

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Выксунский филиал Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС»

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

*г. Выкса, 23 апреля 2021 г.*

Составитель: К. С. Шибанов

Казань  
Издательство «Бук»  
2022

УДК 669(063)  
ББК 34.3я431  
С23

**Редактор:**

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

**В12** Сборник материалов VIII Региональной межвузовской научно-практической конференции «Творчество молодых — родному региону»: г. Выкса, 22 апреля 2021 г. / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Выксунский фил. нац. исслед. технологического ун-та «МИСиС»; сост.: К. С. Шибанов; под ред. И. В. Мялкина. — Казань: Бук, 2022. — 126 с. — Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-00118-925-1.

УДК 669(063)  
ББК 34.3я431

ISBN 978-5-00118-925-1

© Выксунский фил. нац. исслед.  
технологического ун-та «МИСиС», 2022  
© Оформление. ООО «Бук», 2022

## Организационный комитет

Председатель организационного комитета:

Д. В. Кудашов — директор Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», кандидат технических наук

Зампредседателя организационного комитета:

Н. Ф. Илюшкова — начальник управления образования администрации городского округа города Выкса

И. В. Мялкин — кандидат химических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Состав организационного комитета:

В. М. Сафонов — доктор технических наук, профессор кафедры электрометаллургии Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

А. Ю. Михалева — и. о. начальника отдела по внеучебной и воспитательной работе Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Т. Ю. Горовая — заместитель директора филиала по учебно-методической работе Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Т. Н. Уснуц-Кригер — кандидат технических наук, доцент, завкафедрой общепрофессиональных дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

## Программный комитет

Председатель программного комитета:

Д. В. Кудашов — директор Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», кандидат технических наук, Россия

Зампредседателя программного комитета:

Л. И. Эфрон — научный руководитель ИТЦ АО «ВМЗ», доктор технических наук, профессор кафедры электрометаллургии, Россия

Н. Ф. Илюшкова — начальник управления образования администрации городского округа города Выкса, Россия

И. В. Мялкин — кандидат химических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

Olena Volkova Prof. Dr.-Ing — директор института технологии производства железа и стали «Фрайбергская горная академия», Германия

Состав программного комитета:

В. М. Сафонов — доктор технических наук, профессор кафедры электрометаллургии, Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

А. Ф. Лещинская — доктор экономических наук, профессор, завкафедрой гуманитарных и социально-экономические дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

Т. Н. Уснucz-Кригер — кандидат технических наук, доцент, завкафедрой общепрофессиональных дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

А. П. Вельмузов — кандидат химических наук, старший научный сотрудник в ФГБУН «Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девятых» РАН, Россия

А. Н. Варнавский — кандидат технических наук, доцент департамента компьютерной инженерии Московского института электроники и математики им. А. Н. Тихонова НИУ ВШЭ, Россия

С. В. Самусев — доктор технических наук, профессор кафедры технологий и оборудования обработки металлов давлением Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

П. П. Степанов — кандидат технических наук, директор инженерно-технического центра АО «ВМЗ», Россия

В. В. Грошев — кандидат философских наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономические дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Россия

Д. С. Плехович — кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Россия

Технический секретарь конференции:

К. С. Шибанов — старший преподаватель кафедры гуманитарных и социально-экономические дисциплин Выксунского филиала ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

## СОДЕРЖАНИЕ

А. С. Бойко, Е. Н. Максаев, Д. Г. Еланский ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО ТОНКОГО СЛЯБА В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ.....	7
А. Н. Бушуева, Т. Ю. Горвая, Л. О. Мокрецова РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРУКТУР ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВКЛЮЧЕНИЙ В СЕРОМ ЧУГУНЕ .....	11
Е. А. Волкова, Д. В. Кудашов, А. Ю. Михалева, Д. Г. Еланский СТОЙКАЯ СЕРОВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ СТАЛЬ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И МАРГАНЦА .....	14
А. В. Даниленко, В. В. Науменко, А. В. Мунтин, И. А. Шкретов ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ РУЛОННОГО ПРОКАТА.....	21
С. Д. Скачков, Л. М. Кавицян, С. Е. Гусева ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ МЕТАЛЛА ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ.....	28
<b>С. В. Ковтунов</b> , В. В. Науменко, О. А. Баранова, К. С. Сметанин, Д. И. Ермаков СЕРОВОДОРОДОСТОЙКИЕ ЭЛЕКТРОСВАРНЫЕ ТРУБЫ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ.....	32
Ф. И. Ладёнков, О. И. Кулёва ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ЗОН СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВ.....	37
С. Л. Лазуткин, Н. А. Лазуткина, Т. Н. Уснунц-Кригер ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГИДРОПНЕВМОУДАРНИКОВ .....	41
С. Л. Лазуткин, Н. А. Лазуткина, Т. Н. Уснунц-Кригер УПРАВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ.....	45
Е. А. Матвеева, С. Д. Плехович АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ МАКРОСТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА ЛИТЕЙНОПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА (ЛПК), СТАНА — 5000, ТЕМПЛЕТОВ КОЛЕС. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА .....	50
А. Е. Оглодков, Д. Г. Еланский, В. М. Сафонов ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СОВРЕМЕННОЙ ДСП НА ПРИМЕРЕ «ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА» КОМПАНИИ «ВМЗ» ...	55
Д. А. Орлов, А. В. Гончарук, Ю. В. Гамин ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОЙ ПРОШИВКИ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ТПА 70-270 АО «ВМЗ»...	61
Д. В. Приуполин, А. В. Будруев ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ В СТАЛИ 20ГЛ НА ЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.....	67
К. Е. Ремизов, О. А. Комолова, В. М. Сафонов АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ МАРКИ СТАЛИ КЕ1-55 .....	72

А. В. Фомин, В. П. Романенко, А. А. Севастьянов ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИНТОВОЙ ПРОШИВКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕПРЕРЫВНО ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ.....	78
А. Н. Рыбин, С. М. Горбатьюк ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЛПК.....	81
К. А. Удод, В. В. Науменко, Е. С. Мурсенков, О. А. Баранова, К. С. Сметанин ПРОКАТ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ К52-К56 С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА В ХЛАДОСТОЙКОМ И КОРРОЗИОННОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИЯХ.....	83
В. А. Фадеев, А. Н. Фортунатов, В. И. Вдовина ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ С ИНСТРУМЕНТОМ В ЛИНИЯХ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА.....	87
А. В. Цыганов, Н. И. Кокорева, Ю. Н. Жук ПОЛИМОРФИЗМ (АЛЛОТРОПИЯ). ФАКТЫ И ОБЪЯСНЕНИЯ.....	90
К. С. Шибанов, С. Н. Яшин МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	96
К. С. Шибанов, С. Н. Яшин ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ.....	109
А. С. Шуянов, О. А. Комолова, В. М. Сафонов АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛА НА ЭТАПАХ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ МАРКИ 22ГЮ.....	121

## ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО ТОНКОГО СЛЯБА В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ

А. С. Бойко, Е. Н. Максаев, Д. Г. Еланский  
ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса

*Аннотация. В настоящее время одной из основных задач АО «ВМЗ» является увеличение производительности Литейно-прокатного комплекса (ЛПК) при соответствующем уровне качественных показателей готовой продукции. После реконструкции дуговой сталеплавильной печи (ДСП) (увеличения объема выпускаемой плавки до 180 тонн) для синхронизации производственного процесса было необходимо обеспечить соответствующее увеличение производительности МНЛЗ за счет повышения массовой скорости разливки стали. Данная задача была решена путем изменения толщины непрерывнолитой заготовки с 90,5 до 105 мм. Были разработаны новые режимы разливки, а также прокаты из слябов увеличенной толщины в соответствие возможностей действующего производственного оборудования. В результате внедрения технологии 70–80 % сортамента ЛПК (в зависимости от портфеля заказов) производится из сляба толщиной 105 мм. Остальной сортament, производство которого оказалось неприемлемым для новой технологии из-за высоких нагрузок на прокатное оборудование, производится по ранее применяемой технологии из сляба толщиной 90,5 мм. Соответственно, повышение доли производства проката из сляба 105 мм способствует увеличению производительности ЛПК в целом.*

*Ключевые слова: машина непрерывной разливки стали, МНЛЗ, Литейно-прокатный комплекс, сляб, переходной по толщине сляб*

С 2008 года по 2019 год производство рулонного проката Литейно-прокатного комплекса (ЛПК) выполнялось из слябов толщиной 90,5 мм. В 2018 году с целью увеличения производительности ЛПК была произведена реконструкция ДСП, в результате которой объем выпуска одной плавки был увеличен с 160 до 180 тонн. При этом производственные возможности тонкослябовой машины непрерывного литья

заготовок (МНЛЗ) оказались ниже, чем производительность ДСП. Повышение производительности МНЛЗ достигается увеличением массовой скорости разливки, а именно площадью сечения непрерывнолитой заготовки и повышением линейной скорости разливки [1].

В период с мая 2019 года по октябрь 2020 года была освоена технология разливки сляба толщиной 105 мм параллельно с технологией его последующей прокатки, которая позволила увеличить производительность МНЛЗ по сравнению с прежней технологией в среднем на 7 %. На сегодняшний день технология производства сляба толщиной 105 мм внедрена и успешно используется в ЛПК для производства до 80 % сортамента рулонного проката. Однако около 20 % сортамента оказались неприемлемыми для производства по новой технологии из-за технических ограничений прокатного оборудования, связанных с превышением мощности приводов черновых клетей стана горячей прокатки полос 1950. В период освоения технологии было выявлено, что прокатка тонкого сортамента из слябов толщиной 105 мм, а также высокопрочных марок сталей широкого сечения в рамках опытных работ осуществлялась со значительными перегрузками приводов черновых клетей. Соответственно, с целью снижения риска преждевременного выхода из строя оборудования прокатного стана указанный сортament производится из сляба толщиной 90,5 мм. Помимо сортамента, ограниченного энергосиловыми параметрами прокатки, в сляб толщиной 90,5 мм производятся марки стали с требованиями по коррозионной стойкости, что связано с более высокими требованиями к качеству данных марок и, соответственно, более длительным процессом подбора оптимальной технологии их производства.

Одним из наиболее существенных показателей производительности МНЛЗ является минимальное количество простоев, величина которого обеспечивается продолжительностью разливки сериями плавков [2]. Широкий спектр марочного сортамента, который был освоен ЛПК многолетним опытом, требует особой гибкости при планировании длинных серий плавков, тем более с требованиями проката по размерному сортаменту сляба 90,5 или 105 мм. При этом залогом увеличения производительности всего ЛПК является увеличение доли производства из сляба 105 мм.

Для увеличения времени разливки в одну серию планируются различные марки стали. Зачастую запланированный в одной серии сортамент может частично производиться по технологии сляба 105 мм и частично из 90,5 мм. Таким образом, вся серия плавок вынужденно производится в сляб толщиной 90,5 мм, что увеличивает время производства серии и, соответственно, снижает производительность ЛПК.

Решением данной проблемы стала разработка технологии изменения толщины сляба непосредственно во время разливки серии плавок. Первыми в серии планируются плавки марок сталей, которые из-за ограничений прокатки производятся в сляб толщиной 90,5 мм. Следующими плавками в этой серии планируется сортамент, производимый из сляба 105 мм. В процессе разливки при окончании первой части серии сортамента (сляба 90,5 мм) в системе автоматизации изменяют соответствующие задания для работы оборудования МНЛЗ: режимы обжатия сегментами, которые осуществляются гидравлическими цилиндрами, и соответствующие режимы вторичного охлаждения для толщины непрерывнолитой заготовки 105 мм. Путем плавного увеличения зазоров между роликами в сегментах и изменений режимов обжатия при непрерывном вытягивании слябовой заготовки системой автоматизации МНЛЗ обеспечивается ее плавное утолщение до 105 мм. На данный момент произведено 5 серий плавок, в процессе разливки которых была изменена толщина сляба с 90,5 мм до 105 мм. В таблице 1 представлена информация с фактическими достигнутыми показателями при выполнении опытных изменений по толщине непрерывнолитой заготовки в условиях действующего производства.

С использованием данной технологии с апреля по май 2021 г. удалось сократить время разливки серий суммарно на 256 мин, что эквивалентно времени производства примерно 5 плавок. Следующим этапом освоения технологии станет оптимизация длины переходного по толщине сляба с точки зрения его дальнейшего назначения, а также с точки зрения условий прокатки. На данный момент освоено изменение толщины сляба в сторону увеличения: с 90,5 мм до 105 мм. В будущем планируется освоить обратное изменение толщины в сторону ее уменьшения: с 105 мм до 90,5 мм.

*Таблица 1. Достигнутые показатели экономии производственного времени при опытных изменениях толщины непрерывнолитой заготовки во время разливки серии*

Дата испытания	Скорость разливки во время перехода, м/мин	Длина переходной зоны, м	Количество плавок в серии 90,5/105 мм	Экономия производственного времени за серию плавок перехода, мин
14.04.21	3,2	17	2/10	72
30.04.21	3,4	22,5	7/3	29
03.05.21	3,2	17	3/7	38
16.05.21	3,3	19	3/6	50
21.05.21	3,2	17	2/7	67

*Список использованной литературы*

1. Кислица В. В., Ворожева Е. Л., Лавров В. Н., Максаев Е. Н. Условия для увеличения производительности тонкослябовой МНЛЗ без снижения качественных показателей // *Сталь*. — № 5. — 2021. — С. 8–10.

2. <https://steeltimes.ru/books/casting/sortccm/83/83.php>

3. Рыбак Я., Горбатюк С. М., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Хайрутдинов А. М., Тюляева Ю. С., Макаров П. С. Утилизация техногенных отходов горно-металлургических комплексов — способ расширения минерально-сырьевой базы предприятия // *Металлург*. — 2020. — № 9. — С. 8–16.

4. Стомахин А. Я., Еланский Г. Н., Еланский Д. Г. Перспективные пути технического прогресса в электросталеплавильном производстве // *Экономика промышленности*. — 2009. — № 3. — С. 32–36.

5. Судьин В. В., Степанов П. П., Кантор М. М., Эфрон Л. И., Воркачев К. Г., Жарков С. В. Сопоставление влияния микроструктурных факторов на ударную вязкость околосшовной зоны сварных труб класса прочности К60 // *Сталь*. — 2022. — № 1. — С. 44–50.

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРУКТУР ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВКЛЮЧЕНИЙ В СЕРОМ ЧУГУНЕ

А. Н. Бушуева, Т. Ю. Горовая, Л. О. Мокрецова  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. Объектами исследования в работе являются 12 изображений микроструктур серого чугуна. Цель работы: применить возможности компьютеризированных процедур для обработки изображений микроструктур серых чугунов различного состава, осуществить количественный анализ геометрических характеристик исследуемых элементов структуры, сопоставить механические свойства с результатами количественного анализа, выявить зависимость механических свойств от распределения графита.*

*Ключевые слова: алгоритмы обработки изображений, количественная оценка, чугун*

В процессе работы осуществлялась обработка изображений микроструктур, в результате которой были получены бинаризованные изображения с окрашенными в черный исследуемыми элементами структур.

Пример исходного изображения микроструктуры, полученного с помощью оптического микроскопа, представлен на рисунке 1.

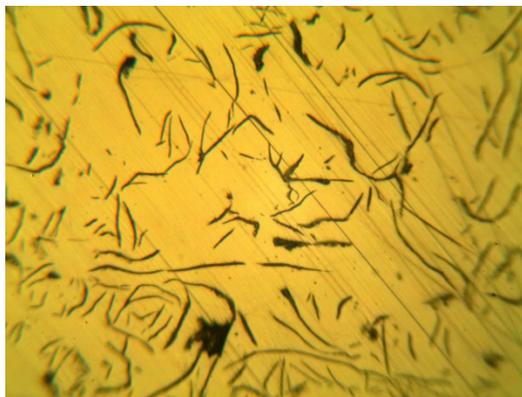
Перед компьютерной обработкой изображений микроструктур необходимо разделить исходное изображение и размерную метку с линейкой (в нижней части изображения) посредством обрезки. Это необходимо выполнить для равномерного выравнивания яркостей изображения.

Обработка изображений проводилась в программном обеспечении Mathcad Prime.

На первом шаге обработки изображения переводились из цветных в оттенки серого.

Следующий шаг заключался в бинаризации полученных снимков.

Пример бинаризованного изображения представлен на рисунке 2.



*Рисунок 1. Исходное изображение микроструктуры серого чугуна*



*Рисунок 2. Бинаризованное изображение*

Далее проведен количественный анализ геометрических параметров этих объектов, таких как средние значения площадей, плотности на шлифе, плотности вдоль направления по горизонтали и вертикали, коэффициенты асимметрии и эксцесса, стандартная ошибка.

Далее сопоставляем результаты анализа с механическими свойствами, постепенно переходя, к выводам работы.

Выводы:

1. Проведена компьютерная обработка 12 изображений микро-структуры серых чугунов с помощью ПО Mathcad. Проведена бинаризация изображений микроструктур с порогами бинаризации, варьирующимися в пределах от 120 до 200.

2. Проведен количественный анализ геометрических параметров микроструктур.

3. Обоснованы выводы принципы обрезки изображения.

4. Построены графики зависимостей результатов количественной оценки и механических свойств.

5. В результате работы наблюдается сильные зависимости плотностей вдоль направления по вертикали и горизонтали, также зависимость прочности от коэффициентов эксцесса, асимметрии, зависимость прочности от плотности на шлифе, а также слабая зависимость твердости от плотности на шлифе.

#### *Список использованной литературы*

1. Е. И. Марукович. Литейные сплавы и технологии. — 2012.

2. Вегман Е. Ф., Жеребин Б. Н., Похвиснев А. Н., Юсфин Ю. С. Металлургия чугуна. — 2004.

3. Гуляев А. П. Металловедение / учебник для вузов. — М. : Металлургия, 1977. — 647 с.

4. Ланда А. Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. — Машгиз, 1960.

5. Мозберг Р. К. Материаловедение / учебное пособие. — Таллин : Изд-во «Валгус». — 1976. — 554 с.

6. Методы исследования и испытания металлов. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/2.htm> (дата обращения: 01.12.2017).

7. Барышев Е. Е. Изучение структуры сплавов системы железо — углерод [учебное электронное текстовое издание] / Бычков С. М. — Екатеринбург : Издательство ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2008. — 17 с.

8. Кудря А. В., Соколовская Э. А., Пережогин В. Ю., Ахмедова Т. Ш., Васильев С. Г. Использование компьютеризированных процедур для

оценки неоднородности структур твердых сплавов // *Металлург.* — 2016. — № 12. — С. 77–80.

9. Кудря А. В., Соколовская Э. А., Ахмедова Т. Ш., Пережогин В. Ю. Неоднородность структур и разрушение твердых сплавов на основе железа и их измерение // *Электрометаллургия.* — 2013. — № 6. — С. 32–40.

10. Анисович А. Г. Резкость изображений в металлографии // *Литье и металлургия.* — 2018. — № 3.

11. Н. Б. Шубина, О. В. Белянкина. *Материаловедение / учебное пособие.* — 2009.

12. Исрафилов Х. С. Исследование методов бинаризации изображений // *Вестник науки и образования.* — 2017, № 6 (30), том 2.

13. Лещинская А. Ф., Подлепа В. А. Особенности прогнозирования финансовых характеристик рынка // *Финансовый менеджмент.* — 2016. № 1. — С. 67–78.

14. Чекушкин В. В., Жиганов С. Н. Вычислительные методы в оптимизации инженерных задач // Raleigh, North Carolina, USA: Open Science Publishing. — 2018. — 202 p.

15. Ногинова Л. Ю. Математическая модель для адаптивной системы аутентификации // В сборнике: *Доклады ТСХА.* — 2020. С. 317–321.

## **СТОЙКАЯ СЕРОВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ СТАЛЬ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И МАРГАНЦА**

Е. А. Волкова, Д. В. Кудашов, А. Ю. Михалева, Д. Г. Еланский  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. В работе проведено исследование влияния условий чистовой стадии прокатки и ускоренного охлаждения на формирование структуры и свойств низкомарганцевой стали в лабораторных условиях. Проведен комплексный анализ микроструктуры, отмечен ряд особенностей формирования структуры и свойств исследуемой стали. Установлено, что в исследуемой стали возможно достижение высоких прочностных характеристик и показателей хладостойко-*

*сти в широком диапазоне условий прокатки и при различном структурном состоянии стали.*

*Ключевые слова: сверхнизкое содержание марганца, лабораторная прокатка, контролируемая прокатка с ускоренным охлаждением, прочностные свойства, ударная вязкость, микроструктура*

Стали, стойкие к водородному растрескиванию, используются в нефтегазовой отрасли более 50 лет. За это время разработаны подходы к выбору химического состава, технологии металлургического передела и производства проката.

Для достижения требуемых механических свойств при низком содержании углерода обычно используют небольшие добавки микролегирующих элементов (титана, ниобия и/или ванадия) и легирование марганцем [1–3]. В зависимости от требуемого класса прочности допускается содержание марганца до 1,2 %. Однако высокая ликвационная способность марганца может оказывать негативное влияние на твердость осевой зоны и на образование сульфидов марганца, несмотря на низкое содержание серы. В России уже в начале 2000-х годов нашел промышленное применение вариант сталей с низким содержанием марганца до 0,9 %. Однако в этих сталях использовали кремний и ванадий как основные элементы для достижения прочностных показателей, что несколько ухудшало свариваемость. В представленной работе опробована совершенно новая концепция химического состава с точки зрения содержания марганца (<0,45 %) и микролегирующего элемента ниобия (0,08 %) [4–6]. Для достижения прочностных свойств использовали добавки хрома, никеля и меди (в сумме около 0,85 %). Добавка ниобия позволила увеличивать прочность за счет дисперсионного твердения.

Сверхнизкое содержание марганца (<0,45 %), несмотря на возможные ликвационные явления, приводит к низкому содержанию марганца в осевой ликвации и отсутствию включений сульфида марганца [4,7–8], что и было подтверждено микроструктурными исследованиями. Исследование микроструктуры на растровом микроскопе показало, что в осевой зоне присутствуют мелкие скопления ниобийсодержащих частиц, сульфиды кальция и алюминаты кальция.

Исследование на сканирующем электронном микроскопе показало, что после нагрева под прокатку (образцы охлаждались в воде после нагрева и выдержки) в большинстве случаев присутствуют комплексные карбонитриды (Nb Ti)<sub>2</sub>(C,N), размером 100 нм и менее — на основе ниобия. Встречаются отдельные частицы нитрида титана. Таким образом, в стали с содержанием ниобия 0,08 % основной причиной отсутствия вторичной рекристаллизации (аномального роста зерна) является наличие среднеразмерных нерастворившихся частиц NbC, которые сохранялись до температур нагрева 1220 °С в исследованном интервале времени выдержки.

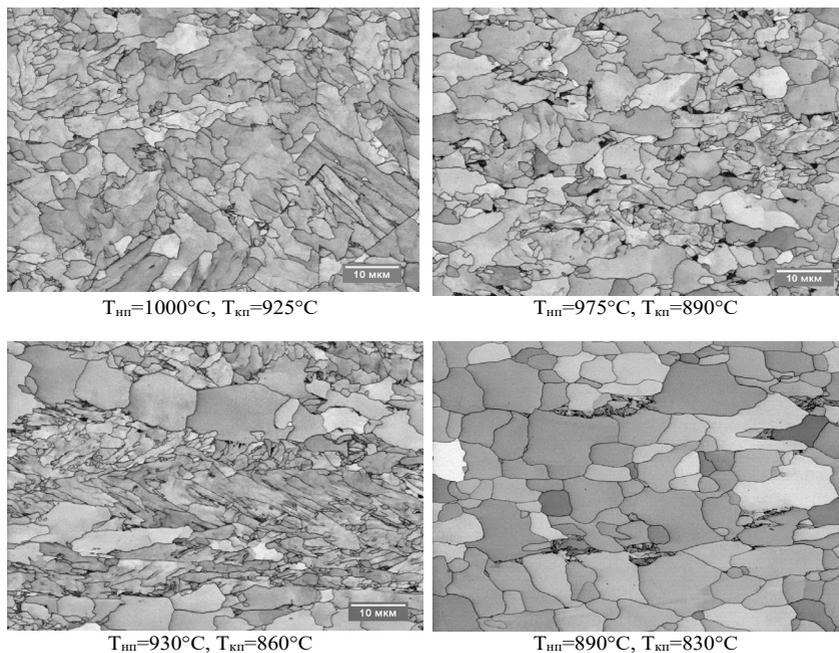
Производство лабораторного проката опытных партий стали осуществлялось из заготовок, вырезанных из центральной части с осевой зоной непрерывнолитого сляба. Экспериментальную прокатку осуществляли на лабораторном прокатном стане ДУО-300 в ЦНИИ-Чермет им. И. П. Бардина по технологии двухстадийной контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением заготовки.

Черновая прокатка (первые два прохода) во всех случаях оставалась неизменной, температурные параметры чистой стадии прокатки и ускоренного охлаждения варьировали (что можно увидеть по табл. 1). Прокатку завершали в  $\gamma$ -области, чуть ниже точки  $Ag_3$  и при различных температурах в  $\gamma+\alpha$ -области, ускоренное охлаждение проводили до различных температур (630–350 °С) ниже температуры начала бейнитного превращения (670–680 °С при скорости охлаждения 20–30 °С/с).

*Таблица 1. Температурно-деформационные параметры чистой стадии лабораторной прокатки, результаты механических испытаний и испытаний ударной вязкости образцов Шарпи (KCV)*

Вариант прокатки	Температурные параметры прокатки и охлаждения, °С <sup>1)</sup>		
	$T_{np}$	$T_{кп}$	$T_{зо}$
1	1000	925	460; 500; 600
2	975	890	350; 440; 500; 600 630
3	930	860	450; 530
4	890	830	430; 500

Электронно-микроскопическое исследование структуры было выполнено на нетравленных шлифах с помощью растрового электронного микроскопа методом дифракции обратно рассеянных электронов (ДОРЭ).



*Рисунок 1. Карты контрастов Кикучи-картин на  $\frac{1}{4}$  толщины исследуемого лабораторного проката*

Металлографические исследования показали (рисунок 1), что снижение температуры окончания прокатки приводит к общему повышению дисперсности структуры, в целом структура феррито-бейнитная (при этом бейнит может быть как гранулярной, так и речной морфологии), с небольшой долей перлита. Феррит при высокой  $T_{\text{кп}}$  квазипolygonальный, с понижением температурного интервала прокатки — polygonальный, при  $T_{\text{кп}} = 860^{\circ}\text{C}$  наблюдаются вытянутые вдоль направления прокатки зерна феррита.

При варьировании параметров прокатки и последующего охлаждения временное сопротивление исследуемой стали изменялось в пределах 510–610 Н/мм<sup>2</sup>; предел текучести — от 460 до 540 Н/мм<sup>2</sup>. Металл характеризуется крайне высоким уровнем ударной вязкости при полностью вязком разрушении ~550–600 Дж/см<sup>2</sup>, что обусловлено крайне низким содержанием в стали углерода и примесей. Интересным является и тот факт, что некоторые режимы прокатки позволили обеспечить высокий уровень ударной вязкости до –80 °С. Удлинение во всех случаях составляло не менее 50 %. Испытание на водородное растрескивание в соответствии со стандартом NACE TM 0284-2016, проведенные в испытательном растворе «А», показали полное отсутствие коррозионного растрескивания независимо от условий прокатки. Образцы, прокатанные по режимам  $T_{\text{нп}} = 975$  °С,  $T_{\text{кп}} = 890$  °С,  $T_{\text{зо}} = 350$  °С и  $T_{\text{нп}} = 890$  °С,  $T_{\text{кп}} = 830$  °С,  $T_{\text{зо}} = 430$  °С, испытывались на СКРН по NACE TM0177 Метод А при напряжении 0,7 от фактического предела текучести. Испытанные образцы показали отсутствие коррозионного растрескивания под напряжением.

