических включений. Вероятность внедрения роликков в тело сляба не позволяет увеличить скорость разливки узких слябов выше 4 м/мин. Эксперименты по устранению перечисленных недостатков за счет изменения технологических параметров разливки, не дали положительных результатов. Единственным возможным способом полного устранения данных проблем является модернизация конструкции роликковой проводки с использованием роликков новой конструкции.

Во избежание раздутия сляба его поверхности поддерживают роликками, расположенными в сегментах зоны вторичного охлаждения. Диаметры роликков и шаг между ними выбираются, исходя из величины ферростатического давления, необходимости обеспечения жёсткости роликков (возможности воспринимать нагрузку без прогибов), а также несущей способности подшипников и минимально возможного выпучивания сляба в шаге между роликками [2].

Тем не менее, на слябовых МНЛЗ (и особенно для литья тонких слябов), даже при наличии многоопорной конструкции роликков с уменьшенными диаметрами и шагами, может происходить выпучивание затвердевающей корочки между роликками.

МНЛЗ ЛПК проектировалась более 15 лет назад, исходя из технического уровня подшипниковой промышленности того времени.

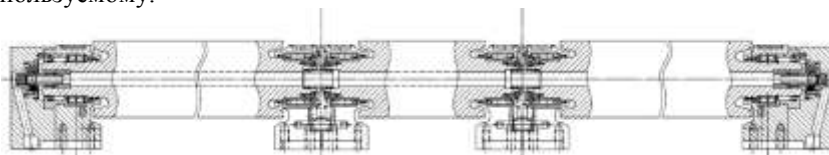
Конструкция её роликовой проводки характерна для МНЛЗ того периода и не позволяет минимизировать выпучивание.

Наличие недостатков в роликовой проводке МНЛЗ приводит к следующим негативным последствиям:

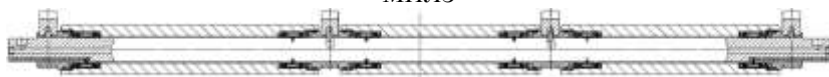
- образуется дефект макроструктуры слэба в виде внутренних горячих трещин;
- вызывает повышенные колебания уровня металла в кристаллизаторе;
- ограничивает возможность в широких пределах изменять интенсивность вторичного охлаждения;
- ограничивает возможность увеличения скорости разливки и, как следствие, производительности МНЛЗ.

Главным объектом модернизации машины непрерывного литья заготовок является изменение конструкции роликов и расстояния между торцами соседних роликов - шага.

На рисунке 2 и 3 представлены конструкции ролика, используемого в настоящее время, и ролика «рукавного» типа, который должен стать заменой используемому.



*Рисунок - 2 Конструкция ролика, используемого в данный момент на МНЛЗ*



*Рисунок - 3. Конструкция ролика «рукавного» типа*

Ролик МНЛЗ работает в тяжелых условиях, определяемых циклическим термонапряжением и восприятием значительных нагрузок от ферростатического давления и разгиба слитка.

В результате на поверхности бочки развиваются термические трещины, довольно быстро превращающиеся в сетку разгара, причем первоначально образование сетки разгара носит положительный характер, так как при этом снимается стеснение температурных деформаций и исчезают термонапряжения в поверхностном слое. В дальнейшем от воздействия силовых нагрузок, вызывающих большие изгибные деформации (так как ролики при относительно малых диаметрах имеют большую длину), трещины интенсивно растут и могут приводить к поломкам роликов [3].

Главным отличием роликов являются подшипниковые узлы. На ролике новой конструкции будут установлены подшипники, состоящие из двух подвижных колец подшипника (втулок) и сепаратора с игольчатыми роликами.



При повышении и понижении температур во время и по окончании разливки, втулки расширяются и, соответственно, сужаются. Таким образом, постоянно сохраняется зазор в подшипнике, который предотвращает заедание направляющих валков.

Преимуществом для конструкторов является то, что нет необходимости предусматривать возможность демонтажа подшипника в сложных конструкциях, так как монтаж и демонтаж разъемного подшипника осуществляется без снятия других элементов конструкции.

С целью выполнения условий эксплуатации подшипников, верхние части корпуса подшипника снабжены системой водяного охлаждения. В подобных случаях узлы подшипника специально конструируются для каждой отдельной установки с учетом конкретных условий. Это касается конструктивных особенностей подшипников, а также корпусов и уплотнений. В этом случае именно промежуточные подшипники должны выдерживать самую большую нагрузку.

Реконструкция роликовой проводки МНЛЗ ЛПК позволит:

- привести оборудование МНЛЗ в соответствие с современными техническими решениями и сделать задел для дальнейшей успешной работы ЛПК, в частности, по увеличению производительности и расширению марочного сортамента;

- уменьшить выпучивание кристаллизующейся корочки и улучшить качество макроструктуры слябов, проката и труб из среднеуглеродистых сталей;

- стабилизировать уровень металла в кристаллизаторе;

- увеличить производительность МНЛЗ за счёт увеличения скорости разливки слябов шириной 1000 – 1300 мм;

- снизить вероятность образования поперечных трещин по следам качания за счёт повышения температуры поверхности слябов в зоне разгиба.

#### **Литература:**

1. Мирсалимов В.М., Емельянов В.А. Напряженное состояние и качество непрерывного слитка. М.: Металлургия. 1990. – 151 с.

2. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. – М.: Металлургия, 1988. – 143 с.

3. Исаев О.Б., д.т.н. Конспект лекций по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали».

## **НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТОРМОЗА (ЭМТ) ДЛЯ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МНРС ЛПК АО «ВМЗ»**

*А.С. Бойко<sup>1</sup>, В.Н. Лавров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва*

<sup>2</sup>*Инженерно-технологический центр АО «ВМЗ», г. Выкса*

Одной из основных задач при разливке тонких слябов остаётся решение проблемы улучшения чистоты стали по содержанию неметаллических включений за счёт предотвращения их попадания в растущую корочку тонкого сляба. В процессе

разливки неметаллические включения, например, частицы покровного шлака промежуточного ковша и продукты раскисления, могут легко попадать в сляб. Риск попадания неметаллических включений увеличивается с повышением скорости литья, поскольку на мениске образуются области повышенных скоростей и возможен захват шлака кристаллизатора в тело формирующейся заготовки. Наличие таких примесей в затвердевшем металле серьёзно ухудшает качество стали.

Для устранения данной проблемы разработаны и запатентованы системы под названием «электромагнитный тормоз». Устройство работает по принципу постоянного магнитного поля, тормозящего потока металла в кристаллизаторе, и позволяет скорости разливки и температуре быть одинаковой по всей ширине заготовки.

*Ключевые слова:* машина непрерывного литья заготовок, электромагнитный тормоз.

При обычной непрерывной разливке слябов струи металла направляются из погружного стакана через два отверстия (рис.1) к торцевым стенкам кристаллизатора при большой глубине проникновения струи. Это имеет следующие недостатки:

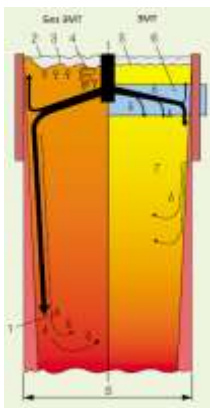
- струи металла размывают узкие стенки слитка (рис.2), что вызывает образование угловых трещин и повышает опасность прорывов металла;
- струям металла сопутствуют внутренние неметаллические включения, особенно при разливке с высокими скоростями;
- в начале и конце разливки сериями во время замены сталеразливочного и промежуточного ковшей количество неметаллических включений в слитке возрастает, что приводит к браку;
- возникают проблемы затвердевания металла в середине широких граней; это связано с затруднённым движения металла в этой зоне и недостаточным подводом тепла, связанным с охлаждением металла погружным стаканом.



*Рисунок - 1 Двухпортовый погружной разливочный стакан*

Электромагнитный тормоз (ЭМТ) предназначен для торможения (снижения интенсивности) потоков металла в кристаллизаторе с целью снижения величины стоячей волны в менисковой зоне, что приводит к улучшению качества поверхности непрерывнолитого сляба и готового

проката, а также снижению аварийных ситуаций в процессе разливки на МНЛЗ за счёт стабилизации уровня металла в кристаллизаторе. Предположительно, это позволит сократить случаи возникновения «ужимин» и «прилипаний».

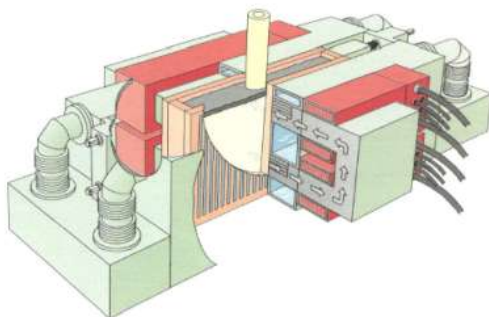


*Рисунок - 2 Направление потоков металла в кристаллизаторе с применением ЭМТ и без него*

Электромагнитное «торможение» потока горячего металла при непрерывной разливке улучшает качество литой стали за счёт уменьшения проникновения неметаллических включений. Чаще всего это происходит во время высокоскоростного литья.

ЭМТ работает по принципу постоянного магнитного поля, контролирующего подачу горячего металла в кристаллизатор, и позволяет скорости разливки и температуре быть одинаковой по всей ширине заготовки.

Существует несколько различных конфигураций установок электромагнитного торможения. В данной работе рассматривается конструкция FC Mold (контроль потока в форме).



*Рисунок - 4 Конструкция электромагнитного тормоза конструкции FC Mold*

Базовое оборудование состоит из двух идентичных половин тормозов, установленных с каждой стороны кристаллизатора на внутренней и внешней сторонах ручья, и перемещаемых специальным манипулятором (рис.4).

Магнитное поле уменьшает амплитуду колебаний металла в кристаллизаторе, что приводит к стабилизации и выравниванию уровня поверхности. Влияние ЭМТ на уровень и скорость поверхности, включая влияние реальной проводимости стальной оболочки, оказывается на область между стенками кристаллизатора, которые предположительно идеально изолированные и проводящие.

С ЭМТ уровень поверхности более стабилен, а амплитуда колебаний меньше. Стабилизация раздела фаз шлак-сталь вызывает главным образом уменьшение глубины проникновения неметаллических включений, особенно вблизи ПРС (погружного разливочного стакана).

Для контроля уровня и скорости поверхности во избежание дефектов в процессе разливки было приложено много усилий для оптимизации геометрии ПРС и условий разливки, включая скорость литья, глубину погружения ПРС, ширину заготовки и действия электромагнитных сил (ЭДС) с целью достижения устойчивых условий работы.

Для предварительной настройки ЭМТ под конкретные условия работы МНРС проводятся измерения с использованием инструмента «Nailboard» (доска со стержнями) для определения направления потоков, формы и высоты волны на мениске в кристаллизаторе. Все эти параметры определяются анализом формы затвердевшего наплыва волны жидкой стали, образующимся на каждом стержне. Это позволяет выявить сведения о временных изменениях картины потока, которые могут быть не зафиксированы с помощью стандартного датчика уровня, используемого для контроля потока.

Инструмент для измерений представляет собой доску, которая имеет три ряда стержней, как показано на рисунке 5.



*Рисунок - 5 Инструмент Nailboard*

На доске расположены два ряда стержней из стали диаметром 5 мм, расположенных на расстоянии 50 мм друг от друга, и один ряд алюминиевых.

Доска опускается в зону между ПРС и узкой стенкой кристаллизатор. Расстояние от узкой стенки 50-100 мм. Время выдержки стержней в расплавленном металле составляет 3-4 секунды. Ширины доски и количество

прикрепляемых к ней стержней выбирается исходя из ширины разливаемого сечения.

После погружения стержней в расплавленный металл алюминиевые стержни сгорают, а на стальных образуются затвердевшие стальные наплывы от волны жидкой стали. Измеряется разница между двумя длинами, и данные преобразуются в уровень мениска, направление потока и информацию о стоячих волнах. Уровень поверхности измеряется путём нахождения среднего расстояния каждого наплыва от деревянной доски. Высота наплыва на стержне, где на него набегаёт волна, выше, то есть берётся разница между максимальной и минимальной высотой, затвердевшей на стержне стали (рис.6). Направление потока, в свою очередь, распознаётся по ориентации волны.

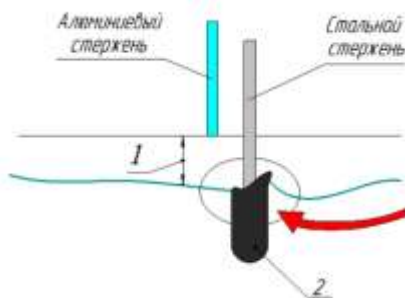


Рисунок - 6 Схема измерения: 1 – высота слоя шлакообразующей смеси, 2 – затвердевшая сталь на стержне.

Также эта разница преобразуется в скорость мениска с помощью соотношения Rietow и Thomas между скоростью потока и высотой наплыва.

Уровень поверхности колеблется (изменяется) с течением времени. Изменяющиеся профили уровня показывают наличие не менее 2-х периодических колебаний в течении 5-минутного интервала времени с выключенным FC Mold и не менее 3-х с включенным.

Уровень для стандартного датчика уровня потока удовлетворителен почти во всех случаях. Это говорит о том, что данный датчик потока может использоваться для контроля уровня мениска при правильном расположении в центральном «узле». Однако, датчик не может обнаруживать изменения уровня, которые случаются в других областях поверхности в кристаллизаторе.

#### Заключение

– Эксперименты с применением инструмента Nailboard представляют собой эффективный метод измерения уровня и скорости мениска.

– Поверхностный уровень мениска, скорость и структура потока оказываются разными в периодах времени, так как изменяются электромагнитные силы;

– Стандартный датчик уровня в кристаллизаторе лучше всего использовать для контроля уровня мениска при позиционировании вблизи относительно стабильного положения «узла» на уровне поверхности;

– Уровень поверхности в кристаллизаторе сильно колеблется с временными изменениями, которые не могут быть обнаружены стандартными датчиками уровня.

– Электромагнитные силы тормозной системы FC - Mold стабилизируют уровень мениска, делая его более ровным, благодаря уменьшению и выравниваю поверхностных скоростей.

#### **Литература:**

1. Anders Lehman, Göte Tallbäck. Electromagnetic braking improves steel quality in continuous casting.// ABB Industrial Systems AB.

2. Исаев О.Б., д.т.н. Конспект лекций по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали».

3. Мирсалимов В.М., Емельянов В.А. Напряженное состояние и качество непрерывного слитка. М.: Metallurgy. 1990. – 151 с.

4. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. – М.: Metallurgy, 1988. – 143 с.

5. Wolf M.M., History of Continuous Casting, in Steelmaking Conf. Proc. 1992, Iron & Steel Society, Warrendale, PA: Toronto, Canada. p. 83-137

6. Thomas B.G. and S.P. Vanka: Study of Transient Flow Structures in the Continuous Casting of Steel. in NSF Design & Manufacturing Grantees Conference. 2000. Vancouver, Canada: NSF, Washington, D.C.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЛПК ДНГПТ**

*Д.И. Ермаков, В.Н. Лавров, Е.А. Солдатов, С.А. Сомов, В.В. Подтёлков  
АО «Выксунский металлургический завод», г.Выкса*

Одним из возможных путей повышения экономической эффективности производства в условиях ЛПК ДНГПТ АО «ВМЗ» является увеличение серийности производства. Повышение серийности позволит:

– сократить простои ДСП за счет снижения времени на переподготовку МНЛЗ;

– сократить затраты на переподготовку оборудования;

– сократить потери металла за счет снижения количества головной и хвостовой обрезки слябов;

– сократить затраты на ножи маятниковых ножниц;

– сократить потери металла за счет снижения количества сбрасываемых первых слябов (в основном – при запуске разливки на широком сечении, связанных с образованием «ужимин»);

– сократить расходный коэффициент металла за счет снижения объемов остатков металла в промежуточном ковше.

В первую очередь для повышения серийности необходимо правильное планирование. Однако объем заказов на некоторые марки стали

не велик даже в течение года, поэтому выполнение таких заказов сопряжено с низкой серийностью. Эксперименты по освоению новых видов продукции также обычно проводятся в небольших объемах. Кроме того, существуют ограничения по количеству плавок в одной серии, в том числе для металла, подлежащего обязательной обработке вакуумом. Для повышения серийности, в вышеперечисленных случаях, возможно производство различных марок стали с разливкой в одну серию.

В 2014 году расчетным путём была определена длина участка сляба со смешанным химическим составом при разливке двух различных марок стали на один промежуточный ковш, а также допустимый остаток металла при открытии сталеразливочного ковша. Затем проведена разливка серии плавок стали 20, состыкованная на один промежуточный ковш с одной плавкой стали марки 22ГЮ. В ходе эксперимента определено местонахождение и протяженность переходного участка, изменение химического состава по длине переходного участка, уточнён эмпирический коэффициент, учитывающий массу смешанной стали в промежуточном ковше.

После обсуждений экономической целесообразности производства различных марок стали с разливкой на один промежуточный ковш в 2015 году проведён эксперимент по стыковке низкоуглеродистых сталей классов прочности K56 и K42 с различным химическим составом. В результате проведенного опыта были определены рулоны, имеющие смешанный химический состав, и опробован порядок аттестации таких рулонов. К концу года был разработан регламент, описывающий порядок планирования производства серий с разливкой на один промковш, технологию стыковки различных сталей с определением переходной зоны, порядок передачи информации при производстве, отбор проб и аттестацию переходных по химическому составу рулонов.

В 2015 году также была начата огромная работа по изучению нормативной документации, подбору технологических режимов и унификации химического состава, производимых марок стали. В результате к концу 2016 года около двадцати марок стали с различным химическим составом, производимые в условиях ЛПК, были объединены в три группы с одинаковым химическим составом. Это позволило сократить количество переходных по химическому составу слябов, а значит, и снизить количество рулонов, продаваемых с пониженным качеством.

Дополнительно в ходе работ был определен порядок оценки экономической эффективности производства, согласованный с управлением по производственной экономике, который подразумевал не только учет затрат на переподготовку МНЛЗ, но и снижение потерь металла при производстве, простоев оборудования, унификации химического состава сталей. Регламент, с выявленными в процессе работы недостатками, был заменён на более проработанную инструкцию.

Экономический эффект от проведенных мероприятий за период с апреля 2016 по март 2017 года составил более 500 млн.рублей.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ АЗОТОМ, В УСЛОВИЯХ ПАО «РУСПОЛИМЕТ»**

*Колобаев Е.А. Шилов С.Ю., Чечулова А.В.*

*Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Кулебакский металлургический колледж», г. Кулебаки*

Общая цель деятельности любой организации — выживание и развитие предприятия путем выпуска новых/улучшенных видов продукции и совершенствования методов её производства, доставки и реализации.

*Ключевые слова:* модифицирование, легирование, азот, вакуумная индукционная печь, шихтовая заготовка

Целью данной работы является изучение модифицирования и легирования сталей, выплавленных в вакуумно-индукционной печи, в условиях ПАО «Русполимет».

Под модифицированием понимается процесс активного регулирования первичной кристаллизации и изменения степени дисперсности кристаллизующихся фаз путем ввода в расплав малых добавок отдельных химических элементов или соединений. Эти вещества называются модификаторами. Модификаторы, практически не изменяют, состав стали, но оказывают существенное влияние на структуру стали. Многие из них активно взаимодействуют с компонентами жидкой стали, в результате чего эффект модифицирования в ходе выдержки металла ослабляется. Присадка модификаторов в некоторых случаях сопровождается благоприятным воздействием на вредные примеси (раскислением, дегазацией, связыванием серы в устойчивые сульфиды). [1]

Некоторые конструкционные стали содержат азот как модифицирующий элемент в количестве 0,01-0,02%, которых позволяет улучшить структуру стали за счёт работы нитридов алюминия, ванадия, ниобия, в качестве регуляторов размера зерна.

В металлургической практике наиболее известны следующие способы присадки азота в расплав: азотирование металла при продувке азотом, ввод азотированных ферросплавов (азотированный феррохром, азотированный марганец).

Первоначально азот вводился в сталь как аустенитообразующий элемент с целью экономии дефицитного никеля, а затем и для создания высокопрочных конструкционных материалов с сильно выраженными эффектами твердорастворного и карбонитридного упрочнения, особенно в криогенной технике.



Замена никеля азотом в аустенитных коррозионностойких сталях обеспечивает им ряд преимуществ перед традиционными коррозионностойкими хроникелевыми сталями, что обусловлено:

1. экономией за счет низкой стоимости азота;
2. значительным повышением прочности и более высокой вязкостью по сравнению с другими сталями такой же прочности;
3. повышением коррозионной стойкости за счет высокого содержания хрома в сталях;
4. биосовместимостью с организмом человека благодаря исключению возможной аллергии на никель.

Введение азота осуществляется путем применения при выплавке азотированных материалов (феррохрома, ферромарганца с содержанием азота до 5-6%). Находясь в твердом растворе, азот способствует значительному повышению прочности металла (за счет искажения кристаллической решетки) без существенного снижения пластичности. Кроме того, азот существенно улучшает способность сопротивляться распространению трещин в процессе разрушения и увеличивает коррозионную стойкость. [2]

Исследования закономерностей растворения азота в стали с применением различных азотсодержащих ферросплавов привели к весьма неожиданному результату. Оказалось, что при использовании азотированного ферросплава с высокой концентрацией азота для исключения образования пузырей - молекулярного азота и обеспечения высокой степени усвоения азота металлом, в составе ферросплава должно быть минимальное содержание кислорода. Потому как значительная часть азота теряется, а его распределение в объеме металла получается неравномерным. Для того чтобы внести минимальное количество кислорода в металл, в предлагаемом способе используют менее склонный к окислению азотированный феррохром. Проведенные исследования показали, что предельное содержание кислорода в данном материале составляет 0,5%. При превышении этого показателя парциальное давление в пузырьках азота значительно увеличивается и способствует их быстрому всплыванию на поверхность. Таким образом, металл «закипает», а степень эффективного использования азота из ферросплава снижается. Для выплавки металла в вакуумной индукционной печи «закипание» металла может привести к разрушению футеровки тигля. Поэтому кипение металла в ВИП является нежелательным и предотвращается напуском аргона в плавильную камеру печи. [3]

Легированные азотом безникелевые стали, применяемые в медицине для изготовления хирургического инструмента и имплантатов обладают повышенной прочностью, износостойкостью и не вызывают негативных явлений и аллергических реакций в человеческом организме. [4]

В настоящее время инженеры отдела Главного металлурга ПАО Русполимет разработали технологию выплавки азотированных марок сталей в вакуумной индукционной печи фирмы «Интеко». Легирование стали по

азоту проводится после рафинирования расплава кусковыми ферросплавами, такими как азотированный феррохром и азотированный ферромарганец. Присадки осуществляются через загрузочную камеру без нарушения вакуума. При этом плавка, рафинирование и разливка металла проходят в контролируемой разряженной атмосфере. Усвоение азота в плавке составляет 55-60%.

Система вакуумной индукционной печи включает подачу сред аргона и азота. В основном выплавка ответственных марок сталей осуществляется в среде аргона. Но для экономии газообразного аргона разработана технология, которая предусматривает выплавку неответственных марок в среде азота. Азот вводится в печь в конце плавки для более спокойной разливки, а также для насыщения металла азотом. Содержание азота в этих плавках не превышает 0,02%. Слитки данных плавков используется в дальнейшем в качестве шихтовой заготовки при выплавке нержавеющей марок сталей в электродуговой печи. Исследования показали, что качество нержавеющей марок сталей, выплавленных в ДСП, существенно улучшилось с применением шихтовой заготовки, выплавленной в вакуумной индукционной печи в среде азота, по сравнению с выплавкой стали на отходах.[5]

#### **Литература:**

1. Информационный ресурс <http://www.freepatent.ru/patents/2394107>.
2. Информационный ресурс <http://bib.convdocs.org/v29997/?download=1>.
3. Информационный ресурс [http://likbez48.ru/1\\_125981\\_visokoprochnie-nemagnitnie-azotsoderzhashchie-stali.html](http://likbez48.ru/1_125981_visokoprochnie-nemagnitnie-azotsoderzhashchie-stali.html).
4. Информационный ресурс <http://bankpatentov.ru/node/501260>
5. «Ознакомление с технологией производства стали в ВИП» - отчет по прохождению практики в ПАО «Русполимет».

## **ИСКЛЮЧЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ ШВА**

*Лямин А. В.*

*ГБПОУ «Выксунский металлургический колледж им.А. А. Козерадского»*

Цель данной работы – оптимизировать качество труб, изготовленных электродуговой сваркой в среде защитного газа.

Дефекты дуговой сварки встречаются как при производстве труб, так и при сварке трубопровода в «полевых условиях» на трассах, нефте-и-газопроводах.

С дефектами в цеховых условиях справится гораздо легче, чем в «полевых условиях» поэтому работа нацелена на:

- уменьшение количества дефектов формы сварного шва (наплывов, подрезов) - как в цехе, так и на трассе.
- сокращение времени и расходных материалов для ремонта сварного шва.

Рассмотрев все эти вопросы в ходе экспериментов, проводимых мною, в сварочном полигоне Ресурсного Центра колледжа был получен ориентировочный результат, который показал снижение ремонтных стыковых швов на 5 - 10%.

Традиционный способ производства труб большого диаметра следующий: сварка магистральных труб в среде защитного газа на стане пошаговой формовки, СНК сварного шва, гидротестирование, маркировка, АКП – антикоррозионное покрытие, защита торцев преддетальями, отгрузка.

В классификаторе наружных и внутренних дефектов – большое количество разнообразных несовершенств, образующихся в связи с неточно подобранными режимами сварки, с химическим составом материала, которые влияют на качественные характеристики шва.

Дефект - наплыв, подвергаясь деформации, влечет за собой образование новых дефектов - подрезов и трещин.

Поэтому в ходе экспериментов проводилась работа по уменьшению наплывов.

Кроме традиционных методов уменьшения дефектов формы шва (зачистка металла, шлифовка), предлагается обдув сварного шва инертным газом (аргоном, гелием) или CO<sub>2</sub> (углекислым газом) в процессе сварки.

Для процесса сварки в среде защитного газа подается газ на шов, что позволяет уменьшить наплывы и защитить горячий шов от окисления.

Для сварки магистральных труб на трассе применяют технологию – «стыковка труб»: центровка стыков, сварка одним или двумя полуавтоматами, проверка «сплошности» шва.

В ходе эксперимента было установлено, что если совместить сварку кольцевого шва с обдувом сварного шва инертным или CO<sub>2</sub> газом, то происходит уменьшение дефекта наплыв. Аналогичный эффект вероятно получить при производстве труб в условиях цеха и на трассе.

На схемедемонстрируется традиционная установка сварки кольцевого шва, к которой смонтировано устройство подвода защитного газа.

Проведенные эксперименты в Ресурсном Центре колледжа моделировали процесс сварки с обдувом, который позволял изменять следующие характеристики:

- давление струи газа;
- температуру CO<sub>2</sub>.

При этом фиксировалось количество визуальных дефектов.

Наиболее удачные эксперименты - 1 и 4, что следует из таблицы.

№ эксперимента	Давление CO <sub>2</sub> , ат	Температура CO <sub>2</sub> , °С	Наличие дефектов
1	2	50	-
2	1,5	40	2
3	2	45	1
4	2,5	50	-
5	3	60	1

Ожидаемый результат: с внедрением инновационного оборудования приблизительный экономический эффект составит 300 тыс. руб. на каждый километр сваренного трубопровода.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ФУТЕРОВКИ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВКИ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

*Ташметова М.О., Шевченко Е.А.*

*Новотроицкий филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Новотроицк*

В работе проведено исследование влияния на стойкость футеровки ДСП основных технологических параметров выплавки стали, таких как доля жидкого чугуна в металлошихте, расход добавочных материалов, интенсивность продувки кислородом и другие технологические параметры. Выявлены зависимости влияния состава шихтовых материалов, продолжительности плавки стали, времени простоя печи, температуры металла на выпуске на стойкость футеровки. Разработаны рекомендации по оптимизации технологического режима выплавки стали, которые позволяют продлить срок службы футеровки и снизить затраты на производство стали.

*Ключевые слова:* дуговая сталеплавильная печь, футеровка печи, стойкость футеровки, технологический режим выплавки стали, шихтовые материалы, продолжительность плавки

Одним из важных показателей работы дуговой сталеплавильной печи является стойкость её футеровки. Повышение стойкости футеровки дуговой сталеплавильной печи требует комплексного подхода и во многом зависит как от конструктивных особенностей печи и качества огнеупорных материалов, так и от технологических условий плавки.

Авторами работ [1-11] выделяются основные технологические параметры плавки, которые оказывают существенное влияние на стойкость футеровки:

- состав шихтовых материалов;
- общая продолжительность плавки и длительность простоев печи;
- интенсивность продувки кислородом;
- расход добавочных материалов;
- температура металла на выпуске из печи.

С целью определения влияния технологических параметров плавки на стойкость футеровки электропечей был проведен анализ производственных данных АО «Уральская Сталь» о работе ДСП-120 за 2015-2016 гг. Состав шихтовых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав и расход шихтовых материалов

Масса шихтовых материалов (в завалку с металлошихтой),* тонн						
Лом 3А	Жидкий чугун	Обрезь листового проката	Скрап	ГБЖ**	Прочие	ИТОГО в завалку
<u>20-60</u>	<u>35-70</u>	<u>5-15</u>	<u>4-16</u>	<u>0-20</u>	<u>3-15</u>	<u>130-150</u>
45,1	58,3	10,6	8,2	9,97	7,2	139,4

\*В числителе интервал значений, в знаменателе среднее значение;

\*\*ГБЖ - горячебрикетированное железо.

Из применяемых компонентов шихты в условиях АО «Уральская Сталь» наибольшее влияние на показатели плавки и стойкость футеровки оказывает расход жидкого чугуна, доля которого в составе металлошихты изменяется от 35 до 70 %. Для установления зависимости влияния расхода жидкого чугуна на стойкость футеровки был проведен анализ средних значений стойкости футеровки ДСП-2 от содержания жидкого чугуна. Результаты анализа представлены на рисунке 1.

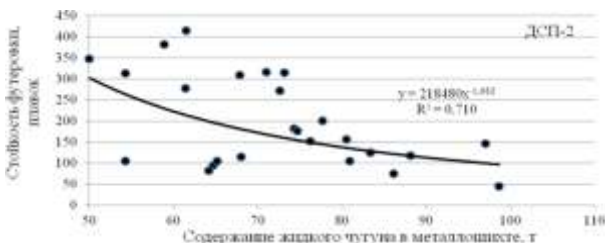


Рисунок 1 – Влияние расхода жидкого чугуна на плавку на стойкости футеровки печи

Из представленных на рисунке 1 данных видно, что при увеличении доли жидкого чугуна в металлошихте резко снижается стойкость футеровки. По всей видимости, это объясняется большим количеством кремния, окисление которого ведет к росту количества шлака, агрессивного по отношению к футеровке, и увеличению температуры отходящих газов, а, следовательно, и теплового воздействия на футеровку.

Другим важным показателем, влияющими на стойкость футеровки печи, является общая продолжительность плавки. Результаты анализа представлены на рисунке 2.

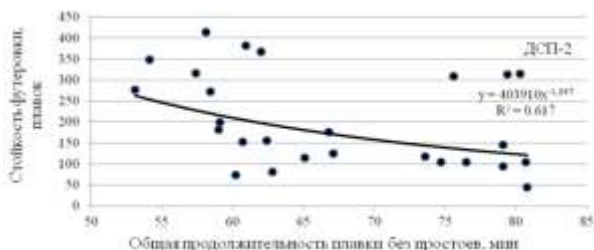


Рисунок 2 – Влияние общей продолжительности плавки без простоев на стойкости футеровки печи

Из представленных на рисунке 2 данных видно, что с увеличением общей продолжительности плавки стойкость футеровки резко снижается. Это

объясняется длительным воздействием на футеровку высоких температур и химического воздействия жидких продуктов плавки.

Условия эксплуатации и стойкость футеровки в значительной степени определяются температурными условиями плавки и шлаковым режимом, которые, в свою очередь, находятся в тесной взаимосвязи с компонентным составом шихты и режимом окислительного рафинирования. Поскольку основным окислителем, применяемым в технологии электроплавки в условиях АО «Уральская Сталь», является кислород дутья, то его расход, определяемый составом шихты, оказывает существенное влияние на режим шлакообразования, температурные условия плавки и, в конечном итоге, на стойкость футеровки. Кроме расхода кислорода, на стойкость футеровки существенное влияние оказывает количество образующихся печных газов, которое зависит от интенсивности продувки кислородом. Результаты анализа представлены на рисунке 3.

