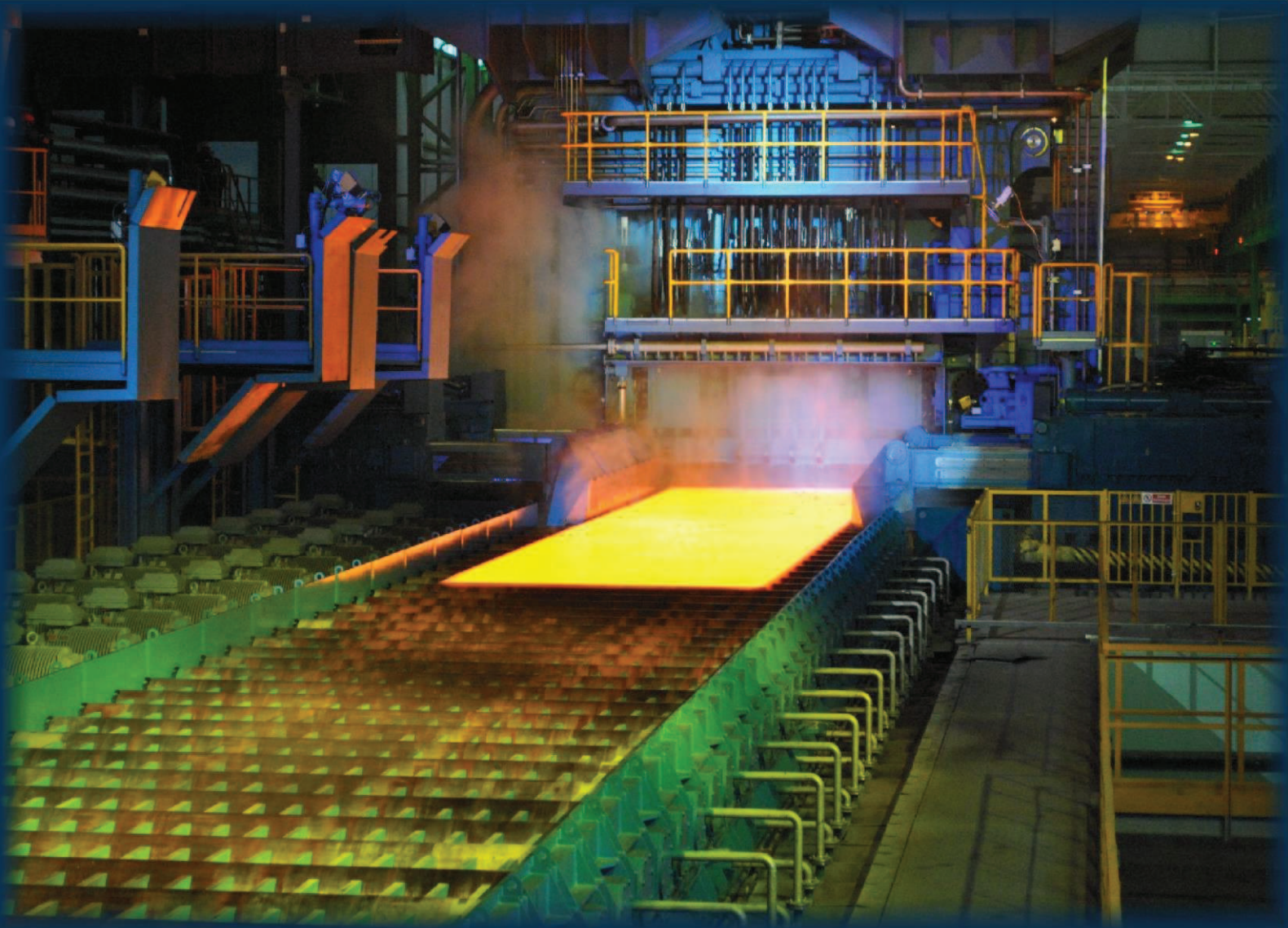


МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

научно-технический журнал



2015, №2 (5)



Журнал индексируется системами РИНЦ и Google Scholar.
Сведения о журнале публикуются в международной системе «Ulrich's Periodicals Directory»

Редакционная коллегия

Главный научный редактор

Корчунов А.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Заместитель главного научного редактора

Анцупов В.П. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор, доктор технических наук.

Бобарикин Ю.Л. – «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», доцент, кандидат технических наук, г. Гомель, Республика Беларусь.

Горбатюк С.М. – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», профессор, доктор технических наук.

Кузьминов А.Л. – «Череповецкий государственный университет», профессор, доктор технических наук.

Нижегородов В.В. – главный механик ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Раскатов Е.Ю. – «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук.

Трофимов В.Н. – «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук.

Ответственный редактор

Слободянский М.Г. – «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кандидат технических наук.

Журнал основан в 2012 г.
Периодичность выхода – 2 номера в год.

Адрес редакции:
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Тел.: (3519) 29-85-07, 29-84-51
Website: www.momz.magtu.ru
E-mail: momz-magtu@yandex.ru;
momz-magtu@mail.ru

Журнал отпечатан издательским центром МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
Выход в свет 28.12.2015. Заказ 808.
Тираж 300 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

И.В. Горлов, А.Н. Болотов, Е.В. Полетаева, М.Г. Рахутин Анализ свойств трибозадаментов технологических машин на основе имитационных моделей	3
В.А. Русанов, Д.П. Паньков, А.С. Губин, И.А. Анцупова, Р.Н. Савельева Модель отказов направляющей системы стана переадактировки валков стана 2000 холодной прокатки	9
Ю.С. Семичев Методика исследования и обеспечение прочности станин клетей действующих прокатных станов	15
Л.С. Белевский, И.В. Белевская, О.С. Коптелова Упрочнение и восстановление деталей комбинированной и ударной обработкой	23
А.Д. Бардовский, П.Я. Бибииков, Т.В. Денискина, Б.В. Воронин Оценка параметров вибрационных мельниц для тонкого помола минерального сырья	29
А.К. Белан, О.А. Белан Оборудование и технологии изготовления крепежных изделий в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ»	36
Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков, Ю.В. Мартыанов, А.В. Веденев Влияние схемы заправки деформирующего устройства для повышения прямолинейности металлокорда	42
В.А. Коротков Модифицирование поверхностей деталей установкой УДГЗ-200	47
Л.Т. Плаксина, В.Н. Сорокин, С.Ф. Трух Оборудование ПАРС для дуговой сварки и наплавки	53
Т.В. Усая, Л.В. Дерябина Дизайн-проектирование элементов фирменного стиля кафедры	64
С.И. Козлов Совершенствование ремонтов как условие промышленной безопасности горных и металлургических предприятий	69
Н.Ш. Тютеряков Анализ деталей валковой арматуры PRD сортопрокатного стана 450 ОАО «ММК» по критериям надежности	74



УДК 622.331.002.5

И.В. Горлов, А.Н. Болотов, Е.В. Полетаева
ФГБОУ ВПО «Тверской государственный
технический университет»
г. Тверь, Россия
E-mail: gorloviv@yandex.ru

М.Г. Рахутин
Национальный исследовательский
технологический университет
«МИСиС», Горный институт
г. Москва, Россия
E-mail: mtm98@yandex.ru
Дата поступления 04.09.2015

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТРИБОЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Аннотация

Определение с помощью имитационного моделирования периодичности операций по восстановлению работоспособности трибоэлементов с учётом их состояния и внешних факторов воздействия, даёт возможность существенно улучшить параметры эксплуатации технологических машин. Имитационные модели позволяют осуществлять объективный выбор наиболее оптимальных решений по воздействию на трибоэлементы машины, что позволит повысить эффективность производства.

Ключевые слова: восстановление, ремонт, алгоритм, информационные технологии, техническое состояние, имитационные модели.

Введение

Актуальным направлением повышения эффективности технологических машин является создание систем управления состоянием на основе имитационного моделирования эксплуатации объектов и параметрической оптимизации компонентов, отвечающих за их работоспособность.

Методы воздействия на параметры эксплуатации конкретной технологической машины зависят от большого количества условий, а каждое реализуемое мероприятие строго индивидуально, и определяется состоянием объекта и внешним воздействием на него (организационно-технические и другие факторы). Решить задачу оценки эффективности использования любой технологической машины можно на основе имитационного моделирования [1].

В середине прошлого века задачи управления материальными объектами на уровне предприятий были достаточно простыми, требовалось получить календарный

план производства продукции, на основе договоров поставки и прогноза реализации. Исходя из прогнозируемого плана производства, устанавливалась потребность в сырье, материалах, комплектующих, требующихся для производства. Поставленные задачи решались с помощью автоматизированных систем MPS (Master Production Scheduling) – объемно-календарного планирования.