Прочность и вязкость исследуемой стали снижается как при высоких, так и при низких температурах завершения прокатки в исследованном интервале. Следует отметить, что это нехарактерно для известных трубных сталей, в которых при снижении температуры прокатки может наблюдаться ухудшение вязкости, но при этом прочность продолжает возрастать. Хладостойкость резко снижалась при температуре испытания ниже –40 °С только у образцов, прокатанных при высокой температуре ( $T_{\text{нп}} = 1000$  °С,  $T_{\text{кп}} = 925$  °С).

При анализе влияния температуры завершения ускоренного охлаждения отмечено повышение ударной вязкости при снижении температуры завершения ускоренного охлаждения ( $T_{\text{зо}}$ ), при этом прочностные свойства слабо зависят от этого параметра в исследуемых пределах. Это тоже нехарактерно для трубных сталей традиционного состава, обычно наблюдается повышение прочности со снижением  $T_{\text{зо}}$ .

Возможно, это связано с высоким температурным интервалом фазовых превращений: при скорости охлаждения 20–30 °С/с бейнит-

ное превращение в исследуемой стали начинается при 670–680 °С, а завершается при 570–590 °С. Таким образом, даже при самой высокой  $T_{30}$  (600–630 °С) все ферритное превращение и основная часть бейнитного превращения проходят при высокой скорости охлаждения. Также методической особенностью экспериментов было то, что при высоких  $T_{ко} \sim 600$  °С скорость охлаждения металла была несколько выше.

Новый подход в выборе химического состава стали позволил получить уникальное сочетание вязкостно-прочностных и коррозионных свойств. Результаты лабораторной прокатки показали, что в стали с низким содержанием углерода и марганца, с микролегированием Nb в количестве до 0,08 % возможно достижение прочностных характеристик от К50 до К60 в зависимости от условий прокатки. Сталь характеризуется высоким уровнем ударной вязкости при различных подходах к выбору условий прокатки. Интересным результатом оказалось отсутствие зависимости стойкости к водородному растрескиванию от режимов контролируемой прокатки.

#### *Список использованной литературы*

1. Шабалов И. П., Матросов Ю. И., Холодный А. А., Матросов М. Ю., Великоднев В. Я. Сталь для газонефтепроводных труб, стойких против разрушения в сероводородосодержащих средах: монография / Шабалов И. П., Матросов Ю. И., Холодный А. А., Матросов М. Ю., Великоднев В. Я. — М. : Metallurgizdat, 2017. — 322 с.

2. Червонный А. В., Головин С. В., Бубнов М. А., Кудашов Д. В., Тихонов Ю. А., Быстров Э. А. Освоение производства листового проката классов прочности К48-К52, удовлетворяющего требованиям по хладостойкости и стойкости к сероводородному растрескиванию в условиях металлургического комплекса Стан 5000 и труб из него. // Развитие технологий производства стали, проката и труб на Выксунской производственной площадке / Сб. тр. под общей ред. А. М. Барыкова. — М. : Metallurgizdat, 2016. — С. 378–389.

3. Ф. М. Кноп, Ф. Флакса, Д. Миркович. Разработка и производство рулонного штрипса и сероводородостойких труб категории прочно-

сти до API X70 // Микролегированные трубные стали для нефтегазовой отрасли / Сборник трудов международной конференции. — М : Metallurgizdat, 2018. — С. 213–226.

4. Дж. М. Грей. Особо низкомарганцевая высоковязкая трубная ВТО-сталь для эксплуатации в кислых средах. // Микролегированные трубные стали для нефтегазовой отрасли / Сборник трудов международной конференции. — М : Metallurgizdat, 2018. — С. 175–181.

5. Williams J. G. New Alloy Design Perspectives for High Strength Steels: Paper presented at the 3rd Int. Conf. on Thermomechanical Processing of Steels (Padua, Italy, Sept. 2008).

6. Gray J. M. Linepipe and Structural Steel Produced by High Speed Continuous Casting U. S. Patent 5993570. 30 Nov. 1999.

7. Cheng-Liang Miao et al. Studies of Softening Kinetics of Niobium Microalloyed Steel, Using the Stress Relaxation Technique // Frontiers of Materials Science. China, 2010. Vol.4 No. 2. — P. 197–201.

8. Subramanian S. et al. Studies on Softening Kinetics of Low Manganese Steel Microalloyed with Niobium for High Strength Sour Service: Proceedings of AIST Int. Symposium on Recent Developments in Plate Steels (Winter Park, CO USA. (June 19–22, 2011). — P. 365–374.

9. Еланский Д. Г., Еланский Г. Н. Обзор докладов на пленарном заседании XIV Международного конгресса сталеплавильщиков. — Сталь. — 2016. — № 12. — С. 21–29

10. Еланский Д. Г., Еланский Г. Н., Стомахин А. Я. Электросталь — инновации в технологии и оборудовании // Сталь. — 2009. — № 8. — С. 35–40.

11. Ефремов Д. Б., Кириченко И. С. Утилизация брошенной бочкотары // Вторичные металлы. — 2012. — № 1. — С. 48.

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ РУЛОННОГО ПРОКАТА

А. В. Даниленко, В. В. Науменко, А. В. Мунтин, И. А. Шкретов  
ЗАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва

*Аннотация.* В данной работе представлены результаты исследования трансформации дефектов рулонного проката, произведенного по совмещенной технологии выплавки, разливки и последующей прокатки в условиях литейно-прокатного комплекса. Выявлены особенности трансформации поверхностных дефектов в прикромочной зоне рулонного проката. Целью данной работы является исследование особенностей трансформации дефектов прикромочной зоны (трещин, плен) горячекатаного рулонного проката, произведенного по технологии выплавки непрерывной разливки и прямой прокатки тонких слябов в условиях литейно-прокатного комплекса.

*Ключевые слова:* рулонный прокат, дефекты поверхности, литейно-прокатный комплекс, ЛПК

Развитие листопрокатных станов привело к появлению ЛПК. Отличительной особенностью является совмещенная схема разливки стали на МНЛЗ, нагрева слябов и прокатки на стане горячей прокатки 1950. Данная компоновка производства позволяет сократить время технологического процесса, однако существует ряд недостатков. Данная схема затрудняет инспектирование слябов перед началом прокатки, исключает возможность удаления вероятных дефектов исходной заготовки. Для улучшения качества продукции требуется разработка мероприятий по устранению или уменьшению развития в нем дефектов, что возможно только лишь на основе правильной классификации дефектов и знания условий их образования. Правильная классификация дефектов служит основой для разработки мероприятий по устранению несоответствий [1].

По природе образования по внешним и металлографическим признакам разделены на дефекты сталеплавильного и прокатного происхождения.

Для сталеплавильных дефектов характерны следующие признаки:

— одиночное расположение на поверхности листа;

— наличие неметаллических включений эндогенного и/или экзогенного происхождения в области дефекта;

— значительное количество окалины в области дефекта;

— наличие широкой обезуглероженной зоны вблизи дефекта.

Для прокатных дефектов характерны следующие признаки:

— симметричное расположение дефекта на поверхности проката;

— периодичность расположения дефекта на поверхности проката;

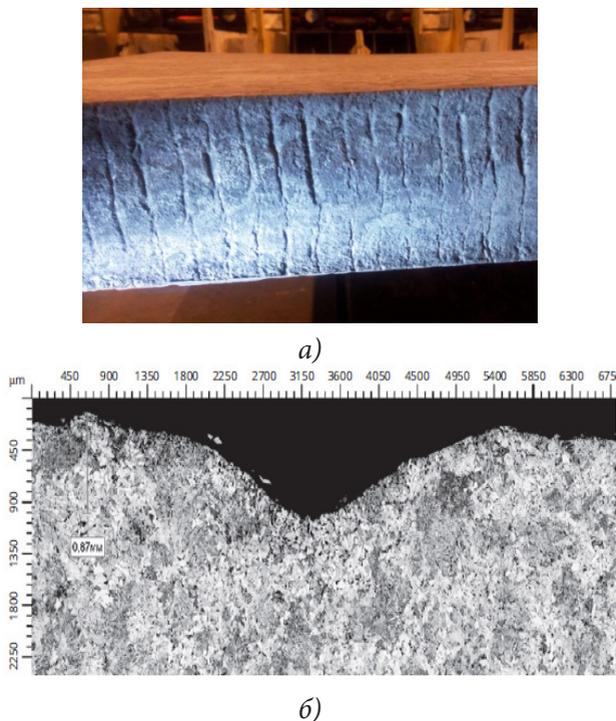
— наличие вблизи дефектов аномального характера течения металла;

— различная степень деформации отдельных участков металла вблизи дефекта.

При металлографическом анализе идентифицировать поверхностные дефекты представляется достаточно проблематичным из-за их многообразия и слишком общего описания в технической литературе. Исследование прикромочных дефектов «грубая единичная плена» и «трещина» показали, что в некоторых случаях дефекты, имеющие металлургическую и прокатную природу образования, внешне похожи. Данное сходство усложняет поиск истинных причин несовершенства качества поверхности продукции. Известно, что образование дефектов прикромочной зоны прокатной природы связано с грубым нарушением технологии прокатки или с захолаживанием кромок проката. При этом проведенный металлографический анализ структурного состояния, размера зерна и распределения твердости по ширине проката показал, что не наблюдаются видимые отличия в металле по ширине от кромки до сердцевины рулона. Металл по ширине проката характеризуется однородной ферритно-перлитной структурой [2].

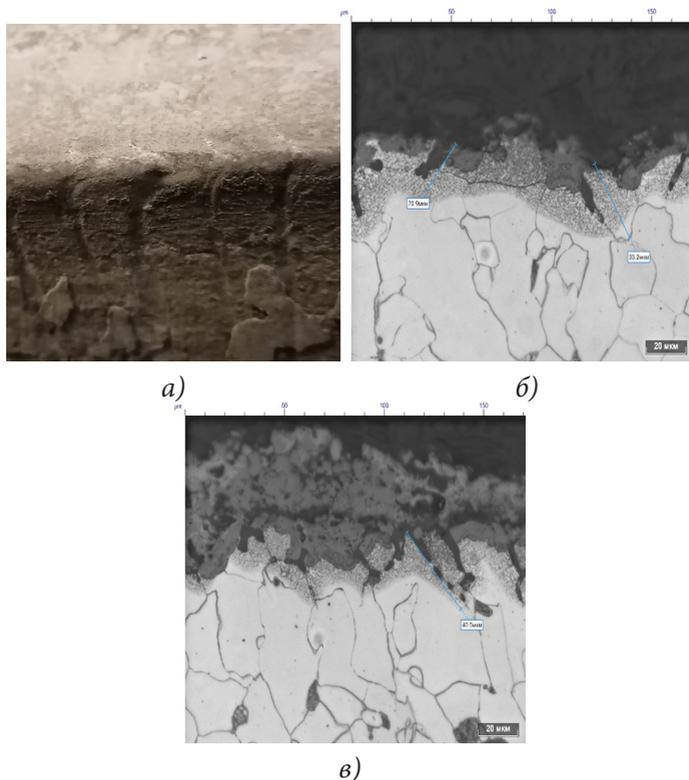
Исследование трансформации поверхностных дефектов от НЛЗ до рулонного проката в условиях ЛПК показало, что в ряде случаев следы качания на поверхности узкой грани сляба имеют разную глу-

бину (рисунок 1, а). В сечении грубые и глубокие следы качания не нарушают сплошности металла (рисунок 1, б) и, соответственно, не распространяются вглубь. Глубокие и грубые следы качания при деформации могут не закатываться, а, наоборот, образовывать поверхностные дефекты, что и было выявлено в ходе исследования.



*Рисунок 1. Следы качания на узкой грани сляба:  
а — внешний вид; б — в сечении*

Поскольку они раскрываются только после туннельной печи при последующей деформации в черновой группе клетей, то обезуглероженный слой и сателлитные включения в поперечном сечении отсутствовали. Отметим, что в таких случаях при внешнем осмотре не наблюдается появления дефектов, связанных с периодом качания кристаллизатора [2].



*Рисунок 2. Металлографический анализ дефекта по следу качания: внешний вид дефекта (а); панорамное изображение структуры в плоскости перпендикулярной боковой грани, но в непосредственной близости от ребра (б, в)*

Исследования трансформации дефектов прикромочной зоны сляба (рисунок 2, а) показали, что всех образцах со стороны боковой грани, как в лунках от следов качания, так и в непосредственной близости от них, наблюдаются небольшие подповерхностные несплошности, которые не имеют разветвлений и ориентированы по границе зерна (рисунок 2, б). Наличие дефектов на угловых участках сляба (острые угловые участки всегда холоднее основного металла) в процессе прокатки в черновой группе приводит

к разрыву металла без признаков металлургической природы образования.

По результатам проведенного анализа установлено:

— «грубая единичная пленка» с металлургической природой образования трансформируется из трещины по следу качания (рисунок 3, а);

— «грубая единичная пленка» с прокатной природой образования трансформируется из «заваренного» разрыва металла по следу качания (рисунок 3, б);

— «единичная торцевая трещина» с прокатной природой образования трансформируется из грубого следа качания на узкой грани сляба (рисунок 3, в);

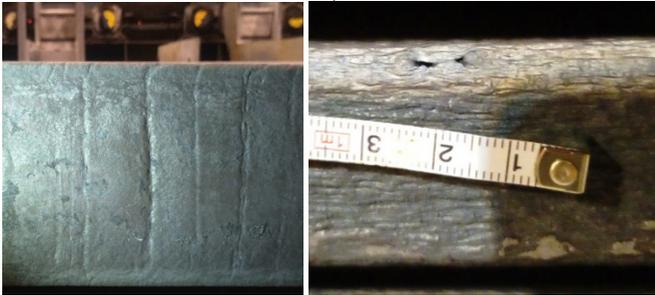
— «протяженная торцевая трещина» с прокатной природой образования трансформируется из группы грубого следа качания на узкой грани сляба (рисунок 3, г);



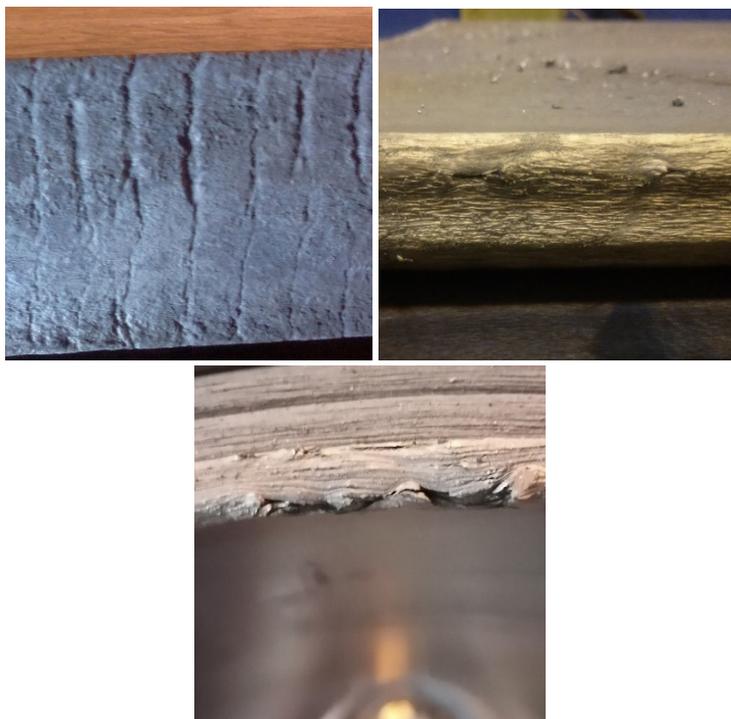
а)



б)



в)



г)

*Рисунок 3. Трансформация грубых следов качания в дефекты: грубая пленка «сталеплавильная» (а); грубая пленка «прокатная» (б); единичная торцевая трещина «прокатная» (в); протяженная торцевая трещина «прокатная» (г)*

Правильная классификация дефектов служит основой для разработки мероприятий по устранению дефектов.

Металлографический анализ структурного состояния, размера зерна и распределения твердости по ширине проката показал, что не наблюдается видимых отличий в металле по ширине от кромки до сердцевины рулона.

Глубокие и грубые следы качания при деформации могут не закатываться, а, наоборот, образовывать поверхностные дефекты, что и было выявлено в ходе исследования.

Установлено, что дефекты «единичная грубая плена», «торцевая трещина», «протяженная торцевая трещина» связаны с наличием на слябе грубых следов качания.

При отсутствии признаков металлургического производства данные дефекты связаны с технологией разливки слябов.

#### *Список использованной литературы*

1. Новокщенова С. М. Дефекты стали. Справочник. — М. : Металлургия, 1984. — 199 с.

2. Науменко В. В., Мунтин А. В., Даниленко А. В., Баранова О. А. Установление природы образования поверхностных дефектов горячекатаного проката в прикромочной зоне // Сталь. — № 1. — 2020. — С. 40–45.

3. Яшков В. А., Силин Л. В. Технология внутреннего шлифования без тепловых эффектов // СТИН. — 2012. — № 3. — С. 22–25.

4. Стомахин А. Я., Еланский Г. Н., Еланский Д. Г. Перспективные пути технического прогресса в электросталеплавильном производстве // Экономика промышленности. — 2009. — № 3. — С. 32–36.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ МЕТАЛЛА ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ**

С. Д. Скачков, Л. М. Кавицян, С. Е. Гусева  
ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса

*Аннотация. Одним из неотъемлемых пунктов отпускного контроля качества производимой продукции является аттестация прокатываемого металла по механическим свойствам. Для ее проведения используют, как правило, разрушающие методы контроля — механические испытания. Для снижения издержек производства на проведение разрушающего контроля используют статистическую аттестацию металла по механическим свойствам (один из методов*

*неразрушающего контроля качества продукции), допускаемую к применению некоторыми стандартами и нормативными документами на производимую продукцию. Проведение статистической аттестации стало возможным во многом благодаря современным автоматизированным системам управления технологическим процессом, позволяющим производить сбор, обработку и хранение информации о процессе производства проката на каждом этапе технологического маршрута.*

*Ключевые слова: нейросети, алгоритмы, автоматизированная система, аттестация металла*

Одним из методов неразрушающего контроля механических свойств проката является статистический регрессионный анализ, с помощью которого получают математические модели — уравнения регрессии для каждого механического свойства. Достоинство данного подхода — его четкость и методическая завершенность, отраженная не только в соответствующей учебной и монографической литературе, но и в стандартах на производимую продукцию. Однако его применение сопровождается рядом недостатков: регрессионные уравнения рассчитываются для одной марки стали или группы марок, для конкретного геометрического сортамента проката; отклонения фактических технологических параметров от базовых могут привести к значительному нарастанию погрешности; при построении уравнений регрессии используется ограниченное число факторов; сложные нелинейные зависимости заменяются упрощенными — линейными.

В настоящее время более эффективной альтернативой статистической обработке экспериментальных данных с помощью регрессионных моделей является применение искусственных нейронных сетей (ИНС) регрессионной архитектуры. Применение ИНС — исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости [1].

Для повышения точности предсказаний механических свойств, увеличения производительности расчетов с помощью действующей на Литейно-прокатном комплексе (ЛПК) АО «ВМЗ» системы автоматизированной аттестации металла по механическим свойствам

(АСАММ) специалистами ИТЦ разработан новый математический блок регрессии, в основе которого лежат современные алгоритмы машинного обучения, а именно — полносвязные нейронные сети. В отличие от линейной регрессии применение нейронной сети в основе математического блока предсказаний механических свойств позволило охватить большую часть марочного сортамента ЛПК, подлежащего статистической аттестации, согласно нормативной документации: «один алгоритм — одно свойство — разные марки стали». Программная реализация нейронных сетей осуществляется на языке Python с использованием возможностей прикладных библиотек машинного обучения Torch, CatBoost и XGBoost.

Данное решение позволило вывести точность предсказаний механических свойств рулонного проката на потенциально новый уровень в металлургическом производстве на ЛПК АО «ВМЗ».

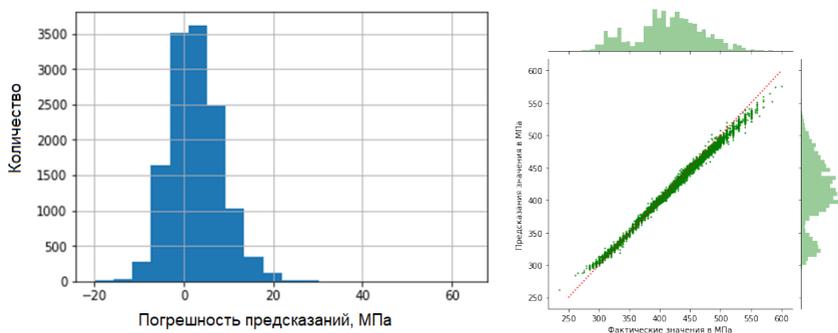
Для демонстрации точности алгоритмов будем использовать коэффициент детерминации ( $R^2 R^2$ ). Обучающие выборки, для построения каждой из моделей, включали те марки сталей, для которых количество проведенных прямых испытаний больше 400 (одно из требований отраслевого стандарта на применение ИНС).

Построены модели для механических свойств при испытаниях на растяжение (предел текучести, предел прочности, относительное удлинение — для поперечных и продольных образцов), показавшие коэффициенты детерминации 0,94–0,99 на тестовых выборках, в то время как для уравнений регрессии действующего АСАММ максимальное значение данного показателя равно 0,72.

На рисунке 1 представлено распределение ошибок между фактическими и предсказанными значениями предела прочности для поперечного образца по результатам работы модели на тестовой выборке.

Другим немаловажным показателем качества модели является процент попадания ошибок в диапазон  $\pm 10$  МПа, обусловленный погрешностью проведения механических испытаний на разрывных агрегатах.

Построенные ИНС для механических свойств, измеряемых при испытаниях на растяжение, показали на тестовой выборке 86,5 % — диапазон ошибки  $\pm 10$  МПа, 98,9 % — диапазон ошибки  $\pm 20$  МПа.



*Рисунок 1. Распределение ошибок на тестовой выборке в результате работы модели*

Применение ИНС в регрессионном блоке АСАММ позволило обобщить большое количество линейных моделей — для разных марок стали, при этом значительно повысив точность предсказания механических свойств (при испытаниях на растяжение). Действующий АСАММ на линейных методах позволяет рассчитывать и другие свойства проката, такие как ударная вязкость при различных температурах, балл зерна и др. Однако при всех плюсах действующей системы АСАММ аттестация проводится только для 18 марок сталей, причем не всего геометрического сортамента. Применение ИНС позволит осуществлять статистическую аттестацию более 30 марок сталей по механическим свойствам (при испытаниях на растяжение) для всего геометрического сортамента, включая прокат, производимый из сляба толщиной 105 мм.

#### *Список использованной литературы*

1. Курбанов В. В. Повышение качества горячекатаной трубной листового стали по механическим свойствам с использованием нейросетевого моделирования / Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук. — Магнитогорск, 2006.
2. Еланский Д. Г., Еланский Г. Н. Обзор докладов на пленарном заседании XIV Международного конгресса сталеплавильщиков // Сталь. — 2016. — № 12. — С. 21–29.

3. Еланский Д. Г., Еланский Г. Н., Стомахин А. Я. Электрометаллургия стали — инновации в технологии и оборудовании // Сталь. — 2009. — № 8. — С. 35–40.

4. Ефремов Д. Б., Кириченко И. С. Утилизация брошенной бочкотары // Вторичные металлы. — 2012. — № 1. — С. 48.

5. Chigvintsev A.Yu., Iosilevskiy I. L., Zorina I. G., Noginova L.Yu. Phase transitions in local equation-of-state approximation and anomalies of spatial charge profiles in non-uniform plasma // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 32. Сер. «XXXII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, ELBRUS 2017». — 2018. — С. 012092.

## СЕРОВОДОРОДОСТОЙКИЕ ЭЛЕКТРОСВАРНЫЕ ТРУБЫ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

С. В. Ковтунов, В. В. Науменко, О. А. Баранова, К. С. Сметанин,  
Д. И. Ермаков

ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса

*Аннотация. Произведена оценка возможности производства труб из конструкционной стали с высокими показателями коррозионной стойкости в сероводородсодержащих средах. Подобран оптимальный режим термообработки для получения требуемых свойств. Показаны результаты влияния режима термической обработки на формирование структуры, изменение механических и коррозионных свойств в H<sub>2</sub>S-среде конструкционной стали.*

*Ключевые слова: конструкционная сталь, термообработка, коррозионная стойкость, водородное растрескивание, микроструктура, рулонный прокат, прямошовные электросварные трубы*

В наши дни для транспортировки нефтепродуктов и природного газа активно используются бесшовные горячедеформированные трубы из конструкционных марок сталей (20А, 20-КТ, 20ФА, 20ЮЧ, 20ЮЧА). Технология производства бесшовных труб и последующая

их термическая обработка обеспечивают комплекс свойств, необходимый для обеспечения требуемых коррозионных свойств продукции. Тем не менее ряд потребителей на трубном рынке готовы использовать электросварные прямошовные трубы из конструкционной стали при наличии аналогичного комплекса свойств. В связи с этим рассматривается возможность производства прямошовных электросварных труб в условиях АО «ВМЗ» из среднеуглеродистой конструкционной стали и ее модификаций с требованиями по коррозионной стойкости.

Цель работы — определение возможности производства труб из конструкционной стали с высокими показателями коррозионной стойкости путем применения термической обработки.

На рисунке 1 представлена схема, характеризующая основные подходы по обеспечению высокой коррозионной стойкости стали в H<sub>2</sub>S-среде [1]. В данной работе использовались методы повышения стойкости против водородного растрескивания на этапе зарождения и распространения трещин, они выделены красным цветом. Основная идея — формирование микроструктуры, способной противостоять распространению трещин в металле.



*Рисунок 1. Водородное растрескивание*

Опробованы 4 различных режима термообработки, которые широко применяются на производстве для достижения требуемых потребительских свойств труб — прочность, ударная вязкость, коррозионная стойкость против водородного растрескивания в H<sub>2</sub>S-средах:

- 1) Закалка при 920 °С и отпуск при 550 °С (З + О при 550 °С).
- 2) Закалка при 920 °С и отпуск при 650 °С (З + О при 650 °С).
- 3) Нормализация при 920 °С и отпуск при 550 °С (Н + О при 550 °С).
- 4) Тройная термическая обработка в виде закалки при 920 °С из аустенитной области, закалки при 770 °С из межкритического интервала температур, отпуск при 550 °С (З + ЗМКИ + О при 550 °С).

В лабораторных условиях экспериментальным путем определен оптимальный режим термообработки проката из конструкционной стали для получения требуемых коррозионных свойств — закалка от 920 °С и отпуск от 650 °С. После закалки и отпуска в стали формируется мелкодисперсная однородная по толщине бейнитная структура [2]. Результаты коррозионных испытаний более 200 образцов от проката по стандарту NACE TM 0284 показали наличие единичных трещин водородного происхождения в трех образцах, не выходящих за пределы допуска ( $CLR \leq 6 \%$ ,  $CTR \leq 3 \%$ ).