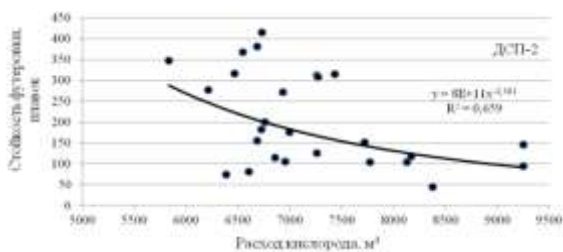


Рисунок 3 – Влияние расхода кислорода на стойкость футеровки печи

Из представленных на рисунке 3 данных видно, что с увеличением расхода кислорода в рабочем пространстве печи стойкость футеровки печи резко снижается. Это можно объяснить тем, что большое количество вносимого суммарного газа приводит к увеличению статического и динамического воздействия, а при увеличенной доле использования кислорода и твердых окислителей в шихте, и химического воздействия на футеровку электропечи.

На стойкость футеровки печи также оказывает влияние температура металла на выпуске из печи (см. рисунок 4).

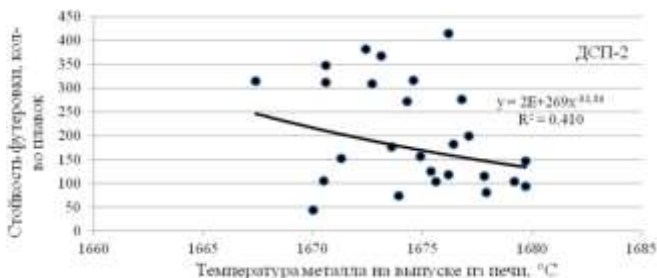


Рисунок 4 – Влияние температуры металла на выпуске из печи на стойкость футеровки (для стали марки 09Г2С)

Из представленных на рисунке 4 данных видно, что при увеличении температуры металла на выпуске из печи стойкость футеровки заметно снижается. Это объясняется негативным воздействием электрической дуги при дополнительном подогреве металла, а также может свидетельствовать о плохом экранировании дуги вспененным шлаком. Так, повышение температуры металла на выпуске на каждые 10°C снижает стойкость футеровки в среднем на 70 плавов.

Таким образом, для повышения стойкости футеровки печи в условиях ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» рекомендуется:

- ограничить содержание жидкого чугуна в металлошихте до 60 тонн на плавку (50% в металлошихте);
- придерживаться общей продолжительности плавки (без простоев) не более 50 минут и при минимальных простоях;
- корректировать расход кислорода в зависимости от его потребности на рафинирование во избежание переокисления металла и шлака, ограничить расход кислорода до 6000 м<sup>3</sup> на плавку;
- производить выпуск металла из печи с минимальным перегревом, необходимым для проведения последующих технологических операций.

#### **Литература:**

- 1 Кудрин В.А., Шишимиров В.А. Технологические процессы производства стали: учебное пособие. – Ростов на Дону: Феникс, 2017. – 302 с.
- 2 Еланский Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства // Электрометаллургия, 2001. – №5. – С.3-18.
- 3 Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Metallургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 308 с.
- 4 Borovský, T., Kijac, J., Domovec, M. The slag composition influence on the dephosphorization and on the lifetime of electric ARC furnace hearth refractory lining, Acta Metallurgica Slovaca, 2010, 16(3), pp. 165-171.
- 5 Лопухов Г.А. Применение кислорода в дуговых сталеплавильных печах. // Электрометаллургия, 2005. – №3. – С. 2-26.
- 6 Совершенствование технологии производства стали с целью обеспечения содержания фосфора менее 0,005 % / Настюшкина А.В., Костин С.В., Шевченко Е.А., Шевченко А.А. // Теория и технология металлургического производства, 2017. – №4(23). – С. 14-17.
- 7 Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы: монография / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 547 с.
- 8 Настюшкина А.В., Шевченко Е.А., Шевченко А.А. Влияния технологических показателей плавки на степень удаления фосфора / Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2017. С. 111-114.
- 9 Егоров А.В. Электросталеплавильные печи черной металлургии: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 280 с.

10 Shewmon, D.E., Peretz, I. New magnesia-alumina-carbon brick technology for steel processing vessels, AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings, 2012, pp. 2801-2805.

11 Влияние способов интенсификации электроплавки на стойкость футеровки ДСП / Некрасов И.В., Шешуков О.Ю., Гуляков В.С. // Проблемы черной металлургии и материаловедения, 2008. – № 4. – С. 82-85.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МНРС**

*Д. А. Пышкин, Д. Г. Еланский, В. М. Сафонов,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Москва*

Черная металлургия Российской Федерации входит в группу лидеров по объему производства и экспорта стали в мире, что стимулирует строительство передовых металлургических предприятий, которые адаптированы к потребностям внутреннего и мирового рынка.

С начала 90-х годов прошлого века в практику создания эффективных технологических систем по производству плоского проката прочно вошло понятие литейно-прокатный комплекс (ЛПК), в котором органично совмещается процесс разливки стали на заготовку и ее последующая горячая прокатка. В настоящее время в мире насчитывается около 60 ЛПК, которые производят более 60 млн. т плоского проката в год. На пространстве стран СНГ построен пока один мини металлургический завод (г.Выкса), где в 2008 году реализована технология ЛПК. Технологическая система комплекса представлена выплавкой стали в 160-тонной дуговой сталеплавильной печи; доводкой стали в агрегате ковш-печь; вакуумированием металла в ковше с последующей разливкой в сляб (толщиной 90 мм) и его горячей прокаткой. Значительный энергосберегающий эффект достигают, главным образом, за счет сокращения технологической цепочки и исключения дополнительных циклов охлаждения и нагрева заготовки.

Вместе с тем концепция ЛПК не предусматривает промежуточный контроль качества заготовки и, тем более ее сортировку и ремонт. В таких условиях стабильность работы литейной части модуля достигается за счет жесткого обеспечения ряда показателей качества непрерывнолитого сляба, формирование поверхности и внутренней структуры которого происходит в кристаллизаторе, и определяется характером движения потоков стали. К сожалению, в литературе недостаточно данных о формировании структуры потоков и их влияния на стенки кристаллизующегося слитка тонкослябовой МНРС.

Целью данных исследований было сравнить картину и скорость потоков на поверхности кристаллизатора в зависимости толщины образующейся корочки при изменении ширины кристаллизатора.

Рассчитывали толщину затвердевшей корочки металла на выходе из кристаллизатора из известного выражения



$$\xi_{\text{кр}} = k \frac{\overline{\tau_{\text{кр}}}}{K_{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где  $\xi_{\text{кр}}$  – толщина корочки металла на выходе из кристаллизатора, мм;

$\tau_{\text{кр}}$  – продолжительность затвердевания заготовки в кристаллизаторе, мин;

$K_{\text{ф}}$  – коэффициент формы поперечного сечения заготовки;

$k$  – коэффициент затвердевания, который для спокойной стали в зависимости от ее состава и условия затвердевания.

Продолжительность пребывания сляба в кристаллизаторе ( $\tau_{\text{кр}}$ ) можно определить из выражения

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{h_{\text{кр}}}{V_{\text{макс}}}, \quad (2)$$

где  $h_{\text{кр}}$  – рабочая (активная) высота кристаллизатора, то есть уровень металла в кристаллизаторе с учетом недолива, м;

$V_{\text{макс}}$  – максимальная скорость вытягивания сляба, м/мин.

Рабочая высота кристаллизатора определяется длиной кристаллизатора и величиной недолива жидкого металла до верхнего края медной гильзы кристаллизатора

$$h_{\text{кр}} = H_{\text{кр}} - h_{\text{недолив}}, \quad (3)$$

где  $H_{\text{кр}}$  – высота кристаллизатора, м;

$h_{\text{недолив}}$  – величина недолива жидкого металла до верхнего края медной гильзы кристаллизатора, м [1].

Параметры разливки натурального образца, используемые в расчёте, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры разливки [2].

Наименование параметра	Величина
Коэффициент формы поперечного сечения заготовки	37
Рабочая высота кристаллизатора, м	1,13
Максимальная скорость вытягивания сляба, м/мин. Для кристаллизаторов шириной 700; 800; 900, мм	3,2; 2,8; 2,5

Для расчёта продолжительность пребывания сляба в кристаллизаторе воспользуемся формулой (2).

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{1,13}{3,2} = 0,35 \text{ мин}$$

Далее вычислим толщину корочки металла на выходе из кристаллизатора по 1 формуле.

$$\xi_{\text{кр}} = 37 \frac{0,35}{1} = 21,987 \text{ мм}$$

Для модели кристаллизатора в масштабе 1:2 к натурному образцу толщина корочки будет составлять 10,99 мм. Была посчитана толщина корочки для кристаллизатора шириной 700 и 800 мм. На основе этих данных была построена компьютерная модель для расчета скорости и направления потоков жидкости без учета и при наличии затвердевшей корочки [3-5].

Сравнение полученной картины потоков на компьютерной модели с физической моделью представлено на рисунке 1 и в табл. 2.

Из рисунка 1 видно, что движение потоков на компьютерной и физической модели идентичны. Красной точкой помечено место замера скорости потока, находящееся на расстоянии 0,2 м от вертикальной оси стакана.

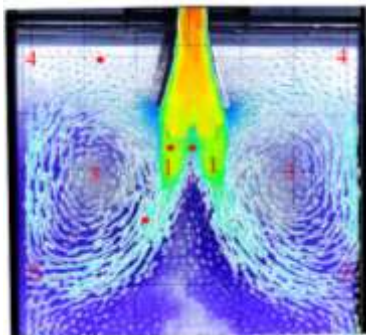


Рисунок 1- Наложение компьютерной модели, изображённой векторами на физическую модель (ширина кристаллизатора 700 мм, глубина погружения 165 мм)

В таблице 2 приведено сравнение скоростей физической и компьютерной модели.

Таблица 2 – Скорость потока на поверхности мениска без корочки.

	Расход жидкости, м <sup>3</sup> /ч	Скорость жидкости в точке замера, м/с			
		1	2	3	4
Физическая модель	6,37	0,84	0,57	0,9	0,19
Компьютерная модель	6,37	0,87	0,56	0,85	0,20

Стоит заметить, что на компьютерной модели отсутствует 4 область рисунок 1, которая представляет собой нестабильный контур циркуляции. Данная модель является однофазной.

Данные по скорости потока на поверхности мениска, полученные в результате компьютерного моделирования, представлены в таблице 3.

Таблица 3– Скорость потока на поверхности мениска

Скорость потока, м/с			Ширина кристаллизатора*, мм	
			700	800
Глубина погружения стакана, мм	135	1	0,05314	0,09586
	135	2	0,0779	0,135478

\* 1 –без учёта корочки, 2 – с корочкой

В результате компьютерного моделирования установлено, что при наличии затвердевшей корочки слитка скорость потока жидкости на зеркале кристаллизатора выше примерно 40-50%, что весьма существенно. Таким образом установлено, что при моделировании процессов движения жидкости

в кристаллизаторе тонкослябовой МНРС следует учитывать наличие корочки затвердевшего металла.

В дальнейшем планируется доработка компьютерной модели в направлении создания модели в масштабе 1:1 к натурному образцу и применения стали в качестве моделирующей жидкости.

#### **Литература:**

1. Шаповалов А.Н. Расчет параметров непрерывной разливки стали. – Новотроицк, НФ НИТУ «МИСиС», 2013. – 56 с.
2. Непрерывная разливка стали на тонкослябовой одноручевой вертикально-криволинейной МНРС. // Технологическая инструкция ТИ-С-17-99637759-2009: Филиал АО «ОМК СТАЛЬ, Выкса, 2009 г. - 110 с.
3. R. M. Besich, M. M. Yavuz CFD Modeling of Nos. 2 and 3 Slab Casters at ArcelorMittal Indiana Harbor No. 2 Steel Producing Shop // AISTech Proceedings - Volume I.-2009.- P. 1163-1170.
4. L. Zhang Development of Self-braking Nozzle for Steel Slab Continuous Casting Process // AISTech Proceedings - Volume II.-2010. - P. 147-159.
5. Югов В. П. ANSYS?.. Это очень просто! Москва: МГТУ, 2000 г. – 82 с.

### **КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ У СПЛАВА ВЖ159 ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОКОВОК НА ПАО «РУСПОЛИМЕТ»**

*Генералов А.А.<sup>1</sup>, Корзун Е.Л.<sup>1</sup>, Гаврилов Г.Н.<sup>2</sup>, Воробьева Ю.В.<sup>2</sup>  
1 – ПАО «РУСПОЛИМЕТ», г. Кулебаки, Нижегородская обл., Россия  
2 – НГТУ им. П.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия*

Разработка и внедрение новых жаропрочных сплавов на никелевой основе, обладающих особым сочетанием повышенного комплекса физико-механических свойств, является приоритетной задачей современного материаловедения.

*Ключевые слова:* никелевые сплавы, жаропрочность, микроструктура, качество слитка, горячая деформация, термическая обработка.

В современном металлургическом производстве для изделий машиностроения широко используются крупногабаритные горячедеформированные заготовки из высоколегированных хромоникелевых сплавов на основе железа типа 03X21Н32М3Б, 03X20Н45М4Б и др., предназначенных для длительного использования в условиях воздействия повышенных температур и механических нагрузений [1–3].

Однако эти сплавы не всегда могут обеспечить требуемый комплекс физико-механических свойств готовых изделий, в том числе, и в виде сварных конструкций. Поэтому в машиностроение постоянно возникают определенные затруднения в использовании материалов указанного вида, что вызывает необходимость разработки новых сложнелегированных сплавов, имеющих, как более высокую технологичность, так и длительную прочность.

В последнее время были разработаны новые высоколегированные жаропрочные сплавы на никелевой основе – ВЖ159-ИД, ВЖ145, ВЖ155 и др. [4], которые являются заменителями сплавов на основе железа. Однако при

производстве конкретных изделий из этих сплавов в условиях металлургического производства ПАО «РУСПОЛИМЕТ» возникает ряд вопросов относительно кинетики формирования структуры сплавов при горячей пластической деформации и термической обработки, что оказывает влияние на уровень и стабильность показателей сдаточных физико-механических свойств.

Повышение работоспособности изделий из высоколегированных никелевых жаропрочных сплавов в большой степени зависит от их структурного состояния: от величины зерен, содержания упрочняющей  $\gamma'$ -фазы, карбидов и других составляющих. В связи с этим в настоящей работе обсуждаются результаты исследования тонкой структуры и фазового состава жаропрочного сплава на никелевой основе ВЖ159.

Сплав ВЖ159 является дисперсионно-твердеющим, поэтому технология термической обработки представляет собой цикл многоступенчатых операций теплового воздействия. Выбор режима термической обработки определяется требуемыми механическими свойствами. Технология термической обработки состоит из закалки (1100°C, выдержка 50 минут) и 4-ступенчатого старения при:

- 1) 900°C, выдержка 5 часов
- 2) 800°C, выдержка 10 часов
- 3) 700°C, выдержка 10 часов
- 4) 650°C, выдержка 10 часов

При охлаждении на стадиях старения из  $\gamma$ -твердого раствора, имеющего ГЦК решетку, выделяется когерентная  $\gamma'$ -фаза (интерметаллическое соединение на основе  $Ni_3Al$ ), которая дополнительно упрочняет матрицу. Содержание  $\gamma'$ -фазы составляет 55 – 65%. Гетерофазная структура сплавов является одним из наиболее основных факторов, обеспечивающих их жаропрочность [5]. Поэтому ключевыми в общей проблеме жаропрочности стали вопросы легирования и обеспечения термостабильности  $\gamma'$ -фазы.

Многокомпонентное легирование  $\gamma$ -твердого раствора и  $\gamma'$ -фазы проводят таким образом, чтобы обеспечить высокую фазовую и структурную стабильность сплава, что необходимо для эксплуатации изделий при повышенных температурах.

Исследование микроструктуры сплава проводилось с помощью оптического микроскопа KEYENCE VHX-1000 с расширенными возможностями за счет усовершенствованной длиннофокусной оптической системы и цифровой обработки изображения. На рисунке 1 представлены фотографии микроструктуры разных плавок с химическим составом в пределах регламентируемого маркой сплава.

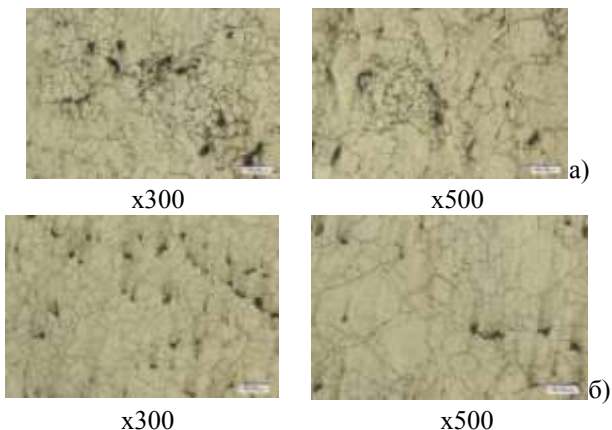
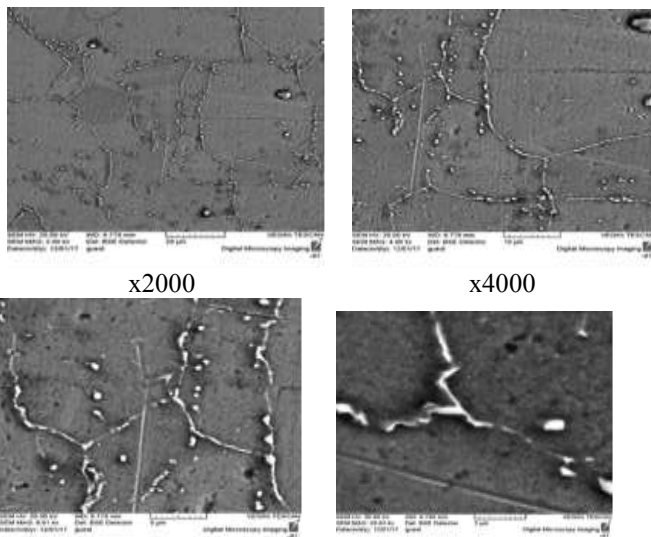


Рисунок 1 – Микроструктура сплава ВЖ159: а) – плавка 1, б) – плавка 2

Проведение экспериментов, связанных с анализом тонкой микроструктуры и рентгеновского анализа в режиме сканирования по линии, осуществлялось при помощи растрового электронного микроскопа TESCAN VEGA II.

Сканирующий электронный микроскоп TESCAN отображает исследуемый объект за счет тонкого сфокусированного электронного пучка (зонда), который формируется, и затем осуществляет сканирование необходимого объекта при установленном заранее увеличении за счет колонны микроскопа. Полученные результаты исследования представлены на рисунке 2.

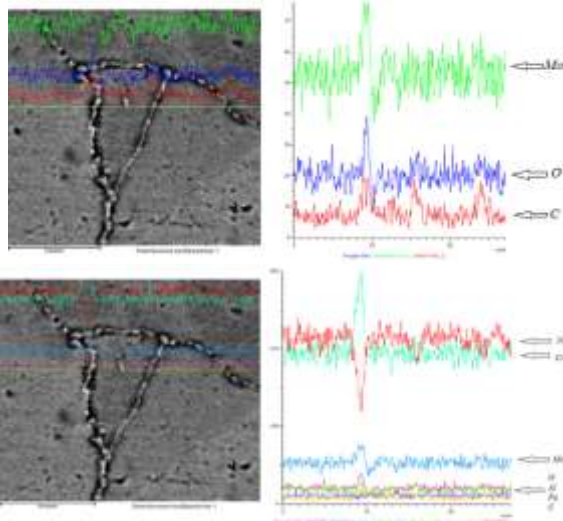


x8000

x20000

*Рисунок 2 – Результаты анализа микроструктуры сплава ВЖ159 на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA II*

На рисунке 3 проиллюстрированы данные рентгеновского микроанализа в режиме сканирования по линии.



*Рисунок 3 – Данные рентгеновского микроанализа в режиме сканирования по линии*

В результате проведения исследований образцов из жаропрочного сплава на никелевой основе ВЖ159 исследуемых плавок было выявлено наличие некоторых особенностей микроструктуры, состоящих в том, что в структуре образуются высокодисперсные выделения как внутри зерна, так и по их границам. Скопления некоторых примесей в приграничных объемах, ослабляющих прочность связей между кристаллами при высоких температурах, могут служить причиной резкого снижения жаропрочности. Необходимо учитывать нежелательные и возможные изменения концентрации легирующих элементов в приграничном слое вследствие диффузии или образования новых фаз, которые могут привести к понижению жаропрочности, часто сопровождающемуся к снижению пластичности.

Следовательно, от характера выделения и распределения интерметаллидных частиц, их типа и количества могут существенно меняться свойства материала. На качество сплава оказывают значительное влияние возможные изменения концентрации легирующих элементов в приграничном слое при диффузии легирующих компонентов или образование новых фаз, которые и могут приводить к понижению жаропрочности и пластичности сплавов после полного цикла термической обработки.

Поэтому для устранения характерных изменений материала в приграничных зонах зерна целесообразно применение определенных технологических мер не только при проведении термической обработки, но и на стадии литейного производства.

#### **Литература:**

1. Жаропрочный сплав: пат. № 2194788 РФ: МПК С22С30/00, С22С38/54 патентообладатель А.М. Байдуганов; заявитель ТОО «Нефтемаш». – № 2000116447/02; заявл. 27.06.2000; опубл. 20.12.2002
2. Шлямнев А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: справочник. [Текст] / А.П. Шлямнев // М.: Интернет Инжиниринг. – 2000. – 219 с.
3. Заболотский В.М. Исследование свариваемости высоконикелевых аустенитных сплавов типа 03Х20Н45М3Б [Текст] / В.М. Заболотский и др. // – М.: Вопросы судостроения. Сварка, – 1982. – № 33. – С. 62 – 65.
4. Гаврилов Г.Н. Металловедческие проблемы повышения технологичности и комплекса физико-механических свойств изделий из высоколегированных сплавов [Текст] / Г.Н. Гаврилов, Ю.В. Воробьева, Е.Л. Корзун, А.А. Генералов // М.: Изд-во Чувашского университета, – 2017. – № 3. – С. 180 – 184.
5. Симс Ч.Т. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. Книга 1. [Текст] / Ч.Т. Симс, Н.С. Столофф, У.К. Хагель и др. // М.: Металлургия. – 1995. – 384 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАРТЕНСИТНО-ФЕРРИТНОЙ СТАЛИ 14Х17Н2 ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОКОВОК НА ПАО «РУСПОЛИМЕТ»**

А.С. Фомичев<sup>1</sup>, Е.Л.<sup>1</sup> Корзун Г.Н., Гаврилов<sup>2</sup>, Д.И. Лазарев<sup>2</sup>

1-ПАО «РУСПОЛИМЕТ», г. Кулебаки, Нижегородская обл., Россия

2-НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Разработка и внедрение высоколегированных коррозионно-стойких сталей, обладающих повышенным комплексом физико-механических свойств, в том числе жаропрочностью, является приоритетной задачей современного материаловедения.

*Ключевые слова:* легированные стали,  $\delta$ -феррит, жаропрочность, микроструктура, горячая деформация, термическая обработка.

Эффективное развитие технологий обработки при производстве изделий из высоколегированных сталей, использование которых способствуют снижению себестоимости продукции и улучшению качества крупногабаритных заготовок для предприятий машиностроения имеет приоритетное значение. В первую очередь это относится к условиям производства, обустроенным полным производственным циклом – от выплавки широкого спектра специальных сталей и сплавов до изготовления деталей различной геометрии и широкого размерного диапазона.

Развитие класса мартенситно-ферритных сталей является ярким примером реализации возможности использования современных достижений материаловедения [1,2]. Мартенситно-ферритный класс сталей представляет

собой структурную композицию в виде механической смеси мартенсита и 8-12%  $\delta$ -феррита. В этих сталях содержание хрома составляет 16,0-18,0%, никеля 1,5-2,5 %, содержание углерода в них обычно не превышает 0,15%.

Такой уровень легирования обеспечивает легкую пассивацию поверхности готовых изделий во многих агрессивных средах, а также эксплуатации при повышенных температурах.

На предприятии ПАО «Русполимет» для производства крупногабаритных поковок для изделий ответственного назначения достаточно широко используется сталь мартенситно-ферритного класса – 14X17H2.

Анализ отечественной и зарубежной технической информации по технологии изготовления и термической обработки полуфабрикатов и готовых изделий из стали ЭИ268 (14X17H2) и других марок сплавов аналогичных структурных классов показывает, что сталь 14X17H2 является весьма сложной в технологическом отношении, особенно при изготовлении поковок. Наличие в структуре данной стали больших количеств  $\delta$ -феррита оказывает вредное влияние на ход технологических процессов и качество поковок: ухудшает деформированность стали при ковке и резко снижает свойства пластичности (особенно ударной вязкости) при испытании поковок в тангенциальном или поперечном направлении, повышает анизотропность механических свойств.

Вследствие низкой прочности феррит, деформируясь, способен релаксировать часть напряжений, возникающих на различных этапах и операциях производства поковок, снижая тем самым величину остаточных внутренних напряжений. При занижении до уровня ниже оптимального количества в структуре стали ферритной составляющей осложняется изготовление поковок, из-за склонности их к образованию продольных (чаще всего осевых) трещин, возникающих вследствие больших фазовых напряжений при мартенситном превращении аустенита на операциях охлаждения.

Поэтому анализ кинетики формирования микроструктуры и свойств при изготовлении крупногабаритных горячедеформированных заготовок из стали 14X17H2 и их термическая обработка имеет существенное значение для технологичности изделий и получения требуемого уровня механических свойств.

На комплекс механических характеристик (в частности ударной вязкости) оказывает влияние не только само наличие ферритной составляющей в структуре стали, но и ее расположение относительно направления деформации. Даже при достаточно умеренном ее количестве (до 15 %) и равномерном распределении по сечению, вполне возможно обеспечить высокий комплекс свойств. Но в большинстве случаев, с учетом склонности данной марки к химической ликвации, ферритная фаза вытягивается вдоль направления деформации в виде волокон (ферритная

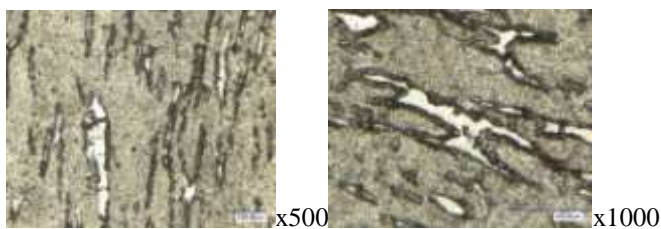


полосчатость), понижая тем самым уровень в основном пластичности и вязкости.

Исследование микроструктуры сплава проводилось с помощью оптического микроскопа KEYENCE VHX-1000 с расширенными возможностями за счет усовершенствованной длиннофокусной оптической системы и цифровой обработки изображения.

Проведено исследование микроструктуры образцов по поперечному сечению материала относительно продольного течения материала при деформировании. При этом выявлено, что в поперечном сечении форма  $\delta$ -ферритных включений имеет преимущественно «овальное» строение. Это свидетельствует о том, что при проведении горячей пластической деформации материала периодические обжимы проводились с различными степенями деформации. Учитывая, что сама по себе  $\delta$ -ферритная фаза является труднодеформируемой, процесс деформирования скольжением аустенитной фазы при горячей обработке давлением изделий в процессе их изготовления может быть неоднородным и неравномерным, что в свою очередь может вызвать формирование межфазных границ  $\delta$ -феррита и аустенита с различной степенью их когерентности (плотности сцепления)[3].

При проведении металлографических исследований микроструктур в процессе электролитического травления было также обнаружено отличительное для стали 14X17H2 предпочтительно ускоренное травление приграничных с  $\delta$ -ферритом зон с мартенситной структурой. Учитывая, что чувствительность матричного твердого раствора (основной фазы в структуре стали) к воздействию электрохимического процесса травления напрямую связана с фактическим количеством в твердом растворе стали атомов хрома, можно предположить, что на границах стыка  $\delta$ -феррита и аустенита (в области высоких температур) или  $\delta$ -феррита и мартенсита (при нормальной температуре) происходит изменение концентрации основного легирующего элемента – хрома в сторону его понижения. По-видимому, хром мигрирует из приграничных зон в  $\delta$ -ферритную фазу, образуя с ней твердый раствор замещения, представленных на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Микроструктура стали 14X17H2 после глубокого электролитического травления.*

Появляется предположение, что связанные друг с другом выявленные изменения, а именно, овальность формы деформированных  $\delta$ -ферритных включений и концентрационного понижения хрома в

приграничных зонах основной структуры стали, обуславливают понижение механической связи указанных фаз, что представлено на рисунке 2.

Далее, при измерении микротвердости было обнаружено её понижение в приграничных межфазных областях. Результаты измерений представлены в таблице 1.

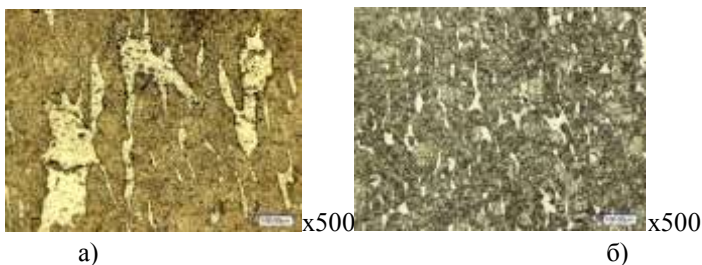


Рисунок 2 –  $\delta$  – феррит в стали 14X17H2:  
а) - шлиф продольный, б) - шлиф поперечный

Таблица 1. Значение микротвердости в структурных фазах стали 14X17H2.

Место измерения, Н <sub>у</sub>	Значения микротвердости, МПа										Среднее значение
	894	1011	1012	896	1006	1032	908	916	974	886	
$\delta$ -феррит	894	1011	1012	896	1006	1032	908	916	974	886	953
мартенсит	2174	1998	1874	1832	2102	2175	2125	2036	1861	1897	2009
граница	1757	1791	1751	1702	1619	1492	1527	1694	1692	1656	1668

При анализе образцов на СЭМ (сканирующий электронный микроскоп) было установлено, что действительно наблюдается изменение интенсивности отраженных электронных пучков-импульсов в зависимости от фактического содержания анализируемых химических элементов.

При этом обнаружено достаточно полное совпадение результатов исследований по относительному содержанию определяемых элементов от геометрии расположения фаз по линии траектории перемещения первичного электронного луча, что представлено на рисунке 3 .

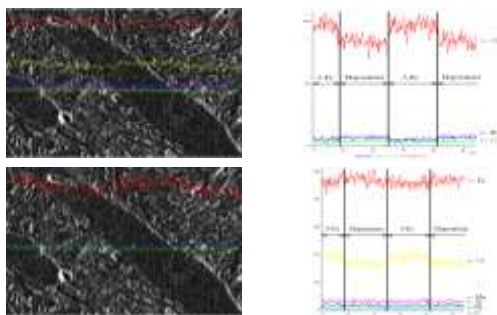


Рисунок 3 – Данные рентгеновского микроанализа в режиме сканирования по линии

В результате проведения исследований образцов, вырезанных из горячедетформированных поковок двух плавок стали 14X17H2 после полного цикла термической обработки, было установлено, что в микроструктуре стали происходит образование некоторых структурных особенностей, состоящих в формировании различного количества  $\delta$ -феррита в виде отдельных обособленных полос (типа мех. смеси), ослабляющих необходимые когерентные межфазные связи, что, в свою очередь, может приводить к снижению пластических свойств материала при проведении горячей пластической деформации и к образованию горячих трещин.

На качество стали оказывает также значительное влияние и характер распределения легирующих компонентов по входящим в структуру фазам и межфазным границам, которое приводит к понижению комплекса механических свойств, особенно при воздействии повышенных температур.

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод о целесообразности применения определенных технологических мер, не только при проведении термической обработки изделий, но и стадии их литейного производства, что должно обеспечить выявленные недостатки в микроструктуре, ослабляющих свойства в приграничных межфазовых зонах, что необходимо для повышения качества готовых изделий.

#### **Литература:**

1. Потак Я.М. Высокопрочные стали. М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
2. Арзамасов Б.Н, и др. Материаловедение. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.
3. Шахматов А.В., Колпишон Э.Ю., Казаков А.А., Исследование морфологии  $\delta$ -феррита по сечению слитка литой высокоазотистой стали, Тяжелое машиностроение, № 7-8, 2016, с. 9-11.

### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

*А.В. Сазонов, И.Н. Кочергина*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС», г. Старый Оскол*

Одним из основных направлений развития технологии сталеплавильного производства является усовершенствование способов внепечной обработки стали, что позволяет обеспечить высокий уровень качества готового металла. Одним из факторов, влияющих на показатели работы агрегатов внепечного рафинирования стали является стойкость огнеупорных изделий при воздействии высоких температур и агрессивных компонентов металла и шлака

*Ключевые слова:* сталеразливочный ковш, огнеупорное изделие, стойкость, механизм разрушения, агрессивные компоненты металла и шлака

В настоящее время для современного металлургического производства характерно использование ковшевой обработки металла [1]. В технологической цепочке производства стали основная доля расхода огнеупоров приходится на сталеразливочные и промезучточные ковши, что связано с длительным временем пребывания металла [2].

Тема исследования, представленного в статье, – одна из важнейших проблем в металлургической отрасли: процесс разрушения огнеупорных изделий при эксплуатации сталеразливочных ковшей (с/к) [3]. Следует отметить, что футеровка с/к работает в жестких условиях эксплуатации, подвергаясь агрессивному воздействию со стороны компонентов расплавленного металла и ковшевого шлака.

Актуальность представленной в статье информации заключается в том, что в результате эксплуатации футеровки с/к в тяжелых производственных условиях возможны прогары с потерей металла и вспомогательного оборудования сталеплавильного цеха. При этом материальные расходы могут достигать миллионов рублей, поэтому вопросы качества применяемых огнеупорных материалов, качества выполнения футеровочных работ и вспомогательных операций со с/к после разливки являются весьма актуальными [4].

Целью представленной работы является обобщение литературных данных, в которых представлена информация, касающаяся вопросов эффективной эксплуатации футеровки с/к, с учетом механизма разрушения.

В большей степени при эксплуатации с/к в металлургической промышленности используются огнеупоры на основе магнезита ( $MgO$ ) или корунда ( $Al_2O_3$ ) [5]. Такие огнеупорные изделия отличаются высокой огнеупорностью (выше  $1900^{\circ}C$ ) и высокой стойкостью против основных и железистых шлаков. Однако такие огнеупорные изделия имеют существенный недостаток - чувствительность к внутренним механическим напряжениям, которые вызываются преимущественно термическим ударом. Это явление объясняется высоким термическим расширением и модулем упругости таких огнеупорных изделий. В результате глубокого проникновения и разъедания силикатными и железосодержащими расплавами износ таких огнеупорных изделий происходит неравномерно [3-5].

Футеровка с/к имеет несколько неравномерно изнашиваемых зон: зона шлакового пояса; днище и нижние ряды стенки, примыкающие к днищу; зона взаимодействия футеровки с потоками металла (в случае донной продувки); область днища, непосредственно прилегающая к продувочному узлу; продувочный и гнездовой блок [4,6]. Наиболее слабым местом в огнеупорном слое являются стыки между отдельными блоками в кладке. В этих местах наблюдаются зоны повышенного локального износа огнеупорных изделий, снижающие срок службы всей конструкции футеровки с/к в целом [6].

В настоящее время для футеровки шлакового пояса, дна и стен с/к широко применяют периклазоуглеродистые огнеупоры (ПУ), технология производства которых была разработана в 80-е годы XX века в Японии, а также алюмопериклазоуглеродистые огнеупоры (АПУ). К примеру, содержание периклазового порошка в ПУ составляет более 85 %, с добавлением 6-25 % природного или искусственного графита и органической связки (например, фенольной порошкообразной с этиленгликолем или бакелита) [7].

ПУ обладают высокой устойчивостью по отношению к железосиликатным шлакам, не менее высокой в определенных условиях устойчивостью графита к этим же шлакам. При этом соблюдается рациональное соотношение прочности и пластичности ПУ при высоких температурах [7,8].

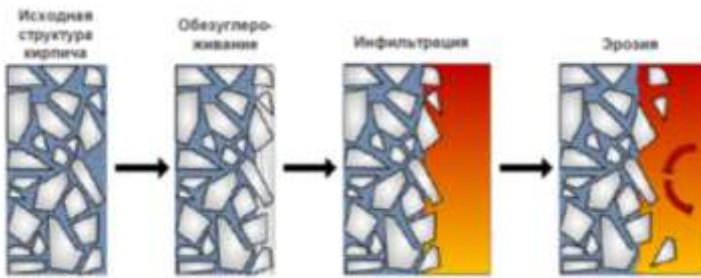
В расплавленном металле оксидные огнеупоры непосредственно не растворяются. Разъедание огнеупоров металлами идет в две стадии. На первой стадии твердые огнеупорные оксиды, реагируя с FeO, MnO или другими компонентами шлакового покрова, продуктами раскисления, переходят в расплав. На второй стадии металл восстанавливает катион оксида из расплава. Образовавшиеся FeO вновь вступают в реакцию по первой стадии [7,8].

Как известно [9], в расплавленной стали содержатся анионы ( $O^{2-}$ ,  $N^{4-}$  и др.) Причем, реакции взаимодействия между компонентами огнеупорного изделия и сталью идут достаточно сложно. В первую очередь компоненты огнеупорных изделий реагируют с анионами кислорода ( $O^{2-}$ ), так как этот анион имеет большую электроотрицательность и взаимодействует с катионами металла  $[M]_x$ , образуя промежуточные металлокислородные комплексы в стали [9], с последующим взаимодействием с компонентами огнеупорного изделия.

Насыщение расплавленного железа кислородом приводит к уменьшению угла смачивания и межфазного натяжения на границе сталь - огнеупор. При содержании в железе 0,07 % O<sup>·</sup> угол смачивания стали на периклазе снижается до 90° [9].

Продукты окисления стали за счет поверхностных сил проникают в огнеупорное изделие, смещая тем самым равновесие реакции взаимодействия в сторону дальнейшего выделения из расплава металла. Основным компонентом окисления стали является FeO. Взаимодействие FeO с ПУ описывается диаграммой состояния FeO - MgO, в которой периклаз и вюстит образуют непрерывный ряд твердых растворов, в случае использования АПУ - системой FeO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с образованием герцинита (FeO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [3,5].

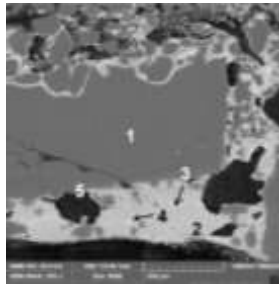
Расплавленная сталь, содержащая углерод, растворяет огнеупорные изделия, содержащие углерод, до степени насыщения углеродом. На рисунке 1 показан процесс разрушения огнеупорных изделий на углеродистой связке, в соответствии с данными [10].



*Рисунок 1 - Разрушение огнеупорных кирпичей на углеродистой связке [10]*

Окисление углеродного связующего при нагреве приводит к потерям матрицы связующего (графита и углеродной сажи), далее обезуглероживание слоя с горячей стороны кирпича приводит к потере прочности, повышению инфильтрации и коррозии.

На рисунке 2 показана микроструктура рабочей зоны ПУ огнеупорного изделия после службы, в соответствии с данными [11].



*1 – периклаз; 2 – монтичеллит; 3 – мервинит; 4 – шпинелид; 5 – пора*  
*Рисунок 2 - Микроструктура рабочей зоны периклазуглеродистого огнеупора после службы [11]*

Наиболее часто взаимодействие огнеупорных изделий с компонентами металлами носит кинетический характер, а взаимодействие со шлаками – диффузионный. Снижение шероховатости поверхности огнеупорного изделия в значительной степени уменьшает скорость реакций на границе раздела огнеупор - металл.

Эффективным средством уменьшения нежелательного взаимодействия огнеупорного изделия с компонентами расплавленного металла является подбор соответствующего состава огнеупорного изделия к составу каждого металла [4,6], что в практических условиях металлургического производства является практически недостижимой задачей.

Основной прогресс в повышении стойкости огнеупорных изделий может быть достигнут в процессе совмещения рациональных физикохимических и эксплуатационных свойств с оптимальным

«построением» конструкции футеровки с/к, которая учитывает технологические особенности ее эксплуатации [1,4].

В заключении стоит отметить, что анализ представленной в статье информации на основе анализа литературных источников позволяет сказать, что основой развития огнеупорных изделий для футеровки с/к заключается в создании изделий, обеспечивающих снижение удельного расхода и затрат [10,11]. При этом стойкость футеровок с/к можно будет определять не только улучшенными свойствами огнеупорных изделий, но и зависимостью от практики их применения в условиях конкретного сталеплавильного цеха. Приоритетным направлением в снижении удельных затрат на огнеупорные изделия является развитие огнеупорных материалов на базе альтернативных источников сырья, более дешевых и доступных для производителей огнеупорных изделий [4-8, 10-11], так цена на сырье, используемое при производстве огнеупорных изделий, с каждым годом растет [2].

#### **Литература:**

1 Совершенствование футеровки агрегатов электросталеплавильного цеха / А.В. Кузнецов и др. // Сталь. - 2010. - № 1. - С. 47-52

2 Смирнов, А.Н. Развитие огнеупорных материалов и изделий для выплавки, доводки и разливки стали / А.Н. Смирнов // Электromеталлургия. – 2012. - №12. - С. 17-29

3 Анализ службы рабочего слоя огнеупорной футеровки ковша для внепечной обработки стали / М.А. Бараненко и др. // Электromеталлургия. - 2005. - № 4. - С. 36-43

4 Повышение эффективности применения огнеупоров в футеровке УКП / Д.Н. Турунов и др. // Сталь. - 2011. - № 11. - С. 38-40

5 Современные огнеупорные материалы для сталеразливочного и промежуточного ковшей / П. Тассо и др. // Сталь. - 2011. - № 7. - С. 40-42

6 Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали / С.И. Боровик и др. // Электromеталлургия. - 2005. - № 6. - С. 43-45

7 Огнеупоры для промышленных агрегатов и топков: справочник в 2 кн. Кн. 2 : Служба огнеупоров / Под ред. проф. д.т.н. И.Д. Кашеева, к.т.н. Е.Е. Грищенко. - М. : Интернет Инжиниринг, 2002. - 656 с.

8 Кашеев, И. Д. Свойства и применение огнеупоров: справочное издание / И.Д.Кашеев. - М. : Теплотехник, 2004. - 352 с.

9 Охотский В.Б. Модели металлургических систем. - Днепропетровск: Системные технологии, 2006. - 287 с.

10 Новейшие разработки РНИ для стальковша, ДСП и конвертера - Режим доступа [http://www.kom.misis.ru/files/archive\\_2016/rhi.pdf](http://www.kom.misis.ru/files/archive_2016/rhi.pdf) / (дата обращения: 20.03.18)

11 Официальный сайт ООО «Группа «Магнетит» - Режим доступа <http://www.magnezit.ru/> / (дата обращения: 20.03.18)

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО БЛЮМА НА СТАДИИ НЕПОЛНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

*Скляр В.А., Смирнов Е.Н., Черменев Е.А., Гончарова А.Н.*

Представлены результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния непрерывнолитого бляма при его двухстадийной деформации на стадии неполной кристаллизации, полученные в ходе моделирования на конечно-элементной модели. Приведены наиболее рациональные параметры процесса деформации, которые отвечают наибольшей эффективности и благоприятному напряженно-деформированному состоянию.

*Ключевые слова:* непрерывно литой бляом, «мягкое» обжатие, компьютерное моделирование, эффективность, напряженно-деформированное состояние

В последнее время сформировалось несколько направлений технической реализации процесса деформирования непрерывнолитых слитков на стадии неполной кристаллизации, каждое из которых преследует цель дальнейшего повышения степени проникновения деформации в сердцевину кристаллизующегося слитка. Что достигается, в основном, за счет деформирования преимущественно центральной области по ширине слитка.

Одним из путей, предусматривающих исключение деформации боковых стенок непрерывнолитого слитка, является обжатие слитка на стадии неполной кристаллизации валками, ширина бочки которых меньше чем ширина слитка. Так, по одной из таких технологий, для обжатия на стадии неполной кристаллизации блямов сечением 400x250 мм использовали валки с длинной бочки 250-300 мм, что позволило ослабить ликвацию и исключить появление внутренних трещин [1].

Вторым путем увеличения проникновения деформации является придание граням слитка определенной формы непосредственно в процессе отливки. В соответствии с данной технологией две противоположные грани слитка отливаются выпуклыми [2]. Далее в клетях обжатия на стадии неполной кристаллизации эти грани обжимаются на величину выпуклости.

К новым относится и способ двухстадийного деформирования непрерывнолитых блямов и заготовок на стадии неполной кристаллизации. Предложено разделить деформационное воздействие на две стадии, а именно: на первой стадии деформируют центральные участки непрерывнолитого слитка на ширине, которая составляет 80-90% от ширины жидко-твердой фазы, а на второй стадии деформируют ранее недеформированные краевые участки [3].

Проведенный в работе [4] анализ показал, что величина сопротивления деформации в углах слитка в среднем в 2,2-2,7 раза больше чем посередине поверхности. В то время как в области ширины поверхности, которая соответствует ширине жидко-твердой фазы, разница в значениях сопротивления деформации не превышает 20%. Поэтому целесообразным является обжатие именно этой области.



Целью работы является компьютерное моделирование способа двухстадийного обжатия непрерывнолитых блюмов на стадии неполной кристаллизации, с целью определения напряженно-деформированного состояния.

С использованием метода конечно-элементного моделирования, был выполнен численный эксперимент и произведен сравнительный анализ двухстадийной и классической (плоскими валками) схем деформирования непрерывнолитых блюмов на стадии неполной кристаллизации, а также определена допустимая величина разового обжатия  $\varepsilon_i$  на основе анализа формируемого напряженно-деформируемого состояния. Геометрическая модель представляла собой половину непрерывнолитого блюма сечением 335x400 мм.

Расчет осуществляли для трех сечений вдоль металлургической длины слитка в местах, которые соответствуют началу, середине и концу зоны обжатия на стадии неполной кристаллизации, как показано в работе [5]. В то же время данные точки соответствуют предполагаемым местам расположения обжимающих клетей. При установке блока из 5 обжимающих клетей, точки будут соответствовать местам установки клетей № 1, 3 и 5. Исследовались три марки сталей 09Г2С, 40Х и сталь 70.

В качестве критерия позволяющего оценить степень проникновения деформации во внутренние слои кристаллизующегося слитка использовалась приведенная степень относительной деформации  $\varepsilon_{пр}$ , которая определялась по следующей формуле

$$\varepsilon_{пр} = \frac{\Delta h_{\phi}}{H_{\text{бл}}} \quad (1)$$

где  $\Delta h_{\phi}$  – абсолютная высотная деформация двухфазной области;  $H_{\text{бл}}$  – начальная высота блюма.

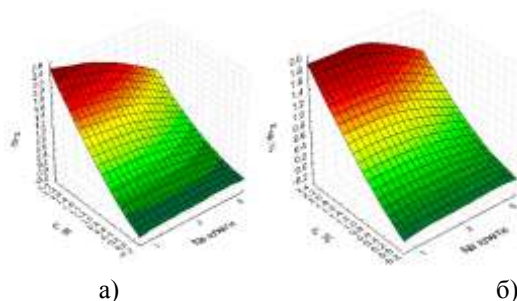


Рисунок - 1. Зависимость приведенной деформации от относительного обжатия и места приложения деформации на первой (а) и второй (б) стадиях

Полученные результаты, представленные на рис. 1, позволили сделать вывод о том, что величина  $\varepsilon_{пр}$  растёт с повышением степени обжатия

$\Delta h_i$  и уменьшается по мере уменьшения содержания жидко-твёрдой фазы, в связи с ростом толщины затвердевшей составляющей слитка.

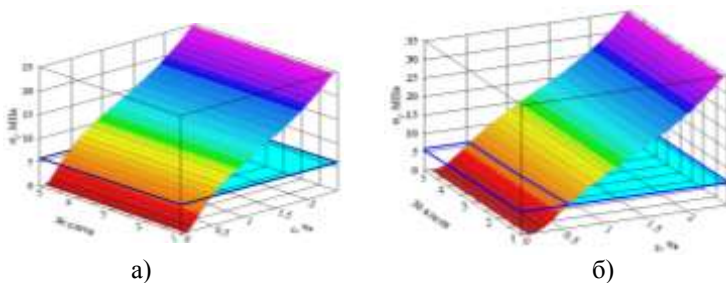
При этом, на второй стадии  $\varepsilon_{пр}$  меньше на 3-23 % чем на первой. Это объясняется тем, что на второй стадии значительная часть приложенного обжатия затрачивается на деформирование боковых стенок непрерывнолитого слитка.

Сравнение полученных данных с аналогичными, но при обжатии в гладких валках позволяют сделать вывод о том, что  $\varepsilon_{пр}$  при реализации двухстадийного деформирования непрерывнолитых слитков на стадии неполной кристаллизации больше на 50-56%, что свидетельствует о большей эффективности нового способа.

Результаты исследования напряжённо-деформированного состояния непрерывнолитых блюмов на стадии неполной кристаллизации (см рис. 2) позволили уточнить величину предельной относительной деформации  $\varepsilon_i$ .

При этом за предельную величину принималось то ее значение, при котором интенсивность напряжений в данной точке превосходит величину предела прочности  $\sigma_b$  металла. Исследования показали, что лимитирующей является величина интенсивности напряжений в закристаллизовавшейся составляющей, примыкающей к фронту кристаллизации  $\sigma_i$ . При этом, она обуславливает максимально возможную величину  $\varepsilon_i$  на уровне 0,5%.

Следует отметить, что в точках, лежащих на поверхности блюма величина интенсивности напряжений больше на 2 стадии, что объясняется большей деформацией боковых стенок блюма.



*Рисунок - 2. Зависимость величины интенсивности напряжений в лимитирующей точке поперечного сечения непрерывнолитого блюма из стали 09Г2С от относительного обжатия и места приложения деформации на первой (а) и второй (б) стадиях*

Вывод. Проведенное компьютерное моделирование нового способа двухстадийного «мягкого» обжатия непрерывнолитых слитков на стадии неполной кристаллизации с помощью метода конечных элементов позволило показать преимущества его применения, и определить предельную величину относительного обжатия  $\varepsilon_i$  применительно к условиям отливки блюма 335x400 мм.

### Литература:

1. Легкое обжатие непрерывнолитого слитка валками с разной длиной бочки / К. Цуцуми, К. Фукумура, С. Нисока [и др.]// Новости черной металлургии за рубежом. -1996. - № 1. - С. 52.
2. Byrne, C. Mechanical soft reduction of billet. / C. Byrne. C. Tercelli.// IMA Conference Series. – Oxford. - 1999.
3. Смирнов Е.Н., Смирнов А.Н., Скляр В.А. и др. Пат. 75537. UA, МПК В 22 D 11/12, Способ обжатия непрерывнолитых блюмов и заготовок в жидко-твердом состоянии, 2006. - Бюл. № 4 - 4 с.
4. Smirnov Y., Sklyar V. Features of deformation of partly crystallization blooms at their two-stage soft reduction // Materials Science Forum, 2012. - Т. 704-705. - С. 1-5.
5. Скляр В.А., Горожанкин А.С. Расчетное исследование динамики формирования закристаллизовавшейся составляющей блюма // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - 2016. - С. 114-119.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА «МЯГКОГО» ОБЖАТИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА

*Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Богадевич Д.И., Постникова А.В.*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС», г. Старый Оскол*

Приведено описание нового двухстадийного способа «мягкого» обжатия непрерывнолитых блюмов и заготовок. Представлены план и методика эксперимента по физическому моделированию двухстадийного обжатия непрерывнолитых блюмов. Приведены наиболее рациональные параметры процесса деформации, которые позволят добиться максимальной эффективности процесса с точки зрения проникновения деформации в середину непрерывнолитого слитка.

*Ключевые слова:* непрерывнолитой слиток, двухстадийное «мягкое» обжатие, физическое моделирование, температурное подобие, эффективность.

В последнее время с целью повышения качества осевой части непрерывнолитых слитков применяется технология контролируемого вторичного охлаждения, одним из элементов которой является процесс их «мягкого» обжатия на стадии неполной кристаллизации [1].

Для повышения эффективности проникновения деформации в осевую часть слитка, необходимо увеличивать степень обжатия, что может привести, в свою очередь, к появлению внутренних и поверхностных трещин [2]. Данные недостатки обусловили развитие новых способов реализации процесса «мягкого» обжатия непрерывнолитых слитков.

Целью работы является физическое моделирование способа двухстадийного «мягкого» обжатия непрерывнолитых слитков на стадии неполной кристаллизации, обеспечивающего повышение эффективности проникновения деформации в осевую часть непрерывнолитого слитка.

В соответствии с разработанным способом предложено разделить один этап обжатия на две стадии. Причем, на первой стадии обжимают центральные участки слитка профилированными валковыми парами первого ряда на ширине, равной 80-90% от ширины жидкой фазы со степенью деформации 0.6-1.2%. На второй стадии обжимают недеформированные краевые участки слитка гладкими валковыми парами второго ряда с перекрытием по ширине грани слитка на величину, равную половине прежде недеформированного центрального участка с жидкой фазой, где степень деформации 0.8-1.4% [3]. Схематическое расположение валков в клети «мягкого» обжатия непрерывнолитых слитков показано на рис. 1.



*Рисунок - 1 Схема расположения валков при «двухстадийном» «мягкого» обжатии*

Для исследования был разработан новый способ, который обеспечивает более качественное достижение подобия в распределении не только температур, но сопротивления материала деформации, по сечению в натурном непрерывнолитом слитке и физической модели [1]. Данное подобие было достигнуто за счет определения гомологической температуры пластилина, при которой он, в достаточной мере, моделирует поведение металла непрерывнолитого слитка в процессе обжатия на стадии неполной кристаллизации.

При планировании эксперимента в качестве факторов были использованы следующие независимые величины:  $\varepsilon = \Delta h / h_0$  – относительное обжатие за проход,  $A_F = F_0 / F$  – отношение площади отверстия, которое имитирует жидкую фазу, к площади поперечного сечения модели и  $\theta = (T_{пл} - T) / T_{пл}$  – отношение разницы температуры плавления  $T_{пл}$  и температуры внешней поверхности физической модели  $T$  к температуре плавления.

Уровни и интервалы варьирования факторов предоставлены в табл. 1. Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены полые пластилиновые физические модели, которые в масштабе 1:10, имитировали непрерывнолитой блюм сечением 335x400 мм. Размеры внутренней полости, которая моделирует двухфазную область, соответствовали размерам полости непрерывнолитого блюма на уровне 13, 15 и 17 метров металлургической длины слитка, которые были получены в работах [4, 5].

Таблица 1 - Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Интервал варьирования	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Нижний уровень (-1)
$\varepsilon = \Delta h / H_0$	0,025	0,055	0,080	0,030
$\Lambda_F = F_0 / F$	0,016	0,098	0,114	0,082
$\theta = (T_{пл} - T) / T_{пл}$	0,046	0,300	0,346	0,254

Эксперимент проводился в следующей последовательности: сначала физическую модель помещали в экспериментальную установку, где формировалось ее необходимое тепловое состояние. В дальнейшем физическую модель прокатывали на лабораторном стане, обмеряли и фотографировали.

Прокатку физической модели осуществляли в две стадии. В первом проходе обжималась центральная часть слитка на необходимой ширине, а во втором боковые участки. В обоих случаях физическая модель прокатывалась с получением недоката, чтобы получить в дальнейшем распределение деформаций и напряжений. Для проведения эксперимента использовался специально изготовленный комплект валков, позволяющий поэтапно деформировать физическую модель на первой и второй стадиях процесса. Конструкция валка предусматривала регулировку ширины обжимаемого участка на второй стадии.

Для оценки эффективности разработанного способа двухстадийного «мягкого» обжата непрерывнолитых блюмов определялся критериальный коэффициент с использованием следующего выражения:

$$K_{эф} = 100 \cdot \frac{\Delta b_{ж} / \Delta h_{ж}}{\Delta V_{эф} / V_0} \quad (1)$$

где  $\Delta b_{ж}$  – относительное уширение жидкой фазы за две стадии, мм;  
 $\Delta h_{ж}$  – относительное обжатие жидкой фазы за две стадии, мм;  
 $\Delta V_{эф}$  – величина смещенного объема за две стадии на единичной длине блюма, мм<sup>3</sup>;  
 $V_0$  – объем блюма единичной длины, мм<sup>3</sup>.

Как следует из выражения (1), наиболее эффективным будет та схема деформирования, при которой высотная деформация двухфазной области будет максимальной, а уширение минимальным. При этом, чем больше доля проникновения высотной деформации, тем большая вероятность разрушения «мостов» дендритов.

По результатам обработки экспериментальных данных были получены графические зависимости коэффициента эффективности от управляющих факторов. В частности, зависимость коэффициента эффективности от управляющего фактора «Относительное обжатие  $\varepsilon$ » приведена на рис. 2.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при увеличении степени обжарки  $\varepsilon$  во всем интервале исследуемых значений эффективность процесса возрастает.

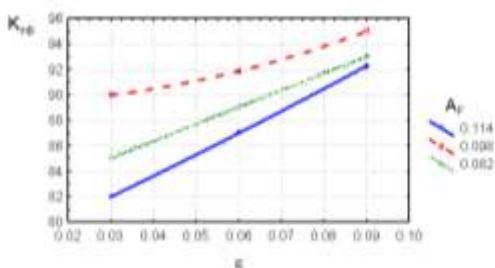


Рисунок - 2. Зависимость коэффициента эффективности  $K_{эф}$  от управляющего фактора «Относительное обжарки  $\varepsilon$ » при  $\theta = 0,300$ .

А в интервале варьирования величины  $A_F$  наблюдается максимум эффективности, который соответствует середине интервала ( $A_F = 0,111$ ).

Такой характер зависимости коэффициента эффективности  $K_{эф}$  от фактора  $A_F$  можно объяснить следующим образом. При максимальном значении  $A_F$  (содержание жидко-твердой фазы максимально) высотная деформация хорошо проникает в середину непрерывнолитого слитка. Однако, более тонкие боковые стенки непрерывнолитого слитка легче подвержены изгибу, что приводит к повышенному уширению двухфазной области. Таким образом, в достаточной мере происходит разрушение «мостов» дендритов, которые мешают движению расплава. Вместе с тем, само вытеснение данного расплава из области окончательного затвердевания происходит в недостаточной мере.

С уменьшением доли жидко-твердой фазы, уменьшается и величина проникновения высотной деформации за счет увеличения толщины закристаллизовавшейся оболочки непрерывнолитого слитка. В то же время, увеличение толщины боковых стенок слитка приводит к меньшему уширению двухфазной области за счет чего и повышается эффективность процесса в целом. Когда содержание жидко-твердой фазы минимально ( $A_F = 0,082$ ), высотная деформация проникает в середину слитка в уже недостаточной мере т.к. деформация локализуется в приконтактных областях, что приводит к уменьшению эффективности процесса.

Также следует отметить, что с увеличением градиента температур  $\theta$  эффективность процесса несколько увеличивается. Повышение эффективности с увеличением градиента температур  $\theta$  связано с особенностями деформации слитка на второй стадии, когда происходит деформация краевых участков бьюма. В этом случае более низкая температура поверхности (и, соответственно, более высокое сопротивление деформации), способствует вовлечению в процесс деформации осевой части

блюда. В этом случае деформация в большей степени проникает в центральную часть слитка.

Вывод. В результате эксперимента с использованием физических моделей определены наиболее рациональные параметры процесса двухстадийного «мягкого» обжата непрерывнолитых слитков, которые обеспечивают максимальную эффективность. Раскрыты механизм проникновения деформации в середину непрерывнолитого слитка при реализации процесса двухфазного обжата.

#### **Литература:**

1. Smyrnov, Y.N. Physical and Computer modeling of new soft reduction Process of continuously cast blooms / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin и др. //Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2015. - 50. - № 6. - P.12-17.

2. Смирнов Е.Н., Ручко В.Н., Коваленко С.А., Скляр В.А. Моделирование НДС непрерывнолитой сортовой заготовки в тянуще-правильной машине МНЛЗ // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - 2016. - С. 139-146.

3. Смирнов Е.Н., Смирнов А.Н., Скляр В.А. и др. Пат. 75537. UA, МПК В 22 D 11/12, Способ обжата непрерывнолитых блюмов и заготовок в жидко-твердом состоянии, 2006. - Бюл. № 4 - 4 с.

4. Скляр В.А., Сотников Ф.Ю. Численное моделирование теплового состояния непрерывнолитых слитков в двухфазном состоянии // В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2016. - С. 132-139.

5. Смирнов Е. Н., Ручко В.Н., Скляр В. А., Соболев А.Г. Исследование влияния фактора взаимного расположения участков «изгиба и правки» и «мягкого» обжата на напряженно-деформированное состояние непрерывнолитой заготовки // Современные проблемы электрометаллургии стали: Материалы XVII международной конференции. Челябинск, 2017. – Ч. 2. – С. 52-56.

### **ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛОШИХТЫ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЛУПРОДУКТА И СЕБЕСТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАЛИ**

*Шевчик Н.А., Малахова О.И.*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС», г. Старый Оскол*

Для производства электростали в высокомошных дуговых печах (ДСП) используется большое количество различных материалов. Расход шихтовых материалов наряду с затратами на потреблённую электроэнергию существенно влияет на себестоимость стали. Более чем на 80 % себестоимость стали определяется стоимостью используемого сырья, прежде всего - металлошихты [1]. Кроме того, от применяемых материалов и их соотношения, зависит содержание в жидкой стали вредных примесей, что, несомненно, влияет на качество готовой продукции.

*Ключевые слова:* ДСП, шихта, качество стали, себестоимость стали

В условиях электроплавки в ДСП применяют следующие компоненты металлошихты: металлолом, металлизированные окатыши и горячбрикетированные железорудные брикеты, твёрдый или жидкий чугун, а также добавочные материалы: флюсы (известь, плавиковый шпат, коксик), окислители (воздух, кислород, окисленные железорудные окатыши, окалина и др.), топливо (чаще всего природного газа), электроэнергия, вода, инертные газы (аргон), огнеупорные материалы, электроды. Стоимость тонны компонентов шихты варьируется от 85 (железная руда, известь) до 250 долларов (металлизированные железорудные брикеты) и существенно зависит от конъюнктуры рынка.

Расход металлошихты определяется: составом используемых компонентов шихты, характером шихты, технологией плавки (с полным или частичным окислением примесей, методом переплава, малошлаковая технология или с заменой шлака). Расход металлошихты снижают при использовании в качестве окислителей железной руды, окалины или других материалов, в состав которых входит железо (оно частично восстанавливается и переходит в металл).

В последние годы расширяется использование при выплавке стали в электропечах металлизированных окатышей, получаемых методами прямого восстановления. Важная характеристика окатышей – степень металлизации, т.е. отношение количества восстановленного (металлического) железа к его общему количеству в окатыше; обычно она составляет 88–97 %.

Таблица 1- Приблизительный состав шихтовых материалов [2, 3]

Компонент	Химический состав
Легковесный лом	0,05% С, 0,12% Мп, 0,015% Р, 0,015% S, 0,06% О, 0,003% Се, 0,26% Cr, 0,02% Cu, 0,14% Мо, 0,001% Nb, 0,4% Ni, 0,001% Sn, 0,015% Ti, 0,005% V, 0,009% W+Fe остаток
Тяжеловесный лом	0,05% С, 0,12% Мп, 0,015% Р, 0,015% S, 0,06% О, 0,003% Се, 0,26% Cr, 0,02% Cu, 0,14% Мо, 0,001% Nb, 0,4% Ni, 0,001% Sn, 0,015% Ti, 0,005% V, 0,009% W+Fe остаток
Железная руда	99,1% FeO, 0,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0,5% CaO, 0,1% MgO, 0,001% P
Известь	94,9% CaO, 1,2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 1,8% MgO, 2,1% SiO <sub>2</sub>
Металлизированные окатыши (DRI)	1,5-2,0% С, 90% Fe <sub>общ.</sub> , 85% Fe <sub>металл.</sub> , 0,005% S, 0,015% P
Горячбрикетированное железо (HDRI)	90,5% Fe <sub>общ.</sub> , 87% Fe <sub>металл.</sub> , 1,7% С, 3,9% SiO <sub>2</sub> , 0,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0,004% S, 0,011% P
Чугун	4,5% С, 0,5% Мп, 0,4% Si, 0,08% Р, 0,02% S+Fe остаток

Существенными особенностями технологии электроплавки с применением большого количества металлизированных окатышей в шихте являются непрерывная загрузка окатышей со скоростью, пропорционально подводимой в печь электрической мощности, причем загрузка должна начинаться после формирования в печи ванны жидкого металла; совмещение периода плавления с окислительным (обезуглероживанием); упрощение технологии плавки в связи с малым содержанием в шихте вредных примесей – серы и фосфора. При выплавке стали в ДСП возможно различное сочетание



доли лома и окатышей оптимальное содержание окатышей в шихте составляет 60–70% от ее массы; при большем их содержании возрастает длительность расплавления и плавки в целом.