Дальнейшим развитием этого направления стали ERP (Enterprise Resource Planning) и EAM (Enterprise Asset Management) системы. Термины были введены в 1990 и в 1998 году аналитической компанией Gartner Group и используются во всём мире. Данные термины используются для обозначения, с одной стороны, определенных совокупных методов (методологии) управления материальными активами предприятия, а с другой стороны, наименования определённого класса информационных систем, отвечающих за автоматизацию функций

менеджмента и информационную поддержку производства. Производители ERP систем, пытаясь максимально занять рынок автоматизированного управления материальными активами предприятий, дополнили свои системы программными модулями, отвечающими за управление ТО и ремонтами оборудования. Так, например, модуль ТО и Р (корпорации Oracle) был использован в ERP-системе Oracle E-Business Suite в 2002 году. ЕАМ системы формировались как независимые информационные продукты, направленные на решение задач связанных с управлением производственными фондами, а также ТО и ремонтом. Использование таких систем, адаптированных к условиям использования конкретного типа оборудования, позволяет повысить эффективность машин за счёт более точного планирования операций по восстановлению работоспособности и прогнозирования эксплуатации с учётом изменяющихся факторов воздействия на технологический процесс.

Основная часть

Для формализации анализа параметров технического состояния машины необходимо разложить её на структурные подсистемы нескольких уровней, на самом нижнем уровне которых будут объекты (трибоэлементы – сопряжения трения) с определённым количеством свойств, по которым можно оценивать их состояние с точки зрения надёжности [2].

В случае рассмотрения технологической системы с точки зрения надёжности такими свойствами являются: триботехнические параметры сопряжений, периодичность их обслуживания, наработка с начала эксплуатации, наработка с последнего ТО и остаточный ресурс, по которым можно оценивать техническое состояние машины в целом.

На основе анализа конструкции торфяных машин (ТМ) для фрезерного способа добычи были выявлены основные структурные схемы механизмов и выбраны элементы, которые оказывают определяющее

значение на надёжность. Разработана структурная схема комплексного агрегата, отражающего свойства большинства ТМ, на основе, которой создана имитационная модель. Удалив из структуры комплексного агрегата элементы, несвойственные конкретной торфяной машине, можно получить модели большинства ТМ.

В таблице 1 представлена часть структурной модели, в которой отображены основные свойства несущей подсистемы бункерной уборочной машины МТФ-43А. На нижнем уровне модели представлены трибосопряжения, которые обеспечивают функционирование подсистемы, и именно от них зависит работоспособность технологического объекта.

Единица на пересечении i -той строки и j -того столбца обозначает, что i -тый структурный элемент обладает j -тым свойством, в противном случае ставится 0. Каждая строка матрицы, описывающей свойства сопряжений, представляет собой булев вектор логические операции с которой, обеспечивают возможность автоматизации процессов принятия решения на основе алгебры логики.

Имитационная модель M комплексного агрегата содержит 430 основных элементов, позволяет определить работоспособность ТМ в любой момент времени

$$M = \begin{cases} y^1(t) = \gamma_1(t, u_{11}(t), u_{12}(t), \dots, u_{1p}(t)) \\ y^2(t) = \gamma_2(t, u_{21}(t), u_{22}(t), \dots, u_{2p}(t)) \\ \dots \\ y^i(t) = \gamma_i(t, u_{i1}(t), u_{i2}(t), \dots, u_{ip}(t)) \end{cases},$$

где: y – значение характеристики состояния i -того элемента (1 – исправен, 0 – неисправен); γ – функция изменения состояния i -того элемента; t – наработка машины с предыдущего состояния; $u_{i\varphi}$ – элемент структурной модели описывающий свойства сопряжений (трибоэлемента) с точки зрения безотказности (может принимать значения 1 , 0 или натурального числа – значения описывающего свойство элемента).

Свойства структурных элементов несущей подсистемы

Сопряжения	Обозначение элемента	Сопряжение скольжения	Сопряжение качения	Сопряжение антифрикционное	Сопряжение фрикционное	Сопряжение регулируемое	Сопряжение нерегулируемое	Сопряжение без смазки	Сопряжение с консистентной смазкой	Сопряжение с жидкой смазкой	Периодичность ТО-1, 60 мото.час	Периодичность ТО-2, 240 мото.час	Периодичность ТР, 1920 мото.час	Периодичность КР, 3840 мото.час	Общий ресурс, мото.час	Трудоёмкость ТО, чел/час	Трудоёмкость ремонта, чел/час
Корпус каретки и втулка	A211	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1920		0,5
Втулка и опорная ось	A212	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	3840	0,15	0,1
Корпус каретки и ось колеса	A213	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3840		0,2
Колесо опорное и подшипник	A221	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3840		0,3
Подшипник и ось опорного колеса	A222	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1920		0,3
Подшипник качения опорного колеса	A223	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1920	0,15	0,2
Уплотнение подшипника опорного колеса	A224	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	3840		0,3
Поддерживающее колесо и подшипник	A231	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3840		0,2
Подшипник и ось поддерживающего колеса	A232	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	3840		0,2
Подшипник поддерживающего колеса	A233	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	3840		0,2
Уплотнение подшипника поддерж. колеса	A234	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1920		0,5
Колесо натяжное и подшипник	A241	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1920		0,5
Подшипник и ось натяжного колеса	A242	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	3840		0,2
Ось натяжного колеса и натяжителя	A243	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	3840		0,5
Натяжитель и рама	A244	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	3840		0,5
Подшипник натяжного колеса	A245	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1920	0,15	0,2

Модель M торфяной машины представляет собой несколько матриц M_i , состоящих из элементов u_{if} , связанных между собой логическими функциями (рисунок 1).

Физико-механические свойства капролона (полиамид-6 блочный) позволяют использовать его вместо цветных металлов и сплавов. Для улучшения антифрикционных свойств полимера его насыщают графитом (около 2% по массе). Графитонаполненный капролон сохраняет практически все свойства обычного капролона, но имеет значительно меньший коэффициент трения, который при трении по стали составляет около 0,15. Использование такого материала, не требующего обслуживания, обеспечивает существенное сокращение трудоёмкости ТО, и повышает надёжность трибоузла.

Оценить предлагаемые мероприятия по совершенствованию узла необходимо с помощью имитационного моделирования. Для проведения имитационного исследования необходимо загрузить данные о ма-

шине (суммарная наработка с начала эксплуатации, данные о погоде на десять дней и общее количество дней неблагоприятных для добычи торфа в месяце). После выполнения указанных операций в диалоговом окне имитационной модели отображаются результаты исследования в виде файла с расширением xls (рисунок 2) [4].

В результатах исследования представлены обслуживаемые элементы, трудоёмкость их обслуживания и день проведения соответствующих операций ТО. Так же выводится общее число часов работы машины и времени нахождения в ремонте и обслуживании.

Определив количество часов работы машины и времени нахождения в обслуживании и ремонте можно провести оценку эффективности мероприятий по совершенствованию трибоэлементов.

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
69	B1	Преобразователи энергии	Двигатель ЯМ3238		2		
70	B2	Преобразователи энергии	АКБ		0,25		
71	G213	Муфта сцепления	Подшипник выжимной и направляющая втулка		0,25		
72	G31	Ремённая передача	Ремень		0,25		
73					3		
74							
75	Номер по порядку	Общая наработка ко времени ТО	Оставшаяся наработка до ТО			Предполагаемый день проведения ТО	30
76	5	376		176		Внеочередное обслуживание в связи с выходом из строя эле	
77	Код	Система	Элемент	Трудоёмкость			
78	A233	Колесо поддерживающее	Подшипник поддерживающего колеса		0,5		
79					0,5		
80							
81	Номер по порядку	Общая наработка ко времени ТО	Оставшаяся наработка до ТО			Предполагаемый день проведения ТО	33
82	6	380		180		Внеочередное обслуживание в связи с выходом из строя эле	
83	Код	Система	Элемент	Трудоёмкость			
84	G721	Цепная передача 1	Цепь и звёздочка		0,5		
85					0,5		
86							
87	Номер по порядку	Общая наработка ко времени ТО	Оставшаяся наработка до ТО			Предполагаемый день проведения ТО	36
88	7	383		183		Обслуживание совмещено с плохими погодными условиями	
89	Код	Система	Элемент	Трудоёмкость			
90	A212	Опорная каретка	Втулка и опорная ось		0,25		
91	B1	Преобразователи энергии	Двигатель ЯМ3238		2		
92	B2	Преобразователи энергии	АКБ		0,25		
93	G213	Муфта сцепления	Подшипник выжимной и направляющая втулка		0,25		
94	G31	Ремённая передача	Ремень		0,25		
95					3		

Рисунок 2. Результаты анализа обслуживания технологической машины

С помощью имитационной модели комплексного агрегата был проведён анализ изменения сезонной производительности машины. На рисунке 3 показана зависимость изменения производительности Q комплексного агрегата (с наработкой 1000 часов с начала эксплуатации при 50 метеонеблагоприятных днях за сезон) при увели-

чении цикла обслуживания за счёт модификации трибоэлементов. Увеличение ресурса трибоэлементов позволяет сократить практически на треть сервисные работы, что обеспечивает повышение производительности технологической машины на 7-15% в зависимости количества метеонеблагоприятных дней.