В условиях ТЭСЦ-3 АО «ВМЗ» организовано производство труб из конструкционной марки стали с последующей термообработкой в промышленных условиях по выбранному режиму. Одновременно «сырые» патрубки от данных труб подвергались термообработке в лабораторных условиях. Установлено, что при коррозионных испытаниях большого количества образцов от труб после термического воздействия наблюдается нестабильность в результатах по стойкости против растрескивания в H<sub>2</sub>S-среде, в 15 % образцах от основного металла труб присутствуют трещины, а из 30 испытанных образцов от сварного соединения трещина обнаружена только в одном образце. Исследование изломов трещин показало наличие крупных неметаллических включений в виде сульфидов марганца. Одним из основных факторов, оказывающих негатив-

ное влияние на коррозионную стойкость в H<sub>2</sub>S-среде, является скопление протяженных включений MnS в осевой зоне металла [3]. В связи с этим принято решение произвести опытную партию металла из конструкционной стали, включающей модифицирование неметаллических включений и обеспечение особых режимов разлива металла. В условиях ЛПК произведен рулонный прокат из стали новой модификации, а в условиях ТЭСЦ-3 — трубы размером 219 × 10 мм.

Трубы подверглись объемной термической обработке в промышленных условиях ТЭСЦ-3 в виде закалки и отпуска. Предварительно отобранные патрубки подверглись аналогичной термообработке в лабораторных условиях ЦИЛ АО «ВМЗ». Проведены коррозионные испытания 200 образцов от основного металла и 20 образцов от сварного соединения. Трещин водородного происхождения не обнаружено ни в одном из образцов.

Прочностные свойства труб 219 × 10 мм из конструкционной стали после объемной термической обработки в промышленных условиях соответствуют классу прочности K48. Динамические испытания труб 219 × 10 мм показали, что основной металл труб характеризуется ударной вязкостью в интервале 250–350 Дж/см<sup>2</sup> до –50 °С, а металл сварного соединения труб обладает ударной вязкостью свыше 250 Дж/см<sup>2</sup> — до 60 °С.

Полученные результаты лабораторных и промышленных исследований позволяют сделать вывод о том, что совместная модифицирующая обработка жидкой стали кальцием и PЗМ-содержащими модификаторами и двойная термическая обработка позволяют получать трубную продукцию, содержащую 0,18–0,20 % углерода, с высокой стойкостью против растрескивания в H<sub>2</sub>S-среде.

#### *Выводы*

Подтверждена возможность производства труб из конструкционной стали с высокими показателями коррозионной стойкости путем применения термической обработки

Определен оптимальный для достижения требуемых свойств режим термообработки — закалка от 920 °С и последующий отпуск при 650 °С.

Разработана новая модификация стали марки, удовлетворяющая требованиям коррозионной стойкости в H<sub>2</sub>S-средах.

Трубы 219 × 10 мм из конструкционной стали в термообработанном состоянии обладают стабильно высокими значениями ударной вязкости до температуры –50 °С.

#### *Список использованной литературы*

1. Зикеев В. Н. Конструкционные стали, стойкие против сероводородного растрескивания и хрупкого разрушения: дис. ... докт. техн. наук. — М, 1984. — 363 с.

2. Эфрон Л. И. *Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали* — М. : Металлургиздат, 2012. — 696 с.

3. Науменко В. В., Мунтин А. В., Баранова О. А., Сметанин К. С. Исследование влияния термической обработки на механические свойства и стойкость к растрескиванию в среде сероводорода конструкционной стали // *Черные металлы*. — 2020. — № 6. — С. 56–61.

4. Стомахин А. Я., Еланский Г. Н., Еланский Д. Г. Перспективные пути технического прогресса в электросталеплавильном производстве // *Экономика промышленности*. — 2009. — № 3. — С. 32–36.

5. Éfron L. I., Kudashov D. V., Ringinen D. A., Bagmet O. A., Smetanin K. S., Volkova E. A. Formation of structure and properties of low-carbon pipe steel with ultralow manganese content during thermomechanical treatment // *Metallurgist*. — 2021. Т. 65. — № 3–4. — С. 277–293.

## ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ЗОН СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВ

Ф. И. Ладёнков, О. И. Кулёва

ОАО «Выксунский металлургический завод, г. Выкса

*Аннотация. Неотъемлемым этапом в производстве продукции является контроль ее качества. Продукция, выпускаемая на АО «ВМЗ», подвергается различным методам неразрушающего контроля: ультразвуковой, магнитопорошковый, рентгеновский, визуальный. Данные методы позволяют выявлять различного рода как внутренние, так и наружные дефекты металла и сварных швов.*

*Ключевые слова: контроль, стальной лист, поверхность стального листа*

Во время производства труб по одному из проектов на участке отделке ТЭСЦ № 4 были выявлены несколько труб с трещинами на поверхности основного металла. В ходе анализа выяснено превышение твердости основного металла в данных местах. Для исключения попадания листового проката с участками повышенной твердости в трубное производство было принято решение о проведении входного контроля твердости на поверхности листов.

Оборудование для прямого измерения твердости представляет собой портативные приборы, которые не позволяют проверить необходимый объем поверхности листа и не могут обеспечить требуемую производительность контроля, поэтому была проведена оценка возможности обнаружения зон с повышенной твердостью с помощью неразрушающих методов контроля. В результате работы установили, что вихретоковый метод контроля способен выявлять участки, на которых имеется отклонение по твердости.

Ввиду отсутствия специализированного оборудования вихретокового контроля для решения данных задач специалистами АО ВМЗ был собран опытный образец механизированной восьмиканальной установки на базе многоканального дефектоскоп ВД-91НМ (рису-

нок 1), установлено специализированное программное обеспечение для отображения результатов контроля листов.



*Рисунок 1. Вихретоковый дефектоскоп ВД-01НМ*



*Рисунок 2. Механизированная восьмиканальная установка вихретокового контроля для поиска зон с повышенной твердостью на базе ВД-91НМ*

В основу принципа действия вихретокового дефектоскопа заложен магнитно-вихретоковый метод. Под действием переменного магнитного поля, которое формируется датчиком в контролируемой области изделия, возбуждаются вихревые токи. Вихревые токи в районе дефекта формируют магнитные поля рассеяния, которые регистрируются датчиком.

Характеристики дефектоскопа:

- Порог чувствительности дефектоскопа — минимальная глубина обнаруживаемого поверхностного протяженного искусственного дефекта (ИД) в виде риски на ОИД — 0,3 мм.
- Количество измерительных каналов — 15.
- Выявление дефектов обеспечивается при изменениях зазора между преобразователями и контролируемой поверхностью до 5 мм.
- Расстояние от края изделия до центра любого измерительного преобразователя — не более 40 мм.
- Частота тока возбуждения измерительных преобразователей — 70 кГц.
- Скорость сканирования изделия — 0,1...0,5 м/с
- Режим работы — динамический.
- Электропитание — от сети 220 В, 50 Гц или порта USB персонального компьютера.
- Потребляемая мощность — не более 20 ВА.
- Время установления рабочего режима — не более 5 мин.

Все управление работой дефектоскопа осуществляется с помощью ноутбука. На дисплее ноутбука также отображаются результаты контроля (рисунок 3).

В верхней части экрана в столбце слева показаны номера каналов. В центре — вид в плане с цветным кодированием сигналов по каждому каналу, соответствие между уровнем сигнала и цветом определяется горизонтальной цветной полосой, расположенной ниже. В столбце справа — максимальное значение сигнала при превышении установленного порога.

Внедрение вихретокового контроля листов позволило выполнить требования нескольких приоритетных заказов. Проводить контроль листов на выявление участков с повышенной твердостью с достаточ-

но высокой производительностью. И тем самым исключить попадание листов с подобным дефектом на трубный передел и гарантировать отсутствие трещин основного металла на поверхности готовых труб.

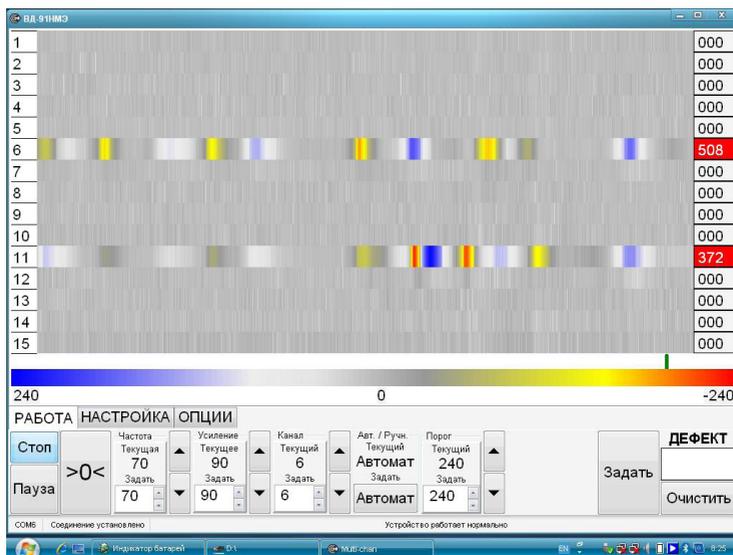


Рисунок 3. Пример диаграммы контроля

### Список использованной литературы

1. Современные наноматериалы : монография / Абзаев Ю. А., Алексенко В. О., Белявская О. А., Боргардт Е. Д., Бочкарева С. А., Браиловский В., Буслович Д. Г., Валиев Р. З., Васильева А. А., Васюкова И. А., Волкитин О. В., Гаврилюк В. Г., Глезер А. М., Головин Д. Ю., Головин Ю. И., Громов В. Е., Денисова Ю. А., Дмитриев С. В., Донцов Ю. В., Дубинский С. М. и др. // Изд-во «Сибирский государственный индустриальный университет». — Новокузнецк, 2020. — 348 с.
2. Кудашов Д. В., Эфрон Л. И., Волкова Е. А., Частухин А. В., Червонный А. В., Хлыбов А. А. Формирование структуры и свойств трубной стали со сверхнизким содержанием марганца // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2021. — № 4. — С. 63–75.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГИДРОПНЕВМОУДАРНИКОВ

С. Л. Лазуткин, Н. А. Лазуткина, Т. Н. Уснунц-Кригер  
ГБПОУ Московский индустриальный колледж «МИК», Москва  
НИТУ «МИСиС», г. Москва

*Аннотация.* В работе рассматриваются энергетические показатели гидропневмоударников в зависимости от параметров пневмоаккумуляторов. Приведены результаты некоторых расчетов и экспериментов, которые могут быть полезны в процессе проектирования и создания перспективных конструкций гидропневмоударных механизмов.

*Ключевые слова:* энергетические показатели гидропневмоударников, давление газа аккумулятора, КПД разгона

Энергетические показатели гидропневмоударников во многом определяются газовым состоянием пневмоаккумуляторов: начальным давлением газа, степенью сжатия и его рабочим объемом [1]. Объем пневмоаккумулятора для задаваемой энергии  $L$  и оптимальной степени сжатия  $\varepsilon$  газа аккумулятора зависит от начального давления газа  $p_{ak1}$ :

$$V_P = \frac{L(n-1)(\varepsilon^{1/n} - 1)}{P_{ak1} \left( 1 - \varepsilon^{\frac{1-n}{n}} \right)} \quad (1)$$

где  $n$  — показатели политропы.

Соотношение площади поршня аккумулятора и хода подвижных масс, которые определяют рабочий объем, устанавливают из формул оптимального хода, зависящего также от давления газа аккумулятора:

$$\chi_{opt} = \frac{1,23L + 370}{P_{ak1}} \quad (2)$$

Результаты исследований влияния давления газа аккумулятора на энергию бояка и составляющие КПД гидронневмоударного устройства приведено на рисунке 1.

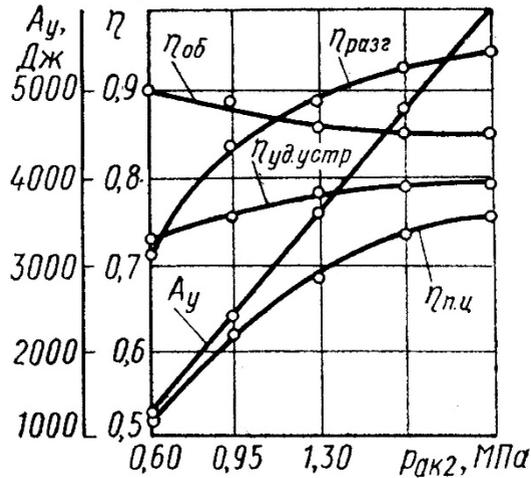


Рисунок 1. Зависимости энергии удара КПД гидронневмоударника от конечного давления газа в аккумуляторе  $P_{ак2}$

Увеличение давления газа аккумулятора приводит к пропорциональному повышению энергии удара  $A_y$ .

КПД разгона определяется отношением энергии удара к энергии сжатого газа аккумулятора при взводе системы на оптимальном пути перемещения подвижных масс:

$$\eta_{разг} = \frac{A_y}{L} = \frac{m_{п.м} v_y^2 (n-1)}{2(P_{ак1} V_1 - P_{ак2} V_2)} \quad (3)$$

где  $V_1, V_2$  — начальный и конечный объем газа аккумулятора;  $m_{п.м}$  — масса подвижных частей ударника.

Характерно, что КПД разгона повышается с увеличением давления газа в аккумуляторе. Это объясняется тем, что при возрастании давления и соответствующем повышении энергии газа

аккумулятора доля энергии, затрачиваемой на гидравлические и механические потери, уменьшается. Численное значение КПД разгона для давления, равного 2 МПа составляет 0,92, что отличается от КПД, полученного теоретическим путем для энергии 6000 Дж, на 3,2 %.

КПД подготовительного цикла ударного устройства (взвод системы) учитывает потери энергии при зарядке аккумулятора гидрорепневмоударника и экспериментально может быть определен отношением полной энергии  $L_{п}$  сжатого газа (включая перемещение подвижных масс на величину внедрения инструмента в массив) к энергии  $A_{п}$ , потребленной от насоса в течение рабочего цикла:

$$\eta_{п.ц.} = \frac{L_{п}}{A_{п}} = \frac{p_{ak1}V_1 - p_{ak2}V_2}{2(n-1)p_{ср}S_{вз}(\chi_{опт} + \chi_{разг.})} \quad (4)$$

где  $p_{ср}$  — среднее давление в напорной линии в течение рабочего цикла;  $S_{вз}$  — площадь взвода;  $\chi_{раз}$  — путь разгона.

Максимальное значение КПД подготовительного цикла составляет 0,79 и незначительно уменьшается при понижении давления газа в аккумуляторе. КПД ударного устройства:

$$\eta_{уд.устр.} = \frac{A_y}{A_n} \quad (5)$$

увеличивается от 0,52 до 0,75 при повышении давления газа в аккумуляторе от 0,6 до 2,0 МПа.

Повышение давления приводит к пропорциональному увеличению энергии удара и повышению КПД разгона, подготовительного и ударного устройства; незначительно снижается объемный КПД. Из этого следует, что целесообразно максимально повышать давление газа в аккумуляторе [2, 3].

Фактором, ограничивающим давление газа, является расчетно-допустимое усилие отдачи ударника и предварительное поджатие подвижных масс от сообщения напорной линии с полостью взвода. Усилие отдачи при разгоне подвижных масс ( $F_{от} = S_{акр1}$ )

учитывается в расчетах при определении устойчивости базовой машины; усилие предварительного поджатия ( $F_{под} = Sакрак2$ ) определяет статическое воздействие инструмента на массив.

#### *Список использованной литературы*

1. Горбунов В. Ф., Лазуткин А. Г., Ушаков Л. С. Импульсный гидропривод горных машин / Отв. редактор д-р техн. наук проф. М. С. Сафохин. — Новосибирск : Наука СО, 1986. — 198 с.
2. Ушаков Л. С., Котылев Ю. Е., Кравченко В. А. Гидравлические машины ударного действия. — М. : Машиностроение, 2000. — 416 с.
3. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин / А. С. Сагинов, А. Ф. Кичигин, А. Г. Лазуткин, И. А. Янцен. — М. : Машиностроение, 1980. — 200 с.
4. Лещинская А. Ф., Романченко О. В. Траектории формирования интеллектуального капитала для реализации финансового механизма стимулирования и эффективного восстановления национальной экономики // В книге: Национальная концепция качества: подготовка управленческих кадров / сборник тезисов докладов национальной научно-практической конференции с международным участием. — Санкт-Петербург, 2020. — С. 406–410.
5. Ногинова Л. Ю. Математическая модель для адаптивной системы аутентификации // Доклады ТСХА. — 2020. — С. 317–321.
6. Ногинова Л. Ю. Методика организации курса математики в высшем учебном заведении при дистанционном обучении // Доклады ТСХА. — 2021. — С. 488–490.
7. Шибанов К. С., Гиршевич О. Л. Предпосылки изменения подхода для оценки клиентоориентированности производственных компаний // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 2 (127). — С. 892–895.

## УПРАВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ

С. Л. Лазуткин, Н. А. Лазуткина, Т. Н. Уснунц-Кригер  
ГБПОУ Московский индустриальный колледж «МИК», г. Москва  
НИТУ «МИСиС», г. Москва

*Аннотация. В работе предлагается вариант реализации управления положением устройства динамического действия для разрушения отработанного футеровочного массива. В качестве приводов предложено использовать систему гидроцилиндров с питанием от регулируемых насосов. Предлагаются уравнения, описывающие движения штоков гидроцилиндров и расход поступающей в них жидкости. Результаты исследований по выводу законов управления движением могут быть использованы при разработке технико-экономического обоснования на создание манипулятора с рабочим органом динамического действия.*

*Ключевые слова: устройство динамического действия, управление движением, футеровочный массив*

Разработка автоматических систем управления исполнительными механизмами представляет достаточно сложную инженерную задачу. Вместе с тем в современные промышленные комплексы широко внедряются различные средства и методы автоматизации, вплоть до искусственного интеллекта. В этом смысле не является исключением техническая задача создания роботизированной системы для металлургического производства [1, 2].

В целях сокращения простоя печей при ремонте и совершенствования технологии проведения футеровочных работ целесообразно применить систему комплексной механизации, основу которой составляет устройство с рабочим органом динамического действия.

Применение данного устройства для разрушения отработанного футеровочного массива позволяет выбрать оптимальный угол атаки. Учитывая, что поверхность футеровки имеет неровности и различную температуру по длине печи, это обеспечит повышение эффективности процесса разрушения.

В качестве приводов устройства предложено использовать систему двух гидроцилиндров, питание которых осуществляется от регулируемых насосов. Требуемые законы движения манипулятора, определяются уравнениями движения штоков гидроцилиндров и расхода насосов (рисунок 1). Для вывода уравнений движения штоков гидроцилиндров необходимо определить закон движения точки  $O_2$  (точка пересечения оси манипулятора и линии, соединяющей штоки гидроцилиндров) [3, 4].

Пусть траектория, формируется вращением конца оси манипулятора в соответствии с уравнением  $\varphi_1 = -3\varphi$ . Уравнения, определяющие закон движения точки  $O_2$ , имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \zeta_{O_2} &= \zeta_{O_1} \frac{l}{L} = -1 \sin \psi \cos \Theta \\ \eta_{O_2} &= \eta_{O_1} \frac{l}{L} = 1 \cos \psi \cos \Theta \\ \xi_{O_2} &= \xi_{O_1} \frac{l}{L} = 1 \sin \Theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

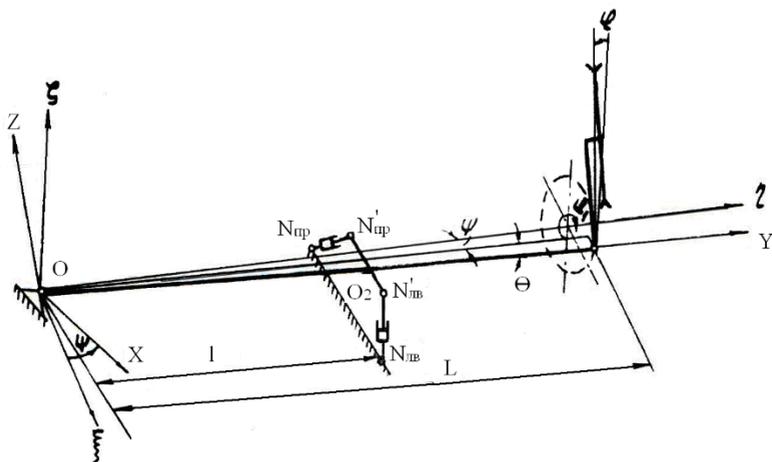


Рисунок 1. Иллюстрация расчета

Определяя координаты точек N|ЛВ, N|ПР в системе координат OXYZ и в соответствии с матрицей: перехода от системы координат OXYZ к системе Oξηζ определим координаты точек N|ЛВ, N|ПР в системе Oξηζ

$$\left. \begin{aligned} \xi N'_{ЛВ} &= b_4 \cos \psi - l \sin \psi \cos \Theta + l_2 \sin \psi \sin \Theta \\ \eta N'_{ЛВ} &= b_4 \cos \psi + l \sin \psi \cos \Theta - l_2 \sin \psi \sin \Theta \\ \xi N'_{ЛВ} &= l \sin \Theta + l_2 \cos \Theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \xi N'_{ПР} &= -b_4 \cos \psi - l \sin \psi \cos \Theta + l_2 \sin \psi \sin \Theta \\ \eta N'_{ПР} &= -b_4 \sin \psi + l \cos \psi \cos \Theta - l_2 \cos \psi \sin \Theta \\ \xi N'_{ПР} &= l \sin \Theta + l_2 \cos \Theta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Уравнения представляют собой закон движения точек крепления штоков гидроцилиндров к оси манипулятора рабочего органа. По координатам точек НЛВ и N|ЛВ, НПР и N|ПР, определяется суммарная длина штоков и гидроцилиндров

$$(l_{Ц} + l_{ШЛВ})^2 = (\xi N_{ЛВ} - \xi N'_{ЛВ})^2 + (\eta N_{ЛВ} - \eta N'_{ЛВ})^2 + (\zeta N_{ЛВ} - \zeta N'_{ЛВ})^2 \quad (4)$$

$$(l_{Ц} + l_{ШПР})^2 = (\xi N_{ПР} - \xi N'_{ПР})^2 + (\eta N_{ПР} - \eta N'_{ПР})^2 + (\zeta N_{ПР} - \zeta N'_{ПР})^2 \quad (5)$$

Разрешив это уравнение относительно ШЛВ и ШПР и используя формулы (2, 3), найдем уравнения движения штоков гидроцилиндров:

$$l_{ШЛВ} = l_{ШЛВ}(\psi_1 \Theta) = \left[ (l_4 \cos \psi - l \sin \psi \cos \Theta + l_2 \sin \psi \sin \Theta + l_2 - l_1)^2 + (l_4 \sin \psi + l \cos \psi \cos \Theta - l_2 \cos \psi \sin \Theta - l)^2 + (l \sin \Theta + l_2 \cos \Theta + l_1)^2 \right]^{1/2} - l_{Ц} \quad (6)$$

$$l_{ШПР} = l_{ШЛВ}(\psi_1 \Theta) = \left[ (-l_4 \cos \psi - l \sin \psi \cos \Theta + l_2 \sin \psi \sin \Theta + l_2)^2 + (-l_4 \sin \psi + l \cos \psi \cos \Theta - l_2 \cos \psi \sin \Theta - l)^2 + (l \sin \Theta + l_2 \cos \Theta + l_1)^2 \right]^{1/2} - l_{Ц} \quad (7)$$

Расход жидкости гидроцилиндров определяется по классической методике расчета объемного гидропривода:

$$Q = F_{П} V, \quad (8)$$

где  $F_{\Pi}$  — рабочая площадь поршня,  $V$  — линейная скорость поршня.

При прямом ходе поршня (когда III увеличивается)  $F_{\Pi} = \frac{\pi D^2}{4}$ ,  
 при обратном ходе поршня (когда III уменьшается),  

$$F_{\Pi} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$
,

где  $D$  — диаметр поршня,  $d$  — диаметр штока.

Линейная скорость движения поршня равна скорости конца штока гидроцилиндра

$$V = \frac{dl_{\text{III}}}{dt} = \frac{dl_{\text{III}}}{d\varphi} \cdot \dot{\varphi} = \frac{dl_{\text{III}}}{d\varphi} \cdot \omega_B \quad (9)$$

где  $\omega_B = \dot{\varphi}$  — угловая скорость вращения оси.

Для определения скорости поршня по формуле (9) следует в формулах (6, 7) перейти от зависимости IIIЛВ( $\psi$ 1 $\theta$ ), IIIПР( $\psi$ 1 $\theta$ ) к зависимостям IIIЛВ и IIIПР от угла поворота оси манипулятора.

Учитывая формулы, выражающие зависимость углов  $\psi$  и  $\theta$  от угла поворота оси манипулятора и преобразуя выражения (6, 7) получим

$$l_{\text{шлв}} = \{2l^2 + (l_1 - l_2)^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 - 2\frac{l^2}{L}\sqrt{L^2 - r^2} - 2\frac{l_2}{L}(l_1 - l_2)\sin 3\varphi - 2\frac{l_1 l r}{L}\cos 3\varphi + 2\frac{l_1 l_2}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi + \frac{2}{\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi}[l_4(l_1 - l_2)\sqrt{L^2 - r^2} + l_4 l r \sin 3\varphi - \frac{l_2 r l}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos 3\varphi - \frac{l_2 r_2}{L}(l_1 - l_2)\sin 3\varphi \cos 3\varphi]\}^{1/2} - l_u \quad (10)$$

$$l_{\text{шпр}} = \{2l^2 + l_2^2 + l_4^2 + l_1^2 + l_2^2 - 2\frac{l^2}{L}\sqrt{L^2 - r^2} - 2\frac{l_2}{L}(l_2 \sin 3\varphi - 2\frac{l_1 l r}{L}\cos 3\varphi + 2\frac{l_1 l_2}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi + \frac{2}{\sqrt{L^2 - r^2}\cos^2 3\varphi}[l_4(l_1 - l_2)\sqrt{L^2 - r^2} + l_4 l_2 \sin 3\varphi - \frac{l_2 r l}{L}\sqrt{L^2 - r^2}\cos 3\varphi - \frac{l_2 r_2}{L}l_2 \sin 3\varphi \cos 3\varphi]\}^{1/2} - l_u \quad (11)$$

Данные формулы дают возможность определить расход жидкости, поступающей в гидроцилиндры.

#### *Список использованной литературы*

1. Иванов А. А. Основы робототехники. — М. : Форум, 2012. — С. 224.
2. Булгаков А. Г., Воробьев В. А. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. — Изд. Солон-Пресс, 2008. — 486 с.
3. Лазуткина Н. А. Управление переносным движением манипулятора с пространственно-планетарной роликовой головкой для изготовления упаковки с различным профилем поперечного сечения // Современные проблемы науки и образования. — № 5. — 2014.
4. Лазуткина Н. А. Расчетно-оптимизационная подсистема проектирования манипулятора с пространственно-планетарной роликовой головкой // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. — № 4. — 2014.
5. Головкина В. Б., Мокрецова, Маняхин Ф. И., Уандыкова М. К. Развитие студентоориентированного обучения на кафедрах прикладной информатики // Современное образование: содержание, технологии, качество. — 2013. — Т. 2. — С. 111–113.
6. Ногинова Л. Ю. Математическая модель для адаптивной системы аутентификации // Доклады ТСХА. — 2020. — С. 317–321.
7. Ногинова Л. Ю. Методика организации курса математики в высшем учебном заведении при дистанционном обучении // Доклады ТСХА. — 2021. — С. 488–490.

# АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ МАКРОСТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА ЛИТЕЙНОПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА (ЛПК), СТАНА — 5000, ТЕМПЛЕТОВ КОЛЕС. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Е. А. Матвеева, С. Д. Плехович  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. Задачей является установление закономерностей взаимосвязи структуры и свойств материалов для того, чтобы целенаправленно воздействовать на них при переработке в изделия и эксплуатации, а также для создания материалов с заданным сочетанием свойств и прогнозирования их срока службы.*

*Ключевые слова: макроструктура, непрерывнолитой сляб, литейнопрокатный комплекс*

С помощью макроанализа возможно определить различные виды дефектов, такие как осевая рыхлость, осевая химическая неоднородность, точечная неоднородность, трещины, наличие которых ведет к последующему углубленному анализу. С помощью макроанализа можно определить периодичность возникновения дефектов, очаг дефектов, установить возможные варианты устранения несплошностей.

Макроанализ используется в сталеплавильной промышленности, потому что это простой способ выявления относительной однородности образца. Макроанализ — это метод исследования строения металлов невооруженным глазом или с помощью лупы (увеличение в 30 раз). В макротравлении используется действие кислот или других агрессивных реагентов для проявления макроструктурных характеристик правильно подготовленных образцов [1].

Макроанализ проводится с помощью травления в пятидесятипроцентной соляной кислоте при температуре 70–80 °С или надсернокислотом аммония при температуре 35 °С перед травлением образцы шлифуют и полируют, после травления образцы промывают в проточной воде, обрабатывают спиртом. Исследование проводит-

ся по ГОСТ 10243-75 сравнением со шкалами или с фотоснимками и описанием дефектов макроструктуры. Для хранения образцы маркируют и покрывают лаком [3].

Реагенты, применяемые на предприятии для макротравления, являются вредными веществами, при контакте с организмом человека в случае нарушений безопасности они могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдельные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Совершенствование технологий макроанализа сделает большой вклад в развитие производства. Работа над автоматизацией оборудования, минимизацией человеческого фактора, получение более точного результата при анализе улучшит качество исследования. Улучшение используемых методик посредством нахождения универсальных методов для анализа различных дефектов различных марок стали дает возможность исследования многогранности проблем. Немалую роль сыграет сокращение времени анализа, увеличение объема хранения получаемой информации, безвредность влияния методики на человека.

В настоящее время предъявляются высокие требования к доступности и надежности данных, которые могут быть значительно лучше выполнены с помощью автоматизированной системы HD-Scan. Установка HD-scan основана на ультразвуковом исследовании внутренних дефектов и макроструктуры. HD-scan состоит из ультразвукового блока, ванны с проточной технической водой для проб со сканером и ультразвуковыми датчиками, а также компьютера для управления и автоматического анализа. Головка ультразвукового датчика установлена сверху на трехмерном регулировочном устройстве, она состоит из двух ультразвуковых датчиков, которые измеряют внутренние дефекты и макроструктуру. Электронный блок измеряет ультразвуковой сигнал в соответствии с положением и движением головки датчика. После погружения образца начинается автоматическое измерение [2].

Ультразвуковое исследование является безопасной технологией, которая обеспечивает более точную информацию, на которую не влияют параметры травления или субъективные впечатления инспек-

торов качества. HD-Scan позволяет напрямую передавать данные из производственного процесса в хранилище данных, при этом создается основа для анализа большого количества данных.

Результат ультразвукового измерения обладает большей информативностью по сравнению с изображениями травления, так как измеряется не только один слой, но и объем образца, который представлен в 3D-виде с возможностью оценки различных слоев в глубине образца. Структурный анализ позволяет оценить условия охлаждения, правильность технологических режимов, стабильность технологии, симметричность образца. Статистический анализ дает оценку размеров и количества дефектов. Регулярное измерение дефектов создает базу данных, с помощью нее возможно отследить стабильность технологических параметров. Имеется возможность оценки размеров темплетов его геометрии, выпучивания, ромбовидности и формы кромки сляба.

Рассмотрение целесообразности использования различных методик макроанализа для определенных марок стали, улучшит систему анализа. Задачами работы является проведение макроанализа в соляной кислоте, надсерническом аммонии, на установке HD-Scan различных марок стали, проведение сравнительного анализа. Анализируемым материалом являются темплеты слябов и темплеты колес. Исследуемые марки стали: K56-12, 20-3, KEI55, 22ГЮ-2, ст2пс-6, 17Г1С-У-3, 09ГБ, S355J2+N, 2, Т, Л.

На поверхности слябов ЛПК, подготовленной шлифованием, после травления в растворе аммония надсернического границы кристаллов литой структуры не выявляются и оценка внутренних дефектов ниже, чем в темплетах после горячего травления. Наиболее стабильные результаты были получены после чистового фрезерования, здесь выражено проявляются границы кристаллов литой структуры и внутренние дефекты. В некоторых случаях оценка осевых дефектов в надсерническом аммонии на 1,5 балла выше. Возможно, увеличение балла обусловлено оценкой другой плоскости, полученной после переподготовки темплета.

Пробы колес являются весьма чувствительными к травлению в водном растворе аммония надсернического, так как содержат боль-

шое кол-во углерода в стали, определяющим склонность к выявлению структуры. Необходим непрерывный визуальный контроль за процессом, чтобы не допустить неисправимого потемнения поверхности. После 50–60 секунд выдержки в растворе проявляется выразительная волокнистая структура, не сопоставимая с видом при горячем травлении. На ободах четкой волокнистой структуры выявить не удалось. Достигнуть полного воспроизведения макроструктуры не удалось. Значительных дефектов при обоих методах травления не обнаружено.

Холодное травление непрерывнолитых слябов стан-5000 обеспечивает качественное выявление дендритного строения и внутренних дефектов макроструктуры. Выдержка в растворе аммония надсерно-кислого не должна превышать 15 мин. Дефекты осевой зоны макроструктуры после холодного травления более ярко выражены, чем при горячем. Балл оценки осевой химической неоднородности и осевой рыхлости увеличивается в 1,2 балла. Холодное травление образца от проката выявило в середине толщины темные полосы, соответствующие осевой химической сегрегации, наследуемой со сляба. Вид макроструктуры проката получился идентичным.

Сравнительный анализ травлением соляной кислотой и надсерно-кислым аммонием показал, что не все марки стали удается удачно протравить надсернокислым аммонием, для колесных сталей более точная оценка получается при травлении соляной кислотой. Макротравление слябов двумя реагентами показало, что результат получается практически схожим, возможно расхождение в 0,5 баллов. Большая разница в баллах обусловлена переподготовкой темплета, вторичного использования реагента или грубой фрезеровки.

Время травления для разных марок стали отличается — из-за большей или меньшей чувствительности к кислоте

Сравнительный анализ методики HD-Scan и травления в соляной кислоте показал, что баллы дефектов при сканировании на установке HD-Scan на одном слое получаются идентичными, за исключением того, что аппаратура не различает прямую и обратную химическую неоднородность и не определяет науглероживание. В сумме слоев дефекты плотнее и больше по количеству, чем в одном слое. Из-за уве-

личения плотности и количества дефектов происходит наложение слоев со смещенными по расположению дефектами. Сумма слоев не является представительной информацией для оценки по шкалам. Целесообразно приводить сумму слоев в виде объемного изображения, что наглядно покажет «ход» дефекта в сечении, что технически осуществимо на установке HD-scan.

Способ ультразвукового контроля макроструктуры обладает рядом преимуществ по сравнению с химическим травлением: безопасность, экологичность, автоматизированная процедура присвоения баллов путем измерения дефектов, возможность выполнения структурного анализа, статистического, 3D-анализа. Но в то же время с помощью макротравления можно осуществлять ряд операций, которые недоступны при HD-сканировании. Кроме того, это доступный и проверенный метод, который прослужит еще долгое время.

#### *Список использованной литературы*

1. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение — М. : Альянс, 2018.
2. Lindemann, Ernst; Wans, Jochen; Klein, Martin; Gusarova, Tamara; Hofmann, Oliver. HD Scan — Ultrasound technology for quantitative evaluation of the internal quality of as-cast steel products, p. 334–342. In: 47th Steelmaking Seminar — International, Rio de Janeiro, 2016. ISSN: 2594-5300, DOI 10.5151/1982-9345-27690
3. ГОСТ 10243-75 Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры. — М. : Издательство стандартов, 1985.
4. Еланский Д. Г., Еланский Г. Н. Обзор докладов на пленарном заседании XIV Международного конгресса сталеплавильщиков // Сталь. — 2016. — № 12. — С. 21–29.
5. Фляйшер М., Грейнахер Й., Апфель Й., Еланский Д. Лидерство: производительность и затраты // Электрометаллургия. — 2007. — № 6. — С. 7–11.

# ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СОВРЕМЕННОЙ ДСП НА ПРИМЕРЕ «ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА» КОМПАНИИ «ВМЗ»

А. Е. Оглодков, Д. Г. Еланский, В. М. Сафонов  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. Перед производителями, осуществляющими выплавку стали в дуговых печах, стоят задачи повышения производительности со снижением затрат на производство совместно с обеспечением необходимого качества продукции. Цель данной работы — оценить технико-экономические показатели работы современной дуговой сталеплавильной печи, а также оценить влияние модернизаций на изменение показателей.*

*Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь (ДСП), модернизация, технико-экономические показатели*

В настоящее время сталь является основой современной мировой цивилизации. В стандартах разных стран содержится более 2000 марок сталей, а также десятки тысяч размеров готового проката [1].

По данным Мировой ассоциации стали (WSA) [2], за 2020 год было выплавлено 1864,0 млн т жидкой стали. Данный показатель на 0,9 % меньше, чем за 2019 год, составлявший 1880,1 млн т [3]. Несомненным лидером по объему выпуска стали остается Китай, выплавляющий порядка 57 % мирового производства. Россия за 2020 год произвела 73,4 млн т стали, что больше показателя 2019 года, составляющего 71,6 млн т, на 2,6 %. Среди топ-5 стран производителей стали Россия заняла 4-е место, обогнав США по объему выпуска на 0,7 млн т.

Среди различных видов способов выплавки стали наиболее популярным в России является конвертерный с долей около 68 %, доля электросталеплавильного производства составляет 29 %. Для разви-

тия электросталеплавильного способа и увеличения доли электропечной стали необходима модернизация ДСП.

Опыт модернизации ДСП можно рассмотреть на примере «Литейно-прокатного комплекса» («ЛПК»), в условиях которого с ДСП был произведен ряд модернизаций. Первоначально была произведена замена печного трансформатора с 140 МВА на трансформатор мощностью 168 МВА, а затем была произведена установка новой подины, свода увеличенной емкости, что позволило увеличить массу плавки с 160 до 180 тонн.

С учетом проводимых модернизации ДСП на «ЛПК» можно выделить четыре конфигурации печи:

— С момента запуска (2008 год) по сентябрь 2018 года — выплавка полупродукта в ДСП-160 с трансформатором мощностью 140 МВА (здесь и далее обозначается как ДСП «А»).

— С сентября 2018 года по август 2019 года — выплавка полупродукта в ДСП-160 с трансформатором мощностью 168 МВА (здесь и далее обозначается как ДСП «В»).

— С августа 2019 года по ноябрь 2019 года — выплавка полупродукта в ДСП-180 с трансформатором мощностью 168 МВА, период пуско-наладочных работ (здесь и далее обозначается как ДСП «С»).

— С ноября 2019 года по настоящее время — выплавка полупродукта в ДСП-180 с трансформатором мощностью 168 МВ·А, освоенная технология (здесь и далее обозначается как ДСП «D»).

Для анализа влияния проводимых модернизаций было отобрано по 200 паспортов плавок стали 22ГЮ для каждой конфигурации печи, при этом отбирались плавки со временем от выпуска до выпуска от 35 до 65 мин и одинаковой шихтовкой. Анализ выполнялся в программе STATISTICA.

Определенные в ходе анализа средние значения технико-экономических показателей на основе 200 паспортов плавок для каждой конфигурации печи представлены в таблице 1.

Изменение средних значений показателей четырех конфигураций ДСП «ЛПК», в сравнении с базовой конфигурацией ДСП «А», представлено в таблице 2.

Таблица 1. Средние значения показателей трех конфигураций ДСП

Показатель	Конфигурация печи			
	ДСП «А»	ДСП «В»	ДСП «С»	ДСП «D»
Номинальная масса плавки, т	160	160	180	180
Масса металла на выпуске, т	159,4±2,4	161,4±2,4	174,3±5,4	176,7±5,1
Мощность трансформатора, МВ·А	140	168	168	168
Время от выпуска до выпуска, мин	55,0±3,0	52,9±4,5	53,6±4,5	52,6±5,1
Время работы под током, мин	41,7±1,6	38,1±2,0	39,3±2,8	36,9±1,9
Время бестоковых пауз, мин	13,3±2,4	14,8±3,6	14,3±3,9	15,7±4,6
Производительность, т/ч	174,3±9,7	184,5±16,9	196,4±17,0	203,1±18,6
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	437,5±16,3	407,9±20,5	425,00±23,7	410,8±17,8
Удельный расход извести, кг/т	51,6±3,0	53,5±2,8	54,9±6,9	49,2±2,6
Удельный расход кислорода, м <sup>3</sup> /т	29,8±2,1	29,5±1,9	11,0±1,4	28,2±1,7
Удельный расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	8,1±0,6	7,6±0,6	5,1±0,6	4,7±0,6
Удельный расход графита, кг/т	9,0±1,1	8,9±1,1	7,71±1,8	8,9±1,4

Таблица 2. Изменение средних значений показателей трех конфигураций ДСП

Конфигурация печи	ДСП «А»	ДСП «В»	ДСП «С»	ДСП «D»
Номинальная масса плавки, т	160,0	160,0	180,0	180,0
Масса металла на выпуске, т	159,3	+2,0	+14,9	+17,3
Мощность трансформатора, МВ·А	140	168	168	168
Время от выпуска до выпуска, мин	55,0	-2,14	-1,40	-2,39

Время работы под током, мин	41,7	-3,6	-2,4	-4,8
Время бестоковых пауз, мин	13,3	+1,5	+1,0	+2,5
Производительность, т/ч	174,3	+10,2	+22,1	+28,9
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	437,5	-29,6	-12,5	-26,7
Удельный расход извести, кг/т	51,6	+1,9	+3,3	-2,4
Удельный расход кислорода, м <sup>3</sup> /т	29,8	-0,3	-18,8	-1,6
Удельный расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	8,1	-0,5	-3,1	-3,4
Удельный расход графита, кг/т	9,0	-0,1	-1,3	-0,1

В ходе анализа установлено, что замена печного трансформатора с 140 МВА на 168 МВА, совместно с увеличением вместимости подины со 160 до 180 тонн позволило увеличить производительность в среднем на 28,9 т/ч, снизить время работы под током в среднем на 4,8 мин и удельный расход электроэнергии в среднем на 26,7 кВт·ч/т.

Выполненный анализ паспортов плавков с различными конфигурациями дуговой сталеплавильной печи позволяет сделать вывод, что как увеличение мощности печного трансформатора, так и совместное увеличение мощности печного трансформатора с увеличением вместимости печи приводят к улучшению технико-экономических показателей, увеличению производительности печи и, соответственно, годовому производству жидкого полупродукта. Данные мероприятия могут быть применимы и к другим печам на различных предприятиях в целях улучшения производительности.

Для конфигурации печи ДСП «D» по результатам множественной регрессии в программе STATISTICA, на основе данных 200 паспортов плавков было получено уравнение математической модели для производительности печи:

$$P = 198,44 \pm 12,06 - (4,02 \pm 0,15) \cdot \tau_{\text{ток}} + (1,16 \pm 0,06) \cdot M_{\text{выпуск}} - (3,63 \pm 0,03) \cdot \tau_{\text{пауз}}$$

где  $P$  — производительность печи, т/ч;

$\tau_{\text{ток}}$  — время работы под током, мин;

$M_{\text{выпуск}}$  — масса металла на выпуске из печи, т;

$\tau_{\text{пауз}}$  — время бестоковых пауз, мин.

Аналогично производительности, было получено уравнение математической модели для удельного расхода электроэнергии:

$$W_{\text{э/э}} = 625,15 \pm 26,98 - (2,46 \pm 0,12) \cdot M_{\text{выпуск}} - (0,73 \pm 0,24) \cdot V_{\text{уд.известь}} - (6,02 \pm 1,01) \cdot V_{\text{уд.прир.газ}} + (2,14 \pm 0,68) \cdot V_{\text{уд.графит}} + (7,22 \pm 0,45) \cdot \tau_{\text{ток}}$$

где  $W_{\text{э/э}}$  — удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т

$M_{\text{выпуск}}$  — масса металла на выпуске из печи, т;

$V_{\text{уд.известь}}$  — удельный расход извести, кг/т;

$V_{\text{уд.прир.газ}}$  — удельный расход природного газа, м<sup>3</sup>/т;

$V_{\text{уд.графит}}$  — удельный расход графита, кг/т.

$\tau_{\text{ток}}$  — время работы под током, мин.

Данные уравнения можно использовать для прогнозирования производительности печи за счет изменения времени работы под током, массы металла на выпуске и времени бестоковых пауз, а также для прогнозирования удельного расхода электроэнергии за счет изменения массы металла на выпуске, удельного расхода извести, удельного расхода природного газа, удельного расхода графита и времени работы под током.

Полученные в ходе анализа технико-экономические показатели работы ДСП-180 «ЛПК» с трансформатором мощностью 168 МВА, в период с 05.01.2020 по 20.04.2020 не дают четкого представления об их количественном значении. Для оценки приемлемости средних значений технико-экономических показателей работы печи «ЛПК» было произведено сравнение с другими металлургическими заводами, осуществляющими свою работу на территории России и различных зарубежных стран.

В сравнении со средними значениями по другим металлургическим заводам было установлено, что на «ЛПК» время работы под током ниже среднего по заводам на 4 мин, время от выпуска до выпуска ниже на 2,6 мин, удельный расход электроэнергии выше на 20,3 кВт·ч/т, удельный расход природного газа находится на одинаковом уровне, а удельный расход кислорода ниже на 7,26 м<sup>3</sup>/т, исходя из чего сделан вывод, что технико-экономические показатели работы ДСП «ЛПК» показывает довольно хорошие результаты, и, соответственно, производимые модернизации дали положительный результат.

#### *Список использованной литературы*

1. Амелинг Д. Сталь — самый важный конструкционный материал: обзор мировой черной металлургии // Сборник трудов XV Конгресса сталеплавильщиков. — Москва — Тула, 2018. — С.35–39.

2. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:5001dac8-0083-46f3-aadd-35aa357acbcc/Steel> (дата обращения 01.04.2021).

3. Global crude steel output decreases by 0.9 % in 2020 [Электронный ресурс]. URL:<https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/Global-crude-steel-output-decreases-by-0.9--in-2020.html> (дата обращения 01.04.2021).

4. Чиченев Н. А., Мурысев И. Ю., Назаров К. Е., Горбатюк С. М. Снижение внеплановых простоев нового оборудования на стадии его закупки и выхода на проектную мощность // Металлург. — 2020. — № 3. — С. 97–102.

5. Шибанов К. С. Исследование особенностей технологии бережливого производства // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 1 (102). — С. 1045–1049.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОЙ ПРОШИВКИ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ТПА 70-270 АО «ВМЗ»

Д. А. Орлов, А. В. Гончарук, Ю. В. Гамин  
НИТУ «МИСиС», г. Москва

*Аннотация. Представлены данные по комплексному исследованию технологии двойной прошивки заготовок. Установлен характер влияния распределения деформации между операциями двойной прошивки на разностенность гильз. Для повышения износостойкости и снижения склонности налипания металла на рабочую поверхность разработана новая конструкция направляющих линеек с подачей охладителя непосредственно в процессе прокатки на рабочую поверхность. Выполнено промышленное опробование разработанных технических решений.*

*Ключевые слова: прошивка, деформация, коэффициент вытяжки, разностенность, направляющие линейки, износостойкость*

В настоящее время актуальной задачей для трубопрокатных заводов России является модернизация действующих и ввод в эксплуатацию новых высокотехнологичных трубопрокатных агрегатов (ТПА) для прокатки труб нефтяного сортамента с высокой производительностью и производства труб специального назначения расширенного размерно-марочного сортамента небольшими партиями. Помимо этого, в современных экономических условиях требуется получать трубы широкого размерного сортамента с повышенными характеристиками по точности и качеству из непрерывнолитых заготовок круглого сечения унифицированных диаметров, благодаря чему достигается существенное снижение себестоимости бесшовных труб.

Один из эффективных методов получения труб широкого сортамента из углеродистых и легированных сталей — технологический процесс с использованием двойной прошивки. Достоинством операции двойной прошивки на двухвалковых станах винтовой прокатки является высокая гибкость процесса, позволяющая реализовать различные схемы деформирования заготовки: с «посадом», «размер в размер» и «подъемом» наружного диаметра гильзы как при первой,

так и при второй стадии процесса, благодаря чему появляется возможность максимальной унификации диаметров исходных заготовок.

В качестве направляющего инструмента на ТПА 70-270 АО «ВМЗ» используются линейки из низкоуглеродистой стали с наплавкой рабочей поверхности жаропрочным материалом. Процесс двойной прошивки осуществляется при неизменной настройке очага деформации, за исключением сменяемых между операциями оправок. В данном случае стойкости линеек необходимо уделять особое внимание, т. к. направляющий инструмент испытывает повышенные термоциклические нагрузки. Эффективным методом повышения стойкости технологического инструмента является снижение температуры его поверхности, что достигается за счет уменьшения времени контакта с металлом путем повышения угла подачи, увеличения частоты вращения валков, увеличения коэффициента осевой скорости [1, 2]. В технической литературе представлено большое количество исследований, направленных на повышение износостойкости валков и оправок при винтовой прошивке [3, 4]. На качество наружной поверхности гильз, стабильность ведения процесса прошивки и эффективное использование оборудования существенное влияние оказывает стойкость направляющих линеек [5], однако в технической литературе опубликовано мало исследований, посвященных этой тематике.

Для оценки влияния коэффициента вытяжки при прошивке на разностенность гильз, энергосиловые и кинематические параметры процесса, температурное состояние металла проводили прокатку труб размером 194,5x15,9 мм из стали марки Д. План эксперимента включал изготовление труб из заготовки диаметром 190 мм по пяти различным маршрутам прокатки при одинаковой настройке очага деформации:

- обжатие заготовки в пережиме,  $U_p = 11,5 \%$ ;
- обжатие заготовки перед носком оправки,  $U_0 = 5 \%$ ;
- коэффициент овализации в пережиме,  $\xi = 1,13$ .

В рамках эксперимента изменяли распределение коэффициента вытяжки между первым и вторым проходами, последняя группа труб была произведена за одну операцию прошивки с коэффициентом вытяжки 2,76.

На рисунке 1 представлена диаграмма относительной разностенности труб, прокатанных по различным вариантам прокатки.

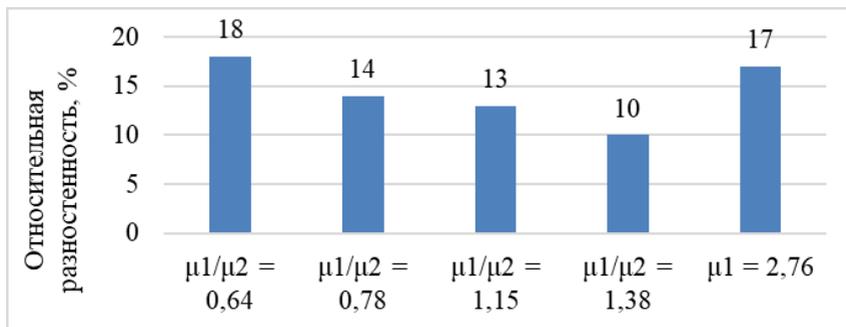


Рисунок 1. Относительная разностенность труб, прокатанных по различным вариантам прокатки

Анализ диаграммы свидетельствует о существенном снижении разностенности труб, прокатанных по 4-му варианту прокатки с двойной прошивкой при отношении  $\mu_1/\mu_2 = 1,38$ . Относительная разностенность труб, прокатанных по этому варианту, не превышает 10 %. Для сравнения: относительная разностенность труб, полученных за одну операцию прошивки, составляет 16,8 %.

Для оптимизации температурного режима в процессе двойной прошивки выполняли исследование температурного состояния гильз.

Исследование проводили с использованием тепловизора MIKRON M7604F, температуру при двойной прошивке фиксировали на трех стадиях:

- заготовка в момент передачи ее на входную сторону прошивного стана;
- гильзы после первой прошивки на входной стороне перед второй деформацией;
- гильзы после второй прошивки на выходной стороне прошивного стана.

В каждой из групп, состоящих из трех гильз, каждая из них прокатывалась с различной частотой вращения валков прошивного стана 40,50 и 60 об/мин.

Гильза из третьей группы прокатанная при максимальной частоте вращения валков имела температуру 1212 °С, что на 10 °С ниже температуры гильзы, полученной за одну операцию прошивки, что обусловлено минимальным временем проведения операции двойной прошивки.

На основе результатов исследования температурного состояния металла можно утверждать, что увеличение частоты вращения валков — эффективный способ повышения температуры гильз. Также следует отметить, что деформационный разогрев может полностью компенсировать вынужденные потери тепла в процессе двойной прошивки за счет интенсификации процесса деформации, рационального распределения коэффициентов вытяжки между проходами, а также снижения тепловых потерь при вспомогательных операциях. На основании экспериментальных данных определены условия ведения процесса двойной прошивки с одного нагрева с сохранением необходимого уровня температур гильз перед последующими стадиями деформации.

*Разработка и промышленное опробование направляющих линеек новой конструкции*

Для повышения износостойкости и повышения качества наружной поверхности труб была разработана новая конструкция направляющих линеек с подачей охладителя непосредственно на рабочую поверхность инструмента в процессе прокатки (рисунок 2).

В результате успешных прокаток в промышленных условиях опытной партии труб, разработанная конструкция подтвердила свою работоспособность. На рабочих поверхностях линеек не наблюдалось налипшего металла. Дефектов поверхности гильз не выявлено.

В результате комплексных исследований процесса двойной прошивки разработаны и внедрены новые режимы деформации и технологический инструмент, снижающие относительную разностенность труб на ТПА 70-270 в среднем на 3 %. Двойная прошивка заготовок с суммарным коэффициентом вытяжки 2,7 и более позволяет снизить относительную разностенность гильз на 7 % по сравнению с прошивкой за одну операцию.

На основании теоретических и экспериментальных исследований определены условия ведения процесса двойной прошивки с одного нагрева с сохранением требуемого уровня температур гильз в ис-

следующем диапазоне перед последующими стадиями деформации. Определены мероприятия по снижению тепловых потерь гильз в условиях ТПА 70-270. Предложено вести процесс двойной прошивки при максимальной частоте вращения валков, внедрить мероприятия по снижению времени вспомогательных операций.