Таблица 2 - Средний химический состав металла

Металлошихта	Доля	C%	Mn%	Si%	O%	Ce%	Cr%
Лом А	0,14	0,05	0,12	0,17	0,06	0,003	0,26
Лом Б	0,11	0,05	0,12	0,17	0,06	0,003	0,26
Металлиз. окатыши	0,60	2	0,3	3,9			
Стальная стружка	0,05	0,45	0,78	0,31	1,73		0,15
Чугун твердый	0,03	4,5	0,5	0,4			
ГБЖ	0,05	1,7	0,3	4,1			
<b>Средний состав полупродукта</b>		1,4505	3,723	2,8826	0,5567	0,0004	0,0016

Таблица 3 - Средний состав металла (продолжение)

Cu%	Mo%	Nb%	Ni%	Sn%	Ti%	V%	W%	S%	P%
0,02	0,14	0,001	0,4	0,001	0,015	0,005	0,009	0,015	0,015
0,02	0,14	0,001	0,4	0,001	0,015	0,005	0,009	0,015	0,015
0,006				0,001	0,02			0,005	0,015
								0,013	0,014
								0,08	0,02
0,005				0,001	0,02			0,004	0,011
0,0104	0,0056	0,0003	0,0008	0,0008	7E-05	0,0002	9E-05	0,0003	0,0024

Другим способом снижения стоимости шихты, которая приведет к минимизации себестоимости стали, является применение современных информационных технологий – различных методов оптимизации [4-6]. Например, успешно зарекомендовал себя этот метод минимизации шихты в кислородном конвертере на европейских предприятиях [3] на основе симплекс-метода.

Симплекс в  $k$ -мерном факторном пространстве представляет собой замкнутую геометрическую фигуру, образованную  $k+1$  вершинами, соединенными между собой прямыми линиями. Координаты вершин симплекса являются значениями факторов в отдельных опытах.

Основное свойство симплекса состоит в том, что отбрасыванием одной из его вершин и построением новой вершины, лежащей по другую сторону противоположной грани, получают новый симплекс. При последовательной постановке опытов в новых вершинах симплекс осуществляет шаговое перемещение в факторном пространстве.

При поиске оптимума отбрасывается вершина, имеющая наихудший отклик объекта моделирования. Новая вершина получается отражением худшей вершины относительно противоположащей грани. Отражение худшей вершины позволяет постепенно смещаться в сторону искомого оптимума. При этом, целевая функция имеет вид:

$$F = f(C, D) \rightarrow \min \quad (1)$$

В нормативной документации содержатся основные требования к исходным материалам – металлическому лому, металлизированным окатышам

и брикетам, а также ферросплавам и добавочным материалам – по химическому составу, физическим свойствам, по фракционному составу и др. Также при необходимости, дополнительно указываются виды ферросплавов и добавочных материалов для производства конкретных марок стали.

Таким образом, алгоритм определения минимальной себестоимости металлошихты, включает следующие этапы:

- ввод исходных данных (вид, количество и стоимость тонны компонента металлошихты);

- построение начального симплекса по выражению:

$$\begin{cases} X_i^j = X_i^j + \Delta_1, & \text{если } i \neq j \\ X_i^j = X_i^j + \Delta_2, & \text{если } i = j \end{cases} \quad (2)$$

- определение значения функции (1) в его вершинах;

- отыскание наихудшего и наилучшего откликов;

- построение нормального отражения худшей вершины и определение в ней отклика  $f(X)$  по выражению:

$$X_i^n = 2 \cdot X_i - X_{gr} \quad (3)$$

- оценка достижения оптимального значения;

- если оптимальное значение не достигнуто, то необходимо повторить процедуру расчета, приняв полученный симплекс за начальный;

- вывод результатов расчета на печать.

Результаты вычислительного эксперимента для одного из вариантов шихтовки приведены в таблице.

Таблица 3 - Стоимость металлошихты

Металлошихта	Масса, т	%	% от себестоимости*
Лом А	25	14,5	78
Лом Б	20	11,6	
МО	111,3	65	
Стальная стружка	10	5,8	
Твердый чугун	5	2,9	
Итого	171,3	100	

\* Себестоимость металлошихты для базового варианта составляет 84%.

Вывод. Таким образом, нами разработан алгоритм, позволяющий минимизировать стоимость металлошихты при выплавке в дуговой сталеплавильной печи на основе симплекс-метода. Применение рассмотренного алгоритма в производственных условиях позволит снизить себестоимость металлошихты в электросталеплавильном производстве до 2 % в зависимости от сортамента выплавляемой стали. Данный алгоритм может использоваться в различных сталеплавильных агрегатах и учитывает большое разнообразие составляющих металлошихты.

#### Литература:

1. Шевчик Д.А. Минимизация себестоимости металлошихты в сталеплавильном производстве с использованием симплекс-метода. В сборнике «Четырнадцатая Всероссийская научно-практическая конференция студентов и

аспирантов» (сборник научных и научно-практических докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов). Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2017 г. С. 172-174.

2. Особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Малахова О.И., Кожухов А.А., Черменев Е.А., Казарцев В.О., Степанов В.А. *Электromеталлургия*. 2017. № 3. С. 2-7.

3. <https://steeluniversity.org/product/basic-oxygen-steelmaking-simulation/> точка доступа 12.04.2017 г.

4. Исследование факторов вспененного шлака на показатели электроплавки металлизированных окатышей в ванне дуговой печи. Федина В.В., Малахова О.И., Сазонов А.В. *Современные наукоемкие технологии*. 2005. № 2. С. 71-72.

5. Теплоэнергетические особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Малахова О.И., Крахт Л.Н., Казарцев В.О. *Сталь*. 2017. № 3. С. 22-26.

6. Энергосберегающий режим электроплавки при синхронизации процессов нагрева и обезуглероживания. Баргенева О.И., Меркер Э.Э., Харламов Д.А. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2001. № 9. С. 57.

## СВАРКА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*Д. А. Шеманов*

*ГБПОУ «Выксунский металлургический колледж им. А.А. Козерадского»*

Изделия, изготовленные в результате сварки, получают все более широкое применение в промышленности и многих других отраслях. Многие детали, изготавливаемые из высоколегированных марок стали, свариваются только дуговой сваркой. Процесс этот дорогостоящий. Повсеместно разрабатываются технологии по удешевлению дорогостоящих легированных деталей. Одним из основных направлений получения особо ответственных деталей сегодня является получение их из биметаллов, в связи с чем данная работа направлена на разработку параметров и процесса сварки биметаллических изделий. В результате проведенного исследования предлагается получать биметаллические изделия с помощью заранее заготовленных параметров и тратить меньше времени на разработку процесса сварки и дефектов швов. Идея по сварке двух биметаллических пластин на различных легированных марках стали возникла в результате использования новейшего сварочного оборудования, приобретенного в мастерские колледжа. Как можно облегчить процесс сварки биметаллических изделий? Самый простой выход – создать базу с параметрами и процесса сварки.

В таблице 1 приведены параметры режимов сварки, полученные при экспериментах в мастерских, которые показали положительные результаты.

Таблица 1 - Параметры экспериментальных режимов сварки

№ exper.	I <sub>св</sub> ; А	U ; В	V <sub>св</sub> ; М/сек	Расход газа Л/мин.
1	140	25	10	7
2	150	20	12	8
3	155	17	15	8
4	120	35	10	6

5	140	30	17	7
6	160	15	20	8,5

Из существующих видов источников питания сварочной дуги выбраны – сварочные инверторы – один из видов источника питания сварочной дуги. Преимуществом его является уменьшение размеров силового трансформатора и улучшение динамической характеристики дуги. Использование инверторных технологий привело к уменьшению габаритов и массы сварочных аппаратов, улучшению качественного показателя сварочной дуги, повышению КПД, минимальному разбрызгиванию при сварке, позволило реализовать плавные регулировки сварочных параметров. Типы сварочных инверторов в мастерских колледжа: Инверторы марок Ресанта САИПА – 200, Ресанта САИПА – 165, Elitech ИС 220П и Foxweld Invermig 160 combi. В процентном соотношении в отечественном производстве лидируют Elitech ИС 220П (28%) и Foxweld Invermig 160 combi (26%). Для проведения экспериментальной сварки и подбора режимов в ВМК применялось оборудование марки Elitech ИС 220П. С помощью ручной дуговой сварки были выполнены эксперименты по сварке биметаллических пластин. Схема процесса ручной дуговой сварки заключается в том, что дуга горит между стержнем и основным металлом детали. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл расплавляются, образуя сварочную ванну. Капли жидкого металла с электрода переносятся в сварочную ванну через дуговой промежуток. Вместе с металлическим стержнем плавится и электродное покрытие, образуя на поверхности расплавленного металла газовую защиту и жидкую шлаковую плёнку. По мере движения дуги сварочная ванна охлаждается и затвердевает, образуя сварной шов. Жидкий шлак также затвердевает, образуя на поверхности шва твёрдый шлак, удаляемый после сварки. Отличительной особенностью дуговой сварки в защитных газах является защита основного и электродного металлов, нагретых до высоких температур, от вредного влияния воздуха защитными газами, обеспечивающими физическую изоляцию металла и зону сварки от контакта с воздухом и обеспечивающую заданную атмосферу в зоне сварки. В опытном порядке использовали инертные и активные защитные газы. Сварочную проволоку устанавливали с таким расчётом, чтобы в процессе сварки происходил устойчивый процесс плавления электрода без коротких замыканий и обрывов дуги. Стальную холоднотянутую сварочную проволоку сплошного сечения выпускают по ГОСТ 2246-70, который предусматривает 77 марок разного химического состава, разделяющихся на три группы: низкоуглеродистые, легированные, высоколегированные, химический состав некоторых приведён в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав сварочных проволок

Химический состав проволоки	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
Низкоуглеродистая							
Св-08	≤0,10	≤0,03	0,5	≤0,15	≤0,3	≤0,04	≤0,04

Св-08ГА	≤0,10	≤0,03	0,9	-	-	≤0,03	≤0,03
Легированная							
Св-08ГС	≤0,10	0,7	1,5	≤0,2	≤0,25	≤0,25	≤0,3
Св-08Г2С	≤0,10	0,8	1,9	-	≤0,25	-	-
СВ-18ХГС	≤0,18	1,1	1,0	0,9	≤0,3	≤0,25	≤0,25
Высоколегированная							
Св-12Х13	≤0,14	≤0,5	0,5	13	≤0,6	≤0,25	≤0,3
Св-07Х19Н10Б	≤0,09	≤0,7	1,8	19	9,5	0,15	≤0,3
Св-0Х16Н25АМ6	≤0,10	≤0,6	1,5	16	25	0,18	0,2

С увеличением скорости сварки уменьшается все геометрические размеры шва. Поэтому расход защитного газа определяли в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки и тепловой мощности дуги, зависящей от силы тока.

Биметаллы - композиционный материал, состоящий из двух или более различных слоёв металлов, или их сплавов. Термобиметаллические материалы относятся к группе прецизионных материалов. Биметалл применяется:

- 1) для изготовления корпусов нефтехимического и атомно-энергетического оборудования (при этом используется коррозионностойкий биметалл);
- 2) при изготовлении подшипников скольжения (при этом используются антифрикционные биметаллы);
- 3) при изготовлении узлов ракетно-космической техники (при этом используются биметаллы с особыми свойствами).

Антикоррозионный биметалл представляет собой дешёвый металл, покрытый слоем более коррозионностойкого (дорогостоящего) металла. Покрытие осуществляют с одной или с обеих сторон. В качестве покрытия используются коррозионностойкие сталь, титан, латунь, серебро, медь, никель, алюминий и другие металлы. Антикоррозионный биметалл применяется для изготовления химических сосудов и аппаратов, кухонной утвари, дешёвых плакированных монет.

Антифрикционное покрытие. Покрытие или вкладыши, покрытые баббитом, применяются в подшипниках скольжения для уменьшения трения.

Для проведения экспериментальной сварки брали по две биметаллические пластины на режим, один слой которых - из стали марки Ст 20, другой – из стали марки 5Х18Н9Т, размерами 40х100х6 мм. Сваривали их с помощью полуавтоматической сварки на сварочных установках инверторного типа Elitech ИС 220П. Режимы сварки, которые применялись в экспериментах, приведены в таблице 1. В качестве защиты для дуги использовали защитный углекислый газ (СО<sub>2</sub>) и аргон (Ar). Для внутреннего шва брали газ СО<sub>2</sub>, а для наружного шва применялась смесь Ar + СО<sub>2</sub>. В результате были получены биметаллические изделия размерами 40х100х12,3 мм. Качество сварки было проверено механическими испытаниями: на загиб, на растяжение, а также было проведено металлографическое исследование – проверка на наличие дефектов и исследование структуры (рис. 1).

Результаты механических испытаний и металлографических исследований – удовлетворительные. Результаты проведенной исследовательской работы показали, что изготовление сложных деталей из биметаллов дуговой сваркой является актуальным и производит экономический эффект.

На металлургических предприятиях применяется инструмент деформации, изготовленный из легированных и высоколегированных марок стали, а на предприятиях машиностроительной и строительной отраслей – детали и сварные конструкции из дорогостоящих сплавов и металлов. Эксперименты показали, что имеет смысл проработать возможность изготовления из биметаллических материалов инструмента деформации, деталей и применение этого метода в промышленных масштабах. Получение сложных конструкций обязательно повлечет за собой применение дуговой сварки данных изделий. Появится реальная возможность оценить экономический эффект от внедрения «базы», который будет значительным.

Идея использования биметаллов найдет свое применение при сварке труб разного диаметра из биметаллических изделий на АО «Выксунский металлургический завод». Реализация данной идеи осуществима в период производственной практики студентов колледжа в структурных подразделениях АО «ВМЗ». При условии применения результатов, полученных в ходе нашего эксперимента, рассчитаем экономический эффект:

1. Стоимость биметаллической стали - ~ 200 000 руб./т.
2. Стоимость легированных электродов - ~ 220 руб./кг.
3. Стоимость электродов из Ст3 - ~ 120 руб./кг.
4. Расход на брак продукции 50 т. Руб./кг
5. Расход на время внедрения 5т. Руб./ч

Расчет:

$200\ 000 - 55\ 000 = 145\ 000$  руб./т. - на выходе, без применения данной базы.

Экономический эффект применения биметаллических труб, приваренных дуговой сваркой, в химической промышленности составляет 55 000 рублей на 1 тонну.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ОКАТЫШЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

*В.А. Бервинов*

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», г. Новотроицк*

Для улучшения извлечения железа из бедных руд применяют многостадийные технологические схемы с увеличением тонины помола руд до 80-95%, класса 0-0,05 мм. Агломерация таких руд затруднена. Выход был найден путем использования данной фракции материала при производстве обожженных окатышей [1,2], которые в дальнейшем применяются в доменном производстве для частичной замены агломерата. Но появилась

проблема в подборе оптимального химического состава и технологии производства для получения окатышей с требуемыми физическими и механическими свойствами, необходимыми при применении окатышей в доменной плавке.

Качество окатышей выражают большим количеством показателей, отражающих их свойства и функциональные признаки. Обычно их группируют на следующие три признака:

- химико–минеральный состав;
- механические свойства;
- физико-химические свойства.

По химико-минеральному составу окатыши делят на нефлюсованные, офлюсованные и доломитизированные.

Параметрами качества, определяющие механические свойства окатышей являются: крупность, прочность на разрушаемость и истираемость, содержание лимитируемого класса < 5мм и пористость.

В группу физико–химических свойств входят следующие признаки: восстановимость; прочность при восстановлении (при различных температурах: 600–800°С; 800–950°С); газодинамические свойства расплава, измеряемые путем перепада давления при восстановлении; размягчаемость; набухаемость [3].

Очевидными достоинствами окатышей являются:

- высокое содержание железа;
- высокая «холодная» прочность и атмосферная стойкость, что позволяет транспортировать их на большие расстояния в отличие от агломерата;
- окатыши подлежат длительному хранению на складах, в то время как агломерат при хранении рассыпается с образованием большого количества мелочи и его дальнейшее использование в доменном переделе становится невозможным;
- при меньшей доле кремнезема в окатышах по сравнению с агломератом меньше и потребность в известняке для офлюсования окатышей;
- при использовании богатых железорудных окатышей в доменном переделе сокращается их расход и выход шлака;
- преимуществом окатышей в сравнении с агломератом является также их высокая восстановимость, обусловленная большой пористостью. Это обеспечивает повышение степени использования газа в верхней ступени теплообмена печи и соответствующее снижение энергоемкости плавки [4].

Недостатками окатышей, проявляющимися в восстановительных условиях доменной плавки, являются:

- в результате восстановительно-тепловой обработки газами наблюдается «разбухание» и разупрочнение окатышей с образованием большого количества мелочи и возрастанием газодинамического сопротивления верхнего слоя шихты движению газового потока;
- при взаимном контакте окатышей наблюдается их слипание с образованием конгломератов (масса спеченных окатышей), которые из-за

высокой температуры плавления поверхностного слоя не санкционировано приходят в нижнюю зону печи, вызывая снижение основности шлака и похолодание печи;

- неофлюсованные железорудные окатыши содержат в своей основе низкоплавкую фаялитную составляющую ( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ) и начинают плавиться при низкой температуре, что приводит к появлению первичного шлакового расплава с высоким содержанием в нем монооксида железа ( $\text{FeO}$ ), характеризующегося чрезвычайной высокой агрессивностью к огнеупорной кладке печи. Контакт такого шлака с кладкой печи приводит к значительному сокращению срока службы огнеупоров [5];

- большое содержание неофлюсованных окатышей в шихте ухудшаются защитные свойства гарнисажа, и увеличивается количество вышедших из строя холодильников в нижней части шахты, в распаре и заплечиках.

Таким образом, для конкретных условий плавки и состава окатышей существует оптимальный уровень их расхода, обеспечивающий высокие показатели плавки. Для определения этого уровня был выполнен анализ данных работы доменной печи №1 АО «Уральская Сталь» за периоды с использованием окатышей с разной степенью офлюсования:

- в период с 2013 по 2015 года применялись неофлюсованные окатыши Михайловского ГОКа;

- в период с 2015 по 2016 год применялись частично офлюсованные (с основность 0,5 ед.).

В результаты проведенного анализа были установлены оптимальные параметры работы доменной печи №1 АО «Уральская Сталь» на офлюсованных и неофлюсованных окатышах (таблица 1).

Таблица 1 – Оптимальные параметры доменной плавки на примере доменной печи №1 АО «Уральская Сталь».

Параметры	Работа на неофлюсованных окатышах	Работа на офлюсованных окатышах
Доля окатышей, %	до 25	До 45
Расход дутья, м <sup>3</sup> /мин.	1930	2100
Давление дутья, атм.	2,10	2,10
Общий перепад фурмы–колошник, атм.	1,00–1,05	1,05–1,10
Давление газа под колошником, атм.	1,10	1,05
Температура дутья, °С	1130	1130
Содержание кислорода в дутье, %	26,4	28,7
Природный газ, м <sup>3</sup> /т	≤ 90	≤ 95
Расход кокса, кг/т	473,0	471,4
Содержание железа в шихте, %	56,50	57,0
Выход шлака, кг/т чугуна	394,3	391,7
Производство среднесуточное, т/сутки	1950	2050

Повышение расхода окатышей сверх оптимальных уровней ведет к ухудшению газодинамических условий доменной плавки с последующим снижением технико-экономических показателей [6,7].



Для эффективного использования окатышей в доменной плавке при их расходе более 50% необходимы:

- постоянный контроль качества окатышей: стабильность качества, низкая истираемость, высокая прочность (в том числе и в горячем состоянии);
- подбор условий загрузки, обеспечивающих оптимальное распределение материалов на колошнике (и постоянный контроль радиального газораспределения);
- совершенствование системы охлаждения доменной печи;
- применение качественных огнеупоров, стойких по отношению к шлакам и абразивному воздействию шихты;
- повышение качества изготовления (и установки) загрузочных устройств;
- максимальное сближение основности окатышей и агломерата;
- уменьшение колебаний железорудного сырья, в особенности по основности и содержанию  $Al_2O_3$  и  $MgO$ ;
- работа на шлаках с повышенным содержанием  $MgO$ .

Таким образом, что для конкретных шихтовых и технологических условий доменной плавки существует оптимальный расход окатышей, при котором проявление их отрицательных качеств минимально и, соответственно, достигается максимальный эффект от повышенного содержания в них железа.

#### **Литература:**

- 1 Вегман Е.Ф. *Металлургия чугуна: учебник для вузов / под общ. ред. Ю.С. Юсфина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 744 с.*
- 2 *Энциклопедический словарь по металлургии: справ. изд. / гл. ред. Н.П. Лякишев. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. 412 с.*
- 3 Ю.С. Юсфин, Базилевич Т.Н. *Обжиг железорудных окатышей. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 272 с.*
- 4 Большаков В.И., Гладков Н.А., Орел Г.И., Оторвин П.И. *Исследование металлургических свойств окатышей и особенностей их использования // Сталь. – 2004. – № 10. – С. 6–12.*
- 5 Брагард А. *Производство окатышей из офлюсованных рудных смесей. – М.: Черные металлы, 2004. 22с.*
- 6 Обчинникова Е.В., Шаповалов А.Н. *Влияние параметров дутьевого режима на эффективность доменной плавки в условиях ОАО «Уральская Сталь»//Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2013. Т. 13, № 1. С.61-67.*
- 7 Дружков В.Г., Шаповалов А.Н., Заводяный А.В., Сатубалдин А.С. *Окускование и доменная плавка бурых железняков//Наука и производство Урала, 2005. №1. С.32-36.*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕФОРМЕРА**

*Л.Н. Королькова, С.Н. Велеменчук*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал*

В последнее время в подавляющем большинстве стран мира среди сложившихся методов хозяйствования рыночные приоритеты являются главными. В России переход к рыночным условиям определил необходимость нового подхода к экономике, основой которого является конкуренция производителей за рынки реализации своей продукции. Конкуренция воздействует на индивидуальные издержки производства, заставляет экономить ресурсы, рационально использовать факторы производства.

*Ключевые слова:* реформер, восстановительный газ, катализатор, конверсия, металлизированные окатыши, реакционные трубы.

Для повышения конкурентоспособности металлизированных окатышей необходимо снижать их себестоимость за счет повышения эффективности производства. На качество металлизированных окатышей влияет работа печи-реформера, в которой получается восстановительный газ для шахтной печи. В этой связи важным является выявить способы повышения эффективности работы реформера.

Для получения восстановительного газа в процессе Midrex используется углекислотная конверсия природного газа. Процесс конверсии осуществляется в реакционных трубах, заполненных катализатором [1].

На работу реформера процесса Midrex оказывает существенное влияние ряд факторов. Одним из основных факторов является активность катализатора [2]. Активность уменьшается за счет отложения углерода и серы в порах катализатора, что ведет к остановке реформера для его перезагрузки. Анализ условий работы реформера дает возможность выявить факторы, позволяющие снизить эффект осаждения углерода:

- правильная схема загрузки катализаторов по высоте реакционной трубы реформера;
- применение высокоактивных катализаторов в случае использования для конверсии природного газа с высоким содержанием метана;
- контроль и регулирование содержания серы в питающем газе;
- контроль и регулирование содержания  $\text{CO}_2$  в колошниковом газе;
- применение высокоэффективной газоочистки технологического газа;
- контроль температуры стенок реакционных труб, изменения активности катализатора, степени приближения к равновесию реакции конверсии. [3]

В процессе Midrex состав природного газа является главной переменной, т.к. он влияет на скорости газовых потоков и их состав. Основным компонентом природного газа является метан, наиболее подходящий для процесса реформинга. Помимо метана в природном газе содержатся и другие компоненты. Одним из них является этан, содержание которого в природном газе незначительно. Каждое увеличение количества этана на 10,0 % приводит к снижению расхода технологического газа

примерно на 1,0 %, снижению производительности реформера на 0,5 % и увеличению совокупного потребления топлива на 0,2 %. [3]

В питающем реформер газе содержится углекислый газ. Каждое увеличение его количества на 10,0 % приводит к снижению расхода технологического газа примерно на 10,0 %, снижению производительности реформера на 6,0 %, повышению совокупного потребления топлива на 2,0 %, повышению расхода восстановительного газа на 0,4 %, и повышению расхода воздуха горения на 4,0 %. [4]

Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в природном газе снижает расход окислителя из технологического газа. Следовательно, снижается расход технологического газа. При этом увеличивается расход доступного топливного колошникового газа. Получается, что топливный колошниковый газ обеспечивает большую долю тепловой нагрузки на реформер.

Содержащиеся в природном газе сера и азот оказывают влияние на работу печи-реформера. При увеличении концентрации серы в природном газе уменьшается производительность реформера. Прирост азота на 10,0 % приводит к росту расхода технологического газа на 5,0 %, снижению производительности реформера на 2,0 %, росту совокупного потребления топлива на 2,0 %, росту расхода восстановительного газа на 5,0 %, росту расхода воздуха горения на 4,0 % и росту содержания азота в восстановительном газе на 5,0 %. [4]

На конечный состав газа, получаемого в результате каталитической конверсии углеводородов в реформере, влияют несколько процессов. Первый процесс – подготовка исходной смеси газов и подвод ее к поверхности катализатора. На протекание этого процесса влияют: форма гранул катализатора, гидравлическое сопротивление слоя катализатора, степень подготовленности исходной смеси газов, число и диаметр реакционных труб, мощность газодувных средств, состав колошникового газа, степень его очистки и насыщения парами воды.

Второй процесс – подвод тепла к реагирующей на поверхности катализатора смеси. Тепло подводится двумя способами: через стенки реакционной трубы, путем предварительного разогрева исходной газовой смеси. Процесс зависит от конструкции реформера, диаметра реакционных труб, активности катализатора, уровня и расположения слоев катализатора с различной активностью по высоте реакционной трубы, толщины стенок реакционных труб, механических свойств сталей, из которых изготовлены реакционные трубы, мощности рекуператора, количества подаваемого на конверсию газа и его состава.

Третий процесс – суммарный процесс реакций, протекающих непосредственно на поверхности катализатора с соответствующей температуре слоя скоростью. Скорость процесса зависит от состояния и свойств катализатора и резко возрастает с повышением температуры. Процесс характеризуется приближением на выходе газа из реакционных труб реформера к термодинамическому равновесию реакций  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}$

+ 2H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O  $\rightleftharpoons$  CO + 3H<sub>2</sub> и определяется разницей между температурой газа на выходе из реформера и теоретической температурой газа данного состава, при котором смесь будет находиться в химическом равновесии.

Наиболее оптимальным при углекислотной конверсии значением соотношения CO<sub>2</sub>:CH<sub>4</sub> является 1,51, т.к. обеспечивается наименьшее коксообразование при приемлемом значении конверсии углекислого газа. Рост температуры до 850 °С приводит к увеличению выхода H<sub>2</sub>, затем количество водорода в восстановительном газе начинает снижаться. Этот факт можно объяснить тем, что при таких высоких температурах протекает эндотермическая диссоциация метана с образованием кокса и водорода. [4]

При конверсии природного газа протекает ряд реакций, которые дают восстановительный газ и побочные продукты. Для оценки эффективности целевой реакции по сравнению с побочными взаимодействиями используется селективность. Селективность представляет собой отношение массы целевого продукта к общей массе веществ, полученных в данном процессе или к массе превращенного сырья за определенный промежуток времени [5]. Селективность образования CO приближается 100 % при температуре 850 °С, а при дальнейшем росте температуры она падает. При 850 °С конверсия метана полная, конверсия CO<sub>2</sub> достигает наибольшего значения на уровне 92 %.

Получение восстановительного газа происходит в реакционных трубах, являющихся важнейшей частью всех установок по производству реформированного газа, используемого для производства металлизированных окатышей. На эффективность работы реформера оказывают влияние параметры реакционных труб: диаметр; количество; рабочая температура.

При увеличении диаметра реакционных труб происходит рост объема газа, проходящего через катализатор, сохранении его скорости. Однако большой объем газа приводит к более быстрому охлаждению катализатора. Для предотвращения выпадения углерода на катализаторе необходимо обеспечивать примерное равенство температур в центре катализатора и у стенок трубы. Выпавший на катализатор углерод снижает его эффективность по реакции CO + H<sub>2</sub>  $\rightleftharpoons$  C + H<sub>2</sub>O, а при выпадении углерода по реакции Будуара 2CO  $\rightleftharpoons$  C + CO<sub>2</sub> происходит образование нитевидного углерода, который способствует разрушению никелевого катализатора, чаще всего используемого в реформерах установок металлизации. [6]

Достижение равенства температур в центре катализатора и у стенок реакционной трубы необходимо подводить большее количество теплоты к поверхности труб, а это приводит к повышению требований к материалу, из которого реакционные трубы выполнены. Необходимо применять высокотемпературные материалы.

Анализ факторов, влияющих на работу печи-реформера, показал, что лучшим вариантом для повышения эффективности реформера является

использование в реформере высокотемпературных реакционных труб большего диаметра. Это позволяет значительно повысить производство реформированного газа и скорость протекания реакций окисления метана.

#### **Литература:**

1. Юсфин, Ю.С. *Металлургия железа [Текст]/ Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков.* - М.: ИКЦ Академкнига, 2007. - 464 с.
2. Сравнительный анализ процессов твердофазного восстановления железа. Цымай Д.В., Куценко С.А. /<https://sites.google.com/site/himiaitehnologia/Home/stat11>: (дата обращения 8.09.2017).
3. Тимофеева А.С., Гончаров А.И. Повышение эффективности работы реформера установки металлизации // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам I междунар. науч.-практ. конф. - № 1(1). - М., Изд. «МЦНО», 2016. - с. 34-38
4. Chavadej S., Rueangjitt N., Sreethawong T. Reforming of CO-containing natural gas with partial oxidation using an AC gliding arc system // Proc. 18th Intern. Symp. on Plasma Chemistry. Kyoto: Japan Society of Applied Physics, 2007. Pp. 64-67.
5. Нормативная документация [Официальный сайт] URL: <http://www.midrex.com/process-technologies/midrex-ng/features-benefits>: (дата обращения 8.09.2017).
6. Маерчак Ш. Производство окатышей. Пер со словацкого. – М.: *Металлургия*, 2008, 232 с.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ РУДОПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ**

Д. Г. Петров, Е. В. Гришкина

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС», г. Старый Оскол*

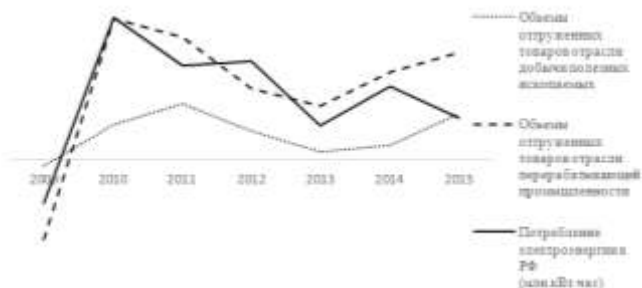
Статья посвящена теоретическому обоснованию оптимизации энергозатрат и повышению эффективности использования энергетических ресурсов. Метод совершенствования существующей техники и технологии показал хорошие результаты на ОАО «Стойленский ГОК».

*Ключевые слова:* валки высокого давления, горное производство, рудоподготовка, обогащение, разрушение.

На подготовку рудной шихты к обогащению обычно приходится 50 - 60% эксплуатационных расходов и до 70% энергозатрат, что указывает на то, что основное внимание должно быть направлено на совершенствование процессов и оборудования рудоподготовки и, в частности, на снижение крупности дробленого продукта [1]. Поскольку в процессе дробления удельные энергозатраты обычно ниже, чем при измельчении, то для повышения эффективности рудоподготовки необходимо стремиться к максимальному переносу работы по разрушению руды на дробление и направлять на измельчение как можно более мелкий по крупности продукт.

Характерной чертой горной промышленности является опережающий рост энергопотребления по отношению к темпам роста промышленной продукции. Этот факт отражен при анализе динамики прироста объемов производств товаров отрасли, добычи полезных ископаемых на фоне потребления электроэнергии в целом по стране (рис.).

Сравнительно недавно (1986 г.) был разработан способ разрушения руд в валковых прессах высокого давления. Область их применения ограничивалась легкодробимым минеральным сырьем (клинкер, шлаки, уголь, известняк и т.д.), испытания на рудах высокой прочности и абразивности впервые (1991 г.) были проведены на ПАО «Михайловский ГОК». По физическим свойствам железистые кварциты Михайловского месторождения представляют собой весьма тонковкрапленную, трудноизмельчаемую, вязкую, крепкую и высокоабразивную горную породу (табл.) [2].