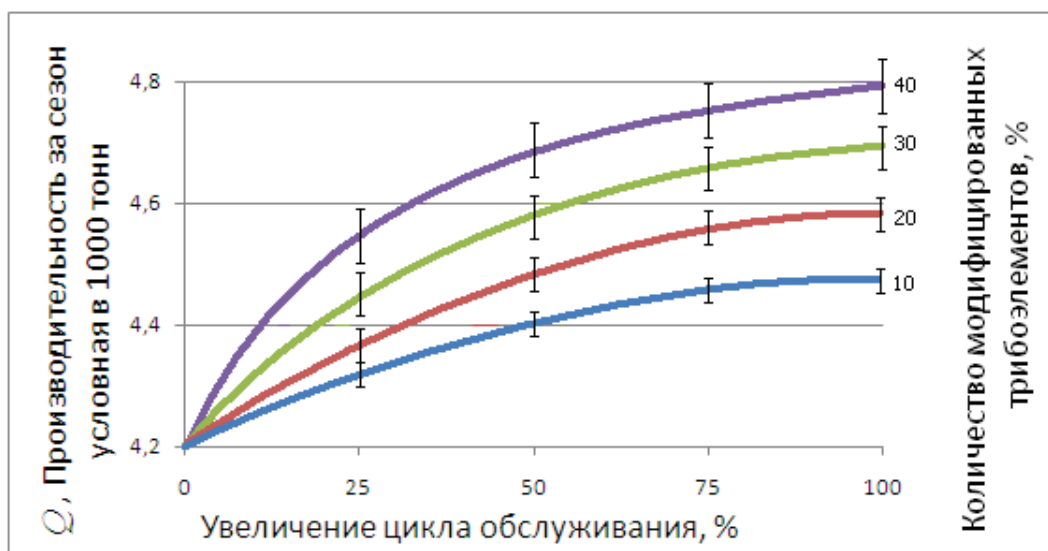


Рисунок 3. Изменения производительности Q за сезон комплексного агрегата за счёт модификации трибоэлементов

Исследование на имитационной модели показывает, что изменение цикла обслуживания трибоэлементов влияет на производительность технологической машины нелинейно и зависит от большого количества факторов. Следовательно, принятие решения о воздействии на трибоэлементы должно быть основано на анализе результатов моделирования и обосновано с точки зрения затрат.

Выявление наиболее значимых свойств трибосопряжений, на основе моделирования, и синтез трибоэлементов с улучшенными параметрами, позволяет управлять изменением технического состояния узлов и технологических машин в целом, что обеспечивает повышение эффективности их эксплуатации.

Затраты на мероприятия по совершенствованию параметров трибоэлементов могут быть значительными и не окупаться в процессе эксплуатации машины. Поэтому с помощью моделирования необходимо проводить анализ предлагаемых мероприятий с точки зрения их эффективности.

Для сравнения эффективности эксплуатации ТМ можно использовать относительную эффективность $\Delta \mathcal{E}$, которая определяется как отношение объёма выполненных работ (в рублях) технологической машиной по результатам моделирования процесса эксплуатации $\mathcal{E}_k$ с использованием модифицированных узлов к объёму работ

машины $\mathcal{E}_{k-1}$ без соответствующих мероприятий

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_k / \mathcal{E}_{k-1},$$

$$\mathcal{E}_k = C_T q' ((N_{ном} - N'_{мнд}) t_{дн} - \sum_{i=1}^n \tau_i) - \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где C_T – цена единицы продукции, q' – условная производительность технологической машины, $N_{ном}$ – номинальный фонд работы машины, $N_{мнд}$ – количество неблагоприятных дней, $t_{дн}$ – дневная наработка машины, τ_i – время нахождения машины в ТО и ремонтах не совпавшее с неблагоприятными днями, φ_i – стоимость ремонта и обслуживания i -того трибоэлемента.

Величина $\Delta \mathcal{E}$ позволяет провести сравнительную оценку различных вариантов эксплуатации торфяных машин с целью выбора наиболее оптимальных мероприятий по совершенствованию трибоэлементов ТМ.

Заключение

С помощью имитационного моделирования может быть проведён анализ эксплуатации любой технологической машины, это позволяет выбирать наиболее эффективные с точки зрения осуществления технологического процесса решения по воздействию на их трибоэлементы. Имитационное моделирование позволяет на основе компьютерных исследований выявлять узлы, требующие частых сервисных работ и недостаточный ресурс, и за счёт их

улучшения снижать затраты на обслуживание и ремонт, повышая эффективность эксплуатации.

Библиографический список

1. Горлов И.В., Болотов А.Н. Информационная составляющая системы управления работоспособностью торфяных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2013. № 1. – С. 216-221.
2. Горлов И.В., Полетаева Е.В. Управление безотказностью технологической машины на основе анализа структурной

модели // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2013. № 9. – С. 223-226.

3. Горлов И.В., Полетаева Е.В. Анализ состояния технологического объекта на основе структурной модели // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2014. № 1. – С. 146-149.
4. Горлов И.В., Полетаева Е.В. Прогнозирование эксплуатации технологической машины на основе агрегативной модели // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2013. № 10. – С. 218-222.



УДК 669.1.002.5-192

**В.А. Русанов, Д.П. Паньков, А.С. Губин,
И.А. Анцупова, Р.Н. Савельева**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: volody-74mgn@mail.ru
Дата поступления 23.11.2015

МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СТЕНДА ПЕРЕВАЛКИ ВАЛКОВ СТАНА 2000 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Аннотация

Разработана физико-вероятностная модель прогнозирования надежности направляющих узлов станда перевалки валков стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК». С этой целью поставлена и решена однопараметрическая краевая задача теории надежности трибосистем для граничных условий и расчетной схемы сопряжения «планка - плита скольжения». На основе проведенных проектных исследований на модели предложены способы повышению долговечности направляющих узлов и рассчитан предполагаемый срок их службы по критерию износостойкости планок. Наиболее долговечная конструкция внедрена в промышленную эксплуатацию.

Ключевые слова: трибосопряжение, направляющий узел перевалки валков; модель отказов; критерий; износостойкость, ресурс, срок службы, прогнозирование и повышение.

Введение

Одной из актуальных проблем производства холоднокатаного листа является вопрос обеспечения требуемого уровня надежности и долговечности вспомогательных устройств и агрегатов прокатных станов. Как показывает практика, главной причиной их отказов является износ подвижных сопряжений, значительную часть которых составляют опоры скольжения, работа-

ющие в условиях граничного или полужидкостного трения [1]. К ним относятся направляющие системы самых различных типов и модификаций, в частности, направляющие узлы скольжения стандов перевалки валков станов холодной и горячей листовой прокатки, ползуны кантователей рулонов и множество других подобных пар трения поступательного движения.

Большая часть таких сопряжений работает в режиме граничного трения при относительно малых скоростях перемещения (не более 1 м/с). Для математического описания процессов их повреждаемости и оценки проектного срока службы предложено множество моделей концептуального подхода [1, 2], в рамках которого созданы классические расчетные зависимости В.Д. Кузнецова, И.В. Крагельского, Г. Фляйшера, Д. Арчарда, Е. Финкина, Дж. Ланкастера, Д. Мура, А. Кризи, и др. Наиболее распространенные классы моделей, широко применяемые для оценки текущего линейного износа элементов трибосопряжений по пути или работе трения в условиях стационарного трения и усталостного изнашивания, в настоящее время составляют основной расчетный базис для проектной оценки их ожидаемого ресурса.

Однако, основным недостатком таких моделей является наличие эмпирических коэффициентов в основных зависимостях для определения ресурса - линейной или энергетической интенсивности изнашивания или фактора износа, которые находят экспериментально по стандартной методике [3] статистической обработкой результатов измерений износа образцов и рассчитанных значений пути или работы трения. Поэтому описанные выше полуэмпирические модели невозможно использовать на стадии проектирования новых узлов трения, или сопряжений для других условий эксплуатации.

В связи с этим уже на стадии проектирования подвижных сопряжений, в частности, направляющих систем (НС), актуальной становится проблема оптимального выбора их конструкции, материалов наиболее изнашиваемых элементов и условий трения на контакте для обеспечения требуемого в техническом задании уровня их долговечности (срока службы, ресурса) при одновременном снижении стоимости этапов проектно-конструкторской разработки. Эти задачи, на наш взгляд, можно решить аналитически на основе математического мо-

делирования процесса формирования отказов НС по критерию износостойкости материалов поверхностного слоя.

Разработка кинетической модели отказов НС перевалки валков

Согласно общему методологическому подходу к прогнозированию надежности деталей машин [4] физико-математическая модель отказов НС представляет собой однопараметрическую краевую задачу теории надежности стационарных сопряжений, для постановки которой можно использовать энерго-механическую концепцию изнашивания их трибозащитных элементов [5]. Она сформулирована на базе совместного решения основополагающих уравнений молекулярно-механической [6] и структурно-энергетической [7-9] теорий трения для расчетной схемы нагружения элементов направляющей системы представлены на рисунке 1.

Направляющие планки 2 из бронзы Бр.АЖ 9-4 крепятся к опорным поверхностям подушек (по две планки на каждую подушку) верхнего и нижнего рабочих валков. При перевалках они перемещаются с постоянной скоростью по верхним и нижним шлифованным плитам скольжения 1, изготовленных из закаленной стали 40Х.