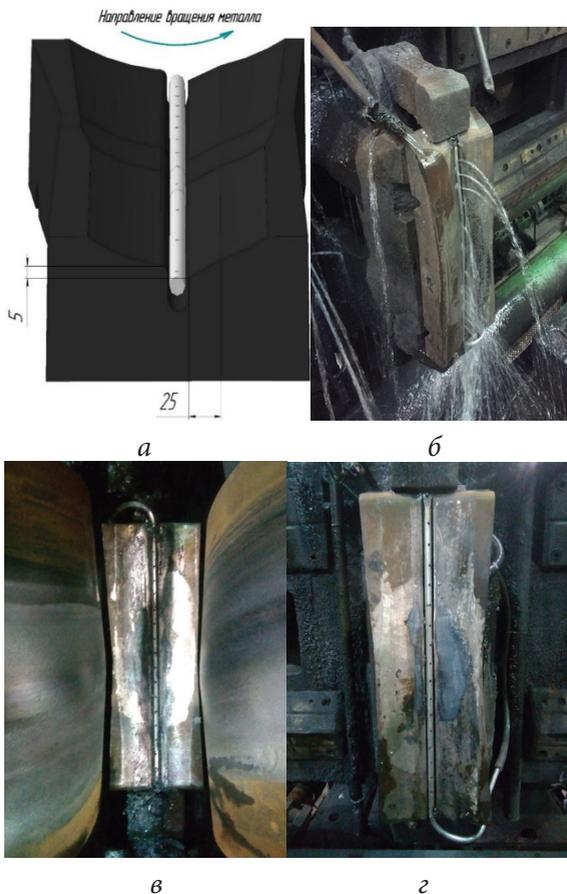


Рисунок 2. Конструкция направляющих линеек с подачей охладителя непосредственно на рабочую поверхность инструмента в процессе прокатки:  
 а — 3D-сборка; б — верхняя линейка до проведения экспериментальных прокаток;  
 в, г — нижняя и верхняя линейки после прокатки 50 труб

Разработана, исследована и опробована новая конструкция направляющих линеек с подачей охладителя непосредственно на рабочую поверхность инструмента в процессе прокатки, позволяющая повысить их износостойкость и снизить склонность к налипанию прокатываемого металла.

#### *Список использованной литературы*

1. Romantsev B. A., Aleshchenko A. S., Tsyutsyura V. Y., Tyshchuk I. N., Lube I. I. Features of Piercing Mill TPA 50–200 Working Roll Wear During Rolling Continuously-Cast and Hot-Rolled Billets, 2017, Metallurgist, 60, 9–10, p. 1062–1069.

2. Romantsev B. A., Matyko O. K., Goncharuk A. V., Aleshchenko A. S., Polivets A. V. Improving the wear resistance of piercing-mill mandrels, 2008, Steel in Translation, 38, 11, p. 897–899.

3. Коновалов М. С., Шеногин В. П. Исследование стойкости оправки из сплава на основе Ni3Al при прошивке прутков стали марки 08X18H10T-Ш. // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. — Т. 15. — № 2. — С. 39–42.

4. Герасимов Ю. Л., Авдеев С. В., Бобарикин Ю. Л. Исследование влияния особенностей оксидированного покрытия прошивных оправок на их эксплуатационную стойкость // Черные металлы. — 2017. — № 7. — С. 46–49.

5. Gevorgyan, G. A., Vorobiev, R. A., Pachurin, G. V., &Kuzmin, A. N. (2020). Steel selection and optimization of plug heat treatment for piercing seamless pipes. Chernye Metally, 2020(4), 32–37.

6. Романцев, Б. А. Сравнительный анализ процесса прошивки в станах винтовой прокатки / Романцев Б. А., Гончарук А. В., Галкин С. П. // Металлургическая и горная промышленность. — 2011. — № 7. — С.153–158.

7. Албагачиев А. Ю., Яшков В. А., Силин Л. В. К вопросу оценки качества опорной поверхности при шлифовании сборным абразивным кругом // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 4 (14). — С. 24–27.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ В СТАЛИ 20ГЛ НА ЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Д. В. Приуполин, А. В. Будруев  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. В данной работе изучается проблема излома боковых рам тележек грузовых вагонов. Предлагается использование нового метода термического упрочнения — объемноповерхностная закалка. Применение данного метода позволяет получить градиентную структуру и высокие эксплуатационные характеристики для стали 20ГЛ. Для изучения влияния термического упрочнения методом ОПЗ на боковые рамы проводились следующие исследования: проводилась термическая обработка на образцах разными методами: нормализация, закалка, ОПЗ проводилось измерение микротвердости термических упрочненных образцов; был проведен металлографический анализ образцов; проведен анализ микроструктуры по сечению образцов; проводились испытания на одноосное растяжение для определения механических характеристик. По результатам исследований проводился сравнительный анализ механических характеристик и определена микроструктура для каждого образца.*

*Ключевые слова: сталь, механические свойства стали*

В настоящее время железные дороги нуждаются в решении проблемы эксплуатационного разрушения боковых рам тележек грузовых вагонов. Решение этой проблемы необходимо для обеспечения безопасности на сети железных дорог. За последние годы наблюдается статистика сходов на железной дороге, которые произошли в том числе из-за некачественных комплектующих.

Наиболее тяжелая проблема на сегодняшний день остается низкое качество литых деталей тележек грузовых вагонов, выпускаемых вагоностроительными заводами. Все разрушенные боковые рамы тележек находились в эксплуатации не более двух-трех лет с момента изготовления при гарантированном заводами-изготовителями нормативном сроке службы 32 года. Поэтому отрасль железных дорог

нуждается в усовершенствовании методов производства и эксплуатации используемой продукции [1].

В 2013 году на Российских железных дорогах произошло до 40 разрушений боковых рам. Эти данные характеризуют качество продукции, которая на сегодняшний день не выдерживает свои гарантийные сроки эксплуатации.

Для повышения качества и увеличения срока службы боковых рам необходимо улучшать механические свойства и снижать стоимости производства.

В данной работе предлагается подбор оптимальных режимов закалки и их влияние на механические свойства и изменении структуры для марки стали 20ГЛ, являющейся основным конструкционным материалом боковых рам. Выбор режима закалки позволит регулировать механические характеристики материала [2].

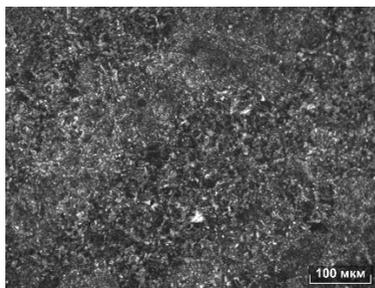
Целью работы является применение метода объемной-поверхностной закалки и получение градиентной структуры для стали 20ГЛ, сравнение ее механических свойств с другими методами термического упрочнения.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- проведение термической обработки образцов стали 20ГЛ разными методами: нормализация, закалка в воду, объемно-поверхностная закалка;
- измерение микротвердости образцов;
- проведение металлографического анализа образцов;
- измерение микротвердости по сечению образца;
- проведение испытаний на одноосное растяжение.

Результаты металлографического анализа

Исходя из полученных изображений с микроскопа, можно сделать вывод, что сталь 20ГЛ по всему сечению образца после закалки имеет мартенситоподобную структуру пластинчатого типа. После нормализации сталь 20ГЛ имеет феррито-перлитную структуру, а после объемной-поверхностной закалки наблюдается изменение структуры от феррита и перлита до трооститоподобной структуры. Пример изображений приведен на рисунке 1.



*Рисунок 1. Микроструктура после ОПЗ, увеличение  $\times 200$*

По полученным фотографиям структуры был рассчитан размер зерен для нормализации, закалки и ОПЗ. Полученные результаты приведены в таблице 1.

*Таблица 1. Результаты измерения размера зерна в структуре стали 20ГЛ после различных термических обработок*

Режим Т. О.	Средний размер зерна, мкм		
	Поверхностная зона	Промежуточная зона	Середина образца
Нормализация	20,4	20,8	24,6
Закалка	8,5	9,5	10,6
ОПЗ	3,8	3,1	0,4

Наблюдается различный размер зерен после нормализации и закалки. Для нормализации средний размер зерен составил от 20,4 до 24,6 мкм, а после закалки от 8,5 до 10,6 мкм. После ОПЗ средний размер зерна составил от 0,4 до 3,8 мкм. Видно, что размер зерна существенно не различается по сечению образца как после нормализации, так и после закалки. Однако после ОПЗ наблюдается значительное уменьшение размера зерна от поверхностной зоны к середине образца.

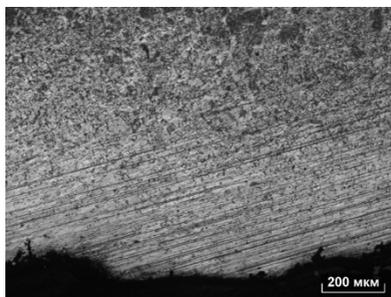
#### *Результаты измерения микротвердости*

Объемно-поверхностная закалка позволяет увеличить микротвердость до 254 HV, а закалка в воду — до 504 HV по сравнению с применением метода нормализации (197 HV).

### *Анализ градиентной микроструктуры после ОПЗ*

Были сделаны фотографии структуры образцов на оптическом микроскопе, полученных после объемно-поверхностной закалки.

На поверхности образца наблюдается обезуглерожженный слой на глубину 0,357 мм (рисунок 2). Полученный обезуглерожженный слой находится в пределах допусковых норм.



*Рисунок 2. Обезуглерожженный слой на поверхности детали после ОПЗ, x100*

Анализируя все полученные изображения на каждом расстоянии в 1 мм от поверхности образца, получили следующие изменения микроструктуры: в поверхности наблюдается обезуглерожженный слой, феррит+перлит. На глубине от 1,5 мм до 2 мм наблюдается перлит с прослойками феррита, а от 2 мм до 4,5 мм наблюдается феррито-перлитная смесь с участками троостита. Далее на расстоянии от поверхности от 4,5 мм до 8 мм наблюдается феррито-перлитная смесь с участками сорбита.

### *Результаты испытаний на одноосное растяжение*

По результатам испытаний (таблица 2) на одноосное растяжение были определены механические характеристики для разных видов термического упрочнения.

По результатам на растяжение сталь 20ГЛ после имеет более высокую твердость и предел текучести, чем при нормализации и более высокое относительное удлинение. Сталь 20ГЛ после закалки имеет более высокую твердость, чем после ОПЗ, однако ее относительное удлинение в 2 раза меньше. Эти данные подтверждают наличие мар-

тенситоподобной структуры в стали после закалки, что делает ее нежелательной для изготовления боковых рам поездов.

*Таблица 2. Механические свойства стали 20ГЛ при испытании на растяжении при разных режимах термической обработки*

Режим термической	Предел текучести,	Предел прочности,	Относительное удлинение,
	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_r$ , МПа	
Нормализация	358	584	33,8
Закалка (край)	1379	1596	15,8
Закалка (середина)	1329	1524	12
ОПЗ 1 мм	485	614,2	28,3
ОПЗ 2 мм	560	700	29,5
ОПЗ 3 мм	545	704,28	24,8
ОПЗ 4 мм	535	703,79	29
ОПЗ (середина)	567	721	23,5

*Список использованной литературы*

1. Гладкова А. В. Детали безопасности — решение проблемы излома боковых рам тележек грузовых вагонов // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте. — 2015. — С. 75–83.
2. Отливки стальные. ГОСТ 977. Издание официальное. — М. : 1990.
3. Эфрон Л. И., Волкова Е. А., Кудашов Д. В., Чевская О. Н., Мишетьян А. Р. Формирование структуры при нагреве под прокатку микролегированных ниобием трубных сталей // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2020. — № 4. — С. 24–33.
4. Смирнов А. Ю., Александрова Е. Н., Уснунц-Кригер Т. Н. Построение механических характеристик асинхронных двигателей по паспортным данным // Интеллектуальная электротехника. — 2020. — № 3 (11). — С. 53–63.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ МАРКИ СТАЛИ КЕ1-55

К. Е. Ремизов, О. А. Комолова, В. М. Сафонов  
НИТУ «МИСиС», г. Москва  
ИМЕТ РАН, г. Москва

*Аннотация.* Проанализирована технология производства трубной марки стали КЕ1-55. Определены условия удаления фосфора и серы из металла. Определена масса попадающего печного шлака в сталеразливочный ковш во время выпуска полупродукта. Проведен ФГА проб металла, по результатам которого выявлены основные НВ, общий кислород и азот в исследуемых образцах.

*Ключевые слова:* оксидные неметаллические включения, фосфор, сера, качество трубной марки стали

Качество непрерывно литых заготовок, применяемых при производстве трубной продукции, в значительной мере определяется химическим составом в довольно узких пределах, содержание примесей и газов (P, S, N, H), содержание неметаллических включений разного состава, размера и природы образования разливаемой стали [1, 2].

В данной работе произведен анализ технологии трубной марки стали КЕ1-55. Данная сталь применяется для изготовления обсадных труб класса прочности К55. Обсадные трубы используют для укрепления нефтяных и газовых скважин в процессе бурения и последующей эксплуатации, обеспечивая целостность стенок скважины на всем протяжении эксплуатационного периода, поэтому обсадные трубы должны иметь высокие прочностные характеристики [3].

По данным промышленных паспортов плавок, проанализирована технологическая цепочка производства трубных марок стали КЕ1-55, 05ХГБ, 13ХФА, К56 и 17Г1С в условиях АО «ВМЗ» Литейно-прокатного комплекса (ЛПК) за 2020 год. По данным паспортов определены среднее и среднеквадратичные отклонения концентрации фосфора и серы в металле на различных участках технологической цепочки ДСП-АКП-ВД-МНРС производства стали. Диаграмма изменений

концентрации фосфора и серы в металле на различных этапах производства представлена на рисунке 1.

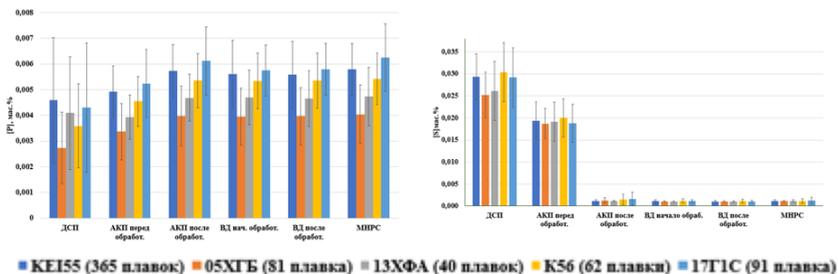


Рисунок 1. Среднее содержание фосфора и серы в стали и его среднеквадратичное отклонение на различных этапах производства (технологической цепочки ДСП-АКП-ВД-МНПС)

Из рисунка 1 видно, что наименьшее содержание фосфора в металле наблюдается в пробах металла с ДСП. В ДСП создаются благоприятные условия для удаления фосфора, согласно отобранным пробам перед выпуском полупродукта  $[P]_{\text{сред}}^{\text{п/п}} = 0,004$  мас. %. При последующей обработке стали на агрегатах ковшевой обработки, концентрация фосфора увеличивается, а в аттестационных пробах  $[P]_{\text{сред}} = 0,006$  мас. %. Увеличение содержания  $[P]$  в пробах металла на этапах ковшовой обработки и разлива стали происходит за счет фосфора, содержащегося в присаживаемых материалах, также происходит рефосфорация из попадаемого в сталеразливочный ковш печного шлака во время выпуска полупродукта.

Построенная диаграмма показывает, что в дуговой сталеплавильной печи концентрация серы самая высокая по сравнению с другими участками выплавки стали и достигает в среднем 0,0028 масс. %. При дальнейшей обработке стали происходит десульфурация металла, из-за низкого содержания оксида железа и большого оксида кальция в шлаке, а также продувки аргоном способствующей перемешиванию металла. Так в первой пробе, отобранной на АКП,  $[S]_{\text{сред}} = 0,019$  мас. %, за счет ввода шлакообразующих в момент выпуска углеродистого полупродукта в сталеразливочный ковш. В последней про-

бе, отобранной перед отправкой ковша на разливку или вакууматор, концентрация серы 0,001 мас. %, достигаемой путем обновления навводимого синтетического шлака.

В работе рассчитана масса печного шлака, попадающего в сталеразливочный ковш. Для расчета использовались данные паспортов пяти промышленных плавов: химический состав металла в ДСП перед выпуском и на АКП, количество и состав добавляемых материалов при дальнейшей обработке стали на АКП, химический состав шлака в ДСП и на АКП. Расчетами установлено, что при массе шлака в сталеразливочном ковше 3900 кг средняя масса вводимых шлакообразующих составляет 3400 кг, масса попавшего в ковш печного шлака составляет порядка  $490 \pm 240$  кг (рисунок 2). Попадание в сталеразливочный ковш печного шлака, помимо возможного процесса восстановления фосфора из печного шлака, приводит к увеличению расхода массы раскислителей из-за высокой окисленности печного шлака.

По результатам расчета технологии выплавки углеродистого полупродукта в ДСП показано влияние окисленности и основности шлака на равновесное содержание фосфора в металле при заданной температуре. Основные условия, способствующие снижению концентрации фосфора в полупродукте, являются: высокие окисленность и основность шлака, окисленность металла и пониженная температура (рисунок 3).

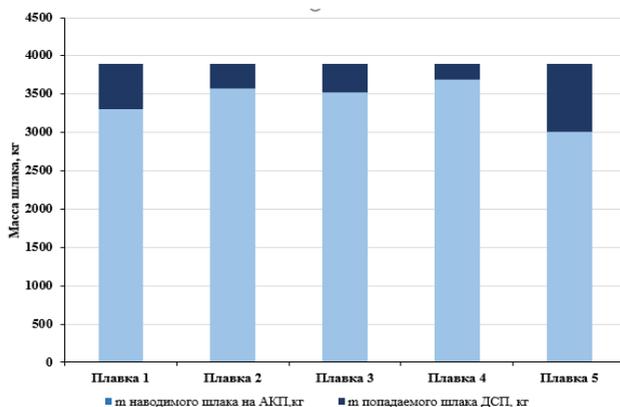


Рисунок 2. Соотношение печного и навведенного шлака на АКП для пяти промышленных плавов

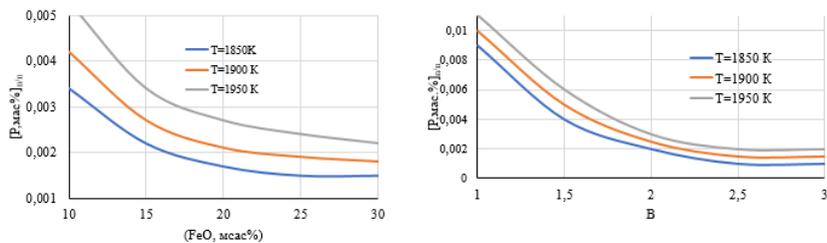


Рисунок 3. Влияние окисленности шлака (FeO) и основности (B) шлака на процесс дефосфорации

По результатам построенных диаграмм определены рациональные условия, обеспечивающие снижение концентрации фосфора ( $[P]_{п/п} < 0,005$  мас. %): (FeO) = 25–28 мас. % и B = 1,5–2,7). Увеличение окисленности шлака более 23 % не приводит к значимому снижению содержания фосфора в металле.

Расчет технологии позволил определить рациональные условия для процесса десульфурации стали. Для начальной концентрации серы в металле  $[S]_{расчет.} = 0,013$  мас. %, наводимый шлак (таблица 2,  $\lambda = 2,1$  %, B = 2,6) позволит получить конечную концентрацию серы  $[S]_{расчет.} = 0,001$  мас. %.

Для проведения анализа содержания оксидных неметаллических включений (НВ) в стали был выполнен фракционный газового анализа (ФГА) [4] отобранных по всей технологической цепочке производства проб металла. ФГА позволяет определить общее количество кислорода и азота, кислорода в оксидных НВ. Исследование проводилось на газоанализаторе LECO TC600, от каждой пробы металла были отобраны по три образца для проведения параллельных исследований. Полученные кривые газовыделения обрабатывались с помощью программного обеспечения Oxide Separation, определены общее содержание кислорода и азота, содержание кислорода в оксидных НВ (рисунок 4).

По результатам ФГА, в исследуемых образцах стали, были обнаружены три основные группы оксидных НВ: силикаты, алюминаты, шпинели. В пробе АКП2 после введения кремне- и алюмосодержащих материалов в сталеразливочный ковш во время выпуска полупродукта

из ДСП, общее содержание кислорода в металле составляло 35 ppm. Уменьшение содержания оксидных типов НВ в образцах АКП4, АКП6 по сравнению с АКП2 свидетельствует о влиянии режима перемешивания металла инертным газом, позволяющего удалить неметаллические включения из металла. Во время непрерывной разливки стали, согласно результатам анализа образцов пробы из промежуточного ковша (МНРС), происходит некоторое увеличение содержания общего кислорода и азота, что свидетельствует о вторичном окислении стали.

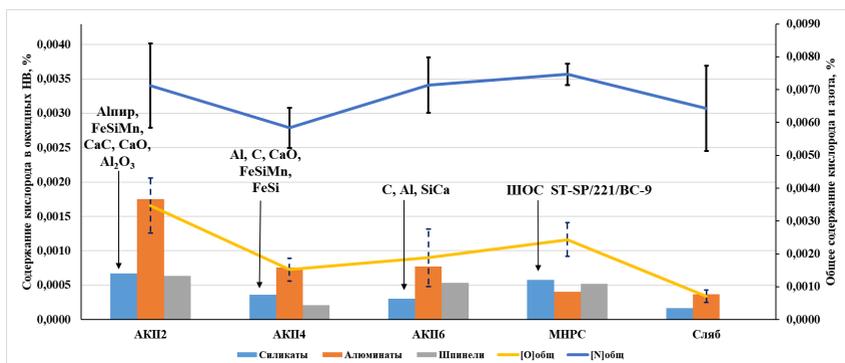


Рисунок 4. Результат ФГА проб стали KEI-55

Наименьшая концентрация  $[P]_{\text{сред}} = 0,004$  мас. % в ДСП, расчетное значение в равновесии  $[P]_{\text{ш/п}} = 0,002$  мас. %. Увеличение концентрации фосфора по окончании ковшевой обработки стали в среднем на  $0,0012$  мас. % происходит из добавочных материалов, рефосфорации из попадаемого печного шлака.

В углеродистом полупродукте средняя концентрация  $[S]_{\text{дсп}} = 0,028$  мас. %. После наведения синтетического шлака на АКП и перемешивания инертным газом концентрация серы снижается и по завершению обработки стали на АКП  $[S] = 0,001$  мас. %, аналогичное значение при расчете в равновесии.

Рассчитана масса попадаемого печного шлака в сталеразливочный ковш, во время выпуска полупродукта, по данным паспортов 5 плавков. Расчеты показали попадание печного шлака около 12 % от массы шлака.

По результатам расчета в равновесии определены условия снижения концентрации фосфора. Содержание (FeO) = 25–28 мас. % и В = 1,5–2,7 шлака позволит получить [P]п/п < 0,005 мас. %. При окисленности шлака более 23 % процесс дефосфорации замедляется. Не превышение (FeO) = 30 % позволит сократить затраты на производство стали на 20 млрд р.

Расчетом технологии выплавки стали КЕИ-55 определены параметры наводимого шлака на АКП  $\lambda = 2,1 \%$ , В = 2 и содержание (СаО) > 50 мас. %, позволяющие получить  $[S]_{\text{кон.}} = 0,001$  мас. %.

По результатам ФГА, в исследуемых образцах стали, обнаружены три основные группы оксидных НВ: силикаты, алюминаты, шпинели. Уменьшение содержания оксидных типов НВ возможна при перемешивании металла инертным газом и ввода кальция. Рациональный режим продувки инертным газом, не оголяющий зеркало металла, обеспечит защиту от вторичного окисления

#### *Список использованной литературы*

1. Исследование процесса продувки жидкой стали в сталеразливочном ковше инертным газом / Каменев А. А., Кожухов А. А., Семин А. Е. // XIV Международный конгресс сталеплавильщиков. — 2018. — С. 279–282.

2. Исследование вторичного окисления алюминия на этапе ковшевой обработки стали / В. М. Сафонов, В. А. Мурысев, Д. Г. Еланский, В. В. Кислица, С. А. Сомов, Д. В. Мороз // XIV Международный конгресс сталеплавильщиков. — 2018. — С. 314–319.

3. Обсадные трубы ОМК — URL: <https://omk.ru/business/catalog/casingtubing/>

4. Григорович К. В. Обработка и интерпретация результатов фракционного газового анализа / К. В. Григорович [и др.] // Заводская лаборатория. — 2002. — № 9. — Том 68. — С. 3–9.

5. Лещинская А. Ф. Маншидин С. А. Модель стимулирования инновационной деятельности промышленных корпораций // Финансовые рынки и банки. — 2020. — № 1. — С. 26–30.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИНТОВОЙ ПРОШИВКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕПРЕРЫВНО ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

А. В. Фомин, В. П. Романенко, А. А. Севастьянов

НИТУ «МИСиС», г. Москва

ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса

*Аннотация.* Проведено исследование влияния винтовой прошивки на механические свойства непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) из колесной стали марки Т. Показано, что прошивка в стане винтовой прокатки с небольшими обжатиями (коэффициенте вытяжки  $\mu = 1,36$ ) способствует повышению значений ударной вязкости. Наиболее высокие механические свойства в результате деформационного воздействия приобретает металл из центральной части НЛЗ (значения ударной вязкости образцов прошитой заготовки по сравнению с исходной литой заготовкой, вырезанной из центральной части НЛЗ: в тангенциальном в  $\approx 1,5$  раза, в продольном направлении в  $\approx 1,6$  раза. После прошивки в стане винтовой прокатки снижается точечная неоднородность: в центральной части с 4 до 2 баллов, в периферийной части с 2,5 до 1 балла.

*Ключевые слова:* винтовая прокатка, колесная сталь марки Т, железнодорожные колеса, особо толстостенные гильзы, ударная вязкость колесной стали, непрерывнолитая заготовка

Улучшение качества железнодорожных колес возможно за счет предварительного деформационного воздействия исходной литой заготовки [1]. В работах [2, 3] показано положительное влияние винтовой прошивки на формирование свойств и структуры колесной стали мартеновского производства.

Проведено экспериментальное исследование влияния винтовой прошивки на механические свойства и структуру НЛЗ из колесной стали марки Т.

Экспериментальное исследование проводили в условиях научно- производственного центра ОМД НИТУ «МИСиС». В качестве исходных заготовок применяли заготовки диаметром 100 мм, вырезанные из центральной, срединной и периферийной части, вырезанные из НЛЗ диаметром 455 мм. Схема вырезки представлена на рисунке 1. Прошивка проводилась на двухвалковом стане винтовой прокатки МИСиС-130Д при угле подачи  $\beta=140$  и коэффициенте вытяжки  $\mu=1,36$ . В результате получены особотолстостенные гильзы наружным диаметром 92 мм и внутренним 30 мм (отношение  $D/S \approx 3,1$ ). Механические свойства оценивали по результатам испытаний на ударный изгиб, в соответствии требованиями ГОСТ 9454-78 на образцах  $5 \times 10 \times 55$  мм с U-образным концентратором напряжений при температуре  $+20$  °С.

Выполнено сравнительное исследование макроструктуры стали исходных литых и прошитых заготовок. Сравнительное исследование макроструктуры проводили на поперечных темплетах заготовок, вырезанных из центральной и периферийной части НЛЗ. Дефекты макроструктуры оценивали в соответствии с ГОСТ 10243-75.

Результаты механических испытаний на ударный изгиб представлены на рисунке 2. В результате выполненной работы показано, что винтовая прокатка способствует повышению значений ударной вязкости колесной стали. При прошивки колесной стали значения ударной вязкости заготовок, вырезанных из центральной части НЛЗ, повышаются в тангенциальном и продольном направлении в  $\approx 1,5$  и  $\approx 1,6$  раза.

При исследовании макроструктуры исходных заготовок, вырезанных из центральной части и периферии, отмечена точечная неоднородность: в центральной части 4 балла, в периферии 2,5 балла. После прошивки в стане винтовой прокатки точечная неоднородность снижается: в центральной части –2 балла, в периферии –1 балл.