*Рисунок 1 - Сравнительная динамика по показателям годового прироста объемов отгруженных товаров отраслей на фоне общего потребления электроэнергии РФ*

На ОАО «Стойленский ГОК», крупнейшем предприятии по добыче и переработке железистых кварцитов КМА, стратегия технологического совершенствования производства была разработана с учетом реализации проекта развития дробильно-обогатительного комплекса. С целью повышения энергоэффективности производства были определены позиции:

- непрерывный мониторинг энергопотребления;
- обеспечение рационального использования энергоресурсов на всех этапах производства;
- максимальное использование вторичных энергоресурсов;
- внедрение энергоэффективных технологий, оборудования, и инжиниринга - повышение эффективности закупки энергоресурсов;
- выявление потенциала повышения энергоэффективности и т.д.

С целью достижения поставленной цели в технологическую цепь дробильно-обогатительного комплекса ОАО «Стойленский ГОК» были установлены валки высокого давления фирмы *Коеперн* (Германия). Данная технология подготовки минерального сырья, основанная на измельчении под высоким давлением, уже ранее зарекомендовала себя преимуществами:

- низкое удельное энергопотребление;
- достижение более высокой производительности;
- короткое время обработки материала;
- однородность формы фракции на выходе;
- сокращение расхода мелющих тел;
- короткие сроки эксплуатационной готовности и т.д.

Таблица 1 - Физическая характеристика железистых кварцитов

Месторождение	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Дробимость, %	Абразивность, г/т
Михайловское	3,58	30 - 32	1920
Стойленское	3,37 – 3,55	26 - 38	1440 - 2130

Валки высокого давления установлены после третьей стадии дробления перед первой стадией шарового измельчения. Применение технологии HPGR (High-Pressure Grinding Rolls) позволит:

- уменьшить удельный расход электроэнергии;
- увеличить степень дробления руды;
- увеличить объемы переработки руды.

Внедрение новой технологии позволило достичь следующего:

- удельная энергия на валу  $0,93 \div 1,15$  кВт ч/т при нормативе 1,3 кВт ч/т;
- удельная производительность более 400 тс/ч м<sup>3</sup> при нормативе 327 тс/ч м<sup>3</sup>.

В результате дальнейших испытаний, производительность секций увеличилась более чем на 13%.

В результате внедрения проекта по совершенствованию рудоподготовки позволило увеличить производство железорудного концентрата с 15 до 17,2 млн. тонн в год и обеспечить собственным недорогим железорудным сырьем высокого качества фабрику окомкования мощностью 6 млн тонн окатышей в год.

Ресурсосбережение – один из приоритетных векторов развития промышленности, значимость которого определена на государственном уровне в стратегии развития нашей страны наряду с импортозамещением, модернизацией и экологическим развитием. Для горного производства, ресурсосбережение за счет достижения энергоэффективности – носит приоритетный характер и обеспечивает экономическое развитие предприятий по пути наименьшего сопротивления при внедрении наукоемких и энергосберегающих технологий.

#### Литература:

1. Кармазин В.В., Синельникова Н.В. Совершенствование технологии обогащения железных руд КМА / Горный информационно-аналитический бюллетень. - №12. – 2009.
2. Гзоган Т.Н., Губин С.Л. Валковый пресс – измельчитель – опыт применения на Михайловском ГОКе/Горный информационно-аналитический бюллетень. - №5. – 2001.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗУПРОЧНЕНИЯ ОБОЖЖЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

А.С. Тимофеева, А.А. Кожухов, В.В. Федина, К.А. Захарова  
*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова,  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС», г. Старый Оскол*

Сегодня в металлургическом производстве основным способом достижения устойчиво высоких результатов является правильно подготовленное сырье. Окатыши служат сырьем для установок прямого восстановления и доменного производства. Согласно последним данным при производстве губчатого железа переработано 56,2 млн.т железорудного сырья, из них 79% приходится на окатыши, 19% - на кусковую руду и 2% - на рудную мелочь [1].

При транспортировке и в последующем металлургическом процессе железорудные окатыши подвергаются статическим и ударным нагрузкам, а также истиранию. Это приводит к образованию пыли, которая, в свою очередь, наносит вред окружающей среде, к тому же теряется часть металлургического сырья. Поэтому очень важно понимать какие факторы, и каким образом влияют на снижение прочности окатышей, чтобы иметь возможность предотвратить процесс разупрочнения окатышей или снизить негативное влияние этих факторов.

*Ключевые слова:* неофлюсованные окатыши, удар, разупрочнение, прочность на удар, напряжение, гранулометрический состав.

Прочностью называется максимальная нагрузка, которую способен выдержать окатыш до проявления трещин.

Разупрочнением называется процесс понижения прочности железорудных окатышей в результате воздействия физических переменных, либо циклических нагрузок [2]. Для окатышей повреждения чаще всего накапливаются в результате перегрузок, которые сопровождаются ударами окатышей друг о друга и твердые поверхности.

В данной работе проводились исследования процесса разупрочнения неофлюсованных окатышей при ударе, аналогичные разупрочнению при перегрузках и транспортировке. Для экспериментов была отобрана одна генеральная проба окатышей с рабочего конвейера обжиговой машины из одной партии. Окатыши путем грохочения были разделены на 5 фракций: +8 -10мм, +10 -12 мм, +12мм -14мм, +14 -16мм и более 16мм. Задача экспериментов заключалась в определении прочности на сжатие окатышей после воздействия ударных нагрузок в зависимости от числа ударов для различных размеров окатышей.

Окатыши сбрасывались на лабораторной установке с высоты 1 метр, рисунок 1. Масса начальной пробы составляла 500г.



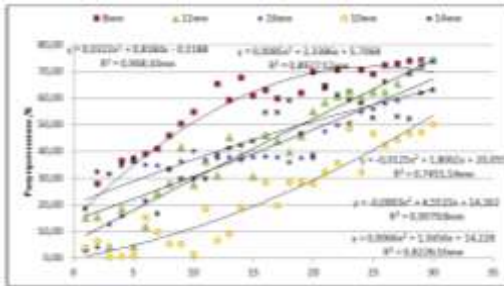


*Рисунок 1 – Устройство для определения прочности при ударе: 1-подставка, 2-емкость, в которую падают окатыши, 3- ось вращения емкости, 4- заслонки, 5- крышка емкости с замком, 6-стойка, на которой крепится ось*

После каждого сбрасывания из испытуемой пробы изымались 10 окатышей, и измерялась их прочность на сжатие на прессе ПРГ -1-10.

После того, как все эксперименты были проведены, показания усреднялись, данные обрабатывались в программе Microsoft Excel. Результаты экспериментов представлены на рисунке 2.

В качестве показателя разупрочнения принимали величину снижения прочности окатыша, выраженную в % по отношению к начальному значению.



*Рисунок 2 – Разупрочнение неофлюсованных окатышей в зависимости от количества ударов*

Как видно из представленных зависимостей с увеличением ударных нагрузок прочность окатышей на сжатие снижается для всех размеров окатышей. Для окатышей фракции от 12мм до 16 мм снижение прочности почти в 2 раза происходит после 20–25 ударов. Минимальное снижение прочности характерно для окатышей размером от 10мм до 12мм.

Если начальная прочность окатыша будет составлять 250 кг/окатыш, то 20% разупрочнение будет соответствовать прочности 200кг/ок. Для сохранения такой прочности окатыши не должны подвергаться ударным воздействиям более 5 раз, при этом высота падения – 1 м.

Причиной разупрочнения окатышей является развитие в локальных областях окатыша микротрещин. Во время соударения окатыша и

поверхности, поверхность и окатыш действуют друг на друга с различными силами. В окатышах с неодинаковым диаметром получается разная площадь соприкосновения с поверхностью и, следовательно, разная сила воздействия на единицу поверхности. Поэтому в окатышах с разным диаметром разупрочнение различно.

Кроме того, обжиг в различных фракциях происходит по-разному. Так в окатышах фракцией +10 мм -12мм прочность на сжатие максимальна и разупрочнение меньше, чем для остальных фракций, что обусловлено однородной внутренней структурой окатыша.

Следует подчеркнуть, что для окатышей размером от 8мм до 10мм характерна самая высокая степень разупрочнения, в связи с этим при транспортировке эти окатыши разрушатся первыми.

#### **Вывод**

1. Наименьшее разупрочнение характерно для окатышей размером от 10 до 12мм, обладающих однородной внутренней структурой.

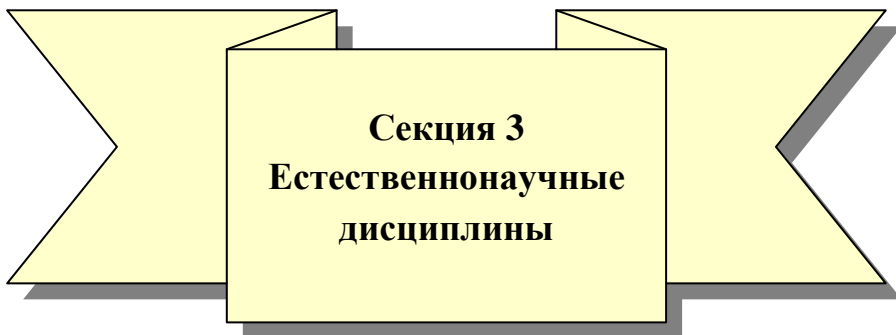
2. В целях обеспечения прочности окатышей выше 200 кг/ок при перегрузках до 7 раз начальная прочность окатышей должна составлять 260 - 270 кг/ок.

3. Для достижения наименьшего разупрочнения окатышей следует стремиться к снижению содержания классов менее 10мм и более 16мм.

#### **Литература:**

1. Карабасов М.С. Сталь на рубеже столетий/М.С. Карабасова. - М: «МИСиС», 2001.-664 с

2. Пачурин Г.В. Технология комплексного исследования разрушения деформированных металлов и сплавов в разных условиях нагружения: учебное пособие / Г.В. Пачурин, Н.А. Гушин, К.Г. Пачурин, Г.В. Пименов; Нижегород. гос. ун-т. Нижний Новгород, 2005.-141с.

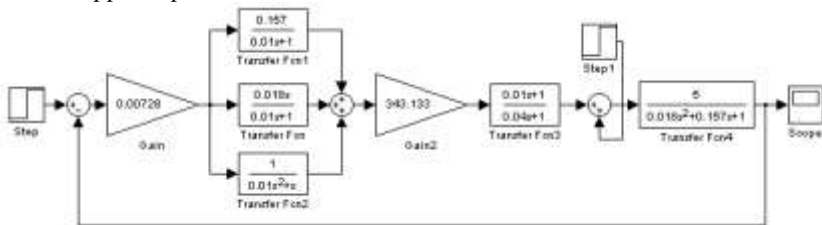


# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СКОРРЕКТИРОВАННОЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ ЗАДАЮЩЕГО И ВОЗМУЩАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Мялкин И.В. , Сафонов В.М., Хамитжамонов И.Х., Левкин В.А., Дыркин А.В.*

*Выксунский филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г.о.г.Выкса*

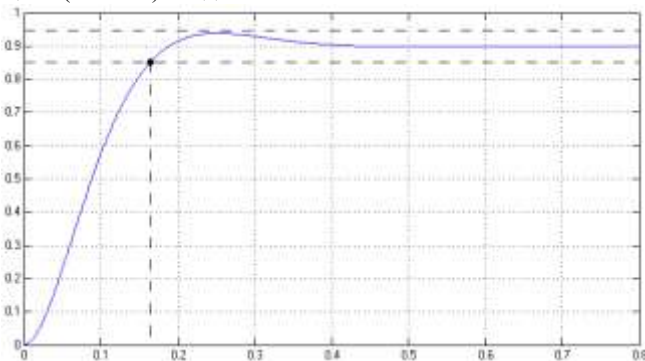
Переходная характеристика систем автоматического управления (САУ) отражает реакцию системы на внешние воздействия, которыми могут быть управляющее или возмущающее воздействие. Выполнение этого пункта задания было проведено на ЭВМ в программе MatLab. На рис. 1 показана модель скорректированной САУ в MatLab Simulink.



*Рисунок 1 - Модель скорректированной САУ в MatLab Simulink.*

При выполнении этого пункта построены графики следующих переходных процессов:

а) Минимальное значение управляющего ( $g = 0.9$ ) и отсутствие возмущающего ( $z = 0$ ) воздействий:



*Рисунок 2-Переходная характеристика скорректированной САУ  
( $g = 0,9$   $z = 0$ )*

Перерегулирование  $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{0,94 - 0,9}{0,9} \cdot 100\% = 4,44\%$ ;

Время переходного процесса  $t_{n.n.} = 0,17$  с;

б) Максимальное значение управляющего ( $g = 13$ ) и отсутствие возмущающего ( $z = 0$ ) воздействий:

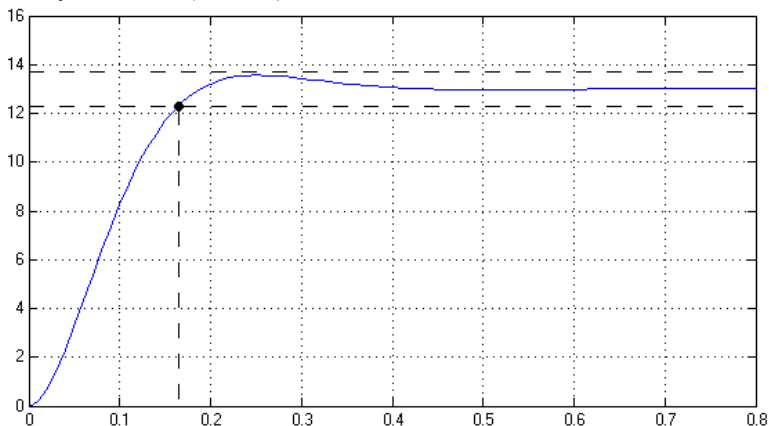


Рисунок 3- Переходная характеристика скорректированной САУ ( $g = 13$   $z = 0$ )

Перерегулирование  $\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{13,6 - 13}{13} \cdot 100\% = 4,6\%$ ;

Время переходного процесса  $t_{n.n.} = 0,17$  с;

в) Минимальное значение управляющего ( $g = 0.9$ ) и максимальное значение возмущающего ( $z = -6$ ) воздействий:

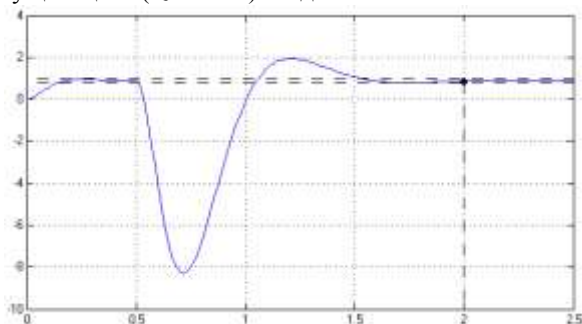


Рисунок 4-Переходная характеристика скорректированной САУ ( $g = 0,9$   $z = -6$ )

$$\text{Перерегулирование } \sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,9 - 0,9}{0,9} \cdot 100\% = 111\%;$$

Время переходного процесса  $t_{n.n.} = 1,5 \text{ с};$

г) Максимальное значение управляющего ( $g = 13$ ) и максимальное значение возмущающего ( $z = -6$ ) воздействий:

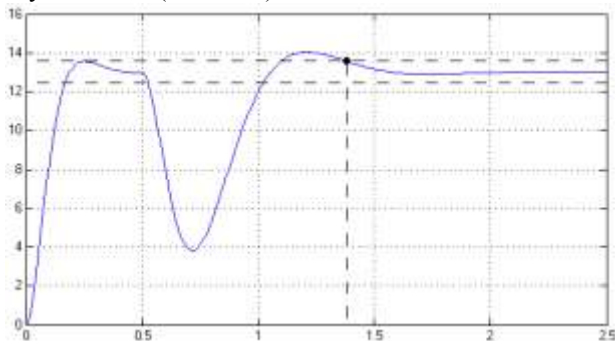


Рисунок 5 - Переходная характеристика скорректированной САУ ( $g = 13 \quad z = -6$ )

$$\text{Перерегулирование } \sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{14 - 13}{13} \cdot 100\% = 7,7\%;$$

Время переходного процесса  $t_{n.n.} = 0,9 \text{ с};$

Передаточная функция разомкнутой скорректированной САУ имеет вид:

$$W(p) = 343,133 \cdot \frac{0,01p + 1}{0,04p + 1} \cdot \frac{5}{0,018p^2 + 0,157p + 1} \cdot \frac{0,018p + 0,157 + \frac{1}{p}}{p} \cdot 0,00728;$$

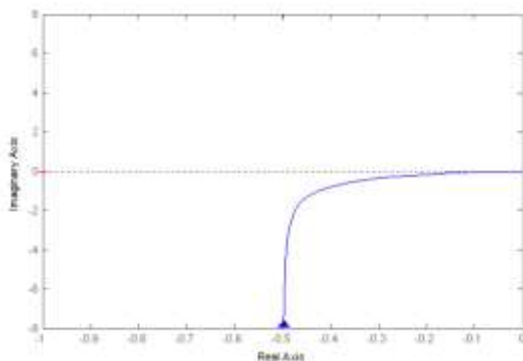


Рисунок 6- АФЧХ разомкнутой скорректированной САУ

Как видно из рис. 14 характеристика не охватывает точку  $\bar{1;0}$ . Из этого следует, что разомкнутая, а, следовательно, и соответствующая замкнутая, САУ устойчива (по Найквисту).

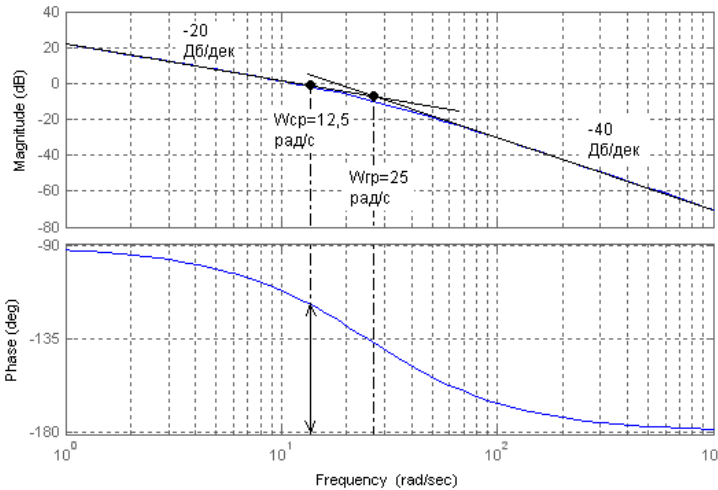


Рисунок 7 - ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой скорректированной САУ

Запас устойчивости по амплитуде определяется величиной допустимого подъема ЛАЧХ, при котором система окажется на границе устойчивости. Из рис. 1 видно, что запас устойчивости по амплитуде бесконечен, т.к. ЛФЧХ не достигает критической фазы  $\omega_{кр} = 180^\circ$ :

$$\Delta G = \infty;$$

Запас устойчивости по фазе определяется величиной избытка фазы, на который должно вырасти запаздывание САУ при частот среза, чтобы САУ оказалась на границе устойчивости:

$$\Delta \varphi = 180^\circ - 115^\circ = 65^\circ;$$

## ЛИНЕАРИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

*Мялкин И.В. , Сафонов В.М., Хамитжамонов И.Х., Митьков А.А., Шеллер А.С.*

*Выксунский филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г.о.г.Выкса*

Линеаризация статической характеристики объекта управления необходима для построения линейной модели САУ.

Суть линеаризации заключается в том, что для малых приращений объект по каждому из воздействий превращается в отдельное пропорциональное звено, а общая реакция на совокупность изменений управляющей и возмущающей величин находится как сумма соответствующих им изменений управляемой величины.

Другими словами, статический коэффициент усиления линейной модели элемента САР или объекта управления это дифференциальный коэффициент усиления элемента по отдельному воздействию, определенный для некоторой рабочей точки объекта. Для линейной модели нелинейного элемента с несколькими входными величинами и одной выходной справедлив принцип суперпозиции реакций объекта.

Для обжиговой печи выберем рабочую точку, соответствующую скорости загрузки 60 т/час и подаче газа в 3200 куб.м/час:

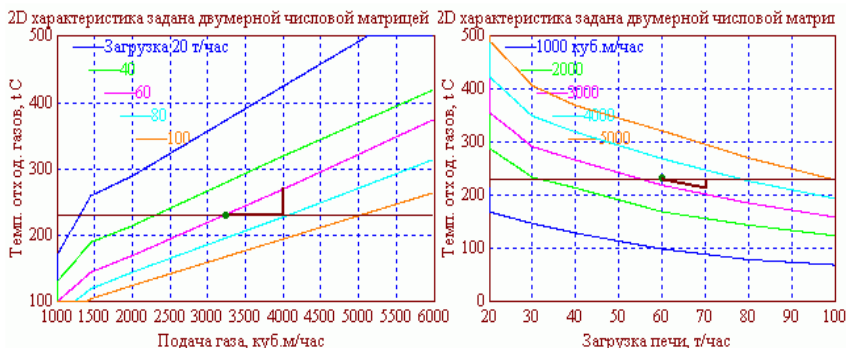


Рисунок 1 – На статических характеристиках рабочая точка выбрана для  $P = 60$  т/час и  $Q = 3200$  куб.м/час.

Приращения температуры, вызванные приращениями воздействий, определяют коэффициенты усиления объекта по соответствующим параметрам.

По левому семейству характеристик определяется коэффициент усиления печи по управляемой величине (подаче газа):

$$k_r = \frac{\Delta t}{\Delta} = \frac{270 - 230}{4000 - 3200} = 0.050 \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{куб.м/час})_{(3.1)}$$

По правому графику определяется коэффициент усиления печи по возмущению (скорости подачи концентрата в печь):

$$k_k = \frac{\Delta t}{\Delta P} = \frac{213 - 230}{70 - 60} = -1.7 \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{т/час})_{(3.2)}$$

Отсюда линейная модель печи в выбранной рабочей точке в VisSim'е пример вид:



## Линейная статическая модель обжиговой печи

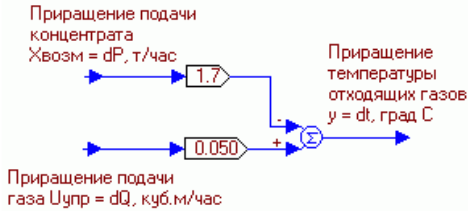


Рисунок 2 – Линейная статическая модель обжиговой печи.

При увеличении подачи газа температура отходящих газов пропорционально увеличивается, а при увеличении подачи в печь концентрата, температура пропорционально уменьшается (минус учтен в сумматоре)

Для линейной статической модели печи могут быть построены семейства статических характеристик как путем вычисления в Маткаде, так и путем измерения в VisSim'e. Семейства будут состоять из параллельных прямых линий.

Статическую модель можно построить и по разгонным характеристикам объекта управления по его входным воздействиям: управляющему и возмущению.

Полученная линейная статическая модель может быть непосредственно использована для построения линейной динамической модели печи, как объекта управления.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

*Мялкин И.В. , Сафонов В.М., Хамитжамонов И.Х., Руфин Г.А., Шеллер А.С.*

*Выксунский филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г.о.г.Выкса*

Моделирование и оптимизация большинства систем автоматического регулирования (САР) могут быть выполнены в следующем порядке.

- Изучение назначения и принципа действия САР

Построение функциональной схемы САР

- Определение (идентификация) объекта управления проектируемой САР:

Построение статической модели объекта управления

Построение динамической модели объекта управления и ее линеаризация

- Построение линейной модели САР и оптимизация параметров регулятора

- Построение и испытание полной нелинейной модели САР. Некоторые пункты выполняются в несколько этапов.

Для построения САР в первую очередь необходимо идентифицировать объект управления, т.е. построить статическую модель печи как по управлению (подаче газа), так и по возмущению (скорости загрузки печи концентратом), а также ее динамическую модель по тем же переменным.

В принципе, названные модели объекта могут строиться аналитически, путем записи уравнений, отражающих физическую суть процессов, происходящих в объекте управления, связывающих входные и выходные величины элементов и в конечном итоге всего объекта управления. Однако это не простой путь. С другой стороны, для многих технических объектов аналитические модели уже построены, их только нужно разыскать в литературе. Но если такое решение по тем или иным причинам проектировщику не доступно, то можно идентифицировать объект управления путем анализа данных, полученных в результате экспериментального исследования конкретного объекта.

Статическую модель объекта желательно получать, снимая семейство зависимостей температуры от подачи газа, при фиксированных значениях загрузки или наоборот. Однако, провести такие измерения в условиях производства не всегда возможно. Поэтому следует получить хотя бы частичную информацию и экстраполировать, и интерполировать ее на всю рабочую область.

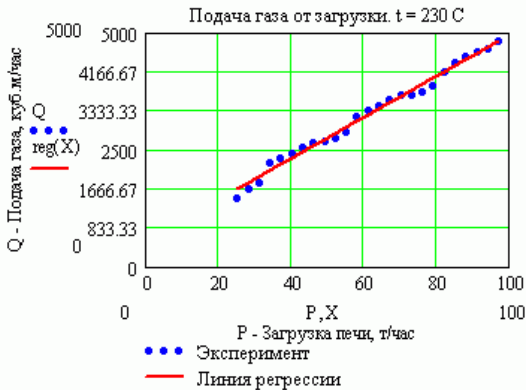
Динамическую модель объекта по каналу управления проще всего получить по экспериментальной разгонной характеристике печи: зависимости изменения температуры отходящих газов печи, работающей в номинальном режиме, от времени, возникающую при малом скачкообразном увеличении управляющей величины. Аналогично можно получить и разгонную характеристику печи по возмущению, что позволит получить и динамическую модель объекта по возмущению.

Рассматриваемая обжиговая печь на момент начала курсовой работы находилась в процессе пуско-наладочных работ, что позволило получить далеко не полную информацию о печи как объекте управления:

- Температура отходящих газов для обеспечения оптимального режима обжига должна поддерживаться на уровне  $230^{\circ}\text{C}$ . Требуемую точность поддержания установить не удалось. Верхняя граница температуры отходящих газов во избежание вывода из строя печи, не должна превышать  $250^{\circ}\text{C}$ .

- При запуске холодной печи в работу требуется постепенный ее разогрев за время, не менее 1 часа, до  $200^{\circ}\text{C}$  при пустой печи, а затем постепенное увеличение подачи концентрата дискретно ежечасно на 3 т/час, с постепенным доведением температуры отходящих газов до номинальных значений в  $230^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, проектируемая САР должна решать не только задачу стабилизации, но и задачу слежения.

• Экспериментально снятая зависимость требуемой величины подачи газа (расход газа на входе печи) в печь от скорости загрузки в нее концентрата (производительность печи по исходному продукту) при поддержании оптимальной температуры отходящих газов, равной 230° С (представлена в виде графика, построенного в Маткаде 2001):



Уравнение регрессии:

$$Q_{\text{опт}}(P) := 44.062 \cdot P + 550.246$$

Рисунок 1 – Эмпирическая зависимость требуемой подачи в печь газа от скорости подачи в нее влажного концентрата.

Задача проектируемой САР - поддерживать соотношение между скоростью загрузки печи и подачей в нее газа на уровне, определяемом этой линией. Линия регрессии проведена между точками в Маткаде.

• Полученная по опросам наладчиков зависимость падения температуры отходящих газов от скорости загрузки печи при фиксированной подаче газа, равной Q = 1400° С, соответствующей минимальной загрузке печи в 25 т/час:

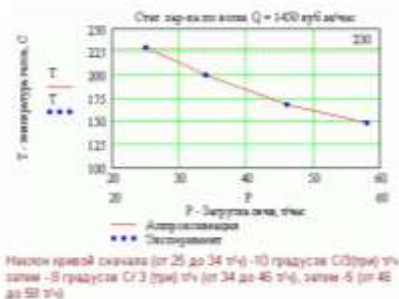


Рисунок 6 – Уменьшение температуры отходящих из печи газов с увеличением скорости подачи в нее концентрата (Диаграмма представлена в Маткаде 2001).

- Максимальное изменение скорости загрузки концентрата в печь – не более 3 т/час.
- Момент в пусконаладочных работах, когда печь разжигали и выводили на номинальный режим, позволил снять зависимость изменения температуры газов от времени и уровня подачи газа:

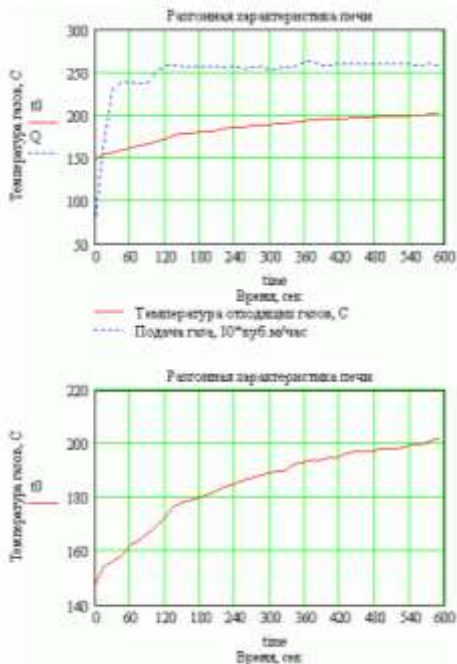
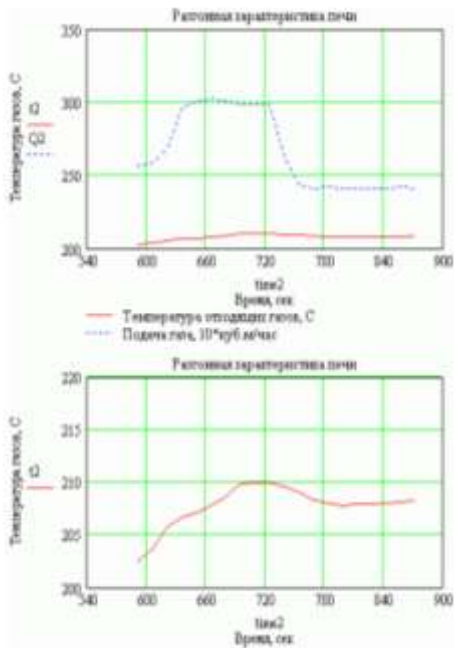


Рисунок 2 – Разгонная характеристика обжиговой печи (Маткад 2001).

Итак, скачкообразное увеличение подачи газа с 840 до 2570 куб.м/час привело к изменению температуры отходящих газов со 148° С до 202° С за время, приблизительно равное 600 сек.

Так менялась температура при «пустой» печи. График отражает темпы прогрева печи, в то время, как для моделирования САР требуется временная реакция температуры на малое приращение скорости подачи концентрата при номинальной и неизменной загрузке печи. Начиная с температуры 200° С в печь подавался концентрат, скорость подачи которого увеличивалась постепенно, с темпом 3 т/час – это максимально допустимый по технологии темп изменения скорости подачи концентрата в печь. В таком режиме удалось получить фрагмент с изменением подачи газа, что привело к некоторому изменению температуры:



*Рисунок 3 – Изменение температуры отходящих газов с течением времени при повышении скорости загрузки печи и ступенчатом изменении подачи газа*

По графику можно оценить характерное время изменения температуры отходящих газов, вызываемого сравнительно близким к скачкообразному и относительно малому изменению подачи газа. Это время составляет величину, примерно равную 1 – 1.5 мин. За неимением других данных имеет смысл принять ее предварительное значение для моделирования равным 90 сек, что определенно меньше значения в 600 сек, даваемого предыдущим графиком.

Как видно, исходные данные весьма ограничены. Тем не менее, при рациональном подходе и таких скудных данных будет достаточно, чтобы построить требуемые модели хорошего качества.

### **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ В ВИДЕ ГЛАДКОЙ ФУНКЦИИ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ**

*Мялкин И.В. , Сафонов В.М., Хамитжамонов И.Х., Чураев А.Е., Шеллер А.С.,  
Градобоев М.В.*

Для представления аппроксимировать их функцией, представляющей собой произведение степенных функций, соответствующих каждому аргументу, вида:

$$t(P, Q) = \gamma(\delta_1 P^\alpha)(\delta_2 Q^\beta) \quad (1)$$

Значения параметров в формуле (3.1) можно легко определить, воспользовавшись логарифмическим масштабом представления семейства статических характеристик. Изменение масштаба в Маткаде делается без труда, перенастройкой свойств графика:

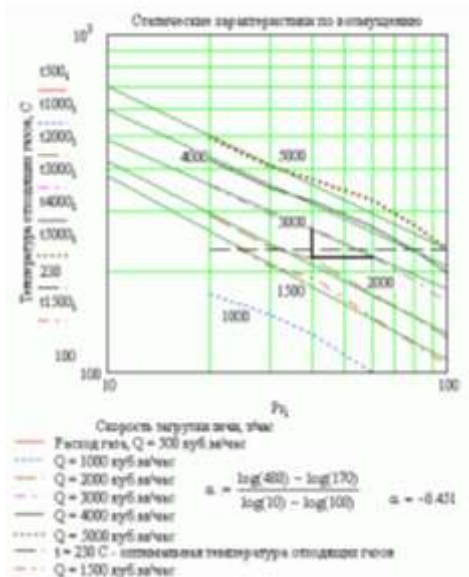


Рисунок 1 – Семейство статических характеристик печи по возмущению в логарифмическом масштабе

Линии примерно прямые и идут примерно с одинаковым наклоном. Коэффициент наклона отрицательный потому, что температура отходящих газов убывает с увеличением скорости загрузки печи.