В соответствии с правилами общей теории прогнозирования надежности технических объектов [10, 11] в качестве параметра состояния x_t сопряжения «планка - плита скольжения», можно принять текущее значение толщины планки, рисунок 1. В процессе изнашивания планки со средней скоростью $\dot{y}$ её размер уменьшается от начального значения $x_t = x_0$ до предельной величины $x_t = x_* = 0,5 \text{ мм}$, которая назначается из нормативно - технической документации. При этом можно полагать, что трибосопряжение работает в установившемся режиме усталостного изнашивания в нормальных условиях эксплуатации. Износом плиты скольжения, как показывает практика, можно пренебречь.

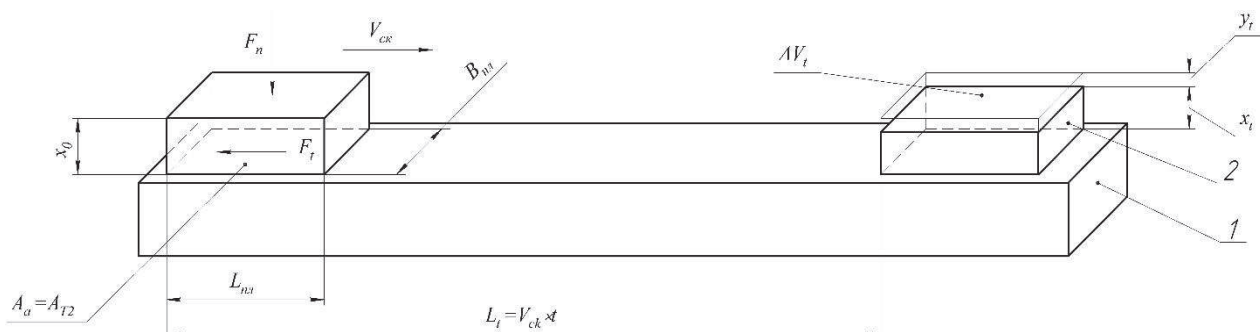


Рисунок 1. Расчетная схема нагружения элементов НС
1 - плита скольжения; 2 - направляющая планка

В этом случае уравнение эволюции НС станда перевалки валков в процессе будущей эксплуатации можно записать в виде:

$$x_t = x_0 - \dot{y} \cdot t. \quad (1)$$

Решением уравнения перехода НС в предельное состояние:

$$x_t = x_0 - \dot{y} \cdot t = x_* \quad (2)$$

относительно $t = t_*$, получим выражение для оценки его ожидаемого ресурса:

$$t_* = (x_0 - x_*) / \dot{y}. \quad (3)$$

Кинетическое уравнение деградации НС для оценки скорости изнашивания планки можно записать в виде базовой зависимости энерго-механической концепции [5]:

$$\dot{y} = \alpha^* \cdot \nu \cdot f_{\text{мех}}^y \cdot p_a \cdot V_{\text{ск}} / \Delta u_{e*}, \quad (4)$$

где α^* - коэффициент перекрытия планки;

ν - коэффициент преобразования внешней энергии в материале её поверхностного слоя;

$f_{\text{мех}}^y$ - механическая составляющая коэффициента трения в стационарном режиме;

p_a и $V_{\text{ск}}$ - среднее номинальное давление и скорость скольжения на контакте;

Δu_{e*} - критическая энергоемкость материала поверхностного слоя планки.

Система уравнений (3) - (4) и зависимостей для определения параметров, входящих в выражение (4), представляет однопараметрическую краевую задачу физической теории надежности НС в общем виде. Для получения однозначного решения поставленной задачи необходимо сформулировать начальные и граничные условия для

заданной расчетной схемы нагружения элементов НС. С этой целью сформулируем методику решения краевой задачи для направляющей системы станда перевалки валков стана 2000 холодной прокатки построим для расчетной схемы взаимодействия стальной плиты 1 с изнашиваемой бронзовой планкой 2, рисунок 1, в виде блочного алгоритма компьютерной программы.

Блок 1. Исходные данные (см. рисунок 1).

1 группа. Параметры внешнего нагружения (трения). F_n , $V_{\text{ск}}$ - нормальная сила и скорость скольжения на контакте.

2 группа. Геометрические характеристики элементов, рисунок B_{nl} , L_{nl} , L_{nc} , B_n - ширина и длина планки и плиты соответственно; x_0 , x_t - толщина планки в исходном состоянии и ее текущее значение.

3 группа. Микрогеометрические характеристики трущихся поверхностей. R_{a1} , R_{a2} и Δ_1 - среднеарифметические отклонение профиля поверхностей трибоэлементов и комплексный параметр шероховатости поверхности плиты.

4 группа. Физико-механические характеристики материалов плиты и планки в исходном состоянии. $\mu_{1,2}$, $E_{1,2}$, $\sigma_{\text{тп}1,2}$, $\sigma_{T1,2}$, $\sigma_{B1,2}$, $HB_{1,2}$, $HV_{1,2}$, $\alpha_{\text{эф}1,2}$, $\rho_{1,2}$ - коэффициент Пуассона, модуль упругости, предел пропорциональности, текучести и прочности, твердость по Бринеллю и Виккерсу, коэффициент гистерезисных потерь и плотность материалов плиты и планки соответственно.

5 группа. Теплофизические характеристики материалов плиты и планки в исходном состоянии. $\Delta H_{S1,2}$, $\lambda_{1,2}$, $\alpha_{1,2}$ - энтальпия плавления, коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи соответственно.

6 группа. Фрикционные характеристики сопряжения материалов. τ_0 , β - удельная сдвиговая прочность поверхностей и коэффициент упрочнения молекулярной связи.

Блок 2. Параметры контакта и свойства материалов.

2.1. Площади контакта, трения и коэффициент перекрытия, рисунок 1:

$$A_a = A_{T2} = B_{nl} \cdot L_{nl}; \quad A_{T1} = B_{nl} \cdot L_{nc};$$

$$\alpha_1^* = A_a / A_{T1}; \quad \alpha_2^* = A_a / A_{T2}.$$

2.2. Периметры площадей трения:

$$u_1 = 2 \cdot (B_{nl} + L_{nc}); \quad u_2 = 2 \cdot (B_{nl} + L_{nl}).$$

2.3. Номинальное давление на контакте: $p_a = F_n / A_a$.

2.4. Предел пропорциональности и модуль сдвига материалов:

$$\sigma_{m1,2} = (0,9 \div 0,97) \cdot \sigma_{T1,2};$$

$$G_{1,2} = E_{1,2} / (2 \cdot (1 + \mu_{1,2})).$$

2.5. Упругие постоянные материала плиты и планки:

$$\theta_1 = (1 - \mu_1^2) / E_1; \quad \theta_2 = (1 - \mu_2^2) / E_2.$$

Блок 3. Распределение внешней энергии [12].

3.1. Коэффициент поглощения внешней энергии материалом плиты:

$$\nu_1 = 1 - (K_\varepsilon \cdot R_{a1}^{1/3} + 1)^{-1};$$

$$K_\varepsilon = \theta_1^{2/3} / (\theta_2^{2/3} \cdot R_{a2}^{1/3}).$$

3.2. Коэффициент поглощения внешней энергии материалом планки: $\nu_2 = 1 - \nu_1$.

Блок 4. Коэффициент трения на стадии приработки.

4.1. Внутреннее напряжение (контурное давление) в поверхностном слое планки [13]: $\sigma_{a2} = \sigma_{T2} \cdot (p_a / \sigma_{T2})^{p_{ax} / \sigma_{T2}}$.

4.2. Вид напряженного состояния поверхностного слоя планки [6]:

$$\begin{cases} \text{упругое состояние, если } \sigma_{a2} < \sigma_{m2}; \\ \text{упруго-пластическое, если } \sigma_{y2} < \sigma_{a2} < \sigma_{T2}; \\ \text{пластическое, если } \sigma_{T2} < \sigma_{a2} < HB_2. \end{cases}$$

4.3. Коэффициент трения для определенного вида напряженного состояния поверхностного слоя планки:

- при упругом напряженном состоянии:

$$f = 2,4 \cdot \tau_0 \cdot \left(\frac{\theta_2^4}{p_a \cdot \Delta_1} \right)^{0,2} + \beta + 0,2 \cdot \alpha_{\varphi 2} \cdot (p_a \cdot \Delta_1^2 \cdot \theta_2)^{0,2};$$

- при упругопластическом:

$$f = 1,25 \cdot \tau_0 \cdot \left(\frac{\theta_2^2}{p_a \cdot \Delta_1} \right)^{\frac{1}{3}} + \beta + 0,4 \cdot \alpha_{\varphi 2} \cdot (p_a \cdot \Delta_1 \cdot \theta_2)^{\frac{1}{3}};$$

- при пластическом напряженном состоянии: $f = \frac{\tau_0}{HB_2} + \beta + 0,9 \cdot \left(\frac{p_a}{HB_2} \cdot \Delta_1 \right)^{0,5}$.