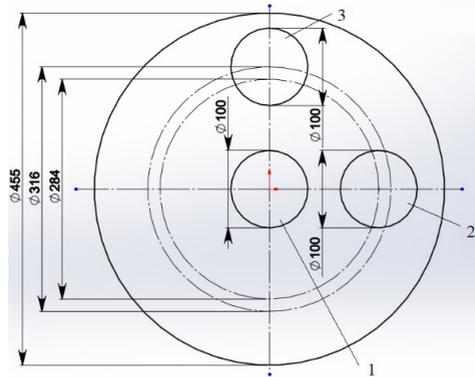


Рисунок 1. Схема вырезки заготовок диаметром 100 мм из НЛЗ (1 — центральная часть, 2 — срединная часть, 3 — периферийная часть)

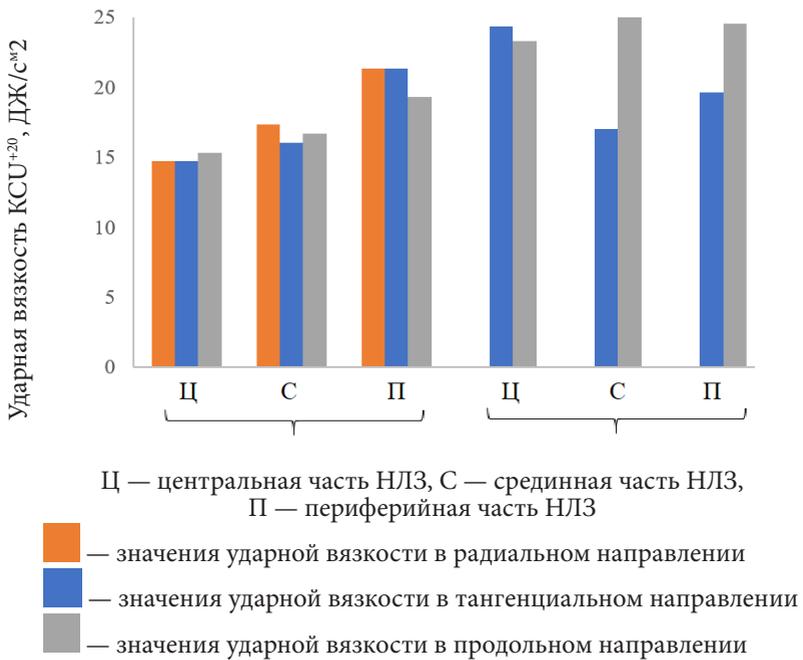


Рисунок 2. Значения ударной вязкости исходной НЛЗ (а) и после прошивки в стане винтовой прокатки при угле подачи  $\beta=140$

### *Список использованной литературы*

1. Бибик Г. А., Иоффе А. М., Праздников А. В., Староселецкий М. И. Производство железнодорожных колес. — М. : «Металлургия», 1982. — 232 с.
2. Романенко В. П., Фомин А. В., Бегнарский В. В. и др. Деформационное воздействие винтовой прокатки на литую колесную заготовку // *Металлург.* — 2012. — № 10 — С. 51–56.
3. Романенко В. П., Фомин А. В., Комков Н. А. и др. Влияние схемы деформационного воздействия на литой металл колесной стали // *Известия вузов. Черная металлургия.* — 2012. — № 11 — С. 28–31.
4. Мялкин И. В. Формирование информационной образовательной среды на примере Выксунского филиала ФГАОУ Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» // *Информатизация непрерывного образования* — 2018. — Материалы Международной научной конференции: в 2 томах. Под общей редакцией В. В. Гриншкунa. — 2018. — С. 683–685.
5. Смирнов А. Ю., Кашканов А. О., Уснунц-Кригер Т. Н. Исследование влияния формы импульсов на процесс пуска индукторных двигателей в шаговом приводе с инвертором тока // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика.* — 2019. — Т. 62. — С. 29–35.

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЛПК**

А. Н. Рыбин, С. М. Горбатюк  
Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса

*Аннотация. Цель работы — выявление зависимости удельного расхода электроэнергии от влияющих на нее факторов статистическим методом. Основные факторы, влияющие на величину расхода электроэнергии в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) и на ковш*

печь (КП) связаны с шихтовыми материалами и с технологическим режимом плавки.

Ключевые слова: обработка стали, сталь, расход электроэнергии, литейнопрокатный комплекс, ЛПК

Используя критерии заваливаемой металлошихты химического состава выплавляемого полупродукта, массив используемых в работе данных состоял из 603 паспортов плавок, который разбили на 3 группы. I и II вариант шихтовки, состоящий из металлического лома на 80 % и 20 % чушкового чугуна, применяемый для низкоуглеродистых, и среднеуглеродистых марок сталей. III вариант шихтовки, металлический лом — 40 %, чугун чушковый — 25 %, горячебрикетированное железо — 35 %, для выплавки низкоуглеродистых и вакуумируемых марок сталей.

На основе статистического анализа плавок получили уравнение зависимости: удельный расход электроэнергии ( $W_1$ ) кВт·ч/т от времени работы под током ( $\tau_{\text{ток}}$ ) мин к массе шлакообразующих ( $m_{\text{шл}}$ ) кг, и массы выпущенного полупродукта ( $m_{\text{п/п}}$ ) т, и выход годного ( $y$ ) т.

Уравнение для 1-й группы имеет вид:

$$W_{\text{дт}} = 214,685 + 7,789 \cdot \tau + 1,143 \cdot \frac{m_{\text{о.е.}}}{m_{\text{г/г}}} - 180,270 \cdot y$$

Для 2-й группы:

$$W_{\text{дт}} = 123,959 + 8,459 \cdot \tau + 1,438 \cdot \frac{m_{\text{о.е.}}}{m_{\text{г/г}}} - 130,705 \cdot y$$

Для 3-й группы:

$$W_{\text{дт}} = 190,432 + 7,386 \cdot \tau + 0,877 \cdot \frac{m_{\text{о.е.}}}{m_{\text{г/г}}} + 0,233 \cdot \frac{m_{\text{ААЕ}}}{m_{\text{г/г}}} - 153,245 \cdot y$$

Абсолютное расхождение величин составило для 1-й группы — 0,3...16 кВт·ч/т, для 2-й группы — 0,2...19 кВт·ч/т, для 3-й группы — 0,4...21 кВт·ч/т, или до 7 % для 3-й группы марок сталей.

Получили уравнение зависимости удельного расхода электроэнергии для ковша печи ( $W_{\text{КП}}$ ) кВт·ч/т от времени работы под током ( $\tau_{\text{ток}}$ ) мин к расходу аргона ( $V_{\text{Ар}}$ ) м<sup>3</sup>/т, массе отданных шлакообразующих ( $m_{\text{шл}}$ ) кг и температуре в конце обработки стали ( $T$ ) °С.

$$W_{\text{ЭИ}} = -73,778 + 2,097 \cdot \tau_{\text{ЭИ}} + 0,262 \cdot V_{\text{Ар}} + 0,736 \cdot m_{\text{о.э}} + T_{\text{К}} \cdot 0,046$$

Полученные уравнения можно отнести к оценочным, так как абсолютное отклонение результатов расчетов от фактических данных составляет для ДСП 0,2...21 кВт·ч/т, относительное до 7 %, а для КП — 0,2...3,2 кВт·ч/т, относительное 6 %.

### *Список использованной литературы*

1. Варнавский А. Н., Смолягина М. В. Исследование эффективности повышения социальной ответственности граждан при использовании мобильного экологического приложения // Будущее машиностроения России / Сборник докладов. Союз машиностроителей России. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. — 2018. — С. 473–475.

2. Шибанов К. С., Лосев А. Н. Анализ предпосылок использования методов бережливого производства // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 7 (108). — С. 199–201.

## **ПРОКАТ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ K52-K56 С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА В ХЛАДОСТОЙКОМ И КОРРОЗИОННОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИЯХ**

К. А. Удод, В. В. Науменко, Е. С. Мурсенков, О. А. Баранова,  
К. С. Сметанин

ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса

*Аннотация. В работе рассмотрены подходы к получению проката и труб в соответствии с требованиями методических указаний компании ПАО «НК «Роснефть», отличительной особенностью которых является пониженное содержание хрома. Для получения удовлетворительных результатов применен комплексный подход по легированию и внепечной обработке стали.*

*Ключевые слова: сталь, рулонный прокат, водородное растрескивание, содержание хрома, коррозионная стойкость*

16 января 2019 года вступили в действие методические указания компании (МУК) ПАО «НК «Роснефть» — «Единые технические требования. Трубная продукция для промысловых и технологических трубопроводов, трубная продукция общего назначения» [1], согласно которым в металле с требованиями по коррозионной стойкости в  $H_2S$ -средах содержание хрома не должно превышать:

— 0,30 % для классов прочности до К50;

— 0,45 % для классов прочности от К52 до К60.

В настоящее время в сталях, производимых в условиях ЛПК с требованиями по коррозионной стойкости в кислых средах (05ХГБ, 13ХФА), содержание хрома составляет для стали 13ХФА — 0,50–0,60 %, 05ХГБ — 0,60–0,70 % [2–4].

С целью удовлетворения требований потребителя по обеспечению содержания хрома не более 0,45 % для классов прочности от К52 до К60 с марта 2019 года в условиях ЛПК реализуется НИОКР собственными силами ИТЦ по теме «Разработка технологии производства рулонного проката и труб классов прочности до К56 с пониженным содержанием хрома с требованиями по хладостойкости и коррозионной стойкости в  $H_2S$ -средах согласно требованиям МУК ПАО «НК «Роснефть»».

За основу был взят химический состав стали 05ХГБ с изменением по содержанию хрома (снижен с 0,60–0,70 до 0,35–0,45 %). Технология выплавки, внепечной обработки, разливки и контролируемой прокатки соответствовала стали 05ХГБ, производимой в условиях ЛПК с требованиями по коррозионной стойкости в  $H_2S$ -средах [5].

В ходе отработки технологии производства на ЛПК произведено 3 опытных плавки, в ходе проведения которых незначительно корректировался химический состав в сторону увеличения массовой доли марганца и ниобия (таблица 1).

Наиболее стабильные результаты испытаний механических и коррозионных свойств рулонного проката были получены при производстве опытной плавки В (Mn 0,91 %), предназначенной для изготов-

ления труб 219x8 мм согласно требованиям Методических указаний компании ПАО «НК «Роснефть».

*Таблица 1. Химический состав опытных плавков для производства проката К52*

Плавка	С	Si	Mn	Cr	Ti	V	Nb
А	0,05	0,26	0,76	0,40	0,001	0,003	0,028
Б		0,26	0,83	0,40	0,001	0,003	0,034
В		0,24	0,91	0,38	0,001	0,004	0,033

Выбранная технология производства позволила произвести трубы класса прочности К52, соответствующие требованиям Методических указаний компании ПАО «НК «Роснефть» № П4-06 М-0111.

Для обеспечения класса прочности К56 произведено 2 опытных плавки, за основу которых также был взят химический состав стали 05ХГБ с увеличением содержания марганца и дополнительным легированием молибденом (таблица 2).

*Таблица 2. Химический состав опытных плавков для производства проката К52*

Плавка	С	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb
Г	0,05	0,25	0,69	0,39	0,098	0,003	0,030
Д	0,05	0,25	1,09	0,24	0,096	0,003	0,033

Установлено, что рулонный прокат плавки Г имеет минимальный запас по значениям временного сопротивления и предела текучести. Произведенные трубы из проката плавки Г характеризуются выпадками по временному сопротивлению и пределу текучести ниже уровня требований МУК ПАО «НК «Роснефть» к трубам.

Трубы и прокат, изготовленные из стали плавки Д, с запасом удовлетворяют требованиям нормативной документации по механическим характеристикам, однако для них получены неудовлетвори-

тельные результаты по водородному растрескиванию. На основании проведенного анализа установлено, что основной причиной водородного растрескивания в образцах являются скопления карбидов ниобия, а также вытянутых вдоль направления прокатки сульфидов марганца. В связи с повышенным содержанием марганца подготовлены рекомендации по корректировке обработки расплава кальцием для дополнительного связывания серы.

Работы по получению проката и труб класса прочности K56 с пониженным содержанием хрома в коррозионностойком и хладостойком исполнениях будут продолжены.

#### *Список использованной литературы*

1. Методические указания компании. Единые технические требования. Трубная продукция для промышленных и технологических трубопроводов, трубная продукция общего назначения. № П4-06 М-0111.

2. Кудашов Д. В., Семернин Г. В., Пейганович И. В. и др. Современная высокотехнологичная сталь 05ХГБ, предназначенная для изготовления электросварных нефтегазопроводных труб повышенной эксплуатационной надежности // Инженерная практика. — № 5. — 2015. — С. 50–56.

3. Кудашов Д. В. Новая трубная сталь 05ХГБ на страже надежности нефтегазопроводов // Территория Нефтегаз. — № 11. — 2015. — С. 126–127.

4. Червонный А. В., Науменко В. В., Мунтин А. В. и др. Разработка системы микролегирования для производства хладостойкого рулонного проката трубного назначения в условиях литейно-прокатного комплекса // Металлург. — 2016. — № 10. — С. 38–44.

5. Мурсенков Е. С., Кудашов Д. В., Кислица В. В., Ворожева Е. Л., Науменко В. В. Особенности технологии модифицирования кальцием и церием трубных марок стали с требованиями по стойкости в H<sub>2</sub>S-средах // Металлург. — 2018. — № 10. — С. 27–35.

6. Чиченев Н. А., Мурысев И. Ю., Назаров К. Е., Горбатюк С. М. Снижение внеплановых простоев нового оборудования на стадии его

закупки и выхода на проектную мощность // *Металлург*. — 2020. — № 3. — С. 97–102.

7. Смирнов А. Ю., Дарьенков А. Б., Зимин А. Ю., Уснунц-Кригер Т. Н. Синтез 3D-моделей униполярной индукторной машины // *Электротехника*. — 2018. — № 3. — С. 12–17.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ С ИНСТРУМЕНТОМ В ЛИНИЯХ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА**

В. А. Фадеев, А. Н. Фортунатов, В. И. Вдовина  
НИТУ «МИСиС», г. Москва

*Аннотация. Проведен физический эксперимент по определению контактных отпечатков трубной заготовки с валковым инструментом для трубы  $\varnothing 50 \times 1,5$  мм в условиях ТЭСА 30-50. Экспериментально полученные контактные отпечатки имеют криволинейные границы. Границы входных контактных поверхностей и расчет площадей определены степенными функциями. С помощью инженерной математической программы РТС Mathcad Prime 6.0. построен валковый инструмент с контактными поверхностями. Представлена диаграмма распределения тянущих и тормозящих усилий валков первой клетки в зависимости от кинематических параметров.*

*Ключевые слова: электросварная труба, непрерывная формовка, труба, контактный отпечаток, контактная площадь, тянущие усилия, формовочный стан*

Для определения тянущих возможностей калибра важно знать условия контактного взаимодействия ТЗ с валками и кинематические параметры процесса. Определение площади отпечатка в работе [1] позволяет установить параметры отпечатка и границы контакта в виде развертки на плоскости, при этом форма контактной площади описывается треугольниками. Недостаток методики заключается в приблизительном определении линии границы контактной поверхности

формуемой трубной заготовки на поверхности с валковым инструментом. С помощью методики [1] возможно определять оценочные значения параметров процесса формовки.

Экспериментальное исследование контактных поверхностей проводили в условиях научно-производственного центра ОМД НИТУ «МИСиС» на формовочном стане ТЭСА 30-50 [2].

Замер полученных контактных отпечатков осуществлялся от границы входного контакта до границы выходного контакта  $l_i$  в  $i$  — точках (16 точек) по ширине контактного отпечатка, расстояние между точками — 5 мм. Входным контактом является расстояние от начальной точки границы контакта до плоскости сечения оси калибра, а выходным контактом — расстояние от плоскости калибра до крайней точки границы контакта [3].

Результаты и обработка измерений для первой формовочной клетки (1.ОК) представлены на рисунке 1.

Соотношение окружных скоростей валков и скорости движения полосы является определяющей характеристикой тянущего усилия контактной зоны. Различие в линейных скоростях валков и полосы вызывает контактное скольжение, интенсивность которого зависит от разницы текущих диаметров валка и катающего диаметра. Если катающий диаметр расположен у кромки полосы или в ее середине, то на всей контактной поверхности несовпадение скоростей полосы и валка имеет один знак (опережение или отставание), а разница окружных скоростей по ширине калибра максимальна. Соответственно, скольжение получает наибольшее развитие, что ухудшает качество формуемой полосы, активизирует износ валков, требует дополнительного расхода энергии.

Уменьшению контактного скольжения и его негативного воздействия на процесс способствует более тесное согласование скоростей валков и полосы. Целесообразно выбирать (устанавливать) расположение катающих диаметров так, чтобы на контакте полосы с каждым из валков были зоны разнонаправленного несовпадения скоростей — опережение и отставание (рисунок 2). Это позволит сбалансировать тянущие и тормозящие усилия процесса формоизменения формуемой полосы.

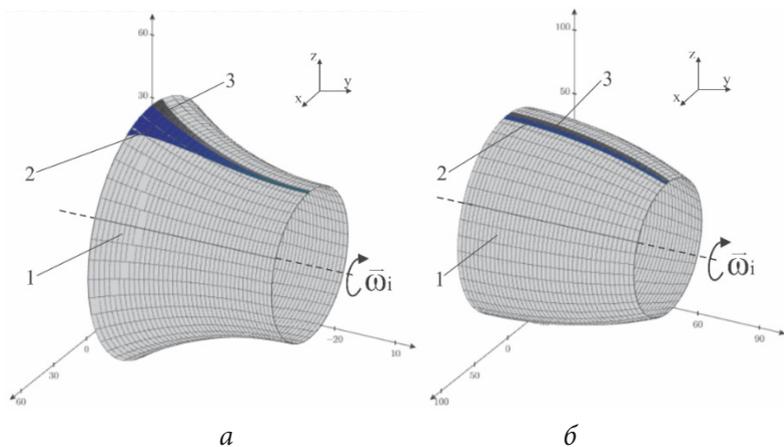


Рисунок 1. Нижний (а) и верхний (б) валки 1.ОК с контактными поверхностями: 1 — поверхность валка; 2 — входная контактная поверхность; 3 — выходная контактная поверхность

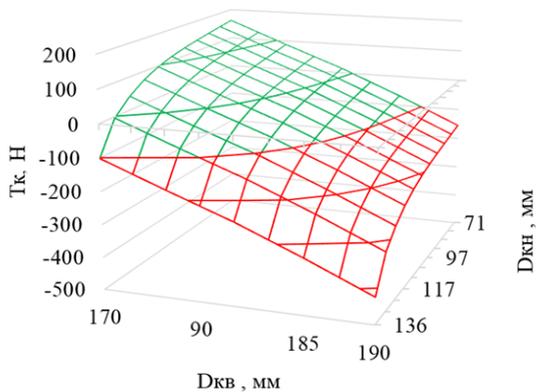


Рисунок 2. Тянущие усилия формоизменения полосы в зависимости от расположения катающих диаметров в 1.ОК

### *Список использованной литературы*

1. Машины и агрегаты трубного производства. Учебное пособие для вузов. А. П. Коликов В. П., Романенко С. В. Самусев и др. — М. : МИСиС, 1998. — 536 с.

2. Самусев С. В., Фадеев В. А. Исследование контактного взаимодействия полосы с рабочими валками при непрерывной формовке сварных труб в линии ТЭСА // Черные металлы. — 2020. — № 2. — С. 41–46.

3. Самусев С. В., Фадеев В. А. Совершенствование методики оценки параметров контактного взаимодействия трубной заготовки с валковым инструментом в линиях непрерывных ТЭСА // Черные металлы. — 2021. — № 4. — С. 14–19.

4. Фляйшер М., Грейнахер Й., Апфель Й., Еланский Д. Лидерство: производительность и затраты // Электрометаллургия. — 2007. — № 6. — С. 7–11.

5. Фортунатов А. Н. Теоретические основы отбора содержания обучения студентов технических вузов в условиях социального партнерства // Современные проблемы науки.

## **ПОЛИМОРФИЗМ (АЛЛОТРОПИЯ). ФАКТЫ И ОБЪЯСНЕНИЯ**

А. В. Цыганов, Н. И. Кокорева, Ю. Н. Жук  
ГБПОУ «Выксунский металлургический колледж  
имени А. А. Козерадского», г. Выкса

*Аннотация. Представлено содержание понятий «аллотропия» и «полиморфизм». Дано сравнение свойств аллотропных модификаций некоторых веществ, а также объяснение важности указанного явления для прогнозирования свойств используемых материалов. Особое внимание уделено явлению полиморфизма как основы для упрочнения сталей.*

*Ключевые слова: аллотропия, полиморфизм, кристаллическое строение, свойства*

Сущность полиморфизма (от греч. *polymorphos* — многообразный) состоит в том, что под влиянием определенных условий (изменение температуры, давления) некоторые вещества, в том числе и ряд металлов, способны изменять свою кристаллическую решетку при сохранении химического состава. С физической точки зрения превращение вещества из одной формы в другую обусловливается внутренней перегруппировкой атомов, которая ведет к изменению его кристаллической структуры и свойств. При этом различные формы кристаллической решетки одного металла или неметалла называют полиморфными модификациями, а процесс перехода из одной кристаллической формы в другую называют полиморфным или аллотропическим превращением. Каждой модификации свойственно оставаться устойчивой лишь в пределах определенного интервала температур. Температура, при которой происходит превращение одной кристаллической модификации в другую, называется температурой полиморфного превращения.

«Полиморфизм» и «аллотропия» — два связанных термина в неорганической химии. Разница между полиморфизмом и аллотропией заключается в том, что полиморфизм возникает в химических соединениях, а аллотропия — в химических элементах.

В качестве примеров полиморфных веществ можно привести углерод, серу, кремний, железо, кремнезём, рутил, углекислый кальций, олово, кобальт, титан.

Одним из ярких примеров полиморфизма является углерод, который имеет несколько модификаций. Наиболее известные модификации углерода — это графит и алмаз.

Кристаллическая решетка графита является гексагональной, не имеет прочных связей и представляет собой отдельные чешуйки, которые как бы скользят друг по другу, легко отделяясь от общей массы. Кристаллическая решетка алмаза — кубическая в форме тетраэдра, где каждый атом окружен четырьмя другими атомами, являясь вершиной тетраэдра. Кристаллические решетки графита и алмаза представлены на рисунок 1.

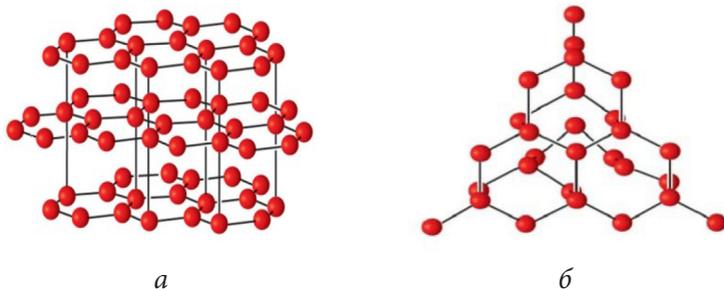


Рисунок 1. Кристаллическая решетка графита (а) и алмаза (б)

Графит — серо-черное кристаллическое вещество с металлическим блеском, жирное на ощупь, по твердости уступает даже бумаге. При этом алмаз — бесцветное, прозрачное кристаллическое вещество, является самым твердым природным минералом. Есть и другие различия. Характеристики графита и алмаза представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик графита и алмаза

Характеристика	Графит	Алмаз
Химическая формула	Углерод (С)	Углерод (С)
Прозрачность	Не пропускает свет	Хорошая светопроводимость
Металлический блеск	Присутствует	Отсутствует
Электропроводность	Проводник	Полупроводник
Максимальная температура, при которой минерал остается неизменным	3700 °С	720 °С
Плотность	2,23 г/см <sup>3</sup>	3,56 г/см <sup>3</sup>
Применение	Литейное производство, электроугольная промышленность	Ювелирное дело, промышленность

Другим примером полиморфизма является фосфор. Фосфор имеет несколько модификаций. В данной работе рассмотрены такие модификации, как белый и красный фосфор. Красный фосфор является термодинамически более стабильной модификацией.

Красный фосфор имеет атомную кристаллическую решетку, а белый — молекулярную. Кристаллические решетки белого и красного фосфора представлены на рисунке 2.

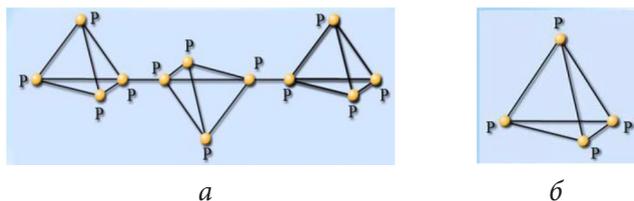


Рисунок 2. Кристаллическая решетка красного (а) и белого (б) фосфора

Белый фосфор представляет собой белое вещество. По внешнему виду он очень похож на очищенный воск или парафин, легко режется ножом и деформируется от небольших усилий. Характеристики красного и белого фосфора приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение характеристик красного и белого фосфора

Характеристика	Красный фосфор	Белый фосфор
Формула	Фосфор (P)	Фосфор (P)
Физическое состояние	Порошкообразное вещество	Твердое кристаллическое вещество
Цвет	Темно-красный	Белый
Запах	Отсутствует	Чесночный
Плотность	2,2 г/см <sup>3</sup>	1,8 г/см <sup>3</sup>
Свечение	Не светится	Светится на воздухе
Действие на организм	Не ядовит	Сильный яд
Применение	Компонент в факельных продуктах и дымовых устройствах	В оружии, в качестве добавки в напалме

**Примером полиморфизма металлов является, например, олово, которому свойственны аллотропные модификации трех типов.**

В данной работе представлено сравнение двух из них:  $\alpha$ -модификации, или серого олова, и  $\beta$ -модификации, или белого олова.

**Белое олово** существует при температуре выше  $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $231\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обладает тетрагональной кристаллической решеткой. Является мягким блестящим и пластичным металлом, обладающим серебристо-белым цветом. Плотность составляет  $7,29\text{ г/см}^3$ . Такое олово широко применяется в декоративно-прикладном искусстве. Благодаря легкости работы с ним создаются настоящие шедевры: украшения, церковная утварь, чаши, кубки.

При  $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  осуществляется переход в серое олово. Серое олово обладает гранцентрированной кубической кристаллической решеткой. Представляет собой порошок серебристого цвета. Плотность составляет  $5,85\text{ г/см}^3$ .

В результате полиморфного превращения  $\beta$ -модификации в  $\alpha$ -модификацию при температуре  $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  резко увеличивается объем олова, и изделие превращается в труху. Особенно быстро этот процесс может происходить при низких температурах. Разрушение оловянных предметов из-за превращения белого олова элемента в серое называют оловянной чумой. Из истории известно о гибели в 1912 г. экспедиции Р. Скотта, которая достигла Южного полюса, но не смогла вернуться домой. Запасы топлива находились в баках, пропаянных оловом. Горючее вытекло через разрушившиеся швы, и люди замерзли из-за отсутствия топлива.

Явление полиморфизма является чрезвычайно важным для сталей, так как создает основу для их упрочнения.