Аналогично представляется и семейство статических характеристик печи по управлению:

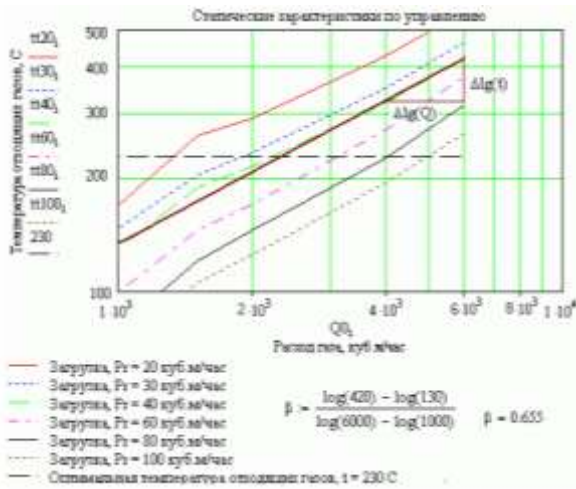


Рисунок 2– Семейство статических характеристик печи по управляющей величине в логарифмическом масштабе

Линии примерно прямые и идут примерно параллельно, поэтому коэффициент наклона может быть определен по любой из них.

Поскольку в логарифмическом масштабе линии семейств статических характеристик идут примерно линейно и параллельно друг другу, то можно воспользоваться формулой (1) для аппроксимации двумерной статической характеристики.

Выберем рабочую точку печи, соответствующую подаче газа, равной 3000 куб.м/час, что при подаче концентрата в 55.6 т/час дает температуру 230° С. Тогда, можно для температуры записать выражение:

$$t_{\text{газов}}(P, Q) := 230 \cdot \left(\frac{P}{55.6}\right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{Q}{3000}\right)^{\beta} \quad (2)$$

поскольку в этой точке выражения в скобках будут равны единице. Остается только определить показатели степеней.

В данном случае формула статической характеристики примет вид:

$$t_{\text{газов}}(Pr, Q) := 230 \cdot \left(\frac{Pr}{55.6}\right)^{-0.451} \cdot \left(\frac{Q}{3000}\right)^{0.58} \quad (3)$$

Значение коэффициента  $\beta$  слегка уточнено по сравнению со значением, полученным на рисунке 2.

По формуле (3) нетрудно построить статическую модель печи в VisSim'e:

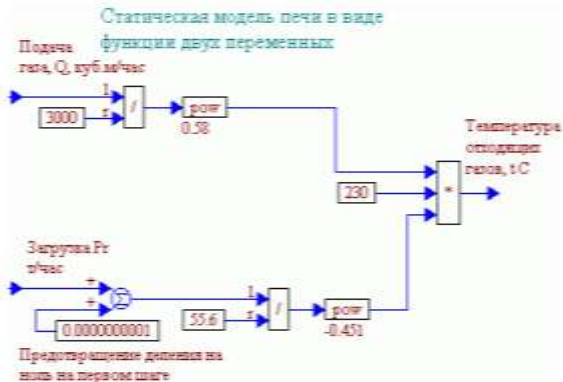


Рисунок 3 – «Гладкая» двумерная статическая модель обжиговой печи

Сравнение полученной аналитической двумерной модели с дискретной цифровой моделью можно провести по семейству статических характеристик:

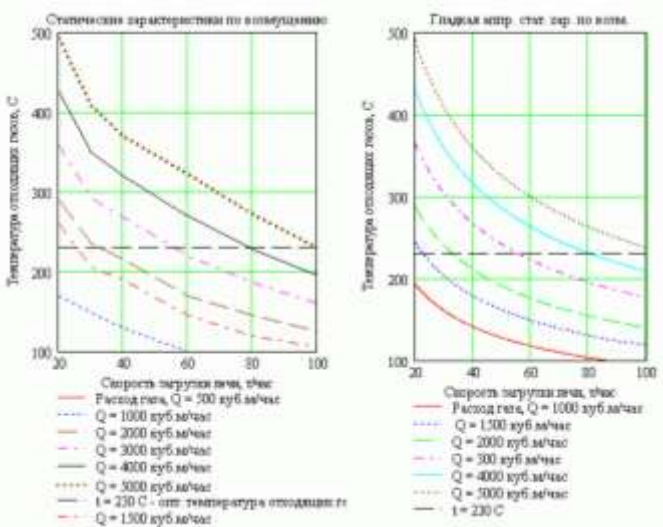
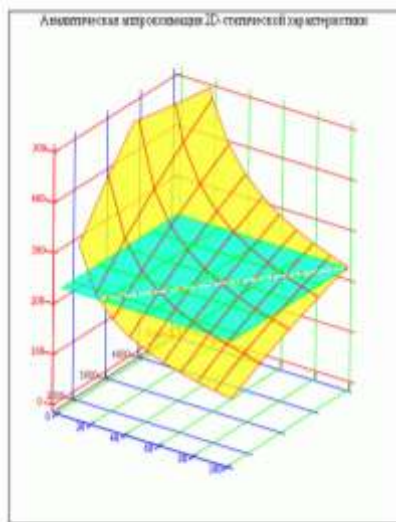


Рисунок 4 – Семейство статических характеристик дискретной и непрерывной моделей обжиговой печи. Совпадение хорошее

Двумерная статическая характеристика обжиговой печи, аппроксимированная гладкой функцией, в трехмерном пространстве изображена на рисунке 5:





82\_F20\_8

*Рисунок 5 – Двумерная статическая характеристика обжиговой печи как объекта управления в САР температуры отходящих газов, аппроксимированная гладкой функцией*

По оси абсцисс отложено возмущение – скорость загрузки концентрата в печь в т/час, по оси ординат отложена управляющая величина – подача газа в куб.м/час, а по вертикальной оси (аппликат) отложена температура отходящих из печи газов (управляемая величина объекта управления). Линия, соответствующая пересечению плоскости 230°C и поверхности статической характеристики, показывает оптимальное соотношение между подачей концентрата и требуемой подачей газа (рисунок 5).

Назначение проектируемой САР – поддержание такого режима работы печи, чтобы выдерживалось соотношение между входными воздействиями печи, определяемое этой линией.

## **ДВУМЕРНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ**

*Мялкин И.В. , Сафонов В.М., Хамитжамонов И.Х., Анисимова Е.О., Шеллер А. С.*

*Выксунский филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г.о.г.Выкса*

Табличное представление полезно при моделировании объекта управления с помощью блока *map* программы VisSim. Кроме того, оно может быть использовано для построения графиков статических характеристик в Маткаде.

Для приближенного построения статической характеристики обжиговой печи, т.е. построения ее статической модели, для представления объекта управления в виде рисунка 2, достаточно воспользоваться графиками (рисунок 5 и рисунок 6). Отметим, что выходная величина (управляемая) здесь только одна, а входных – две. Следовательно, статическая характеристика представляет собой функцию двух переменных и является двумерной. Такую функцию можно построить либо в трехмерном пространстве, либо задать ее семейством одномерных статических характеристик, например, зависимостью температуры от подачи газа при нескольких фиксированных значениях подачи в печь концентрата.

Для построения семейства статических характеристик возьмем систему координат температура отходящих газов – подача горючего газа и используя рисунок 6 нанесем в ней точки, соответствующие значениям температур, достигаемы при подаче газа в 1450 куб.м/час (точки расположены по вертикали):

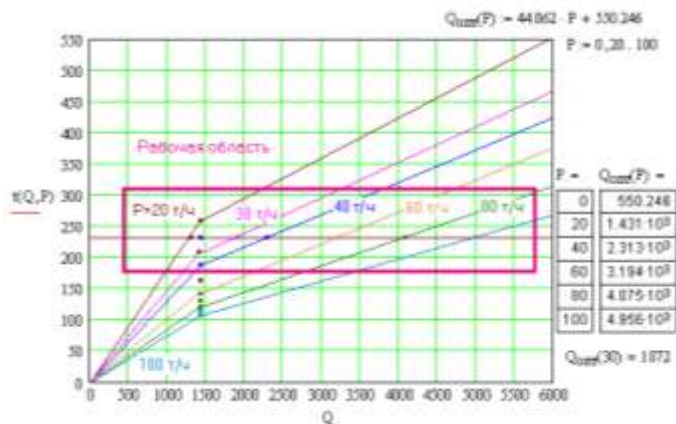


Рисунок 1 – Семейство статических характеристик обжиговой печи как объекта управления в САР температуры отходящих газо.

Точки при подаче газа, равной 1450 куб.м/час и значениях подачи концентрата, равных 20, 30, 40, 60, 80 и 100 т/час, взяты с рисунка 6, а крайние получены простой экстраполяцией. Точки на линии  $t = 230^{\circ}\text{C}$  взяты с рисунка 5, с использованием линии регрессии.

Для получения семейства характеристик полученные точки соединены прямыми линиями. Учтено также, что графики температуры должны расти из начала координат. Правая часть верхнего графика проведена как интуитивная экстраполяция нижних линий.

На первый взгляд проведенное построение весьма неточно. Однако обратим внимание на то, что на уровне номинального значения температуры точки проставлены в соответствии с требованиями технологии (рисунок 5). Главное – рост температуры с подачей газа семейство все-таки отражает и поэтому эта модель достаточно качественная потому, что в рабочей области, сравнительно узкой, нелинейность характеристик проявляется сравнительно мало.

Снимая показания со всей площади (рисунок 9) можно построить таблицу зависимости температуры отходящих газов от подачи газа и скорости загрузки в печь концентрата:

$$StCh2D := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 500 & 1000 & 1450 & 2000 & 4000 & 6000 \\ 20 & 20 & 85 & 170 & 260 & 290 & 425 & 560 \\ 30 & 20 & 70 & 148 & 205 & 235 & 350 & 465 \\ 40 & 20 & 65 & 130 & 190 & 215 & 320 & 420 \\ 60 & 20 & 50 & 100 & 145 & 170 & 270 & 375 \\ 80 & 20 & 45 & 80 & 120 & 145 & 228 & 315 \\ 100 & 20 & 40 & 70 & 105 & 125 & 195 & 265 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 – Фрагмент рабочего поля документа Маткада.

Таблица, представленная в виде матрицы и характеризующая зависимость температуры отходящих газов в зависимости от подачи газа (по горизонтали) и от загрузки печи (по вертикали). В таблице учтено, что при нулевой подаче газа температура отходящих из печи газов равна температуре окружающего воздуха, т.е. 20° С.

В Маткаде нетрудно построить по этой матрице семейство характеристик:

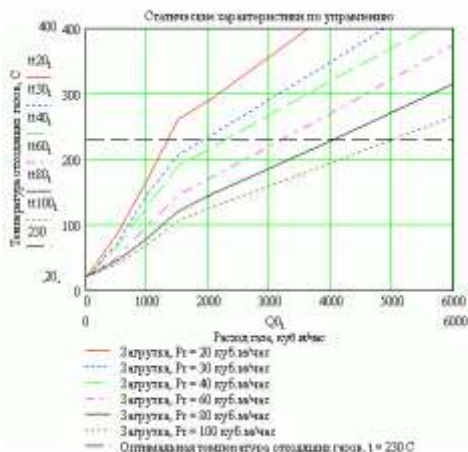


Рисунок 3 – Семейство характеристик, построенное в Маткаде по данным табличного представления двумерной статической характеристики.

Рост температуры с увеличением подачи газа увеличивается с уменьшением загрузки. Совпадение с рисунком 9 хорошее.

Таблицу значений 2D статической характеристики в Маткаде можно задать наряду с матрицей еще и компонентом Таблица ввода (InputTable).

Маткад позволяет без труда построить семейство статических характеристик и в другой системе координат, где аргументом является подача концентрата, а параметром – подача газа.

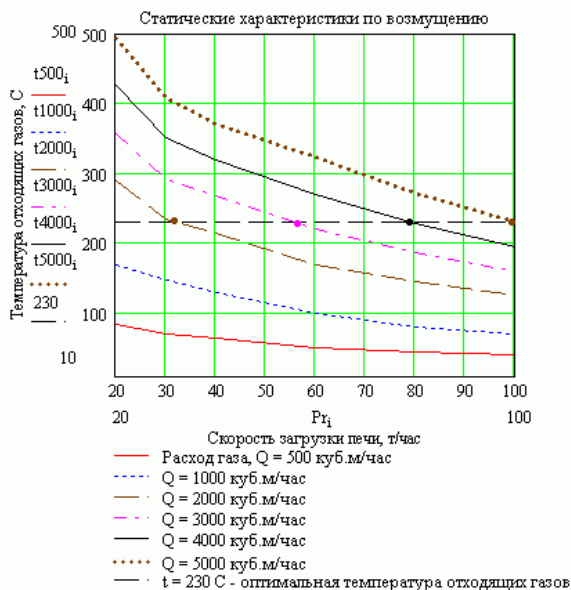


Рисунок 4 – Другая форма представления семейства статических характеристик печи

Как видно, с увеличением скорости подачи концентрата в печь температура отходящих газов уменьшается и уменьшается все медленнее. Чем больше подача газа (топлива), тем выше располагается характеристика. Оптимальная температура в 230°C достигается только при определенных сочетаниях скорости загрузки и подачи газа.

Обе эти формы представления двумерной статической характеристики печи потребуются при ее аппроксимации гладкой функцией двух переменных.

Наконец, Маткад позволяет представить двумерную статическую характеристику в трехмерном пространстве, что существенно повышает ее наглядность:

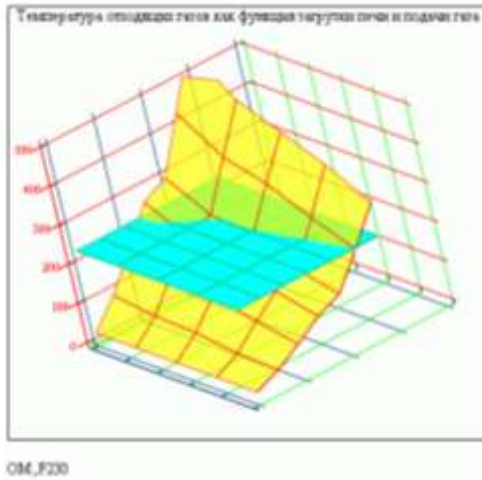
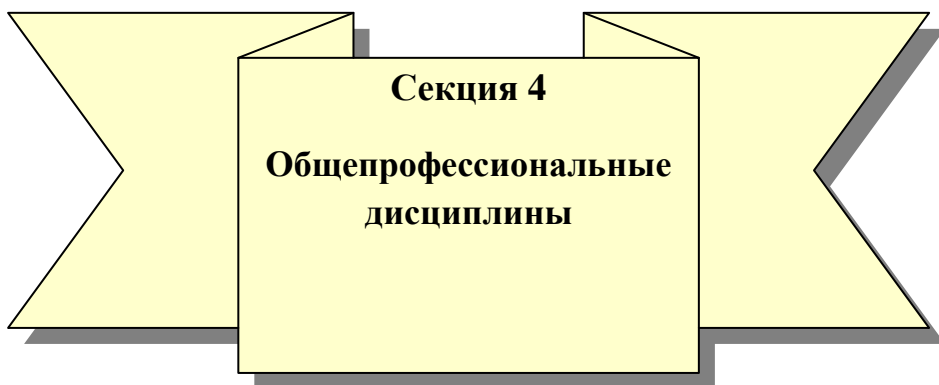


Рисунок 5 – 2D (двумерная) статическая характеристика печи (желтая поверхность) и уровень оптимальной температуры  $t = 230^{\circ}\text{C}$  (голубоватая плоскость)

Линия их пересечения – оптимальный режим работы печи, который и должна обеспечить проектируемая САР. Вправо - вверх идет ось подачи газа, вправо – вниз идет ось загрузки печи.



## ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

*А.А. Бубнов<sup>1</sup>, Мялкин И.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ГБПОУ Выксунский металлургический колледж им. А.А.Козерадского*

*<sup>2</sup>Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

Электросварные обсадные трубы, изготовленные в условиях ТЭСЦ-5 АО ВМЗ, обязательно оснащены соединительными деталями – муфтами, которые, в основном, производятся из бесшовных труб, полученных с ТПА 70-270 ТЭСЦ-3.

Очевидно, так как резьба наносится и внутреннюю поверхность, именно она (внутренняя поверхность) должна отвечать прочностным требованиям. Особенно это актуально стало, когда увеличилось количество обсадных труб повышенных групп прочности: Е, Л, М, N80, K55, P110.

Идея, которая предлагается в данном реферате, предусматривает именно получение муфт к обсадным трубам также повышенных групп прочности и одновременно получения их коррозионной стойкости.

Физико-механические свойства стали улучшаются с изменением ее структуры. Рассматривая диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов, мы видели, что для изменения структуры стали, ее нужно нагреть выше критических точек. При этом происходит перекристаллизация и исходная структура изменяется в желаемом направлении.

Целью нагрева при термической обработке является, обычно, перевод первоначальной структуры стали в мелкозернистый аустенит.

Рассмотрим, какие процессы протекают в стали при нагревании. Эвтектоидная сталь при нормальной температуре имеет структуру перлита. В процессе ее нагревания при температуре  $727^{\circ}\text{C}$  (критическая точка  $A_{c1}$ ) перлит превращается в аустенит.

Образующийся при кристаллизации аустенит имеет мелкозернистую структуру. При дальнейшем росте температуры, а также, при длительной выдержке, начинается рост зерна, что нежелательно. Поэтому при термической обработке нагрев ведут обычно до температур на  $30-50^{\circ}\text{C}$  выше критических точек  $A_{c3}$ ,  $A_{c1}$ , и выдерживают при этих температурах определенное время до завершения превращений в стали.

### Выдержка стали

Нагрев при термической обработке должен вестись так, чтобы, с одной стороны, обеспечить равномерными прогрев детали, необходимый для превращения структуры, гарантировать от получения трещин, коробления и, с другой стороны, обеспечить наибольшую производительность печей. Допустимая скорость нагрева зависит от химического состава, степени однородности стали, конструктивных форм и сечения детали.

С увеличением содержания углерода понижается теплопроводность стали и, значит, скорость нагрева должна понижаться. То же относится и к легированным сталям. Стали с неоднородной структурой и детали, имеющие

резкие переходы, а также большое сечение, во избежание появления коробления и трещин, нагревают с меньшей скоростью.

Температура нагрева зависит от вида термической обработки. Когда нагрев ведется в камерных или шахтных печах, где продукты сгорания и топливо соприкасаются с поверхностью изделий, возможно окисление и обезуглероживание стали. Чтобы избежать этого, в рабочем пространстве печи создают защитную газовую среду, так называемую контролируруемую атмосферу. Для создания контролируемой атмосферы применяются углекислый газ, окись углерода, азот, водород, метан и другие газы в различных сочетаниях.

Вместо создания контролируемой среды изделия можно загружать в ящик с отработанным карбюризатором (веществом, содержащим углерод) или другими материалами. Можно также наносить на изделия обмазки.

Выдержка после нагрева до заданной температуры должна обеспечить сквозной прогрев деталей, завершение структурных и фазовых превращений, снятие напряжений. Продолжительность выдержки должна быть минимально необходимой. При излишней выдержке начинается рост зерна, сталь обезуглероживается, на поверхности появляется окалина. Чем выше температура нагрева, тем меньше должна быть выдержка.

#### Отжиг стали

Нагрев стали до заданной температуры, (выше  $A_{c3}$ ), выдержка при достигнутой температуре и последующее медленное охлаждение, называют отжигом.

Нагрев при отжиге осуществляется в камерных печах периодического или непрерывного действия. Охлаждение до температуры 500-600°C ведется с очень малой скоростью, чаще всего - вместе с печью. Дальнейшее охлаждение до комнатной температуры может производиться на воздухе. Отжигу подвергаются обычно заготовки перед механической обработкой.

Различают следующие виды отжига: полный, неполный, отжиг на зернистый перлит, изотермический, диффузионный, рекристаллизационный.

При полном отжиге сталь нагревается до температуры на 30-50°C выше критической точки  $A_{c3}$  и выдерживается при этой температуре до полной перекристаллизации. Охлаждение ведется медленно вместе с печью или горячем песке, золе (для углеродистых сталей со скоростью 50 – 100° в ч.)

В результате полного отжига сталь приобретает равномерное мелкозернистое строение, снижается твердость, улучшается обрабатываемость, повышается вязкость, снижаются внутренние напряжения. Полному отжигу подвергаются стальные отливки, поковки и прокат из доэвтектоидных сталей.

Нагрев стали до температуры выше критической точки  $A_{c1}$ , но ниже точки  $A_{c3}$  с выдержкой для перекристаллизации и последующим медленным охлаждением называется неполным отжигом. При неполном отжиге происходит частичная перекристаллизация. В результате понижается



твердость и улучшается обрабатываемость стали, снижаются внутренние напряжения. Неполный отжиг применяется обычно для заэвтектоидных сталей (температура нагрева этих сталей 750-760°С).

При изотермическом отжиге нагрев и выдержка для перекристаллизации ведутся, как и при полном или неполном отжиге. После этого изделия быстро охлаждаются до температуры, лежащей на 50-100°С ниже критической точки  $A_{c1}$ . Обычно при этой температуре дается выдержка для полного распада аустенита, а затем производится охлаждение на воздухе. В результате изотермического отжига значительно ускоряется процесс термической обработки.

Отжиг на зернистый перлит применяется обычно для инструментальных сталей с целью снижения твердости и улучшения обрабатываемости. Он заключается в нагреве стали до температуры 730-770°С, длительной выдержке и медленном охлаждении до 600°С (затем охлаждение на воздухе). В результате такой обработки пластинки цементита округляются, сфероидизируются, приобретают зернистую форму.

При маятниковом, или циклическом, отжиге на зернистый перлит нагрев до 730-740°С и охлаждение до 680°С производятся несколько раз.

Когда сталь химически неоднородна, применяется диффузионный отжиг, или гомогенизация. Он заключается в нагреве стали на 150-300°С выше критической точки  $A_{c3}$ , продолжительной выдержке при этой температуре для выравнивания химической неоднородности зерен за счет диффузии и медленном охлаждении. Диффузионному отжигу подвергаются крупные отливки или слитки. В нашем случае – биметаллические трубы.

При ковке, штамповке, прокатке повышается твердость поверхностного слоя стали, понижается пластичность и вязкость, появляются внутренние напряжения, ухудшается обрабатываемость. Для снятия этих неблагоприятных факторов применяется рекристаллизационный отжиг. Он заключается в нагреве до температуры 680-700°С, выдержке и последующем охлаждении. В результате теплового движения молекул уменьшается концентрация точечных дефектов и дислокаций (нарушения правильного расположения атомных плоскостей в кристаллах), возникающих в процессе деформаций. Металл приводится в более равновесное состояние. При рекристаллизационном отжиге перекристаллизация не происходит.

Производство бесшовных труб на ТПА 70-270 АО ВМЗ является само по себе «нетрадиционным». Практика производства бесшовных труб на всех заводах РФ, специализирующихся на изготовлении бесшовных труб, показывает, что прошивка и раскатка трубной заготовки производится на отдельностоящих станах, причем раскатка производится не поперечно-винтовым способом, а прокаткой на валках с круглым калибром. Калибровка производится также не поперечно-винтовым способом.

Что касается ТПА 70-270, то прошивка и раскатка производится на одном и том же стане с заменой оправки на каждую операцию, способом поперечно-винтовой прокатки. Если после прошивки заготовка успевает

остыть ниже требуемой температуры (950°С), то её опять отжигают в печи с шагающими балками, после чего раскатывают.

В связи с этим максимальная длина труб на ТПА 70-270 – приблизительно 6 метров.

Поскольку данные бесшовные трубы предназначены для изготовления муфт к обсадным трубам, то рабочей поверхностью является внутренняя поверхность, где расположена резьба, поэтому, для создания высокой прочности и коррозионной стойкости резьбы, легированная труба будет располагаться внутри углеродистой.

Толщина легированной трубы должна быть более высоты резьбы на 1-2 мм.

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТ - ЛАБОРАТОРИИ JBL И ТЕСТ-СИСТЕМ «КРИСМАС+» ПОДЗЕМНЫХ ВОД Г.О.Г. ВЫКСА**

*А.И. Сиднева<sup>1</sup>, И.В. Мялкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ГБПОУ Выксунский металлургический колледж им. А.А.Козерадского*

<sup>2</sup>*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

Для проведения гидрохимического анализа с помощью тест – лаборатории JBL взяла воду с двух родников.

Таблица 1 - Гидрохимический анализ с помощью тест - лаборатории JBL

Наименования показателей	Родник «Садовый» 10.06.2016	Родник «Слудовский» 10.06.2016	ПДК
рН	6	6	6,5-8,5
Аммоний(NH <sub>4</sub> )	0.05	0.1	2,5 мг/л
Нитрит(NO <sub>2</sub> )	0.25	0.05	0,1 мг/л
Нитраты (NO <sub>3</sub> )	15	20	45 мг/л
Железо общее (Fe)	0.02	0.02	0,3 мг/л
Фосфаты (PO <sub>4</sub> )	0.02	0.05	3,5 мг/л
Силикаты (SiO <sub>2</sub> )	6.0	6.0	6,0 мг/л
Активный хлор	10	0	0,3-1,2 мг/л
Хромат	10	10	0,5 мг/л
Медь	30	30	1 мг/л
Никель	10	10	0,1 мг/л
Сульфиды	30	30	3 мг/л
Общая жесткость(ГН)	10 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>	7-8 <sup>0</sup>

Нормативы качества приведены по данным СанПиН 2.1.4.556-96, СанПиН 2.1.4.544-96, ГОСТ 17.1.3.03 (для питьевой воды и воды поверхностных источников хозяйственно-питьевого назначения).

Проведя гидрохимический анализ, выявила превышения ПДК по следующим показателям: нитритам: 0,25 при ПДК 0,1мг/л, активному хлору: 10 при ПДК 0,3-1,2мг/лв роднике «Садовый», хроматам: 10 при ПДК 0,5 мг/л, меди: 30 при ПДК 1 мг/л, никелю: 10 при ПДК 0,1 мг/л и сульфидам: 30 при ПДК 3 мг/л в обоих родниках.

Одной из задач исследования является выявление влияния местоположения и гидрологического режима на качество воды в источниках. Решили провести анализ гидрохимического и органолептического состава воды в колодце, находящиеся в центральной части поселка (Рис.14). Он находится вдали от жилых строений на расстоянии 30-50 м. В ходе исследования выявила, что в 2017 году колодец отремонтировали и заменили деревянный сруб на бетонное кольцо. Жители закрывают колодец деревянной крышкой. В ходе исследования выявила, что вода находится на глубине более 7 м.

В ходе проведенного органолептического анализа узнала, что вода не имеет осадка, запаха и при долгом хранении ее качество не ухудшается, вода остается такой же чистой и вкусной. Жители используют воду для питья и приготовления пищи.

Таблица 2 - Сравнение результатов гидрохимической оценки колодезной и родниковой воды

Наименование показателей	Вода из колодца.	Вода из родника «Садовый»	Вода из родника «Слудовский»	ПДК
pH	6,5	6	6	6,5-8,5
Аммоний(NH <sub>4</sub> )	0,05	0,05	0,1	2,5
Нитрит(NO <sub>2</sub> )	0,1	0,25	0,05	0,1
Нитраты (NO <sub>3</sub> )	5	15	20	45
Железо общее (Fe)	0,02	0,02	0,02	0,3
Фосфаты (PO <sub>4</sub> )	0,02	0,02	0,05	3,5
Силикаты (SiO <sub>2</sub> )	6,0	6,0	6,0	6,0
Активный хлор	0	10	0	0,3-1,2
Хромат	10	10	10	0,5
Медь	0	30	30	1
Никель	0	10	10	0,1
Сульфиды	0	30	30	3
Жесткость (GH)	7°	9°	10°	7-8°

В результате сравнения увидела, что колодезная вода намного чище, чем родниковая. Все это объясняется тем, что в пойме реки родники всегда перекрываются половодьем и родниковая вода смешивается с внешними водами. Это и сказывается на качестве воды. А колодезная вода находится на большой глубине (7 м), и внешние воды прежде чем попадают в колодец, успевают очиститься.

Сравнение гидрохимического состава воды в родниках и колодце показало, что в колодце отсутствуют следующие показатели: активный хлор, медь, никель и сульфиды. Превышение наблюдается только по хроматам, остальные показатели соответствуют норме. Вода в основном пригодна для питья, соответствует требованиям ГОСТа 17.1.3.03. Родниковая вода по гидрохимическому составу пригодна для питья только после кипячения. Провели разъяснительную беседу с жителями о том, что воду лучше употреблять после кипячения.

# МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО РОЛИКА ПРЕССА ШАГОВОЙ ФОРМОВКИ В ЛИНИИ 1420 ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЯМОШОВНЫХ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА АО «ВМЗ»

*Бредихин К.В., Лунев К.П.*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г.Выкса*

Даны сведения о технологическом процессе производства труб. Предложены мероприятия по модернизации поддерживающего ролика пресса шаговой формовки.

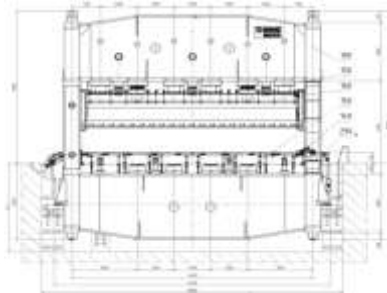
*Ключевые слова:* поддерживающий ролик, пресс шаговой формовки.

На ТЭСА 1420 производят сварные прямошовные трубы для магистральных газонефтепроводов, нефтепродуктопроводов и подводных трубопроводов.

В своей работе я рассматриваю модернизацию поддерживающего ролика в линии ТЭСА 1420. На рисунке 1 представлен пресс шаговой формовки.

Пресс выполняет функцию формовки или функцию отгибания кромок и состоит из следующих узлов:

- входной рольганг;
- откидной стол на выходе;
- стол толкания на выходе;
- поворотное устройство;
- подающие ролики.



*Рисунок 1*

В данный момент, поддерживающий ролик представляет из себя сборочную единицу, состоящую из ролика с осью, ролика, трех винтов и шайбы. Представлено на рисунке 2. В процессе работы у роликов часто ломаются винты, что приводит к замене винтов, следовательно, остановке работы оборудования, а это приводит к простоя оборудования.

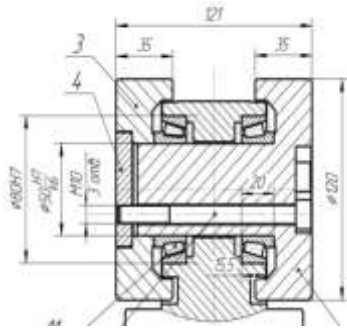


Рисунок 2

В связи с этим, я предлагаю модернизировать ролик, изменив его форму и материал. Мной был произведен расчет ролика на прочность и жесткость до модернизации и после, что показало, что с изменением формы и материала ролика увеличивается коэффициент запаса прочности и соответственно технологический ресурс узла (время от поломки до поломки).

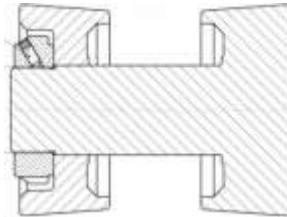


Рисунок 3

В таблице 1 представлена техническая характеристика прессы шаговой формовки.