Блок 5. Температура [14].

5.1. Параметры, определяемые свойствами плиты и планки: $m_{1,2} = \sqrt{\frac{\alpha_{1,2} \cdot u_{1,2}}{\lambda_{1,2} \cdot A_{T1,2}}}$.

5.2. Температуры поверхностных слоев трибоэлементов в установившемся режиме трения:

$$T_{1,2} = \frac{f \cdot F_n \cdot V_{ck}}{A_{T1,2} \cdot (\lambda_2 \cdot m_2 + \lambda_1 \cdot m_1)} + T_0.$$

Блок 6. Физико-механические характеристики материалов для $T_{1,2} = const$. Упругие постоянные материалов плиты и планки: $\theta_{1,2}(T_{1,2}) = (1 - \mu_{1,2}^2(T_{1,2})) / E_{1,2}(T_{1,2})$.

Блок 7. Коэффициент трения в стационарном режиме [6].

7.1. Полный коэффициент трения:

$$f^y = 1,25 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5} + \beta.$$

7.2. Его механическая составляющая:

$$f_{мех}^y = \frac{1,25 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2}) + \beta \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5}}{3 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5} + \beta}.$$

Блок 8. Критическая энергоемкость [8].

8.1. Плотность скрытой энергии материала планки в исходном состоянии:

$$u_{e02} = \frac{(0,071 \cdot HV_2)^{2,4}}{6 \cdot G \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_2 + 0,12 \cdot 10^{-2})^2}.$$

8.2. Изменение плотности тепловой составляющей внутренней энергии материала планки при температуре T_2 установившегося режима:

$$\Delta u_{T*2} = \int_0^{T_2} \rho_2(T_2) \cdot c_2(T_2) \cdot dT.$$

8.3. Критическая плотность скрытой энергии материала поверхностного слоя планки в установившемся режиме трения и усталостного изнашивания:

$$\Delta u_{e*2} = \Delta H_{S2} - u_{e02} - \Delta u_{T*2}.$$

Блок 9. Повреждаемость. Скорость линейного изнашивания планки по (4):

$$\dot{y}_2 = \alpha_2^* \cdot v_2 \cdot f_{\text{мех}}^y \cdot p_a \cdot V_{\text{ск}} / \Delta u_{e*2}.$$

Блок 10. Долговечность. Ожидаемый ресурс пары трения по (3): $t_* = (x_0 - x_*) / \dot{y}_2$.

Результаты теоретических исследований

По предложенной методике был рассчитан ресурс и срок службы НС станда перевалки валков по критерию износостойкости бронзовых планок. В соответствии с уравнениями (3) и (4) искомые зависимости примут вид:

- для ресурса:

$$t_* = (x_0 - x_*) \cdot \Delta u_{e*} / \alpha^* \cdot v \cdot f_{\text{мех}}^y \cdot p_a \cdot V_{\text{ск}}; \quad (5)$$

- для срока службы:

$$t_{\text{сл}^*} = t_* / t_{\text{раб}}. \quad (6)$$

где $t_{\text{раб}} = 0,5 \text{ ч/сут}$ - время работы планок в сутки.

Расчет по формулам (5) и (6) показал, что ресурс (непрерывная наработка) планок до отказа составляет $t_* = 24,72 \text{ ч}$, а срок службы $t_{\text{сл}^*} = 49,44 \text{ сут}$. Поскольку нормативный срок их службы составляет $[t_{\text{сл}}] = 65 \text{ сут}$, планки из бронзы Бр.АЖ 9-4 по ГОСТ 18175-78 оказываются не работоспособными: $t_{\text{сл}^*} = 49,44 \text{ сут} < [t_{\text{сл}}] = 65 \text{ сут}$, что подтверждает практика их эксплуатации. Средний срок службы планок НС в 2015 году составил $t_{\text{сл}^*}^3 \approx 1,5 \text{ месяца}$. Ошибка предсказания не превышает 15%.

Для повышения долговечности направляющей системы станда перевалки валов предложено изготавливать их из более износостойких материалов: бронзы Бр.ОФ 10-1 ГОСТ 613-79 и чугуна АЧС-1 ГОСТ 1585-85. По предложенной методике оценен срок их службы, который составил соответственно: $t_{\text{сл}^*} = 96,16 \text{ сут}$ и $t_{\text{сл}^*} = 198,74 \text{ сут}$, что в 1,5 и 3 раза превышает нормативный.

Заключение

На основе энерго-механической концепции изнашивания трибосопряжений разработана методика прогнозирования срока службы НС станда перевалки валков по критерию износостойкости направляющих планок. Результаты расчета показали, что:

- срок службы применяемых на стане планок из Бр.АЖ 9-4 в среднем на 30% меньше нормативного;

- ожидаемый срок службы направляющих планок из предлагаемых более износостойких материалов: Бр.ОФ 10-1 и чугуна АЧС-1, в 1,5 и 3 раза превышает регламентированный соответственно.

В настоящее время для проверки полученных результатов изготавливаются опытные партии направляющих планок для проведения промышленных испытаний.

Библиографический список

1. Современные методы прогнозирования износа узлов трения / Крагельский И.В., Комбалов В.С., Логинов А.Р., Сачек Б.Я. // Обз. инф. «Межотраслевые вопросы науки и техники». М.:ГОСНИТИ, 1979, вып.15. – 31с.
2. Обобщение моделей концептуального подхода для оценки показателей износостойкости трибосистем / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.А. Русанов и др. // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012.- С. 67-73.
3. Р 50-95-88 Обеспечение износостойкости изделий: основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1989.- 24с.
4. Анцупов А.В. (мл.) Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308с.
5. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: монография/ А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов.

- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 293 с.
6. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ.- М.: Машиностроение, 1977.- 526 с.
 7. Структурно-энергетическая интерпретация взаимосвязи процессов трения и изнашивания / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.С. В.А. Русанов, Губин и др. // Процессы и оборудование металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. Платова С.И. Вып.8.- Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.- С. 233-240.
 8. Федоров С.В. Основы трибоэродинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости. – Калининград: КГТУ, 2003. – 409с.
 9. Структурно-энергетический подход к оценке фрикционной надежности материалов и деталей машин / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Материалы 66-й науч.-техн. конф.: сб. докл. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.- Т.1.- С. 258-262.
 10. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.- 2014.- №1.- С. 141-146.
 11. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал.- 2014.- №2.- С. 26-32.
 12. Протасов Б.В. Энергетические соотношения в трибосопряжении и прогнозирование его долговечности. – Саратов.: Саратовский университет, 1979. – 152с.
 13. Хохлов В.М. Расчет площадей контакта, допускаемых напряжений, износа и износостойких деталей машин.- Брянск: БГТУ, 1999.- 104 с.
 14. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др. // Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе.– М.: Машиностроение, 2003.– 576с.
 15. Оценка долговечности и повышение срока службы гидроцилиндров уравнивания прокатных валков / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, А.С. Губин // Безопасность и живучесть технических систем: Труды IV Всероссийской конференции. В 2т./ Науч. ред. В.В. Москвичев.- Красноярск: Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 2012.- Т.2.- С.20-24.
 16. Пат. на ПМ 114890. Гидроцилиндр устройства для регулирования раствора валков прокатной клетки / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), С.П. Шинкевич, А.С. Губин, В.А. Русанов // БИПМ.- 2012.- №11.- С 36.
 17. Методика прогнозирования надежности плунжерных гидроцилиндров по критерию износостойкости уплотнений / А.В. Анцупов, А.С. Губин, В.А. Русанов, И.Ю. Чекалин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. докл. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011.- С. 142-144.
 18. Выбор износостойких материалов при проектировании узлов трения / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.С. Губин, В.А. Русанов // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.- Т.1.- С. 197-200.
 19. Оценка долговечности и повышение срока службы золотниковых распределителей / А.В. Анцупов, В.А. Русанов, В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), Р.Н. Савельева // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г.- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012.- С. 44-52.



УДК 621.774

Ю.С. Семичев
ОАО «Корпорация ВСМПО – АВИСМА»
г. Верхняя Салда, Россия
E-mail: Semichev@vsmpro.ru
Дата поступления 28.10.2015

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТАНИН КЛЕТЕЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Аннотация

Основной причиной разрушения станин клетей прокатных станов является возникновение и развитие трещин усталости в радиусной галтели контактной площадки верхней поперечины. Предложена и обоснована методика исследования напряженного состояния и прочности зон максимальных напряжений станин прокатных станов. Разработана, исследована и обоснована конструкция галтели контактной площадки верхней поперечины с поднутрением стенки отверстия под нажимную гайку. Новая конструкция галтели обеспечивает неограниченную долговечность станин при сохранении существующих конструкции и компоновки деталей нажимного устройства.

Ключевые слова: станина прокатного стана, прочность, методы исследования напряженного состояния и прочности, галтель контактной площадки с поднутрением стенки отверстия под нажимную гайку, неограниченная долговечность.