Одним из наиболее распространенных способов термического упрочнения стали является закалка, включающая в себя нагрев стали до температур выше критических, выдержку и охлаждение с высокой скоростью. При температурах, выше критических, сталь имеет структуру аустенит с гранцентрированной кубической решеткой (гцк). При быстром охлаждении происходит полиморфное превращение по мартенситному механизму, т. е. гцк-решетка аустенита перестраивается в объемно-центрированную решетку феррита с тем же содержанием углерода, что и в исходном аустените. Но поскольку феррит имеет значительно меньшую растворимость углерода по

сравнению с аустенитом, то объемно-центрированная решетка вытягивается по высоте, становится тетрагональной. Таким образом, получается совершенно другая структура, которую называют мартенситом. Мартенсит является основной структурой закаленной, т. е. упрочненной стали. Кристаллические решетки аустенита, феррита и мартенсита представлены на рисунке 3.

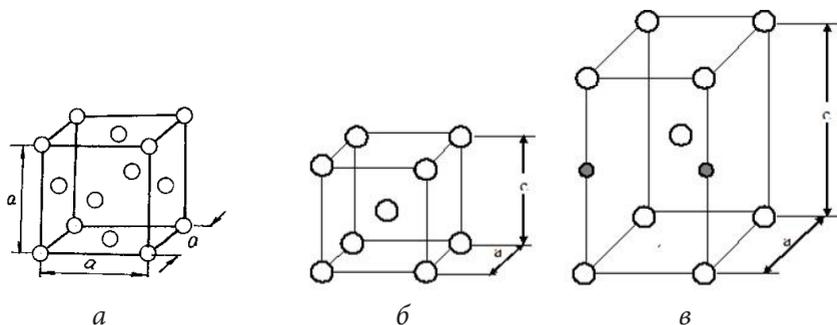


Рисунок 3. Кристаллическая решетка аустенита (а), феррита (б), мартенсита (в)

Таким образом, аллотропия или полиморфизм — очень важное явление как для металлов, так и для неметаллов.

#### Список используемой литературы

1. *Материаловедение : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А. А. Черепяхин. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.*
2. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. *Материаловедение : учебник для вузов. — Изд.5-е, перераб. и доп. — М. : Альянс, 2018.*
3. <https://velestone.ru/mineraly/almaz-i-grafit/>
4. <https://foxford.ru/wiki/himiya/fosfor>
5. <https://www.chem21.info/info/986227/>
6. <https://studfile.net/preview/1665270/page:14/>
7. Яшков В. А. Моделирование взаимодействия режущих абразивных зерен с поверхностью детали // *Современные наукоемкие технологии. — 2018. — № 12-2. — С. 403-407.*

8. Бардовский А. Д., Горбатюк С. М., Албул С. В., Горбатюк Н. В. Оптимизация технологических схем по переработке отходов минерального сырья // *Металлург.* — 2021. — № 4. — С. 83–89.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

К. С. Шибанов, С. Н. Яшин

Национальный исследовательский Нижегородский  
государственный университет им Н. И. Лобачевского

*Аннотация.* В статье на основе исследования факторов удовлетворенности потребителей решена актуальная научная задача разработки методов оценки клиентоориентированности производственных предприятий в условиях цифровой среды.

*Ключевые слова:* клиентоориентированность, управление производством, управление эффективностью, оценка эффективности, оценка клиентоориентированности

Во время цифровой трансформации общества и перехода человечества к персонализированному потреблению, сопровождающихся чередой экономических кризисов, производственные компании активно трансформируют свой бизнес. Новую операционную систему они формируют на основе использования цифровых технологий, а систему управления делают более клиентоориентированной. Так, цифровые решения позволяют компаниям применять новый, аддитивный способ изготовления товаров, применять новые виды сырья и материалов, использовать преимущества внедрения компьютерных программ имитационного моделирования, алгоритмов машинного обучения, анализа «больших данных», разработки искусственного интеллекта и т. д. В дополнение к этому клиентоориентированное управление производством позволяет компаниям максимально удовлетворять индивидуальным требованиям заказчиков, активно использующих мобильные устройства и интернет, и реали-

зуется благодаря организации непрерывного производственного потока, позволяющего выполнять заказы за самое короткое время, и минимизации затрат, не создающих стоимости для потребителя [28].

В погоне успешно оцифровать свой бизнес российские компании активно внедряют у себя элементы и операционной системы нового типа, и клиентоориентированного управления, однако до сих пор из-за их принципиальной новизны никем не было предложено универсальной методики оценки их применения на производствах, что, в свою очередь, приводит к различному толкованию результатов разных компаний и сложности их сравнения между собой. Развитие методологии в этой области позволит устранить существующие пробелы в теории менеджмента, а предложенные методы оценки предоставят компаниям реальные рычаги управления удовлетворенностью их заказчиков.

Поэтому разработка методов оценки клиентоориентированного управления производством на основе предложенной системы экономических показателей является актуальной научной задачей, решение которой позволит компаниям успешно адаптироваться к цифровой среде, увеличить прибыль и укрепить свое положение на рынке в сложное, переходное для бизнеса и общества время.

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

- Обосновать выбор подхода для разработки методов оценки клиентоориентированности производства.
- Установить факторы удовлетворенности потребителей в цифровой среде, от которых зависит клиентоориентированность предприятий.
- Предложить методы оценки клиентоориентированного управления и систему экономических показателей.
- Выполнить апробацию предложенных методов и оценить результаты на примере отечественных производственных предприятий.
- Сформулировать выводы по результатам проведенного исследования.

Проблема оценки клиентоориентированности производственных предприятий вытекает из необходимости компаний становиться способными удовлетворять потребности персонифицированного

спроса в цифровой среде. В условиях доступности и открытости информации потребители легче находят выгодные для себя предложения, и, чтобы их удержать, компаниям приходится становиться более гибкими, отзывчивыми и ориентированными на максимальное удовлетворение их требованиям. С точки зрения производственного менеджмента, клиентоориентированность производства можно существенно увеличить, если удовлетворять потребителей по обслуживанию, стоимости, срокам и качеству продукции [4, 9].

Для управления временем выполнения заказов компании внедряют у себя концепцию непрерывного потока, а на тех участках цепочки создания стоимости, где это сделать невозможно, компенсируют непрерывность путем добавления элементов «вытягивания», например супермаркета. Сокращение времени выполнения заказов делает компании более гибкими и, что самое главное, минимизируют потери компании, не создающие стоимости для покупателей. Для сокращения затрат на содержание службы снабжения вместо прежнего согласования графика поставок компании переходят к работе с поставщиками по сигналу о необходимости выполнения поставки. Работа «с колес» позволяет минимизировать расходы на складские службы, а увеличение количества переналадок оборудования минимизирует межоперационные запасы. Передача сигнала о необходимости возобновления работы только на задающий ритм процесс позволяет избавиться от расходов на автоматизированное сменно-суточное планирование и содержание отдела планировщиков. Для контроля выполнения всех заказов в компаниях ежедневно или ежесменно рассчитывают ритм производства — «время ТАКТ». Отсутствие необходимости в непрерывном потоке вмешательства в работу оператора — избавляет компанию от расходов на содержание линейного менеджмента и т. д. Очевидно, что оценка клиентоориентированности предприятия должна включать в себя анализ эффективности использования такой системы управления [16].

На основе выявленных факторов, определяющих удовлетворенность потребителей, авторами предложены принципы формирования новой модели оценки клиентоориентированности производственных компаний.

На основе этих принципов были предложены пять расчетных показателей, учитывающих:

- своевременность передачи готовой продукции клиенту;
- время, затраченное на выполнение заказа;
- расходы на выполнение заказов;
- качество товаров;
- удовлетворенность клиентов обслуживанием.

1. Своевременность передачи продукции клиенту показывает, насколько клиенты предприятия удовлетворены соблюдением сроков поставки им готовой продукции. Каждый клиент желает получить товар в определенную при заключении сделки дату, и по каждому заказу в компании устанавливается крайний срок, к которому предприятие обязуется поставить товар. С точки зрения удовлетворенности клиентов соблюдение сроков играет для потребителей большую роль. Если клиенты получают товар позже установленного срока, они остаются недовольными, но и поставка продукции заранее может тоже быть не необходима заказчикам, хотя в некоторых случаях может быть оценена положительно.

Методика расчета этого показателя в общем виде может быть следующей: необходимо сравнить фактическое количество выполненных заказов за отчетный период, переданных заказчикам точно в назначенные дни и время, с общим количеством заказов, выполненных за это же период.

Предположим, за месяц компания выполнила 100 заказов, при этом в двух случаях она передала товар потребителю на несколько дней позже, чем было запланировано. Тогда показатель своевременности передачи продукции клиентам равен отношению 98 к 100, то есть 0,99 в абсолютном или 90 % в относительном выражении.

В лучшем случае компания всегда передает продукцию в назначенные сроки, то есть целевое значение этого показателя — 100 %, что является вполне достижимым, так как даже при различном времени, фактически затраченном на выполнение заказов, компании ничто не мешает выстроить свою работу таким образом, чтобы всегда передавать продукцию вовремя, например, начиная выполнять зака-

зы раньше или беря в работу меньше заявок, тем самым увеличивая свою клиентоориентированность.

2. Для учета второго показателя — времени, затраченного на выполнение заказа, — предлагается учитывать совокупное время, затраченное компанией на выполнение заказов от момента получения заявок до вручения товара клиентам. На самом деле заказчику не требуется знать, как долго фактически выполнялся его заказ. Для него главное — получить товар вовремя. Но в действительности время выполнения заказа напрямую отражается на расходах компании, в то время как стоимость товаров при выборе поставщика клиенты оценивают очень высоко.

Установлено, что чем больше время выполнения заказа, тем больше в нем операций, не создающих стоимости для потребителя [18, 23]. Время выполнения заказа может увеличиваться за счет более длительной или повторной технологической обработки, но чаще всего это происходит из-за возникновения ожидания последующей обработки по тем или иным причинам, что является обычным для производств, на которых применяется классический «выталкивающий» способ производства. При этом полуфабрикаты могут попадать в очередь на обработку, ожидать выполнения переналадки оборудования или обрабатываться партиями, в результате чего увеличивается общее время производства.

Для увеличения клиентоориентированности компаниям необходимо не просто стремиться к сокращению времени выполнения заказов, а стараться их выполнять за время, близкое к времени, определяемому как сумма времени операций в потоке, создающих стоимость для клиента. Компании смогут лучше удовлетворять клиентов, если будут передавать продукцию по ценам, которые предлагаются и устраивают самих заказчиков. Клиенты, в свою очередь, благодаря доступности цифровых мобильных устройств, интернета и глобализации способны самостоятельно определять, что для них стоит тот или иной товар [25, 26]. Кроме того, клиенты часто определяют цены, оценивая их полезность для себя. Следовательно, компаниям необходимо стремиться производить продукцию и выполнять заказы с расходами, преимущественно создающими полезность для

потребителя, и это можно осуществить, если увеличивать долю времени операций в производственном потоке, создающих стоимость для потребителей. Сокращение таких операций, как транспортировки, переделывание, ожидание в потоке, обработка партиями и т. д. минимизирует время и расходы компании на процессы, не формирующие полезности для конечных потребителей, и, следовательно, дает возможность компаниям предлагать продукцию по ценам, близким к ожиданиям покупателей [10, 15, 20].

При этом предлагается следующий механизм определения этого показателя: предварительно необходимо выделить те операции в потоке, которые создают стоимость для потребителя, и сложить их по нормативному времени, установленному технологами производства. Далее, полученное так называемое полезное (или чистое) время необходимо разделить на фактическое время выполнения заказа и перевести полученную величину в проценты.

Следует отметить, что под фактическим временем выполнения заказа следует понимать не только время собственно производства, а все время, затраченное на выполнение заказа — от момента первого обращения заказчика в компанию с целью приобретения товара до момента вручения готового продукта клиенту. Это объясняется тем, что после отправки заявки начинается отсчет времени ожидания заказчиком получения товара. Клиенту не важно знать, на какой стадии выполнения в конкретный момент времени находится его заказ — его заявка обрабатывается, или товар уже производится, или продукция в пути к нему, — все это время клиент просто ждет. И чем меньше в конечном счете его ожидание, тем довольнее он [6, 14, 21]. Следовательно, для оценки клиентоориентированности предприятия норматив времени операций, создающих стоимость, правильнее сравнивать с общим временем выполнения заказа, в чем заключается особенность предлагаемой методики.

Предположим, сумма времени операций в потоке изготовления какой-либо продукции на производстве составляет 6 часов. Среднее время выполнения заказов при этом в компании составляет, с учетом времени обработки заявки, проверки возможности изготовления товара, ожидания поступления необходимого сырья, доставки готовой

продукции выбранным видом транспорта и прочих факторов, равно 7 дням. При 8-часовом рабочем дне 7 дней составляют 56 часов. Следовательно, показатель оценки времени выполнения заказов равен отношению 6 к 56 часам, составляет 0,1 или 10 %.

Характеризовать этот результат необходимо следующим образом: клиент оплачивает компании 6 часов, необходимых для изготовления заказанного им товара, но компания фактически затрачивает на это, включая непроизводственные процессы, доставку и т. д., целых 56 часов. Чтобы доставить заказ вовремя, компания, скорее всего, начнет изготавливать продукцию раньше, однако в ее времени выполнения заказа велика доля времени операций, не создающих для клиента стоимости, что отражается на фактических затратах предприятия и усложняет управление производством. С показателем в 10 % компании, скорее всего, сложно предложить товар клиенту по устраивающей его цене, если только она не является монополистом. Если же на рынке найдется компания, у которой доля времени, создающего стоимость, выше, чем у рассматриваемой, то она сможет предложить клиентам товары по более выгодным ценам, привлекая заказчиков и, следовательно, являясь более клиентоориентированной.

При таком подходе к анализу времени и затрат компании достичь 100%-й эффективности затруднительно, так как у любой компании находятся операции, не добавляющие стоимости для потребителя, но необходимые ей для выполнения заказов, такие как обработка заявок, переналадка оборудования, проверка качества товаров, оформление сопроводительных документов, упаковка товаров, доставка и т. д. Более того, у некоторых компаний показатель доли времени затрат, создающих стоимость, невысокий из-за длительного времени ожидания в потоке, являющегося следствием применения «выталкивающего» способа производства [24]. Но в этом и заключается значимость предлагаемого показателя — для клиента важна цена, цену определяют все операции в потоке, следовательно, для увеличения клиентоориентированности необходимо исключать из цепочки создание стоимости или минимизировать то, что не формирует стоимости для потребителя.

3. Расходы на выполнение заказов при оценке клиентоориентированности компании предлагается оценивать следующим способом. С одной стороны, определяем норматив денежных средств, затрачиваемых на создание стоимости, к которым следует отнести расходы на сырье и материалы, вошедшие в состав изделия; электроэнергию, израсходованную оборудованием во время обработки данного изделия; компенсацию оплаты труда работникам, которые занимались изделием и т. д. После этого «полезные» расходы необходимо сравнить с ценой продукции, изначально предлагаемой за товар клиентом.

Рассмотрим пример. Допустим, затраты предприятия, добавляющие стоимость при производстве некоторого товара, составили 7 тыс. руб., а цена, по которой заказчик готов приобрести товар, равна 5 тыс. руб. Клиентоориентированность производственной компании, с точки зрения анализа затрат, в этом случае равна отношению 5 к 7 тыс. руб. и составляет 0,71 или 71 %. Как и в случае с анализом времени выполнения заказов, достижение 100%-й эффективности маловероятно из-за того, что у предприятий всегда находятся расходы, не формирующие стоимость, но необходимые предприятию. Часть из них можно минимизировать, другие — нет. В любом случае расчет показателя таким способом наглядно иллюстрирует, как оценивают для себя предприятие клиенты с точки зрения стоимости продукции.

В приведенном примере заказчик переплачивает за товары почти 30 %, компенсируя компании расходы, не создающие стоимость для него. Однако в практике возможны случаи, когда расходы компании, создающие стоимость, превышают цену, предлагаемую клиентом в силу того, что последний высоко оценивает полезность конкретного товара для себя. Так происходит с высокотехнологичной продукцией, товарами, изготавливаемыми для конкретного заказчика с учетом его индивидуальных требований и т. д.

4. Отдельное место в оценке клиентоориентированности производственного предприятия занимает качество передаваемых покупателям товаров. Ни один заказчик не остается равнодушным в ситуации, когда в составе переданного ему товара обнаруживает брак. Возникающее неудовольствие при этом способно перечеркнуть удовлетворение ценой и сроками ожидания поставки. Клиентоориентиро-

ванное управление производством учитывает возможность производства продукции с несоответствием, так как технологии производства несовершенны, а оборудование производителя не всегда новое и исправное [2, 7, 17]. Наконец, могут быть допущены ошибки персоналом.

Исключить изготовление бракованной продукции невозможно, но возможно не допустить передачу такой продукции заказчику. Для этого компании, анализируя статистические показатели прошлых периодов, подстраховываются и часть фонда рабочего времени планируют на производство брака. Задачей компании в этом случае является обнаружение дефектной продукции с целью недопущения ее передачи конечному заказчику. Таким образом, клиентоориентированное производство уже учитывает потери времени, необходимые на производство брака. Время выполнения заказов увеличивается и снижет показатель удовлетворенности потребителей, связанный с оценкой времени, и входит в его состав. Однако в случае если брак все-таки не выявляется на предприятии и попадает к клиенту, в систему показателей оценки клиентоориентированности необходимо вводить показатель, отвечающий за качество, отдельно, что отразит реальную картину удовлетворенности заказчиков и простимулирует компанию заняться вопросом достижения 100%-го выявления брака.

Предположим, в текущем месяце предприятие передало заказчикам 100 единиц готовой продукции. В адрес компании поступила рекламация, и оказалось, что 5 единиц продукции были признаны потребителем не соответствующими заявленным характеристикам. Тогда показатель качества продукции равен отношению 95 к 100 и составляет 0,95 или 95 %.

5. В качестве завершающего, пятого показателя, оценивающего удовлетворенность заказчиков, предлагается добавить оценку качества обслуживания. В последнее время предприятия прилагают много усилий для улучшения сервиса обслуживания — как во время выполнения заказа, так и после продажного. Удержание клиента становится критически важным как для предприятий потребительского сектора, так и для тех отраслей промышленности, для которых это было ранее нехарактерно, например машиностроения или металлургии [11, 19]. Современные клиенты более придирчивы к обслужи-

ванию, так как благодаря интернету имеют возможность выбора из многих предложений.

Оценку удовлетворенности обслуживанием многие предприятия у себя уже внедрили [12, 27, 29]. Проще всего это делать, организовав сбор и анализ обратной связи от клиентов. Рассчитать данный показатель можно, сравнив количество клиентов, которым за отчетный период поставлена продукция, с количеством негативных отзывов об обслуживании.

Таким образом, система оценки клиентоориентированности состоит из пяти показателей — по одному для каждого из ключевых факторов удовлетворенности заказчиков, и в современном мире у производственных компаний не остается выбора: либо они начинают оценивать свою клиентоориентированность глазами своих заказчиков и становиться ближе к потребителям, устраивая их по стоимости, точности выполнения сроков поставки, общему времени выполнения заказов, качеству продукции и уровню обслуживания, либо уходят с рынка и закрываются как неспособные удовлетворить все возрастающим индивидуальным требованиям потребителей.

Таким образом, на основе определения и изучения влияния факторов удовлетворенности потребителей авторами работы решена актуальная научная задача оценки клиентоориентированности производственных предприятий в условиях цифровизации общества.

#### *Список используемой литературы*

1. Rudyuk M. Yu., Gerasimova A. V., Antonov I. S. Improving efficiency of Russian enterprises through the concept of lean manufacturing // В сборнике: European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. — Krasnoyarsk, Russia, 2021. — С. 170–177.

2. Буньковский Д. В. Проблемы устойчивого развития промышленного предпринимательства в нефтегазовом комплексе. — Москва, 2021.

3. Валиуллина Л. А., Хадасевич Н. Р. Самооценка процессов организации труда и внедрения технологии «бережливое производство» в учреждениях социального обслуживания // Креативная экономика. — 2021. — Т. 15. — № 7. — С. 2975–2990.

4. Волкова Е. А., Яшин С. Н. Некоторые аспекты в развитии системы управления экономики здравоохранения // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2021. — № 12–1. — С. 29–33.

5. Дмитриев Н. Д., Дубаневич Л. Э., Зайцев А. А. Моделирование влияния туристических потоков на экономическую безопасность государства // Kant. — 2021. — № 2 (39). — С. 56–63.

6. Дмитриев Н. Д., Зайцев А. А. Управление рыночной стоимостью с помощью регулирования инновационной активности предприятия // Цифровая экономика и индустрия 4.0: Форсайт Россия. — Сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием. — Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. — 2020. — С. 55–64.

7. Дмитриев Н. Д., Ильченко С. В., Бойко Е. В. Проведение оценки эффективности внедрения корпоративно-социальных технологий на предприятии и их влияние на интеллектуальный капитал // Стратегии бизнеса. — 2021. — Т. 9. — № 8. — С. 242–247.

8. Иванова Н. В. Перспективы развития цифровых технологий в процессах управления транспортными процессами в международных цепях поставок // Цифровая экономика в социально-экономическом развитии России / Сборник научных трудов по итогам Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Санкт-Петербургского государственного экономического университета / Под ред. Е. А. Горбашко. — 2018. — С. 115–118.

9. Иовлев Г. А., Голдина И. И. Оценка состояния сельскохозяйственного машиностроения в РФ и регионах // Вестник НГИЭИ. — 2020. — № 1 (104). — С. 87–95.

10. Козлова А. А. Привлечение труда мигрантов с целью повышения производительности предприятий на удаленных территориях // Стратегии бизнеса. — 2020. — Т. 8. — № 5. — С. 137–140.

11. Комолов О. О. Деглобализация: новые тенденции и вызовы мировой экономике // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. — 2021. — Т. 18. — № 2 (116). — С. 34–47.

12. Комолов О. О. Монополизация как фактор кризисных процессов и трансформации современной рыночной экономики. — Москва, 2018. — Сер. «Научная мысль».

13. Комолов О. О. Тупик капитализма и социоальтерация рыночной экономики // *Альтернативы*. — 2016. — № 2. — С. 311–322.

14. Кондрушенко К. М., Манова Н. В. Внедрение инноваций в торговый зал российскими ретейлами // *Проблемы развития социально-экономических и правовых отношений: внешние и внутренние факторы*. — Сборник материалов III Международной научно-практической конференции / Сост.: В. А. Орлов ; Новгородский филиал Российского университета кооперации ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. — 2018. — С. 26–30.

15. Макаров М. А., Манова Н. В. Модели и методы оценки риска в экономике // *Проблемы развития социально-экономических и правовых отношений: внешние и внутренние факторы* / Сборник материалов III Международной научно-практической конференции / Сост. : В. А. Орлов ; Новгородский филиал Российского университета кооперации ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. — 2018. — С. 36–40.

16. Мещерякова Н. Б., Болотников С. В. Совершенствование бизнес-процессов планирования в производственной организации ООО «Лаборатория радиосвязи» на основе автоматизации и применения информационных технологий // *Прикладные исследования в области цифровизации управления бизнес-процессами* / Материалы конкурса. — Москва, 2021. — С. 171–182.

17. Наминова К. А., Бадминов М. Б. Персонал — главный потенциал для роста и развития предприятия // *Экономический рост: управление и организация* / Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора экономических наук, профессора З. Н. Босчаевой / Редколлегия: К. И. Макаева [и др.]. — Элиста, 2021. — С. 71–73.

18. Пулин И. С. Бережливое производство в условиях цифровизации экономики // *Формирование конкурентной среды, конкурентоспособность и стратегическое управление предприятиями, организациями и регионами* / Сборник статей V Международной научно-практической конференции. — 2020. — С. 151–155.

19. Родионов А. В., Родионова Е. М. Применение бережливого производства в локомотивном комплексе ОАО «РЖД» на примере Горь-

ковской дирекции тяги // Экономика труда и управление персоналом / Материалы международной научно-практической конференции / Московский авиационный институт. — Москва, 2021. — С. 243–246.

20. Роков А. И., Бакина Е. С., Ледовская К. А. Инвестиции в человеческий капитал как фактор успешного развития организаций и общества в эпоху цифровой экономики // Стратегии бизнеса. — 2020. — Т. 8. — № 1 (69). — С. 27–30.

21. Рудюк М. Ю., Чекайкин С. В., Дасаева З. Р., Сенина С. Э. Адаптация элементов бережливого производства под внутреннюю среду предприятий // Наука и бизнес: пути развития. — 2021. — № 4 (118). — С. 18–26.

22. Салин В. Н., Нарбут В. В., Шпаковская Е. П. Конъюнктура мирового рынка стали: экономико-статистический анализ // Проблемы экономики и юридической практики. — 2020. — Т. 16. — № 1. — С. 72–81.

23. Фесенко П. А. Примеры оптимизации деятельности методом бережливого производства // В сборнике: Приоритетные направления развития экономики страны в условиях глобализации: теория и практика / Материалы всероссийской научно-практической конференции. — Новороссийск, 2021. — С. 346–350.

24. Шамина О. В. Бережливое производство как способ повышения эффективности работы предприятий ЖКХ // Вестник НГИЭИ. — 2020. — № 5 (108). — С. 39–49.

25. Шеремет Н. М. Экономическая эффективность и потери в концепции бережливого производства // В сборнике: Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии. Институт экономики и финансов Российского университета транспорта / Исследование особенностей технологии бережливого производства // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 1 (102). — С. 1045–1049.

27. Шибанов К. С., Гиршевич О. Л. Предпосылки изменения подхода для оценки клиентоориентированности производственных компаний // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 2 (127). — С. 892–895.

28. Юрлов Ф. Ф., Плеханова А. Ф., Яшин С. Н. Методы оценки эффективности и выбора предпочтительных инвестиционных проектов // Рекомендовано методической комиссией института экономики и предпринимательства для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент» — Нижний Новгород, 2021.

29. Яшин С. Н., Суходоева Л. Ф. Управление инновационной конкурентоспособностью // Актуальные проблемы управления / Сборник научных статей по итогам VII Всероссийской научно-практической конференции / Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. — Нижний Новгород, 2021. — С. 240–243.

## **ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ**

К. С. Шибанов, С. Н. Яшин

Национальный исследовательский Нижегородский  
государственный университет им. Н. И. Лобачевского

*Аннотация. В исследовании разработан и апробирован инструмент обоснования выбора стратегии увеличения клиентоориентированности производственной компании как необходимый элемент для принятия их руководством решений по их развитию. В основу разработанного инструментария заложены предложенные методы оценки клиентоориентированности производства и потенциала ее улучшения, экономическим смыслом которых является определение характеристики комплексного развития предприятия, как необходимого фактора его обеспечения. Основой разработки методов является использование шести показателей для оценивания эффективности функционирования элементов клиентоориентированной системы управления производством как эффективного механизма использования производственных и внутрифирменных показателей, позволяющих проводить их сравнение.*

*Ключевые слова: клиентоориентированность, управление производством, управление эффективностью, оценка эффективности, оценка клиентоориентированности*

Во время цифровой трансформации общества и перехода к персонифицированному потреблению, сопровождающихся чередой кризисных явлений, производственные компании активно трансформируют свой бизнес. Свою новую операционную систему они формируют на основе использования цифровых технологий, а систему управления делают более гибкой и клиентоориентированной. Так, цифровые решения позволяют компаниям использовать альтернативный традиционному аддитивный способ изготовления товаров, разрабатывать новые виды сырья и материалов, использовать преимущества технологий имитационного моделирования, «больших данных», блокчейна, искусственного интеллекта и т. д. Одновременно с этим клиентоориентированное управление позволяет кастомизировать производство во время перехода к персонифицированному спросу и минимизировать затраты, не создающие стоимости, чтобы удовлетворять ценовые запросы потребителей, широко использующих мобильные цифровые устройства и интернет. Такой тип управления также оптимально подходит для массовых производств в условиях низкой загрузки мощностей, что характерно для периодов экономического спада.