Таблица 1 - Техническая характеристика прессы шаговой формовки

Наименование	Величина
<b>Пресс</b>	
Усиление прессования при рабочей длине 13м	Макс. 5.0 МН/м
Рабочее давление	Макс .65.0МН
Давление цилиндра прессования	Макс .315 бар
Ход гибочной балки	мм
Диаметр трубы	Мин.508.0мм макс
Длина труб	Мин 9.1 Макс 12.3м
Скорость перемещения верх, балки	0-13мм/сек 75мм/сек
Точность синхрон. гибочного ножа	±0.5мм
Рабочая высота	+700мм
Высота выхода труб	+820мм
<b>Входной рольганг</b>	
Скорость транспортировки с регулир. частотой	0.6м/с
Центрирование полосы измер. колесом	
Высота входа полос	+800мм

Ход	150мм
Диаметр роликов	340мм
<b>Откидной стол на выходе</b>	
Длина решетки	2.800мм
Угол откидывания	0-6
Ход шпинделя	325мм
Скорость регулирования	0.4/сек
Ход на один оборот карданного вала	3мм
<b>Стол толкания на выходе</b>	
Путь перемещения к оси машины	120-6.775мм
Расстояние оси рольганга к оси машины	4.325мм
Обратный ход (с частотным управ)	10-400мм/с
Прямой ход (с частотным управ)	10-300мм/с
Ход на один оборот карданного вала	800.1мм
<b>Откидной стол на выходе</b>	
Длина решетки	2.800мм
Угол откидывания	0-6
Ход шпинделя	325мм
Скорость регулирования	0.4/сек
Ход на один оборот карданного вала	3мм
Упорные рычаги справа и слева	
Усилие толкания	5.000Н
Диаметр барабана	250мм
Диаметр каната	12мм
Макс. путь перемещения	15мм
Скорость	
Вперед	0-400мм/с
Назад	0-1.000мм/с
<b>Поворотное устройство</b>	
Количество	8
Диаметр роликов	250мм
Окружная скорость	130мм/с
<b>Подающие ролики</b>	
Количество	4
Диаметр роликов	280мм
Скорость транспортировки	0-500мм/с
Ход перед упорной тележкой	60мм

Модернизация поддерживающего ролика прессы шаговой формовки позволит:

- увеличить срок службы ролики
- обеспечить быстрый ремонт ролика в случае поломки
- повысить часовую производительность

В процессе выполнения проекта были выполнены прочностные расчеты инструмента деформации, расчеты часовой производительности агрегатов, а так же произведены расчеты технико-экономических показателей.

#### Литература:

1. Теория, технология и оборудование для производства прямошовных сварных труб большого диаметра в линии ТЭСА – 1420/ С. В. Самусев, А.Н. Фортунатов, Н.В. Овчарова – Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», 2013;

2. Технология трубного производства: Учеб. для вузов/ В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. М.: Интермент Инжтнинг, 2002;
3. Технологическая инструкция ТИ ТЭСЦ-4.
4. [www.oao-vmz.pf](http://www.oao-vmz.pf)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ ЗАКРЫТИЯ МАРТЕНОВСКОГО ЦЕХА АО ВМЗ

*А.Ю. Михалева, С.В. Теребикина*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», г.Выкса*

23 марта 2018 года на Выксунском металлургическом заводе прекращена работа сталеплавильного цеха в составе двух мартеновских печей.

Актуальность данного исследования определяется масштабом данного события и влиянием его на жителей города. С закрытием сталеплавильного цеха ВМЗ завершилась целая эпоха производства стали мартеновским методом. Но есть и положительные стороны данного события. Закрытие мартеновского производства на 90% снизит количество вредных выбросов и улучшит экологическую обстановку в городе.

Целью работы является исследование и анализ положительных и отрицательных сторон прекращения работы мартеновского цеха Выксунского металлургического завода.

Для достижения поставленной цели предстоит решить следующие задачи:

1. Изучить технологию процесса выплавки стали в мартеновской печи и историю мартеновского цеха ВМЗ
2. Оценить количественный и качественный состава выбросов загрязняющих веществ при работе мартеновской печи
3. Рассмотреть безопасность процесса мартеновской плавки для работников
4. Сделать выводы о достоинствах и недостатках прекращения работы мартеновского цеха

Первым этапом исследования стало изучение истории мартеновского производства и мартеновского цеха ВМЗ, ознакомление непосредственно с процессом производства стали мартеновским методом.

Начало эпохи производства стали мартеновским методом относится к 1864 году. В этом году французский металлург Пьер Мартен создал печь, предназначенную для выплавки стали из чугуна и стального лома. Ее преимуществом перед существовавшими ранее печами, выплавлявшими металл, например, бессемеровским конвертором, было то, что в ней можно переплавлять металлический лом в сталь. Кроме того, мартеновская печь позволяла контролировать качество металла, вносить в него необходимые

добавки и, таким образом, получать сталь различных марок с заданными свойствами.

В России первая мартеновская печь построена в 1870 году на Сормовском заводе. На Нижне-Виксунском заводе первую печь построили в 1892 году в пудлинговом цехе, а уже в 1894 – появился специализированный мартеновский цех. В 1933 году открыт второй мартеновский цех. В годы Великой отечественной войны в цехе работали 4 печи, производя в общей сложности 145 тонн стали в сутки. Для нужд запущенного в 1973 году колесопрокатного цеха мартеновский цех №2 освоил выплавку колесной стали, которая с тех пор стала его основной продукцией. Отслужив 83 года, мартеновский цех №1 был закрыт в 1975 году. В 2004-2005 годах на месте третьей демонтированной печи был создан автоматизированный участок внепечной обработки стали «печь-ковш-выкууматор», позволивший значительно улучшить качество стали. В последние годы мартеновский цех работал попеременно одной из двух печей, каждая из которых имела емкость 250 тонн. 23 марта 2018 году закрылся второй мартеновский цех ВМЗ, и закончилась эпоха производства стали мартеновским методом.

Исходными материалами для выплавки стали в печи служат металлический лом, чугуны, железная руда и флюсы.

Мартеновская печь относится к типу отражательных печей. Ванна, где идет плавка, выложена огнеупорным кирпичом. Над ванной — сферический свод. Продукты горения топлива, а вместе с ними и тепло отражаются от свода и направляются в ванну, где и расплавляют металл.

Топливом в мартене служит природный газ, мазут, кокс. Прежде чем попасть в печь, газ и воздух нагревают в 4 регенераторах, а затем подают в верхнюю часть мартена. Здесь они смешиваются и сгорают, давая температуру до 1800—2000°С. Такая температура обеспечивает полное расплавление металла.

Основные периоды работы мартеновской печи: заправка печи, завалка и прогрев шихты, заливка жидкого или завалка твердого чугуна, плавление, кипение, раскисление, легирование и выпуск стали.

На втором этапе исследования были рассмотрены достоинства и недостатки производства стали в мартеновской печи.

Главным достоинством мартеновского процесса является возможность его проведения при любом расходе чугуна, а также возможность переработки как жидкого, так и твердого чугуна. Другим преимуществом мартеновских печей является высокий выход стали, который составляет 90-96 % металлической завалки. (Например, чтобы получить 230 тонн стали необходимо загрузить в печь 253 тонны шихты). К преимуществам мартеновского производства стали также относится использование первичной энергии (тепла газообразного и жидкого топлив).

Недостатками мартеновского производства являются:

1. Низкая производительность. Одна мартеновская печь емкостью 250 тонн в год выпускает порядка 225 тыс. тонн металла. Одна дуговая



сталеплавильная печь емкостью 160 тонн, то есть на 100 тонн меньше, в год выпускает более 1,2 млн тонн металла. Почти в пять раз больше при меньшей емкости печи.

2. Большой расход огнеупорных материалов и топлива.
3. Необходимость ручного труда при ремонтах печей.
4. Тяжелые условия труда.
5. Большая длительность процесса плавки.

Третьим этапом исследовательской работы стало рассмотрение вредных производственных факторов, а также анализ выбросов, сопровождающих мартеновский процесс.

Мартеновское производство имеет большое количество неорганизованных выбросов загрязняющих веществ, которые в месте их образования попадают первоначально в рабочую зону цеха, а затем через аэрационные фонари и другие проемы производственных зданий в атмосферу.

При выплавке стали образуется и выделяется в производственное помещение большое количество пыли. Основной причиной бурного пылеобразования в период продувки жидкой ванны кислородом является испарение металла в очагах высокой температуры и последующее его окисление атмосферой рабочего пространства. Во время завалки основным источником пылевыделения является загружаемая шихта, из которой газовым потоком увлекаются мелкие частицы железной руды, известняка и других ее компонентов. В начале периода прогрева пыль образуется в результате термического разрушения кусковых материалов, в конце - вследствие угара оплавленного металла. В период слива стали максимальная запыленность отходящих дымовых газов наблюдается при сливе первого ковша, а далее сокращается, а три-четыре раза.

Во время плавления максимальное пылевыделение происходит при продувке ванны кислородом. Существенное влияние на пылеобразование оказывает скорость выгорания углерода. Пылеобразование тем выше при одной и той же температуре металла, чем выше содержание углерода.

В зоне печного пролета концентрация пыли достигает 143 мг/м<sup>3</sup>.

Сравним, удельные выбросы пыли при производстве стали мартеновским и электросталеплавильным способом. При мартеновском производстве выделяется 11,3 кг/т стали, при электросталеплавильном способе производства – 9,40 кг/т стали.

Химический состав пыли характеризуется высоким содержанием железа. Основную часть составляют оксиды железа (88-93 %). На ряду с железосодержащими оксидами в состав пыли входят SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, реже P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, SbO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>. Исследованиями установлено, что в пыли мартеновского производства содержится 0,09-1,19% свинца. Примерный состав мартеновской пыли перед газоочисткой: 90% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,65% CaO; 0,9% MgO; 1,1% MnO; 0,8% SiO<sub>2</sub>, 1% Pb.

Проникая в организм при дыхании, при заглатывании и через поры кожи, пыль может вызвать различные профессиональные заболевания. Вещества, входящие в состав пыли, в зависимости от концентрации, могут оказывать токсическое влияние на организм работающего.

В ходе технологического процесса также выделяются газообразные вредные вещества. Выделение газов происходит при открывании окон печи, при выпуске и раскислении стали в ковше, а также в результате неплотностей огнеупорной кладки, нарушения целостности газовых коммуникаций.

Наиболее опасными являются CO, SO<sub>2</sub>, NO. Оксид углерода (II) является продуктом неполного сгорания топлива или образуется в результате физико-химических реакций в процессе плавки. CO поступает в организм человека через дыхательные пути. Из-за образования карбоксигемоглобина резко снижается способность крови переносить кислород к тканям, может наступить кислородное голодание. Главным образом, это влияет на функции центральной нервной системы.

Серный ангидрид обладает раздражающим действием. При контакте с биологическими органами он вызывает воспалительную реакцию, причем в первую очередь страдают органы дыхания, кожа и слизистые оболочки глаз.

Оксид азота (II) попадает в организм через дыхательные пути и образует в крови метгемоглобин. У рабочих может возникнуть кашель, удушье, одышка. В тяжелых случаях может развиваться отек легких. Наблюдаются также головные боли, сердечная слабость.

Концентрации загрязняющих веществ в выбросах мартеновского цеха на границе санитарно-защитной зоны предприятия, в долях ПДК, представлены в таблице 1.

Таблица 1

оксид железа (в пересчете на железо)	0,15
оксид кадмия (в пересчете на кадмий)	0,025
марганец и его соединения (в пересчете на диоксид марганца)	1,03
никель металлический	0,0041
свинец и его соединения (в пересчете на свинец)	3,34
хром шестивалентный (в пересчете на триоксид хрома)	0,039
диоксид азота	3,33
диоксид серы	0,12
оксид углерода	0,41

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нарушаются нормативы ПДК для марганца и его соединений, свинца и его соединений, а также для диоксида азота.

Влияние марганца сказывается на функционировании центральной нервной системе. Опасность свинца для человека определяется его значительной токсичностью и способностью накапливаться в организме и вызывать отравления. Двоокись азота воздействует в основном на дыхательные пути и лёгкие, уменьшает содержание в крови гемоглобина.

К основным вредным производственным факторам мартеновского производства относятся тепловые и световые излучения. Источниками

излучения являются факел пламени, нагретая до высоких температур огнеупорная футеровка внутреннего пространства печи и поверхность расплавленного металла (шлака), воздействие которых проявляется при открытых окнах печи. Кроме того, источниками излучений являются жидкий шлак, скачиваемый из печи, расплавленный металл при выпуске и разливке стали. Все источники излучения имеют температуру более 500 °С, поэтому спектр излучения содержит световые и инфракрасные лучи. Фактическое значение инфракрасного излучения в цеху от 2 до 5 кВт/м<sup>2</sup>. Допустимый уровень интенсивности интегрального потока инфракрасного излучения не должен превышать 0,1 кВт/м<sup>2</sup>.

На последнем этапе исследования были сделаны выводы на основании проделанной работы.

Безусловно, у выплавки стали мартеновским способом есть существенные достоинства. Но в нынешнее время данное производство значительно уступает более современным. Мартеновская печь является серьезным загрязнителем окружающей среды. Работники мартеновского цеха подвергаются риску получить различные заболевания. Производительность и экономические показатели мартеновской печи ниже, чем у других сталеплавильных агрегатов. Из всего вышесказанного, можно сделать вывод, мартеновское производство действительно изжило себя и не имеет место быть в современной металлургии.

#### **Литература:**

1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96

2. Химические факторы производственной среды предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03

3. Металлургия черных металлов / Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. - М.: Металлургия, 1986. - 360 с.

#### **Интернет-ресурсы:**

4. <https://www.metaljournal.com.ua/>

5. <http://ekologyprom.ru/>

6. <http://markmet.ru/>

7. <http://mashmex.ru/>

## **БЕЗДОМНЫЕ СОБАКИ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДА ВЫКСЫ**

*А.Н.Бушуева, С.В.Теребикина*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

Собаки и кошки – самые распространенные спутники человека в городской среде. Более 12 тысяч лет назад началось установление тесной связи между человеком и ныне домашними животными. Собаки с древних

времен имели десятки профессий: сопровождали человека на охоте и войне, сторожили дома, предупреждая о приближающейся опасности.

Некоторые из собак сохранили профессию сторожа, реже охотника, но все стали полноправными членами семьи и компаньонами. Различные научные исследования доказывают, что собаки и кошки могут быть очень полезны как с психологической точки зрения, так и с точки зрения здоровья. Они снижают стресс, что улучшает работу иммунной системы, избавляют от одиночества и беспокойства, лечат своих хозяев общением и любовью. Нередко собаки становятся незаменимыми помощниками для инвалидов и пожилых людей.

Актуальность темы нашего исследования обуславливается тем, что проблема существования бездомных животных является одной из актуальных проблем города и имеет неблагоприятные экологические и социальные последствия. А также то, что бездомность вызывает большие страдания и гибель животных, а также санитарный риск человечеству.

Цель исследования: Выяснить основные причины появления на улицах городов бездомных животных и привлечь внимание людей к такой проблеме города как бездомные животные.

Задачи исследования:

- изучить литературу и интернет - ресурсы по данной теме;
- изучить состояние проблемы бездомных животных у нас в городе;
- провести анкетирование среди студентов;
- поделиться полученной информацией с одноклассниками;
- создать агитационную листовку;
- проанализировать проделанную работу, сделать выводы.

Гипотеза:

Если проводить агитационную работу с населением, то можно сократить численность бездомных животных.

Исследование о численности бездомных животных в нашем городе.

Изучая состояние проблемы бездомных животных в нашем городе, я в течение определенного времени наблюдала за ситуацией на улицах. В ходе наблюдений мною было выявлено около 80 особей бездомных животных. Кроме этого был проведен социологический опрос преподавателей и студентов техникума.

Произведенный учет бездомных животных и социологический опрос студентов, позволили получить общее представление о данной проблеме в нашем городе:

всего жителей в городе – 53 406 человек

ул. Ленина (встретившихся бездомных животных – 10)

ул. Красные Зори (встретившихся бездомных животных – 6)

ул. Островского (встретившихся бездомных животных – 15)

ул. Лепсе (встретившихся бездомных животных – 7)

Социологический опрос населения

Я провела социологический опрос студентов нашего техникума.

Общее количество опрошенных 58 человек.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Большинство опрошенных студентов имеют домашнее животное, в основном это коты, кошки, собаки, но есть и декоративные кролики, и черепахи. Многие хотели бы завести ещё домашних животных, хотя у них уже есть питомец. Большинство детей помогают бездомным животным, что не может не радовать. Но в тоже время считают, что бездомные животные опасны, и это бывает в некоторых случаях правда, ведь по пути домой многие не раз с опаской обходили стаи озлобленных собак. Но злые они, потому что у них нет крова и пищи. На вопрос «Случалось ли, что Вы брали бездомное животное в дом?», большинство опрошенных ответили, что нет. Может пора пересмотреть этот вопрос, ведь бездомные животные нуждаются в защите.

И самый главный вопрос «Как бороться с проблемой бездомных животных?» Студенты предлагали возможные пути решения проблемы. Большинство ответило, что необходимо открывать приюты, но это большая редкость. Предлагали подкармливать, брать домой, некоторые даже предлагают уничтожать бездомных животных. Силами студентов, к сожалению, мало что можно сделать. Такую масштабную проблему невозможно решить без государственного вмешательства. Но смотреть и ничего не делать тоже невозможно.

Государство обязано принимать все для решения этой проблемы. Вашему вниманию представлены пункты, которые, на мой взгляд, решат эту проблему:

1) создание сети цивилизованных приютов для собак и кошек, которых по какой-либо причине нельзя оставлять на улице после стерилизации. Не допускать к эксплуатации этих приютов организации, не имеющих опыта и положительных характеристик в сфере защиты животных. Создать комиссии, которые будут контролировать работу приютов;

2) создание льготных условий для клиник, что обеспечит массовость на конкурсе по распределению городского заказа на стерилизацию;

3) создание школ ловцов-кинологов, которые будут представлять альтернативу ловцам-живодёрам;

4) обеспечение жесткого контроля за деятельностью подрядных организаций;

5) закрепление за каждым округом специалиста по фауне;

6) создание информационной службы поиска животных, службы спасения;

7) проведение регистрации всех домашних животных, их чипирование, вакцинация;

8) установление жесткого контроля за разведением животных и запрещение рыночной торговли животными

9) Принятие законодательных актов, защищающих животных от жестокого обращения.

10) создание эффективных государственных программ по регулированию численности бездомных животных (эта мера будет эффективной только в том случае, если люди, ответственные за выполнение таких программ, будут реально заинтересованы в этом).

11) Развитие деятельности зоозащитных организаций разного уровня и объединение усилий всех зоозащитников для решения данной проблемы.

12) Проведение воспитательной работы среди населения и особенно детей среднего школьного возраста о толерантном отношении к нашим «братьям меньшим».

Рекомендации по оказанию первой помощи при нападении бездомных животных и правилах поведения с таковыми животными.

1. Если вы пострадали от потенциального разносчика бешенства необходимо сразу обратиться к врачу.

- А если нет возможности немедленно получить квалифицированную помощь медики рекомендуют поступить следующим образом:

- Место укуса не в коем случаи нельзя обрабатывать йодом, спиртом, маслом,

- Нужно взять кусок хозяйственного мыла, намылить место укуса, затем забинтовать и прибыть в больницу.

- Это очень важно, ведь необходимо предотвратить заражение бешенством. Обязательно назначается курс вакцинации, семь внутримышечных инъекций, которые производятся по специальной схеме.

- Помните, что - Зимой собаки более голодны, а значит, гораздо агрессивнее, чем в теплое время года, поэтому будьте осторожны не трогайте собак.

- Помните, что нередки случаи, когда, безнадзорные собаки разрывают своих сородичей, еще чаще такие животные нападают на кошек, но могут напасть и на ребенка и даже взрослого.

Результаты и выводы о проделанной работе.

По результатам тестирования мы сделали следующий вывод: Большинство наших студентов имеет у себя дома какого-нибудь домашнего любимца. Почти все понимают, что проблема бездомных животных существует и что с ней надо бороться.

Но как бороться? Тут мнения разделились. В основном ребята думают о приютах, но многие из них не понимают, что приюты предназначены не для постоянного проживания там бездомных животных, а это лишь временное пристанище для бедняжек, где их отмоют, полечат, покормят и самое главное – найдут хозяина».

Предлагаю свое видение решения проблемы бездомных животных: эту проблему следует решать уже в том, что нельзя выгонять животных на улицу, а прежде чем брать их домой, подумать: сможешь ли ты уделять ему достаточно времени.

## Заключение

Считаю, что цель моей работы достигнута. Я изучила состояние проблемы бездомных животных у нас в городе, смогла выявить основные причины появления их на улицах. Думаю, что сумела привлечь внимание своих одноклассников к проблеме бездомных животных.

## ПОТЕНЦИАЛ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Е.А. Паришин, Л.В. Макова*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г.Выкса*

Планетарные механизмы одни из самых интересных и востребованных видов передач движения. Расположение элементов планетарного ряда позволяет относительно легко организовывать их систему управления. При удачном выборе кинематической схемы КПД таких передач имеет высокое значение и, не смотря на их компактные размеры, могут передавать большие крутящие моменты по сравнению к другими типами передач.

В работе приведено исследование процесса передачи вращения не стандартным способом, который имеет большой потенциал.

*Ключевые слова:* планетарная передача, сателлиты, водило, шестерни, зубчатые колеса, дифференциал, трансмиссия.

Цель данной работы является исследование конструкции планетарных передач, принципа их работы в повседневном использовании и дальнейшее их развитие.

Как можно сопоставить планеты и механизмы? Начнем с понятия, что такое солнечная система.

Солнечная система — система планет, включающая в себя центральную звезду — Солнце — и все естественные космические объекты, вращающиеся вокруг Солнца.

Что же может связывать солнечную систему и механизмы? Оказывается, их связь тесна.

Планетарный механизм — планетарная передача, названная по аналогии с нашей Солнечной системой. В центре есть "солнце" - центральное колесо в механизме. Вокруг него движутся "планеты" - маленькие шестеренки или сателлиты. "Условная солнечная система" по диаметру имеет границу. Роль ее в планетарном механизме выполняет большое колесо или эпицикл. Большую работу в данной конструкции выполняет водило, представляющее собой рычажный механизм.

В планетарном механизме можно использовать шестерни различной конфигурации. Подходят стандартные с прямыми зубьями, косозубые, червячные, шевронные.

В зависимости от того, как вращаются центральные колеса при остановленном водило, внутреннее передаточное отношение планетарного

ряда может быть либо положительным, либо отрицательным. Определить передаточное отношение можно по формулам:

$$i = d_2/d_1 = Z_2/Z_1 = M_2/M_1 = W_1/W_2 = n_1/n_2,$$

где: 1 - звено ведущее.

2 - звено ведомое.

$d_1, d_2$  - диаметры первого и второго звеньев.

$Z_1, Z_2$  - число зубьев.

$M_1, M_2$  - крутящие моменты.

$W_1, W_2$  - угловые скорости.

$n_1, n_2$  - частота вращения.

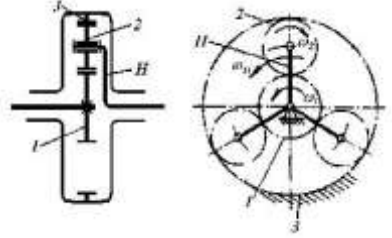


Рисунок 1 – Кинематическая схема планетарного механизма

Рассмотрим свойство работы передачи в редукторном режиме.

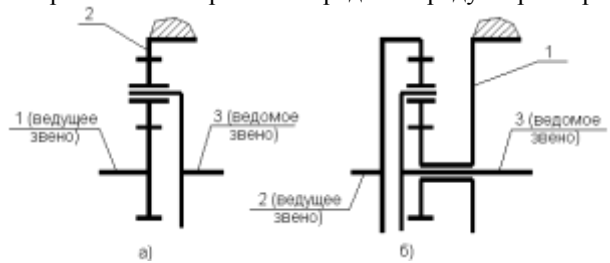


Рисунок 2 - Варианты работы планетарного ряда в режиме редуктора

*Первый.* Пусть большое центральное колесо будет остановлено ( $\omega_2 = 0$ ), водило назначим ведомым звеном планетарного ряда, а малое центральное колесо – ведущим звеном (рисунок 2, а). Тогда в соответствии с передаточным отношением механизма будет определяться следующей зависимостью:

$$i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 1 - i_{12},$$

то есть, получаем редуктор, передаточное отношение которого на единицу больше внутреннего передаточного отношения самого планетарного ряда.

*Второй.* Пусть большое центральное колесо будет ведущим звеном планетарного ряда, водило - ведомым звеном, а малое центральное колесо - остановлено, ( $\omega_1 = 0$ ) (рисунок 1, б). Тогда после небольшого преобразования (1) получим:



$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = -(1 - i_{12})/i_{12},$$

то есть, получаем редуктор, передаточное отношение которого близко к единице.

Рассмотрев все варианты, сводим их результаты в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Входное звено	Выходное звено	Остановленное звено	Передаточное отношение
1	1	3	Н	-К
2	3	1	Н	-1/К
3	1	Н	3	1+К
4	3	Н	1	1+1/К
5	Н	1	3	1/(1+К)
6	Н	3	1	1/(1+1/К)

Где же используют планетарные передачи? Наиболее широкое применение принцип нашёл в планетарных редукторах, ведущих мостов тяжёлых автомобилей, автоматических коробок передач, кроме того, используется в суммирующих звеньях кинематических схем металлорежущих станков, также в редукторах привода воздушных винтов турбовинтовых двигателей (ТВД) в авиации, также довольно распространены планетарные втулки для велосипедов.

Часто встречающийся в нашей жизни планетарный ряд является дифференциал.

Отличительной особенностью дифференциала является то, что он имеет центральные колеса одинакового размера. При остановленном водило центральные колеса вращаются в разные стороны.

Необходимость применения дифференциала в конструкции привода автомобилей обусловлена тем, что внешнее колесо при повороте проходит более длинную дугу, чем внутреннее. То есть при вращении ведущих колёс с одинаковой скоростью поворот возможен только с пробуксовкой, а это негативно сказывается на управляемости и сильно повышает износ шин.

Использование такого вида передачи достаточно широко, оно имеет потенциал в будущем, так, к примеру: в ветряных мельницах – для регулировки лопастей к направлению ветра, и последующей передачи через тот же механизм, вращение от пропеллера, дальше. Так же можно использовать для передачи колёс велосипеда без цепи. А так же разработка и внедрение таких механизмов позволит существенно увеличить долговечность существующих трансмиссионных агрегатов, а также разработать новые более компактные трансмиссии.

#### Литература:

1. Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. Детали машин: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. образования - М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 288с.
2. Антонов А. С., Аргамонов Б. А., Коробков Б. М., Магидович Е. И. Планетарные передачи // Танк. — М.: Воениздат, 1954. — С. 422—429. — 607 с.
3. <http://fb.ru/article/363143/mehanizm-planetarnyyi-raschet-shema-sintez>

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

*А.М.Чеснов, С.С.Козлова*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет МИСиС", г. Выкса*

Энергосбережение на предприятии является одной из самых актуальных проблем, с которой сталкивается промышленность. В связи с тем, что с каждым днем увеличивается спрос на электроэнергию и объемы ее потребления, ее стоимость постоянно увеличивается.

Энергосбережение на предприятии особенно актуально в условиях всеобщего экономического кризиса. Этот фактор приводит к тому, что предприятия задумываются о проведении всевозможных мер с целью экономии и уменьшения использования энергетических ресурсов.

*Ключевые слова:* реактивная мощность, коэффициент мощности, компенсация реактивной мощности, конденсаторные установки.

Один из наиболее эффективных способов снижения затрат на электроэнергию и улучшения работы электросети промышленных предприятий - это компенсация реактивной мощности. Реактивная мощность является фактором, снижающим качество электроэнергии на предприятиях, приводящим к увеличению платы поставщику электроэнергии, дополнительным потерям в проводниках электроэнергии вследствие увеличения проходящего тока, завышению мощности трансформаторов и сечения токоведущих кабелей, отклонению напряжения сети от номинала.

Понижение коэффициента мощности – один из основных преобладающих факторов ухудшения показателей качества электроэнергии. Реактивный ток ведет к падению напряжения в электросети, из-за чего возрастает расход энергоресурсов для выработки электроэнергии и увеличивается ее себестоимость.

Эффективно решить вопрос энергосбережения на предприятии и, соответственно, повысить рентабельность производства можно, применяя установки компенсации реактивной мощности. Ведь доля электроэнергии может занимать до 35-40% в структуре себестоимости производимых товаров. Этот аргумент – один из главных при принятии решения о проведении аудита потребления электроэнергии и необходимости применения установки компенсации реактивной мощности.

Общий коэффициент мощности современных производств очень низок из-за наличия индуктивных нагрузок, потребляющих реактивную мощность. В первую очередь это относится к промышленным предприятиям с мощными индуктивными нагрузками и большими колебаниями нагрузки, которые имеют очень низкий коэффициент мощности. Такие производства в наибольшей степени выигрывают от внедрения автоматических конденсаторных батарей. Эти батареи обеспечивают повышение коэффициента мощности и более высокий уровень напряжения на нагрузке, а

также приводят к снижению начислений за электроэнергию. Кроме того, автоматические конденсаторные батареи позволяют отключать «лишние» конденсаторы в периоды низкой нагрузки и исключить нежелательные перенапряжения. В большинстве случаев потребитель устанавливает конденсаторную батарею, чтобы избежать начисления штрафов в счёте за электроэнергию. Без достаточной проработки это может привести к большому количеству технических проблем. При этом необходимо также учитывать, что конденсаторные батареи предназначены для долговременной эксплуатации.

На большинстве промышленных и коммерческих объектов основная часть электрического оборудования представляет собой индуктивную нагрузку: асинхронные двигатели, индукционные печи, трансформаторы. Проблемы с качеством электроэнергии на промышленных предприятиях растут в связи с увеличением количества двигателей, питаемых от управляемых выпрямителей. Такие нагрузки являются причиной низкого коэффициента мощности на промышленных предприятиях. Низкий коэффициент мощности свидетельствует о неэффективном использовании электроэнергии и приводит к увеличению общих расходов на энергоснабжение. Эти проблемы решаются при правильном выборе и установке конденсаторов компенсации реактивной мощности.

Установки реактивной мощности – действенный метод уменьшения нагрузки на линии электропередач и электrorаспределительные станции, их внедрение способствует повышению надёжности всей электросети. Кроме того, установки реактивной мощности эффективно уменьшают перекося фаз, частотные и амплитудные скачки, снижают уровень высокочастотных гармоник.

Коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ) является мерой эффективности использования системой электрической мощности. Для того чтобы понять, что такое коэффициент мощности, необходимо сначала уяснить, что мощность бывает трёх видов: активная, реактивная и полная. Активная мощность определяется реально потребляемыми током и напряжением. Она выполняет реальную работу, к примеру, создаёт тепло, свет и движение. Активная мощность измеряется в киловаттах (кВт) и регистрируется электрическим счётчиком в киловатт-часах. Реактивная мощность не выполняет полезную работу, но она необходима для поддержания электромагнитного поля, требуемого для работы многих коммерческих и промышленных нагрузок. Она измеряется в киловольт-амперах реактивных (квар). Общая требуемая мощность, включающая в себя активную и реактивную мощность, называется полной мощностью. Она измеряется в киловольт-амперах (кВА).

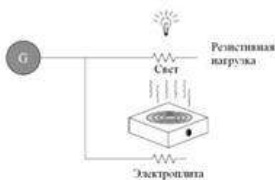


Рис. 1. Активная мощность



Рис. 2. Реактивная мощность

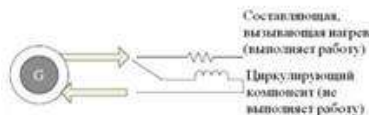


Рис. 3. Полная мощность

Коэффициент мощности – это отношение активной мощности к полной мощности. Коэффициент мощности может иметь значение от 0 до 1,00, при этом типовой диапазон значений – от 0,80 до 0,98. Коэффициент мощности ниже 0,8 считается низким.

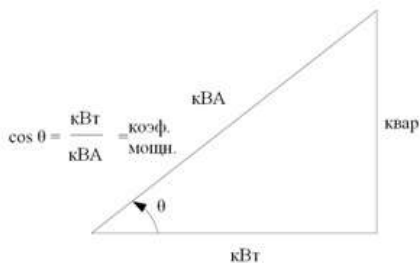


Рис. 4. Треугольник мощностей

Многие физические процессы можно представить аналогиями друг друга, например, электрические процессы представить гидравлическими. На базе такой аналогии наглядно представим, что такое активная, реактивная и полная мощность.

Если на предприятии имеются индуктивные нагрузки, которым необходим ток намагничивания для создания магнитного поля, требуется коррекция коэффициента мощности. Индуктивные свойства наиболее явно выражены у двигателей и трансформаторов и чаще встречаются на коммерческих и промышленных объектах. Один из наихудших случаев – это малонагруженный асинхронный двигатель, такая ситуация встречается в циклическом режиме работы, к примеру, при работе пил, конвейеров и измельчителей, в которых двигатель должен быть рассчитан на максимальную нагрузку.

Другие нагрузки, являющиеся причинами низкого коэффициента мощности, включают в себя индукционные печи, большинство штамповочных машин, ткацкие станки, одноударные прессы, автоматизированные станки, сварочные устройства и пускорегулирующие устройства некоторых типов люминесцентных ламп. В таблице 1 приведены нескорректированные коэффициенты мощности некоторых производств.