Введение

По определению академика А.И. Целикова [1] прокатным станом называется машина, которая служит для обработки материалов давлением между вращающимися валками. Сила, создаваемая давлением металла на валки, воспринимается станинами клетки, поэтому, как отмечает Б.А. Морозов [2], именно прочность станины лимитирует производительность прокатного стана. В тоже время, практика эксплуатации показывает, что длительные простои линий производства проката, значительные расходы на ремонт и запасные части связаны с разрушением станин клетей прокатных станов. Во многих случаях тяжесть последствий аварийной ситуации усугубляется внезапностью произошедшего разрушения. «Внезапность» объясняется тем, что конструктивные концентраторы, где возникают максимальные напряжения, превышающие предел усталостной прочности материала, расположены в недоступных для прямого наблюдения местах. В работе [2] отмеча-

ется, что к таким концентраторам напряжений относится радиусная галтель верхней поперечины станины в месте перехода вертикального отверстия к контактной площадке гайки нажимного винта (рисунок 1).

Для предупреждения разрушений, в том числе «внезапных», необходимо дать прогноз надежности станины с установлением запасов усталостной прочности в зонах конструктивных концентраторов. Первым этапом такого прогноза является определение максимальных напряжений с учетом реальной геометрии и условий нагружения станины.

Основная часть

На основании результатов анализа возможностей различных экспериментальных и теоретических методов исследования напряженного состояния для решения поставленных выше задач был выбран расчет методом конечных элементов (МКЭ), реализованный в программном комплексе ANSYS.

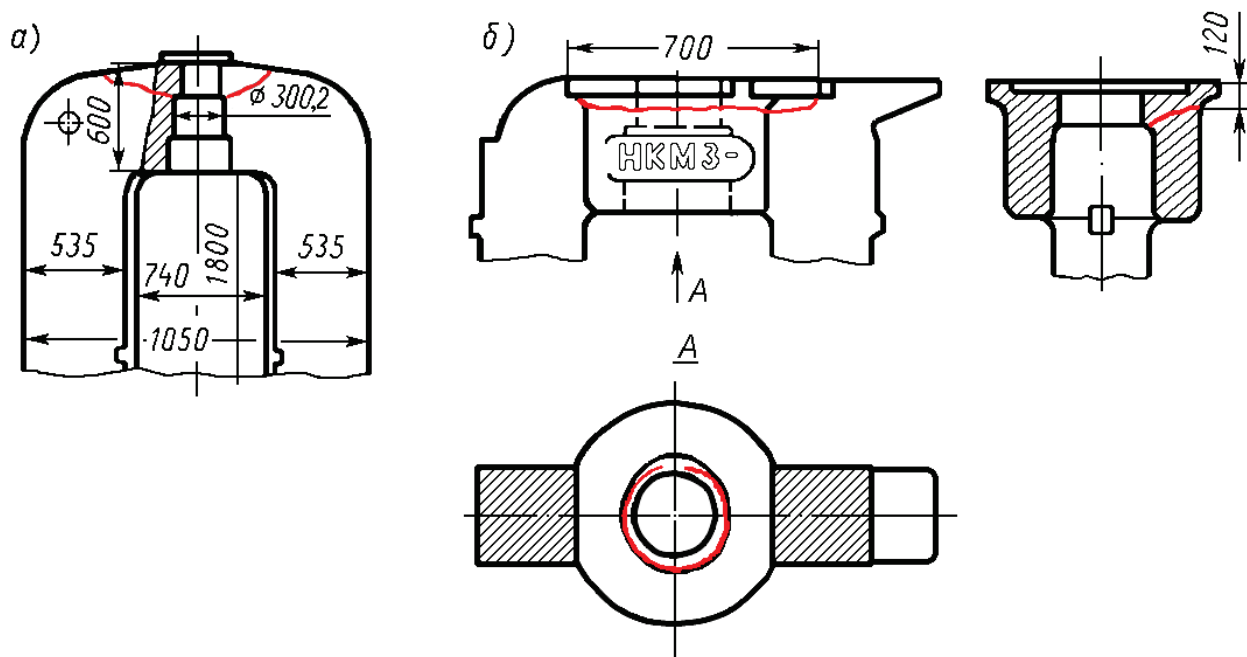


Рисунок 1. Разрушения станин прокатных станов, вызванные возникновением и развитием усталостных трещин в галтели контактной площадки верхней поперечины:
а - станина непрерывного стана 400; б - станина стана кварто 305

На рисунке 2 показана модель станины клетки №2 стана 1700 ОАО «Северсталь», построенная для проведения расчета на прочность МКЭ. Станина имеет 2 плоскости симметрии, что позволяет представить её модель в виде 1/4 части станины. Нагрузка прикладывается в виде равномерно распределенного давления на нижнюю поверхность гайки нажимного винта (на виде А рисунок 2 гайка нажимного винта не показана) и на контактную поверхность нижней поперечины станины с подушкой нижнего опорного вала. Граничные условия на перемещения накладываются по плоскостям симметрии. Станина клетки выполнена из литой стали 25Л, поэтому для расчета были приняты модуль упругости $E=2,1 \times 10^5$ МПа и коэффициент Пуассона $\mu=0,27$. Сила, приложенная к модели, соответствует максимальной силе прокатки 20 МН, что дает распределенную нагрузку, приложенную к нижнему торцу нажимной гайки $p = 49,05$ МПа, а в зоне контакта с подушкой нижнего опорного вала $p = 16,34$ МПа.

Геометрической особенностью станин, которую необходимо специально учитывать при расчетах МКЭ, является весьма значительное различие в размерах зон конструктивных концентраторов. Так радиус

внутренних галтелей сопряжения стоек с верхней и нижней поперечинами $R_{ст} = 160$ мм, радиус галтели в верхней поперечине станины $R_{в.поп} = 3$ мм, т.е. радиусы галтелей стоек и в верхней поперечине различаются более чем в 50 раз. Столь существенная разница в размерах концентраторов сделала необходимым проведение специального исследования для установления зависимости точности расчета от плотности конечно-элементной сетки [3]. Результаты исследования показали, что недостаточно обоснованный подход к выбору плотности разбиения конечно-элементной сетки вызывает не только количественное занижение результатов расчета, но, в ряде случаев, приводит к ошибочной оценке технических решений при выборе конструктивных вариантов деталей. Предложенный в работе [3] способ разбиения связывает размер конечных элементов с градиентами напряжений внутри и на поверхности зоны галтели, что дает отклонение 1 - 1.5 % по сравнению с точными аналитическими решениями.

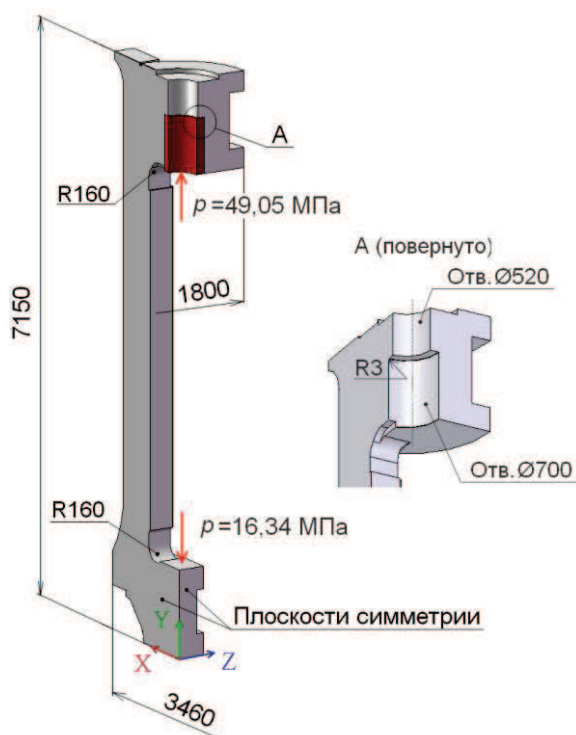


Рисунок 2. Модель станины клетки стана 1700 ОАО «Северсталь»: галтели R3, R160 – места возникновения максимальных напряжений

Результаты расчета математической модели, представленной на рисунке 2, показали, что максимальные растягивающие напряжения σ_1 в галтелях R160 сопряжения стоек с нижней и верхней поперечинами составляют, соответственно, 45 МПа и 55 МПа. В галтели R3 верхней поперечины максимальные напряжения $\sigma_1 = 318$ МПа. Эта галтель расположена в средней по высоте зоне верхней поперечины вблизи нейтральной линии. В этой зоне изгибающие номинальные напряжения имеют нулевые значения, что позволяет, во-первых, не учитывать влияние изгиба стоек станины на величину напряжений в галтели R3. Во-вторых, значительно сократить объем подготовительных и вычислительных работ, применив для определения напряжений в галтелях верхней поперечины, локальные математические модели верхних поперечин, а не полные модели станин [2].