Клиентоориентированное управление подразумевает регулярную синхронизацию с ритмом производства, задаваемым спросом; отказ от привычного автоматизированного сменно-суточного планирования в силу его избыточности; минимизацию на производстве межоперационного ожидания везде, где это возможно; управление запасами путем их преобразования в так называемые *системы вытягивания*; увеличение количества переналадок оборудования с целью снижения рисков; обучение поставщиков работе по сигналу «канбан» без предварительного согласования графика отгрузок; увеличение регулярности поставок без размещения товаров и материалов на складах; сокращение штата служб планирования, снабжения, отдела по работе с клиентами и т. д. При этом, несмотря на то, что многие компании

активно внедряют эти и другие элементы клиентоориентированного управления, до сих пор никем не было предложено определять влияние эффективности их использования на конечную удовлетворенность заказчиков, выходящую в настоящее время по значимости для компаний на первое место. Между тем это позволило бы по-новому взглянуть на вопросы оценки эффективности деятельности компании (с учетом глобальных изменений, происходящих в мире) во время перехода общества к индивидуализированному потреблению.

Таким образом, разработка методов оценки и инструментария управления клиентоориентированностью производственных компаний на основе определения эффективности функционирования элементов управления, применяемых в условиях низкой загрузки мощностей, является актуальной научной задачей, решение которой позволит компаниям успешно адаптироваться к условиям цифровой среды, увеличить прибыль и укрепить свое положение на рынке в сложное, переходное для общества и бизнеса время.

Целью работы является решение научной проблемы, которая заключается в разработке методов оценки и инструментария управления клиентоориентированностью производственных предприятий.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- провести систематизацию научных теорий в области управления производством; изучить основные системы производственного управления; предложить авторское определение понятия «клиентоориентированное производство»;

- осуществить исследование системных проблем традиционных методов управления производством;

- предложить использование показателей для оценивания клиентоориентированности производства и потенциала ее улучшения;

- предложить методику оценки клиентоориентированности производства и потенциала ее улучшения.

Авторами определены системные проблемы традиционных методов управления производством, развитие которых пришлось на условия стабильно высокого спроса на товары, что было характерно для всего прошлого столетия.

Как показал проведенный анализ, применение традиционных методов управления не улучшает клиентоориентированность предприятия, выходящую в настоящее время по значимости на первых план. Это происходит из-за того, что:

- установление дат отгрузки продукции, удобных предприятию, отрицательно отражается на отношениях с клиентами [3];

- выравнивание производства по дням в условиях неравномерного поступления заявок не позволяет выполнять заказы тогда, когда это требуется заказчиком [5];

- в условиях небольшого количества заказов автоматизированное планирование и наличие большого штата линейных руководителей является избыточным [6, 11];

- расходы на управление на основе сменно-суточного планирования более затратны по сравнению с поточным выполнением заказов, для которого нехарактерно составление графиков работ, формирование межоперационных запасов и необходимость привлечения аппарата линейных руководителей [7, 9];

- выполнение заказов раньше установленного клиентом срока приводит к необходимости их хранения и увеличению расходов, не создающих стоимости для потребителя, но включаемых в цену;

- с переходом к персонализированному потреблению не обеспечивается позаказное, кастомизированное производство с учетом индивидуальных требований потребителей [12];

- предприятие не может гибко реагировать на изменение клиентских заявок после того, как они приняты в работу.

Альтернативой традиционным методам управления может стать клиентоориентированное управление производством, и в рамках диссертационного исследования формируется научная гипотеза о том, что удовлетворенность клиентов компании можно оценивать на основе определения эффективности функционирования ее клиентоориентированной системы управления производством.

Однако, по мнению авторов, неполнота признаков такой системы управления не позволяет глубоко определить его и дать четкое определение понятию «клиентоориентированное производство». Клиентоориентированное производство не имеет официально принятого

перечня признаков, в связи с чем относительно него используется большое количество определений. Исследование теоретических положений позволило предложить дополненный перечень признаков.

Наиболее важными являются следующие признаки:

— Быстрая обработка заявок. В условиях доступности и открытости информации о товарах, производителях и предпочтениях потребителей время обработки первичных заявок, проверки возможности изготовления, настройки техпроцесса должно быть максимально коротким. При этом можно утверждать, что половина удовлетворенности заказчиков связана со скоростью отклика компании в ответ на размещаемые заказы [1, 14].

— Поставка в назначенное время. Клиенты ожидают, что товар будет им передан тогда, когда это было запланировано. Поставка товара позже срока приводит к неудовольствию заказчиков. Изготовление товара раньше времени приводит к увеличению затрат, включаемых в себестоимость и цену, но не создающих стоимости для потребителя [15, 16, 17].

— Цена, близкая к ожиданиям заказчика. В цифровой среде заказчики самостоятельно правильно определяют, какую цену можно заплатить за тот или иной товар. Возможность реализации продукции по ценам, близким к ожиданиям клиентов, позволяет предприятиям удерживать заказчиков [8].

— Минимум потерь, не создающих стоимости. В последнее время предприятия сосредоточились на увеличении на своих производствах доли времени и затрат, создающих стоимость для потребителей, что в результате позволяет их ценам соответствовать ценовым предпочтениям заказчиков [4, 13].

Проведенное исследование и предложенные признаки способствовали формированию уточненного авторского определения понятия «клиентоориентированное производство», под которым предлагается понимать производство, обеспечивающее быструю обработку заявок и выполнение заказов точно к сроку, ожидаемому заказчиком; с возможностью быстрого реагирования на изменение клиентских требований, а также минимумом расходов ресурсов и времени, не создающих стоимости для потребителей; гарантированным вы-

явлением дефектной продукции на производстве и высоким уровнем обслуживания.

Авторами предложен состав инструментов управления клиентоориентированной системы управления производством, который включает в себя следующее:

1. Для управления временем выполнения заказов целесообразно внедрять концепцию непрерывного потока, а на тех участках цепочки создания стоимости, где это сделать не представляется возможным, компенсировать непрерывность путем добавления элементов «вытягивания». Сокращение времени производства сделает компании более гибкими и, что самое главное, минимизирует потери, не создающие стоимости для потребителя.

2. Для сокращения затрат на содержание службы снабжения вместо прежнего согласования графика поставок компаниям следует переходить на работу с поставщиками по передаваемому им сигналу.

3. Работа «с колес» без складов позволит компании минимизировать расходы на складские службы, а увеличение количества переналадок оборудования минимизирует межоперационные запасы.

4. Передача сигнала о необходимости возобновления работы только на задающий ритм процесс позволит избавиться от расходов на автоматизированное сменно-суточное планирование и содержание отдела управления производством.

5. Для контроля выполнения заказов в компаниях необходимо ежедневно или ежесменно рассчитывать ритм производства, задаваемый спросом, и синхронизироваться с ним.

6. Отсутствие необходимости в непрерывном потоке вмешательства в работу операторов со стороны избавит компанию от расходов на содержание аппарата линейного менеджмента.

Для решения целей исследования авторами сформулированы принципы предлагаемого метода оценки эффективности клиентоориентированного производства.

На основе сформулированных принципов для оценки клиентоориентированности производства авторами предложено использовать группу из шести показателей.

1. Удовлетворенность своевременностью поставок. Показывает, насколько клиенты предприятия удовлетворены соблюдением сроков поставки им готовой продукции. Каждый клиент желает получить товар в определенную при заключении сделки дату, и по каждому заказу в компании устанавливается крайний срок, к которому предприятие обязуется поставить товар. С точки зрения удовлетворенности клиентов соблюдение сроков играет для потребителей большую роль. Если клиенты получают товар позже установленного срока, они остаются недовольными, но и поставка продукции заранее может быть также не необходима заказчикам, хотя в некоторых случаях может быть оценена положительно.

В лучшем случае компания всегда передает продукцию в назначенные сроки, то есть целевое значение этого показателя — 100 %, что является вполне достижимым, так как даже при различном времени, фактически затраченном на выполнение заказов, компании ничто не мешает выстроить свою работу таким образом, чтобы всегда передавать продукцию вовремя — например, начиная выполнять заказы раньше или беря в работу меньше заявок, тем самым увеличивая свою клиентоориентированность [2].

2. Доля времени выполнения заказов, создающего стоимость. Предлагается учитывать совокупное время, затраченное компанией на выполнение заказов от момента получения заявок до вручения товара клиентам. На самом деле заказчику не требуется знать, как долго фактически выполнялся его заказ. Для него главное — получить товар вовремя. Но в действительности время выполнения заказа напрямую отражается на расходах компании, в то время как стоимость товаров при выборе поставщика клиенты оценивают очень высоко.

Установлено, что чем больше время выполнения заказа, тем больше в нем операций, не создающих стоимости для потребителя. Время выполнения заказа может увеличиваться за счет более длительной или повторной технологической обработки, но чаще всего это происходит из-за возникновения ожидания последующей обработки по тем или иным причинам, что является обычным для производств, на которых применяется классический «выталкивающий» способ производства. При этом полуфабрикаты могут попадать в очередь на об-

работку, ожидать выполнения переналадки оборудования или обрабатываться партиями, в результате чего увеличивается общее время производства.

Для увеличения клиентоориентированности компаниям необходимо не просто стремиться к сокращению времени выполнения заказов, а стараться их выполнять за время, близкое к времени, определяемому как сумма времени операций в потоке, создающих стоимость для клиента. Компании смогут лучше удовлетворять клиентов, если будут передавать продукцию по ценам, которые предлагаются и устраивают самих заказчиков. Клиенты, в свою очередь, благодаря доступности цифровых мобильных устройств, интернета и глобализации способны самостоятельно определять, что для них стоит тот или иной товар. Кроме того, клиенты часто определяют цены, оценивая их полезность для себя. Следовательно, компаниям необходимо стремиться производить продукцию и выполнять заказы с расходами, преимущественно создающими полезность для потребителя, и это можно осуществить, если увеличивать долю времени операций в производственном потоке, создающих стоимость для потребителей. Сокращение таких операций, как транспортировки, переделывание, ожидание в потоке, обработка партиями и т. д., минимизирует время и расходы компании на процессы, не формирующие полезности для конечных потребителей, и, следовательно, дает возможность компаниям предлагать продукцию по ценам, близким к ожиданиям покупателей.

3. Удовлетворенность заказчиков ценами. Показывает, насколько цены предприятия устраивают заказчиков. В рыночной экономике цена определяется под воздействием спроса и предложения. Если предложение ограничено, заказчики вынуждены приобретать товар по установленным ценам. В клиентоориентированной компании стараются максимально удовлетворить заказчиков, в том числе выражая готовность реализовывать товары по ценам, предлагаемым потребителями. При этом каждый из них получает товар по цене, которая устраивает его.

4. Доля затрат предприятия, создающих стоимость. Показывает, какова у предприятия доля затрат, не создающих стоимости для по-

требителя. Чем меньше потеря, тем ближе цены компании оказываются к ожиданиям заказчиков.

5. Удовлетворенность заказчиков качеством продукции. Занимает в оценке клиентоориентированности производственного предприятия отдельное место. Ни один заказчик не остается равнодушным в ситуации, когда в составе переданного ему товара обнаруживает брак. Возникающее неудовольствие при этом способно перечеркнуть удовлетворение ценой и сроками ожидания поставки. Клиентоориентированное управление производством учитывает возможность производства продукции с несоответствием, так как технологии производства несовершенны, а оборудование производителя не всегда новое и исправное. Наконец, могут быть допущены ошибки персонала.

Исключить изготовление бракованной продукции невозможно, но возможно не допустить передачу такой продукции заказчику. Для этого компании, анализируя статистические показатели прошлых периодов, подстраховываются и часть фонда рабочего времени планируют на производство брака. Задачей компании в этом случае является обнаружение дефектной продукции с целью недопущения ее передачи конечному заказчику. Таким образом, клиентоориентированное производство уже учитывает потери времени, необходимые на производство брака. Время выполнения заказов увеличивается и снижает показатель удовлетворенности потребителей, связанный с оценкой времени, и входит в его состав [10]. Однако в случае если брак все-таки не выявляется на предприятии и попадает к клиенту, в систему показателей оценки клиентоориентированности необходимо вводить показатель, отвечающий за качество, отдельно, что отразит реальную картину удовлетворенности заказчиков и простимулирует компанию заняться вопросом достижения 100%-го выявления брака.

6. Удовлетворенность заказчиков обслуживанием. В последнее время предприятия прилагают много усилий для улучшения сервиса обслуживания — как во время выполнения заказа, так и после продажи. Удержание клиента становится критически важным как для предприятий потребительского сектора, так и для тех отраслей промышленности, для которых это было ранее нехарактерно, например

машиностроения или металлургии. Современные клиенты более придирчивы к обслуживанию, так как благодаря интернету имеют возможность выбора из многих предложений. Оценку удовлетворенности обслуживанием проще всего делать, организовав сбор и анализ обратной связи от клиентов.

Таким образом, в исследовании разработан и апробирован инструментарий обоснования выбора стратегии увеличения клиентоориентированности производственной компании как необходимый элемент для принятия их руководством решений по их развитию. В основу разработанного инструментария заложены предложенные методы оценки клиентоориентированности производства и потенциала ее улучшения, экономическим смыслом которых является определение характеристики комплексного развития предприятия как необходимого фактора его обеспечения. Основой разработки методов является использование шести показателей для оценивания эффективности функционирования элементов клиентоориентированной системы управления производством как эффективного механизма использования производственных и внутрифирменных показателей, позволяющих проводить их сравнение.

#### *Список используемой литературы*

1. Garina E. P., Kuznetsov V. P., Egorova A. O., Garin A. P., Yashin S. N. FORMATION OF THE SYSTEM OF BUSINESS PROCESSES AT MACHINE BUILDING ENTERPRISES // European Research Studies Journal. — 2016. — Т. 19. — № 2. — С. 55–63.
2. Rudyuk M. Yu., Gerasimova A. V., Antonov I. S. Improving efficiency of Russian enterprises through the concept of lean manufacturing // В сборнике: European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. — Krasnoyarsk, Russia, 2021. — С. 170–177.
3. Yashin S. N., Yashina N. I., Ogorodova M. V., Smirnova Z. V., Kuznetsova S. N., Paradeeva I. N. ON THE METHODOLOGY FOR INTEGRATED ASSESSMENT OF INSURANCE COMPANIES' FINANCIAL STATUS // Man in India. — 2017. — Т. 97. — № 9. — С. 37–42.

4. Буньковский Д. В. Проблемы устойчивого развития промышленного предпринимательства в нефтегазовом комплексе. — Москва, 2021.

5. Валиуллина Л. А., Хадасевич Н. Р. Самооценка процессов организации труда и внедрения технологии «бережливое производство» в учреждениях социального обслуживания // Креативная экономика. — 2021. — Т. 15. — № 7. — С. 2975–2990.

6. Дмитриев Н. Д., Зайцев А. А. Управление рыночной стоимостью с помощью регулирования инновационной активности предприятия // Цифровая экономика и индустрия 4.0: Форсайт Россия / Сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием. — Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. — 2020. — С. 55–64.

7. Иванова Н. В. Перспективы развития цифровых технологий в процессах управления транспортными процессами в международных цепях поставок // Цифровая экономика в социально-экономическом развитии России / Сборник научных трудов по итогам Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Санкт-Петербургского государственного экономического университета / Под ред. Е. А. Горбашко. — 2018. — С. 115–118.

8. Козлова А. А. Привлечение труда мигрантов с целью повышения производительности предприятий на удаленных территориях // Стратегии бизнеса. — 2020. — Т. 8. — № 5. — С. 137–140.

9. Корнилов Д. А., Яшин С. Н. Использование методов портфельного анализа при стратегическом планировании на предприятиях // Экономический анализ: теория и практика. — 2005. — № 16 (49). — С. 2–8.

10. Комолов О. О. Деглобализация: новые тенденции и вызовы мировой экономике // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. — 2021. — Т. 18. — № 2 (116). — С. 34–47.

11. Пулин И. С. Бережливое производство в условиях цифровизации экономики // Формирование конкурентной среды, конкурентоспособность и стратегическое управление предприятиями, организациями и регионами / Сборник статей V Международной научно-практической конференции. — 2020. — С. 151–155.

12. Роков А. И., Бакина Е. С., Ледовская К. А. Инвестиции в человеческий капитал как фактор успешного развития организаций и общества в эпоху цифровой экономики // Стратегии бизнеса. — 2020. — Т. 8. — № 1 (69). — С. 27–30.

13. Рудюк М. Ю., Чекайкин С. В., Дасаева З. Р., Сенина С. Э. Адаптация элементов бережливого производства под внутреннюю среду предприятий // Наука и бизнес: пути развития. — 2021. — № 4 (118). — С. 18–26.

14. Фесенко П. А. Примеры оптимизации деятельности методом бережливого производства // В сборнике: Приоритетные направления развития экономики страны в условиях глобализации: теория и практика / Материалы всероссийской научно-практической конференции. — Новороссийск, 2021. — С. 346–350.

15. Шеремет Н. М. Экономическая эффективность и потери в концепции бережливого производства // В сборнике: Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии / Институт экономики и финансов Российского университета транспорта (МИИТ). — Москва, 2021. — С. 324–327.

16. Юрлов Ф. Ф., Яшин С. Н., Лапаев Д. Н., Плеханова А. Ф. Многокритериальная оценка экономического состояния и инновационной деятельности промышленных предприятий // «Инноватика» и специальности 220601 «Управление инновациями». — Нижний Новгород, 2009.

17. Яшин С. Н., Шибанов К. С. Методы оценки клиентоориентированности производственных компаний // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 11 (136). — С. 890–895.

## АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛА НА ЭТАПАХ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ МАРКИ 22ГЮ

А. С. Шуянов, О. А. Комолова, В. М. Сафонов  
НИТУ «МИСиС», г. Москва  
ИМЕТ РАН, г. Москва

*Аннотация. При производстве труб и муфт в северном исполнении к ним предъявляются высокие требования, одним из которых является содержание азота в стали не более 80 ррт. Однако высокое содержание азота в стали, выплавленной в дуговой сталеплавильной печи (100–120 ррт и более), зачастую является препятствием обеспечения заданных свойств готовой продукции, так как увеличение концентрации азота в стали ведет к образованию и выделению дисперсных включений при охлаждении стали — нитридов. Образующиеся нитриды приводят к снижению пластических свойств металла. Результатом старения металла является снижение ударной вязкости и относительного сужения при одновременном повышении твердости и прочности.*

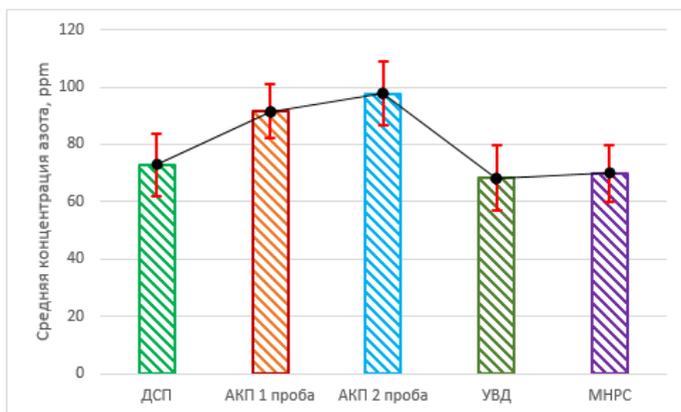
*Ключевые слова: сталь, ковшевая обработка стали, неметаллические включения*

В данной работе был выполнен анализ изменения содержания оксидных неметаллических включений на различных этапах производства стали марки 22ГЮ. Данная марка стали применяется для изготовления электросварных прямошовных труб диаметром от 10 до 530 мм и конструкций различного назначения. Микроструктура данной стали феррито-перлитная, она не чувствительна к флокенам, не склонна к отпускной хрупкости. Сталь обладает хорошей свариваемостью следующими способами сварки: ручная дуговая сварка, аргонодуговая сварка под флюсом и газовой защитой, электрошлаковая сварка.

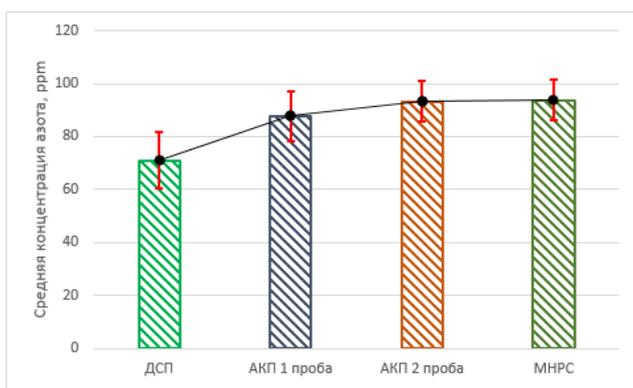
Был выполнен анализ изменения содержания азота в пробах металла на массиве паспортов промышленных плавок трубных марок стали за 2020 год. На предприятии используются две технологически цепочки производства: ДСП-АКП-УВД-МНРС и ДСП-АКП-МНРС.

В результате статистического анализа было обработано 6528 плавков, из них 1524 плавки были подвергнуты вакуумной дегазации.

Среднее значение концентрации азота в металле и среднее квадратичное отклонение на участках ДСП-АКП-УВД-МНРС и ДСП-АКП-МНРС представлены на рисунках 1 и 2.



*Рисунок 1. Среднее содержание азота в металле и его среднее квадратичное отклонение для всех марок сталей технологической цепочки ДСП-АКП-УВД-МНРС*



*Рисунок 2. Среднее содержание азота в металле и его среднее квадратичное отклонение для всех марок сталей технологической цепочки ДСП-АКП-МНРС*

В результате построенных диаграмм, изображенных на рисунках 1 и 2, по статистическим данным установлено, что основной прирост азота в металле осуществляется преимущественно на участке технологической цепочки ДСП-АКП.

Образцы металла были отобраны по всей технологической цепочке производства ДСП-АКП-МНРС-прокат. В общей сложности были отобраны пробы: перед выпуском из ДСП, шесть проб с АКП, проба с МНРС и образцы проката, с разных участков прокатного стана.

Выполнен фракционный газовый анализ (ФГА) отобранных проб металла [1]. Метод ФГА основывается на различии температурных зависимостей термодинамической прочности оксидов, в которых находится основная часть связанного в металле кислорода. Идентификация оксидных включений происходит по спектру пиков газовой выделения с использованием результатов химического состава образца. Основным параметром идентификации, определяющим соответствие полученного пика тому или иному оксиду, является температура начала и температура максимума пика карботермического восстановления оксида в условиях анализа [2].

ФГА позволяет определить общее количество кислорода и азота, кислорода в оксидных НВ. От каждой пробы металла были отобраны по три образца размерами  $\approx 5 \times 5 \times 5$  мм для проведения параллельных испытаний.

В дальнейшем образцы перед проведением ФГА подвергались дополнительной очистке поверхности образцов от загрязнений в техническом спирте. ФГА образцов проводили на газоанализаторе LECO TC600. Полученные кривые газовой выделения обрабатывались с помощью программного обеспечения OxSeP, было определено содержание кислорода в различных типах оксидных НВ (рисунок 4) [3].

По результатам обработки результатов ФГА была построена зависимость (рисунок 4) содержания кислорода в различных типах оксидных НВ, общего содержания кислорода и азота в пробах металла на этапах внепечной обработки и разливки стали.

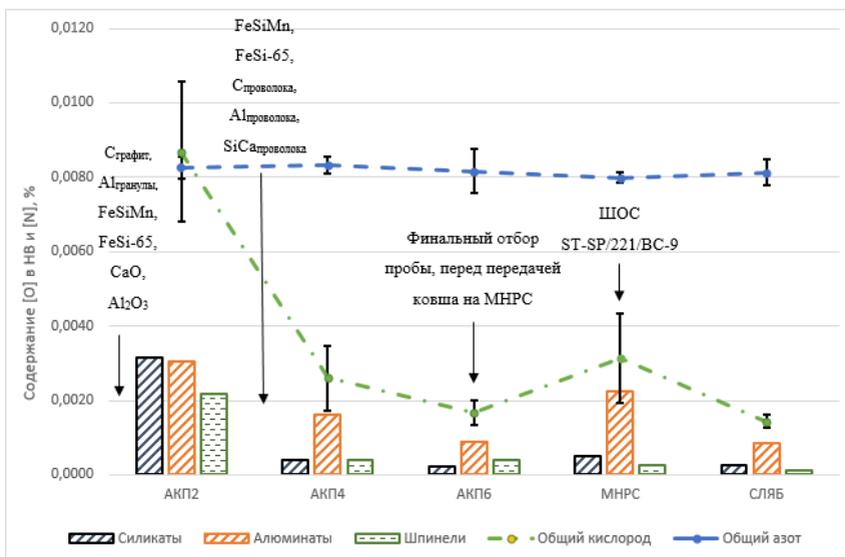


Рисунок 3. Содержание кислорода в различных типах оксидных НВ, общее содержание кислород и азота в пробах металла на этапах внепечной обработки и разливки стали

В начале обработки стали на АКП наблюдается высокое содержание кислорода в металле — 87 ppm (проба АКП2). Данный кислород содержится в неметаллических включениях, таких как силикаты, алюминаты и шпинели, примерно в равных долях. В дальнейшем по ходу обработки стали на АКП происходит уменьшение содержания НВ в металле за счет перемешивания расплава инертным газом (аргон) [4]. Основным типом НВ на данном этапе (АКП4-АКП6) становятся алюминаты. Содержание растворенного азота в пробах металла на АКП находится на одном уровне — ~82 ppm.

В пробах металла с МНРС наблюдали увеличение содержания НВ, которое может быть связано со вторичным окислением стали во время разливки, но в пробе из сляба содержание кислорода в НВ не превышает 14 ppm.

Также был произведен анализ общего содержания азота и кислорода в пробе, взятой на выпуске из ДСП. По результатам анализа уста-

новлено, что среднее содержание составило: кислорода — 690 ppm, азота — 82 ppm.

### *Список используемой литературы*

1. Григорович К. В. Фракционный газовый анализ — новое направление в контроле качества материалов. — Москва : Аналитика и контроль, 2000.

2. Шубина С. Б., Трофимова М. Е., Крылова Т. А. О проблеме стандартных образцов для определения газов в металлах методом восстановительного плавления. — Екатеринбург : Стандартные образцы. — № 1. — 2008.

3. Шibaева Т. В. Исследование формирования неметаллических включений при внепечной обработке трубных сталей и разработка методик контроля их чистоты и коррозионного поведения / Диссертация. — 2018.

4. Моделирование процессов рафинирования стали от неметаллических включений при продувке расплава инертным газом в сталеразливочном и промежуточном ковше / Чичкарев Е. А., Исаев О. Б., Кислица В. В. // XII Международный конгресс сталеплавателей. — 2013.

5. Волошинов Д. В., Соломонов К. Н., Мокрецова Л. О., Тицук Л. И. Некоторые аспекты педагогической модели конструктивного геометрического моделирования // Физико-техническая информатика (СРТ2020). Материалы VIII Международной конференции. — Нижний Новгород, 2020. — С. 328–321.

*Научное издание*

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

*Составитель:*

Шибанов Кирилл Сергеевич

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова  
Корректор Э. Ч. Травина  
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов

Подписано в печать 21.06.2022. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 7,44.  
Тираж 100 экз. Заказ 1505.

Издательство «Бук». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.  
Отпечатано в издательстве «Бук»