Таблица 1- Типовые значения коэффициента мощности в некоторых отраслях

Производство или отрасль	Нескорректированный коэффициент мощности
Пильные станки, молочная промышленность	45% - 60%
Производство пластмасс	55% - 70%
Металлообработка, штамповка	60% - 70%
Сельское хозяйство, текстильная и химическая промышленность	65% - 75%
Больницы, литейные производства	70% - 80%

Если коэффициент мощности предприятия низкий, оно потребляет больше мощности, чем необходимо для его работы. Низкий коэффициент мощности должен быть скорректирован, так как он существенно увеличивает затраты предприятия. Обычно наиболее экономичным средством повышения коэффициента мощности является установка конденсаторных установок. Широкое применение конденсаторных установок обусловлено малыми удельными потерями активной мощности, простотой их монтажа и эксплуатации, возможностью размещения в любой точке электрической сети и др.

Правильно выполненная компенсация реактивной мощности даёт следующие преимущества:

- экологические: снижение потребления электроэнергии за счёт повышения эффективности её использования. Снижение потребления приводит к уменьшению выбросов парниковых газов и замедлению истощения ресурсов ископаемого топлива для электростанций;
- уменьшение расходов на электроэнергию;
- возможность получения большей мощности от имеющегося источника;
- снижение тепловых потерь в трансформаторах и оборудовании распределения;
- уменьшение падения напряжения в длинных кабелях;
- увеличение срока службы оборудования в связи со снижением электрической нагрузки на кабели и другие электрические компоненты.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПРИВодОВ НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ С АВТОНОМНЫМИ ИНВЕРТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ, ИХ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ И СПОСОБЫ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время наиболее эффективным и экономическим способом регулирования скорости электродвигателей является частотное управление на базе микропроцессорного преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения. Моя цель - познакомить аудиторию с данным типом управления электродвигателя.

*Ключевые слова:* микропроцессорный привод, частотное регулирование, преобразователь частоты, экономия электроэнергии, векторное и частотное управление, современные требования.

Преобразователь частоты (ПЧ) - это электронное устройство для плавного регулирования скорости асинхронного и синхронного двигателей за счет создания на выходе преобразователя электрического напряжения заданной частоты.

В основе этих преобразователей лежит двухкаскадный метод преобразования электроэнергии, позволяющий практически безгранично регулировать выходную частоту инвертора, а, следовательно, и скорость вращения электродвигателя. Кроме того, в данных преобразователях находят применение наиболее экономичный и эффективный в работе асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

ПЧ должен обеспечивать следующие функции по защитам электродвигателя: защиту от тока перегрузки, от перенапряжений, от понижения напряжения, от замыкания на землю, контроль фаз питающей сети, фаз выходной цепи, защиту электродвигателя от заклинивания, от перегрузки, защиту электропривода от работы с недогрузкой.

Основные возможности микропроцессорного привода:

- позволяет регулировать частоту 3-х фазного напряжения питания управляемого двигателя в пределах в пределах от 0 до 400Гц;
- разгон и торможение двигателя осуществляются плавно, при необходимости по линейному закону от времени;
- осуществление реверса двигателя;
- обеспечение до 150% увеличения пусковых и динамических моментов;
- настраиваемые электронные самозащиты и защиты электродвигателей от перегрузки по току, перегревах, утечках на землю и обрывах линий питания;
- возможность формирования требуемых вольт-частотных выходных характеристик в зависимости от вида нагрузки двигателей;

По способу регулирования частотные преобразователи делятся на индукционные и электронные.

Индукционные - электрические двигатели, имеющие асинхронный принцип работы. Данные устройства не отличаются высоким уровнем КПД и

значительной эффективностью. Ввиду этих качеств они не имеют большой доли в общем числе преобразователей и редко применяются.

Электронные - пригодны для осуществления плавного управления оборотами в машинах асинхронного и синхронного типа. Управление может производиться двумя способами:

- скалярный метод наиболее простой подход к управлению, но довольно неточный;
- векторный, где отличительной характеристикой является точность управления.

Рассмотрим более подробно принцип, структурную схему, способ преобразования частоты, а также достоинства и недостатки микропроцессорных преобразователей отечественных и зарубежных производителей.

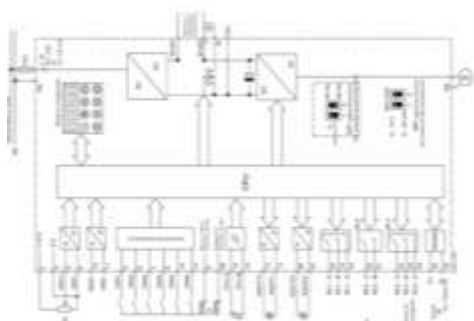
Самыми популярными являются ПЧ следующих мировых производителей: Siemens, ABB, Danfoss, Hitachi, Toshiba и многие другие.

Российские производители ЧП представлен брендами Combarco, ИРЗ и Веспер.

В первую очередь остановимся на наиболее модном и хорошо зарекомендованным на мировом рынке ПЧ Siemens Micromaster 440.

Преобразователь частоты Siemens Micromaster 440 применяется для энергоэффективного контроля скорости насосов и моторов вентилятора в типовых приложениях автоматизации зданий:

- управление скоростью приточных и вытяжных воздушных вентиляторов по запросу обрабатывающих устройств;
- управление скоростью циркуляционных насосов систем ОВК по запросу;
- уровни роста давления и управления насосами.



а)



б)

*Рисунок 1 - а) блок-схема Micromaster 440; б) ПЧ Micromaster 440*

Блок-схема Micromaster состоит из силовой части и схемы управления.

Достоинствами являются:

- обладание современным дизайном и новейшими функциональными возможностями;
- высокая технологичность микропроцессорной работы;
- эффективное модульное применение транзисторной электроники;
- бесшумность работы электродвигателя благодаря широтно-импульсной модуляции с выбором частоты коммутации;
- эффективность защиты преобразователя и двигателя.

В силовую часть входят:

- управляемый выпрямитель, преобразующий напряжение из переменного в постоянное для получения неограниченной частоты и наоборот, а также служит источником питания постоянного тока для динамического торможения, автономного инвертора, схемы управления;
- тормозной блок который осуществляет динамическое торможение;
- конденсаторный фильтр для сглаживания остаточных пульсаций на выходе выпрямителя;
- автономный инвертор для получения методом широтно-импульсной модуляции искусственных параметров.

В схему управления входят:

- центральный процессор, включающий в себя все виды защит, а также контролирующий до 64 параметров;
- 2 аналогово-цифровых входа;
- 6 цифровых входов;
- вход тормозного блока с шунтируемым терморезистором;
- 2 цифро-аналоговых выхода;
- 3 релейно-контактных выхода;
- 1 цифровой вход-выход для возможного расширения схемы.

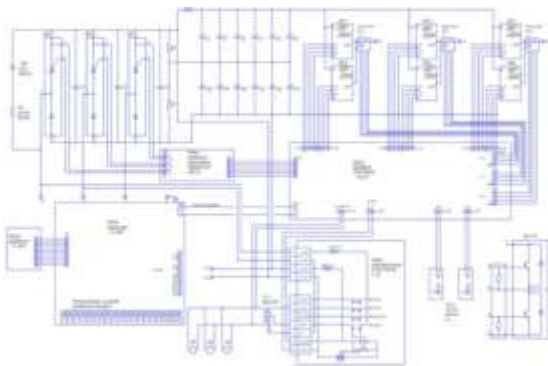
Управления электродвигателями производится различными методами, такими как скалярное, векторное управление и прямое управление моментом (DTC).

Приводы АВВ успешно зарекомендовали себя: в топливно-энергетическом комплексе, машиностроении, пищевой промышленности, обработке материалов, в текстильном производстве, деревообрабатывающем производстве, в коммунальном хозяйстве.

Обладает следующими достоинствами:

- широкий диапазон модификаций приводов самый функциональный и охватывает все сферы промышленности;
- принцип глобальной концепции, объединяющий надежность и простоту в течение всего эксплуатационного периода;
- наличие счетчиков электрической энергии для выбора наиболее оптимального режима эксплуатации, с целью достижения энергосбережения.
- считается наиболее высокотехнологичным, применяется как для самых простых механизмов, так и для самых высокоскоростных.



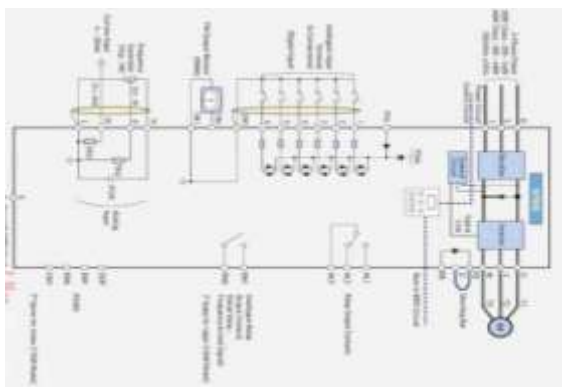


а)



б)

Рисунок 2 - а) блок-схема ABB 440; б) ПЧ ABB



а)



б)

Рисунок 3 - а) блок-схема Vesper; б) ПЧ Vesper

Частотные преобразователи Vesper с устройством плавного пуска широко используются во многих областях, где нельзя обойтись без вентиляторов, насосов, компрессоров, подъемников, кран-башни, лифтов.

Преимущества применения:

- частотно-регулируемый привод для регулировки скорости мотора, работающего не на полной скорости, способствует экономии энергии.
- контроль крутящего момента и точность подачи напряжения в соответствии с технологическими требованиями повышает эффективность производства;

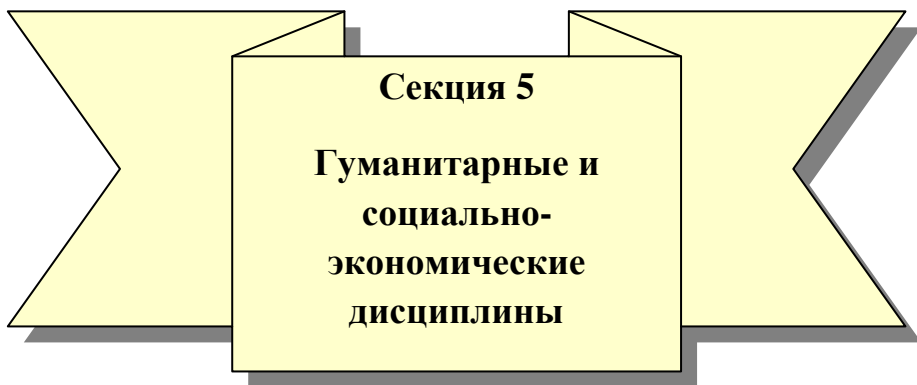
- сокращение расходов на техническое обслуживание оборудования и механического износа вследствие существенного сокращения частотным инвертором пускового тока, оказывающий вредное влияние.

#### Вывод

При использовании преобразователя частоты с микропроцессорным управлением суть экономии электроэнергии заключается в следующем: преобразователь потребляет ровно столько мощности и электроэнергии, сколько необходимо для работы данного типа технологического процесса. Особенно это эффективно в установках с циклическим характером нагрузки, работающих по определенной программе. Например, насосные установки, в которых потребление меняется в течение суток и если сохранять постоянный предельный напор, то это приведет не только к ненужным расходам электроэнергии, износу электродвигателей, но также к авариям на магистралях.

#### Литература:

1. Электрооборудование «Энергия», 2010г.
2. <http://chistotnik.ru/kak-podklyuchit-chastotnyj-preobrazovatel.html>
3. <http://chistotnik.ru/micromaster-440.html>
4. <http://chistotnik.ru/chastotnyj-preobrazovatel-abb.html>



**Секция 5**

**Гуманитарные и  
социально-  
экономические  
дисциплины**

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЮДЖЕТА ГОРОДСКОГО ОКРУГА Г. ВЫКСА**

*Л.А.Симонова, С.В. Патракеева*

*Выксунский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г.о.г.Выкса*

Бюджет является основным источником финансирования деятельности местного бюджета, и от того, каковы размеры этого денежного фонда и регулярность его пополнения, зависит степень реализации полномочий органов власти. Из этого следует, что возможность органов власти осуществлять свои функции зависит от текущего состояния бюджета и динамики его развития в будущем. Для того, чтобы определить особенности формирования и распределения бюджета городского округа г.Выкса был проведен анализ доходов и расходов бюджета за 2 года.

Цель: Изучить вопрос формирования и распределения бюджета городского округа г.Выксы.

В работе представлен анализ бюджета городского округа г.Выксы за 2015 и 2016 г.г., сделаны выводы и даны рекомендации по улучшению бюджета.

*Ключевые слова:* местный бюджет, доходы, расходы;

Во время изучения дисциплины «Основы экономики» по теме «Бюджет страны» захотелось более глубоко рассмотреть данную тему.

Бюджетное устройство Российской Федерации определяется ее государственным федеративным устройством и закреплено Конституцией Российской Федерации. На рисунке 1. представлена бюджетная система Российской Федерации.

Местный бюджет - бюджет муниципального образования, формирование, утверждение и исполнение которого осуществляют органы местного самоуправления. Доходную часть местного бюджета образуют: собственные доходы муниципального образования; поступления от регулирующих доходов; финансовая помощь в различных формах (дотации, субвенции, средства фонда финансовой поддержки муниципальных образований); средства по взаимным расчетам.

Расходы местных бюджетов - расходы денежных средств, направляемые на финансовое обеспечение задач и функций местного самоуправления.



Рисунок - 1 Бюджетная система Российской Федерации.

Проведем анализ формирования и распределения бюджета городского округа Выкса за 2015 и 2016 г.г.

Таблица 1 – Структура доходов бюджета

Наименования показателя	2015 г.		2016 г.	
	млн. руб.	%	млн. руб.	%
<b>1. Налоговые доходы</b>	<b>599,62</b>	<b>33,56</b>	<b>537,36</b>	<b>29,58</b>
<i>1.1. Налог на прибыль</i>	276,50	15,47	286,3	15,76
<i>1.2. Налоги на товары, реализуемые на территории РФ</i>	13,42	0,75	19,8	1,09
<i>1.3. Налог на совокупный доход</i>	65,72	3,68	61,7	3,40
<i>1.4. Налог на имущество</i>	234,42	13,12	159,2	8,76
<i>1.5 Государственная пошлина</i>	9,56	0,54	10,36	0,57
<b>2. Неналоговые доходы</b>	<b>159,03</b>	<b>8,90</b>	<b>117,62</b>	<b>6,47</b>
<i>2.1. Доходы от использования имущества, находящегося в государственной и муниципальной собственности</i>	64,31	3,60	55,4	3,05
<i>2.2. Платежи при пользовании природными ресурсами</i>	39,99	2,24	19,8	1,09
<i>2.3. Доходы от оказания платных услуг и компенсации затрат государства</i>	2,20	0,12	25,3	1,39
<i>2.4. Доходы от продажи материальных и нематериальных активов</i>	41,39	2,32	9,3	0,51
<i>2.5. Штрафы, санкции, возмещение ущерба</i>	11,14	0,62	7,82	0,43
<b>3. Безвозмездные поступления</b>	<b>1 028,14</b>	<b>57,54</b>	<b>1161,89</b>	<b>63,95</b>
<b>Доходы бюджета – итого</b>	<b>1786,79</b>	<b>100</b>	<b>1816,87</b>	<b>100</b>

Вывод: Основную часть доходов бюджета городского округа Выкса составляют безвозмездные поступления, их удельный вес в структуре бюджета составляет в 2015 году – 57,54%, а в 2016 году 63,95%, налоговые доходы составляют 33,56% в 2015 году и 29,58% - 2016 год, наибольший удельный вес составляет статья «Налог на прибыль» (15,47% в 2015 г. и 15,76% в 2016 г.), наименьший удельный вес преобладает статья «Налог Государственная пошлина» - 0,54% - 2015 год и 0,57% - 2016 год.

Неналоговые доходы в общей структуре бюджета составляют в 2015 году – 8,9%, в 2016 году – 6,47%.

Общая сумма доходов бюджета возросла на 30,08 млн. руб.

Далее проведем анализ расходной части бюджета. Для проведения расчетов составим таблицу 2.

Таблица 2 - Анализ динамики и структуры расходной части бюджета городского округа г.Выкса

Наименования показателя	2015 г.		2016 г.	
	млн. руб.	%	млн. руб.	%
Общегосударственные вопросы	148,36	8,33	148,66	8,35
Национальная безопасность и правоохранительная деятельность	31,17	1,75	32,13	1,80
Национальная экономика	118,33	6,65	135,84	7,63
Жилищно-коммунальное хозяйство	199,29	11,20	141,41	7,94
Охрана окружающей среды	1,13	0,06	1,15	0,06
Образование	1 075,62	60,42	1138,53	63,96
Культура, кинематография	85,33	4,79	108,90	6,12
Социальная политика	41,43	2,33	46,79	2,63
Физическая культура и спорт	42,33	2,38	39,46	2,22
Средства массовой информации	5,28	0,30	4,79	0,27
Обслуживание государственного долга	31,89	1,79	36,16	2,03
<b>Расходы бюджета – всего</b>	<b>1780,16</b>	<b>100</b>	<b>1833,82</b>	<b>100</b>

Вывод: Основную часть расходов составляют затраты на образование, их удельный вес в 2015 году составил – 60,42%, в 2016 году – 63,96%, второе место занимает статья расходов «Жилищно – коммунальное хозяйство» в 2015 году – 11,2%, в 2016 году – 7,94%.

Общая сумма расходов в 2016 году возросла на 53,76 млн. руб.

Проведем оценку типа устойчивости местных бюджетов РФ (см. таблицы 3 и 4).

Таблица 3 - Исходные данные для оценки типа устойчивости бюджета

Показатели	Значение, млн. руб.		изменение
	2015	2016	
Расходы местного бюджета, (Рм)	1780,16	1833,82	53,66
Доходы (Д)	1786,79	1816,87	30,083
Собственные доходы, (Дс)	758,65	654,98	-103,67
Регулирующие доходы, (Др)	1028,14	1161,89	133,75
Дополнительные источники (Ид)	-6,63	16,95	23,58
Сумма задолженности бюджета (З)	-6,63	16,95	23,58

Вывод: В 2016 году расходы бюджета возросли на 53,66 млн. руб., доходы – на 30,083 млн.руб., собственные доходы снизились на 103,67 млн. руб., а дополнительные источники увеличились на 133,75 млрд.руб.

Таблица – 4 Оценка типа финансовой устойчивости

Тип финансовой устойчивости	Соответствует условию	2015 год		2016 год	
		Рм	Дс+Ид	Рм	Дс+Ид
Абсолютно устойчивое состояние	Рм<Дс+Ид	1780,16	752,02	1833,82	671,93
		Рм	Дс+Др	Рм	Дс+Др
Нормальное состояние	Рм=Дс+Др	Рм	Дс+Др	Рм	Дс+Др

		1780,16	1780,16	1833,82	1816,87
Неустойчивое состояние	$R_m = D_c + D_p + I_d$	$R_m$	$D_c + D_p + I_d$	$R_m$	$D_c + D_p + I_d$
		1780,16	1780,16	1833,82	1833,82
Кризисное состояние	$R_m > D_c + D_p + I_d$	$R_m$	$D_c + D_p + I_d$	$R_m$	$D_c + D_p + I_d$
		1780,16	1780,16	1833,82	1833,82
Неустойчивое состояние	20-40%	$D_c / D$		$D_c / D$	
		42,46		36,05	
	60-80%	$D_p / D$		$D_p / D$	
57,54			63,95		
Абсолютно – устойчивое состояние	10-15% и ниже	$I_d / P$		$I_d / P$	
		-0,37		0,92	

Вывод: Консолидированный бюджет в 2015 году имеет устойчивое состояние, а в 2016 году – нестойчивое, так как расходы местного бюджета равны сумме собственных, регулирующих доходов и дополнительных источников. По двум относительным показателям в 2016 году можно также сделать вывод, что бюджет неустойчив.

Мероприятия, позволяющие сформировать устойчивый бюджет:

Во-первых, необходимо усилить контроль за несоблюдением учета объектов имущества и земель.

Во-вторых, для увеличения потока доходов в бюджет необходимо повысить качество информационной осведомленности населения о налогообложении объектов недвижимости и усилить взаимосвязь между регистрирующими, инвентаризирующими и фискальными органами. Данные об учете и инвентаризации должны быть актуальными, постоянно синхронизироваться с базами данных регистрирующих, инвентаризирующих и налоговых органов.

В – третьих, необходимо передать право контроля за местными налогами органам местного самоуправления. Сейчас этим занимаются территориальные подразделения Федеральной налоговой службы, которые не заинтересованы в росте поступлений доходов по имущественным налогам. Эта проблема исходит из того, что при повышении качества сегодняшнего контроля и учета базы по налогам, затраты будут превышать потенциальные налоговые поступления в будущем.

В заключение можно отметить, что проблемы бюджета связано и с доходами и с расходами. Расходная часть превышает доходную. Вопрос экономической самостоятельности стоит на первом месте, поэтому, прежде всего, необходимо обеспечить экономический рост, усилить независимость и сбалансированность бюджета, которые в совокупности образуют основу бюджетной системы нашей страны.

#### Литература:

1. Бюджетный кодекс РФ.
2. Годин А.М. Бюджетная система Российской Федерации: Учебник. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2013. - 752 с
3. Поляк Г.Б. Бюджетная система России: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Юнити, 2014. — 703 с.

4. Николаева Т.П. Бюджетная система РФ: учебно-методический комплекс/ Т.П. Николаева. - М.: ЕАОИ, 2014. - 234 с

5. Решение Совета Депутатов Городского округа города Выкса Нижегородской области от 26.04.2016 года № 34 «Об исполнении бюджета городского округа город Выкса Нижегородской области».

6. Решение Совета Депутатов Городского округа города Выкса Нижегородской области от 25.04.2017 года № 39 «Об исполнении бюджета городского округа город Выкса Нижегородской области».

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ИННОВАЦИОННОЙ ЗАНЯТОСТИ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННОГО БИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН**

*Ф.М. Васиев*

*Душанбинский филиал НИТУ «МИСиС», город Душанбе*

В данной статье рассматриваются социально-экономические особенности обеспечения занятости населения. Взаимосвязь занятости с информационными технологиями. Проблемы внедрения и развития инновационной занятости. Формирование инновационной экономики и развитие электронного бизнеса. Исследуются составные элементы электронного бизнеса. Анализируется современное состояние развития электронного бизнеса в Республике Таджикистан. В заключении приведены выводы по инновационной занятости и электронному бизнесу.

*Ключевые слова:* инновационная экономика, занятость населения, информационные технологии, подготовка кадров, научно-технический потенциал, электронный бизнес, глобализация мировой экономики, электронные технологии.

Занятость выступает как деятельность трудоспособного населения, имеющего желание и возможность работать, направленная на создание общественного продукта или национального дохода. Предоставление такой возможности всем желающим и способным трудиться в общественном производстве, ведет в идеале к максимальному уровню занятости или к полной занятости.

Актуальность данного исследования в том, что последние десятилетия с развитием информационных технологий возникли новые формы занятости, широко развивается электронный бизнес. В этой области работали такие ученые как, Г.Г. Вукович, А.И. Рофе, А.В. Юрасов, С.Дж. Комилов, М.К. Кабутов и другие. Выбор данной темы основывается тем, что в Республике Таджикистан последние годы наблюдается развитие инновационных форм занятости и все большее число трудовых ресурсов желают иметь дистанционную занятость.

Цель работы, Исследование проблем инновационной занятости и развитие электронного бизнеса в Республике Таджикистан.

Задачи исследования, следующие:

- изучение теоретико-методологических основ инновационной занятости и электронного бизнеса;



- определить существующие проблемы, препятствующие развитию инновационной занятости и электронного бизнеса в Республике Таджикистан;

- разработать предложения по развитию инновационной занятости и электронного бизнеса в Республике Таджикистан.

Республика Таджикистан, имеет свои социально-экономические, национально-этнические и природно-географические особенности. Географические, демографические и экономические особенности республики свидетельствуют о том, что около 93% территории Таджикистана занимают горы и предгорья. От общего числа более 74% населения республики проживают в сельской местности, также более 50% населения Таджикистана, составляет молодежь в возрасте до 30 лет, что способствует повышению уровня трудоизбыточности. Трудоизбыточность Республики Таджикистан является результатом ограниченной возможности экономики использовать всю рабочую силу. На данный момент, проблему обеспечения занятости населения Таджикистана трудно представить без решения соответствующих вопросов внешней трудовой миграции. Статья 6 Закона Республики Таджикистан «О содействии занятости населения» в перечень принципов государственной политики в области занятости населения включает также ориентированность системы образования к подготовке кадров в соответствии с потребностями рынка труда. Обеспечение потребностей рынка труда соответствующим профессиональным развитием человеческих ресурсов является социальной и экономической задачей, и данный процесс происходит уже в образовательном пространстве на образовательном рынке. Как и в любом рынке, в образовательном рынке, главную роль играет спрос на услуги, который формируется работодателями и в целом составляет потребности рынка труда. Таким образом, учебные заведения должны построить образовательный процесс в соответствии с этим процессом, то есть, чтобы конечный продукт образовательного процесса максимально удовлетворял спрос работодателей на рынке труда. Нынешняя ситуация на рынке труда Республики Таджикистан, состояние показателей государственной стратегии на этом рынке требует разработки и внедрения реформы. Формирование основных положений преобразований в данной области усиливает необходимость признания государственного регулирования рынка труда как важнейшего национального приоритета, обеспечивающего создание конкурентоспособной и устойчиво развивающейся экономики.

В условиях становления инновационного типа экономики, ориентированной на всестороннее развитие человека, возрастает роль качественных характеристик. Инновационная деятельность предполагает осознание в полной мере роли и перспектив развития информационных технологий, которые широко применялись в решающих сферах экономики развитых стран.

Поэтому инновационная экономика требует адекватных подходов к самому объекту деятельности с учетом того, что производство превращается в информационную систему, которая больше зависит от масштабов производства наукоемких товаров и услуг. Внедрение рыночных отношений требует ускорения инновационных процессов, дальнейшего развития и эффективного использования имеющегося научно-технического потенциала. Профессор С.Дж. Комилов отмечает, что инновационный подход к производству является эффективным средством получения предпринимательского дохода и в значительной степени зависит от качества кадров интеллектуального труда, их способности разрабатывать и внедрять новые, усовершенствованные продукты, технологии и процессы, порождающие значимые изменения в социальной практике [1.24]. Развитие инновационного предпринимательства и формирование рынка интеллектуального труда предполагают необходимость институциональных условий ускорения инновационной деятельности. При этом, требуется формирование эффективной инновационной инфраструктуры, развитие коммерческих, образовательных и других видов услуг. Формирование рынка интеллектуального труда связано с уровнем развития организационной структуры инновационного предпринимательства. В настоящее время в организационной структуре инновационного предпринимательства необходимо предусмотреть организационно-экономические меры по развитию инжиниринговых, внедренческих, консалтинговых фирм. Также необходимо формировать профцентры, технологические парки, способные активизировать инновационную деятельность в стране и увеличить спрос на кадры интеллектуального труда. Наиболее актуальной, является проблема несоответствия спроса и предложения на рынке интеллектуального труда. Это проблема в большей степени связана с изменением условий организации заработной платы и оценкой интеллектуального труда. Причем рынок интеллектуального труда выступает основой, на которой строится вся инновационная система, потому, что без этого рынка практически невозможны рационализация инновационных процессов и развитие инновационной экономики. Для обеспечения инновационного развития промышленности страны необходимо сформировать и законодательно закрепить государственную политику развития промышленных предприятий регионов, согласовать развитие конкретных регионов с учетом приоритетных направлений инновационной деятельности, а также внедрить мероприятия по формированию региональной инновационной инфраструктуры [2.97].

В современных условиях глобализации мировой экономики компьютерные и сетевые технологии играют все большую роль в различных областях деятельности. Процессы внедрения инновационных технологий оказывают влияние на все сферы деятельности отдельного предприятия и экономики в целом. Стремительное развитие коммуникационных технологий трансформирует многие процессы в современном обществе, особенно сфера бизнеса. Интернет вытесняет иные способы и каналы коммуникаций, что

происходит благодаря более низкой стоимости услуг, высокой скорости передачи данных, более широкому спектру представляемой и передаваемой информации. Самая обычная фирма, предлагающая товары и услуги, может использовать интернет как новый вид бизнеса.

Электронный бизнес способствует повышению уровня конкурентоспособности и устойчивости предприятия, в качестве средства распространения рекламной информации, в качестве канала распределения, а также для получения маркетинговой информации, формируя основу интерактивного взаимодействия субъектов. Глобальное развитие Всемирной компьютерной сети Интернет не могло не затронуть коммерческую деятельность предприятий в целом и занятость населения. Профессор Ганиев Т.Б., отмечает, что электронный бизнес сочетается с качественно новым направлением управления предпринимательской деятельности в современном профессиональном менеджменте [3.305]. Таким образом, в современных условиях глобализации мировой экономики предпринимателям необходимо активно пользоваться новыми программами электронных технологий, что жизненно важно для обеспечения конкурентоспособности предприятий. Появление и развитие сети Интернет, совершенствование информационных технологий, систем, и стандартов их взаимодействия привели к созданию нового направления современного бизнеса электронному бизнесу, как особой формы бизнеса, реализующейся в значительной степени посредством внедрения информационных технологий в процессы производства, продажи и распределения товаров и услуг.

В Таджикистане последние годы наблюдается развитие электронного бизнеса, где занято определенная часть трудоспособного населения. Появляются интернет магазины, такие как «Сомон. Тдж», «Авто ТДж.», «Маркет. Тдж», «Бозор ТДж», «Дукон Тдж.», «Фара ТДж.», «Коло ТДж.», «Савдо ТДж.», «Ёри ТДж.» и другие. Развитие информационных технологий способствовало развитию бизнеса. Например, с помощью таких программ как «вайбер», «ватсап», «имо» возможно заказывать товар не выезжая за пределы республики. А с помощью международных банковских систем «Свифт», «Ветерн юнион», «Юнистрим», «Анелтк», «Лидер», «Интерэксспрес», «Золотая корона», и другие проводятся взаиморасчеты. Данная система позволяет экономить время и деньги на приобретения товаров. Использование технологий онлайн-торговли необходимо в первую очередь компаниям, имеющим развитую региональную партнерскую сеть, так как это позволяет значительно снизить стоимость транзакций. После внедрения электронной торговли товарооборот полностью автоматизировался. По данным мировых исследований, внедрение электронной коммерции будет способствовать социальному и экономическому подъему как стран с переходной экономикой, так и развитых стран. Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан является ведущим ведомством, формирующим торговую политику, но при этом другие министерства, ведомства, а также

частный сектор вносят свой вклад, поддерживая регулярные и устойчивые связи. В то же время благодаря высоким темпам роста рынка сотовой связи электронные платежные системы в Таджикистане получили широкое распространение. Положительная динамика развития средств электронной коммерции приводит пока к увеличению так называемого цифрового неравенства – разницы в доступности ряда товаров и услуг для потребителя между крупными городами и удаленными регионами. При этом происходит опережающий рост качества и распространения сервисов.

Таким образом, электронная торговля имеет много преимуществ по сравнению с обыкновенными магазинами и каталогов для заказов по почте. Потребители могут легко вести поиск в крупной базе данных товаров и услуг. Сегодня, благодаря наличию высококвалифицированных специалистов, готовых решений и появлению новых технологий создание электронного магазина любой сложности является решаемой задачей. Некоторые компании даже предлагают бесплатные скрипты для разработки интернет магазинов. Любой человек, имеющий доступ к интернету, может, как совершать покупки с помощью Интернет-магазинов, так и сам заняться электронным бизнесом, имея небольшой стартовый капитал.

#### **Литература:**

1. Проблемы управления трудовыми ресурсами Таджикистана: коллективная монография. //Под редакцией С.Дж.Комилова. Душанбе: «ТОРус», 2012. –С.24.
2. Мукимова Н.Р. Проблемы и перспективы индустриально-инновационного развития промышленности Республики Таджикистан/ Экономика Таджикистана, №2.2017. – Душанбе: Маориф, 2017. С. 97-107.
3. Ганиев Т.Б. Менеджмент. Непрерывное профессионально-электронное образование. 11 том. Издательство «Ирфон». Душанбе 2017. –С. 305.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

*Научное издание*

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ V РЕГИОНАЛЬНОЙ  
МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ — РОДНОМУ РЕГИОНУ»**

Выпускающий редактор Е. И. Осянина  
Подготовка оригинал-макета М. Д. Синев  
Оформление обложки С. Р. Некрасова

Подписано в печать 11.09.2018. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 12,43.  
Тираж 100 экз. Заказ 566.

Издательство «Бук». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.  
Отпечатано в издательстве «Бук».