Проверка обоснованности использования локальных математических моделей проведена по результатам расчета полной модели станины стана 1700 (рисунок 2) и локальной (рисунок 3) модели верхней по-

перечины. Граничные условия на перемещение в математической локальной модели накладываются по плоскостям симметрии верхней поперечины. На узлы, принадлежащие линии 1-1 (проходит через центр масс сечения стойки), наложены ограничения на перемещение вдоль оси Y. Сила, приложенная к локальной модели, соответствует номинальной силе прокатки 20 МН, что дает распределенную нагрузку 49,05 МПа, приложенную к нижнему торцу нажимной гайки (на рисунке 3 не показана). Модуль упругости и коэффициент Пуассона материала станины, задаваемые при расчете математической локальной модели, такие же, как для математической модели полной станины.

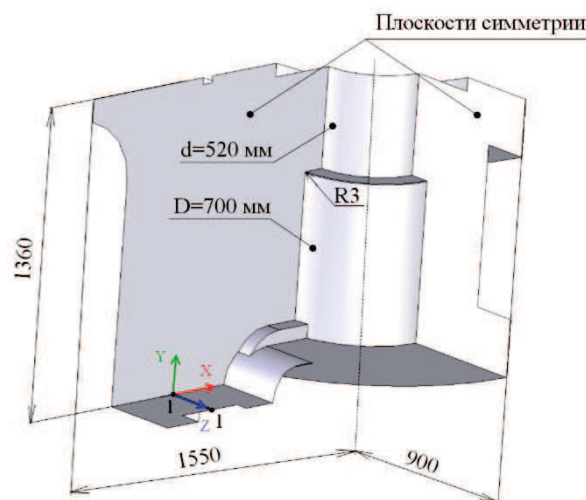


Рисунок 3. Локальная модель верхней поперечины станины стана 1700 ОАО «Северсталь»

На рисунке 4 показаны максимальные напряжения σ_1 на поверхности галтели R3 для полной модели станины (а) и локальной модели верхней поперечины станины (б) стана 1700 ОАО «Северсталь» при максимальной силе прокатки 20 МН. Сопоставление результатов показывает, что величины максимальных напряжений в галтели R3 обеих моделей дают практически одинаковые результаты ($\sigma_1 \approx 320$ МПа). Это обосновывает возможность определения величин максимальных напряжений в верхних поперечинах станин прокатных станков и расчет коэффициентов запаса усталостной прочности на локальных математических моделях верхних поперечин.

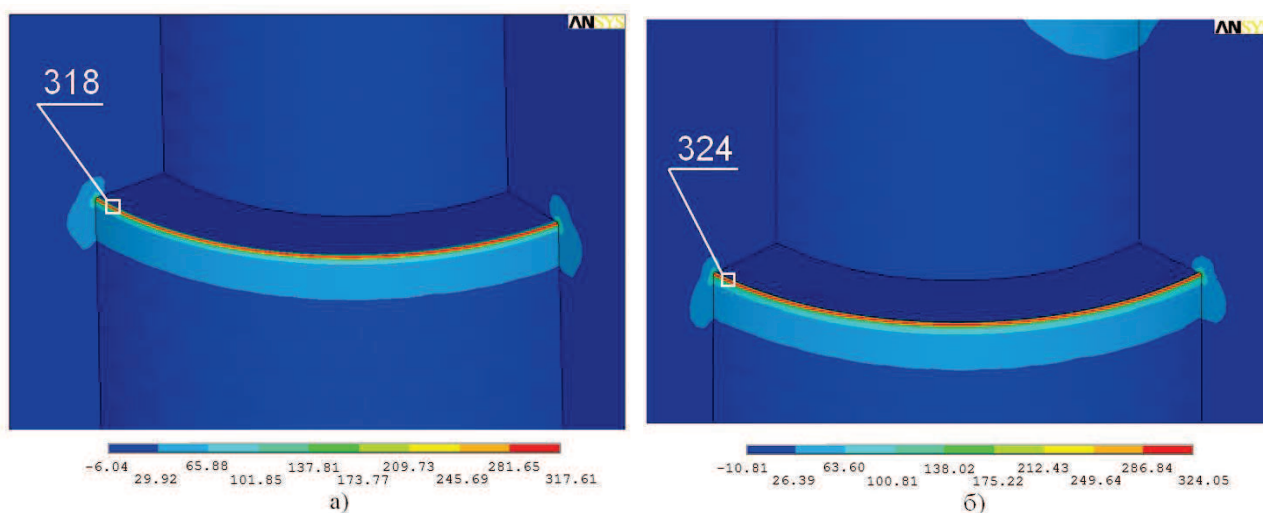


Рисунок 4. Напряженное состояние σ_1 (МПа) поверхности галтели $R3$ в верхней поперечине станины клетки стана 1700: а - полная модель станины;
б - локальная модель верхней поперечины

Вторым этапом прогнозирования прочностной надежности станин является определение пределов выносливости материала в зонах возникновения максимальных напряжений.

При оценке усталостной прочности в зонах конструктивных концентраторов, (в нашем случае галтель $R3$ верхней поперечины) используются эффективные и теоретические коэффициенты концентрации напряжений по отношению к номинальным напряжениям [4]. Но галтель $R3$ расположена в средней по высоте зоне верхней поперечины вблизи нейтральной линии, где номинальные изгибающие напряжения имеют нулевые значения. Это означает, что теоретические и эффективные коэффициенты концентрации не могут быть определены, и, следовательно, не могут быть применены обычно используемые методы расчета усталостной прочности.

В соответствии с положениями работы [4] сопротивление детали усталостному разрушению определяет эффективная площадь S поверхности детали, в пределах которой напряжения изменяются от $\sigma_{\text{макс}}$

до $0,94 \cdot \sigma_{\text{макс}}$. В работе [5] получены зависимости, связывающие медианные пределы выносливости при пульсирующем цикле σ_0 с эффективной площадью S детали для кованных сталей 22К, 35, 40, 50 (рисунок 5). Для литой стали 35 получена только одна точка $\sigma_0 = 190$ МПа при $\lg S = 4,33$.

Механические характеристики испытанных сталей и стали 25Л представлены в таблице 1. Для сталей 22К, 35, 40 и 50, дающих эквидистантные зависимости $\sigma_0 - \lg S$, пределы прочности различаются в 1,5 раза, а пределы текучести в 1,44. Предел прочности стали 35Л отличается от среднего предела прочности кованных сталей на 8,5 %, а предел текучести отличается от среднего предела текучести на 9,7 %, т.е. механические характеристики стали 35Л попадают в диапазон механических характеристик кованных сталей 22К, 35, 40 и 50. Это позволяет и для стали 35Л представить зависимость $\sigma_0 - \lg S$ в виде кривой эквидистантной кривым $\sigma_0 - \lg S$ для сталей 22К, 35, 40 и 50. В качестве исходной берется точка с координатами $\sigma_0 = 190$ МПа, $\lg S = 4,33$ (см. рисунок 5).

Таблица 1

Механические характеристики сталей для изготовления крупногабаритных отливок и поковок

Сталь	22К	35	40	50	35Л	25Л
σ_B , МПа	455	510	541	683	594	490
$\sigma_{0,2}$, МПа	248	244	279	352	308	310

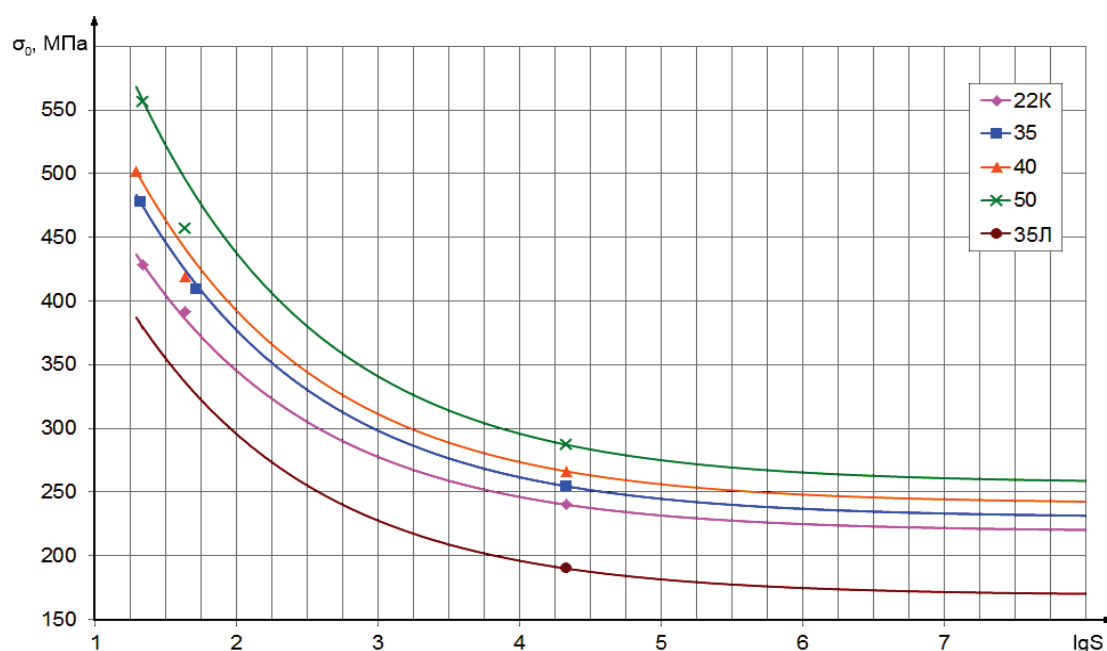


Рисунок 5. Зависимости пределов выносливости сталей 22К; 35; 40; 50; 35Л от эффективной площади S испытанных образцов

Пределы текучести $\sigma_{0,2}$ сталей 35Л и 25Л совпадают, а пределы прочности σ различаются на 17 %. Это позволяет для ориентировочных расчетов пределов выносливости стали 25Л в зависимости от площади напряженной поверхности S использовать зависимость, полученную для стали 35Л.

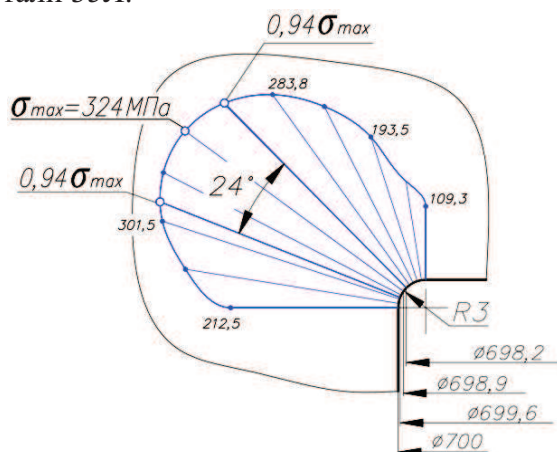


Рисунок 6. Эпюра окружных напряжений по контуру галтели в диаметральном сечении отверстия под гайку нажимного винта

Максимальные напряжения σ_1 на поверхности галтели $R3$ верхней поперечины примерно одинаковы по всей окружности и составляют 324 МПа (см. рисунок 46). На рисунке 6 показана эпюра окружных напряжений по поверхности галтели в диаметральном сечении отверстия под гайку

нажимного винта. На рисунке 7 приведено распределение максимальных окружных напряжений на поверхности галтели по окружности $\varnothing 698,9$ мм.

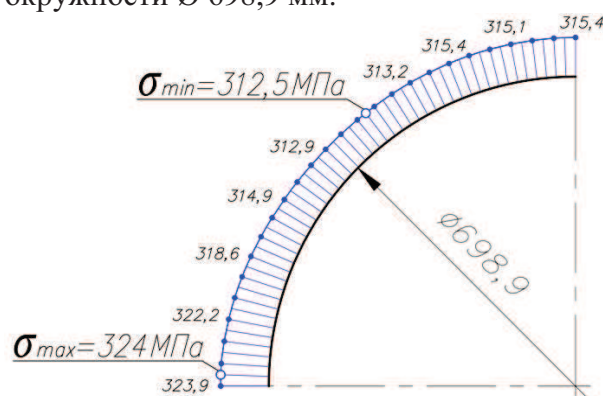


Рисунок 7. Распределение максимальных напряжений на поверхности галтели по окружности $\varnothing 698,9$ мм

По эпюре (рисунок 6) видно, что в диаметральном сечении изменение напряжений от $\sigma_{\max}$ до $0,94 \sigma_{\max}$ происходит на дуге 24° , длина которой равна $0,42$ радиуса галтели. Из эпюры (рисунок 7) следует, что по окружности $\varnothing 698,9$ мм максимальные напряжения в галтели изменяются незначительно (от 324 МПа до 313 МПа), поэтому при оценке предела выносливости считаем, что вся окружность галтели находится под воздействием максимальных напряжений $\sigma_{\max} = 324$ МПа.

Из рисунка 6 видно, что положение точек, в которых напряжение равно $0,94 \cdot \sigma_{\text{макс}}$, определяется диаметрами $D_1 = 698,2$ мм и $D_2 = 699,6$ мм. Тогда площадь эффективной поверхности равна:

$$S = \pi(D_1 + D_2)/2 \cdot (0,42 \cdot R) \quad (1)$$

$S = 3,14 \cdot (698,2 + 699,6)/2 \cdot 0,42 \cdot 3 = 2767 \text{ мм}^2$, $\lg S = 3,44$. По графику (рисунок 5) для стали 35Л находим, что при $\lg S = 3,44$ предел выносливости при пульсационном цикле нагружения $\sigma_0 = 210$ МПа. По рисунку 4,б максимальное напряжение в галтели верхней поперечины $\sigma_{\text{макс}} = 324$ МПа. Так как запас усталостной прочности

$n = \sigma_{\text{макс}}/\sigma_0 = 210/324 = 0,65 < 1$, то образование трещины в галтели R3 верхней поперечины является закономерным.

Для проверки состояния галтели R3 после демонтажа нажимного устройства было проведено обследование галтели методами неразрушающего контроля. Результаты обследования показали, что в галтели R3 верхней поперечины возникла усталостная трещина (рисунок 8). Проекция трещины по вертикали составляет 20 мм, по горизонтали 9 мм. В окружном направлении трещина распространяется на 43° . На поверхности галтели по окружности $D = 700$ мм трещина проходит по линии действия максимальных напряжений.

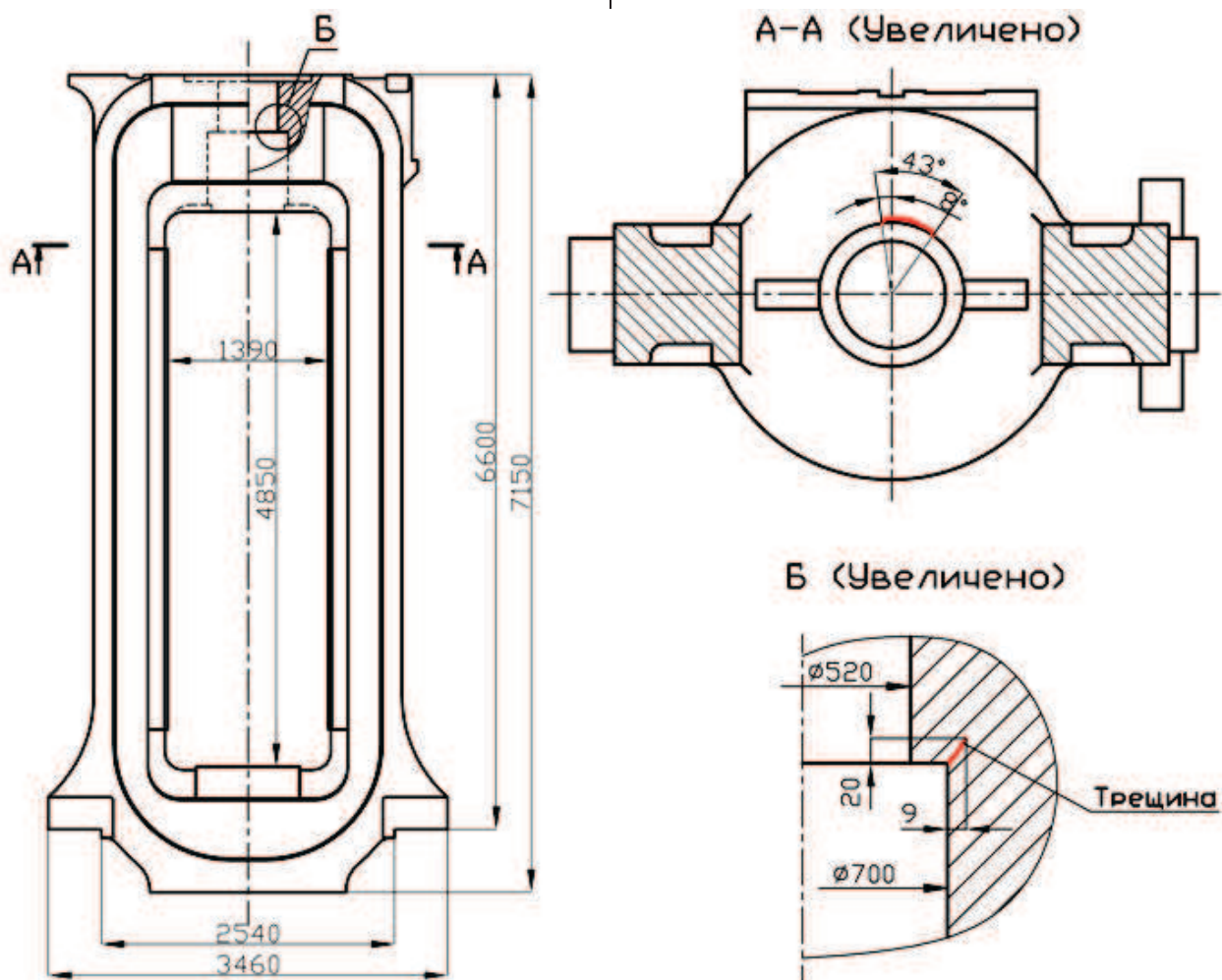


Рисунок 8. Расположение и размеры трещины в галтели R3 верхней поперечины станины клетки №2 стана 1700 ОАО «Северсталь»

Обнаружение усталостной трещины методами неразрушающего контроля подтвердило прогноз о закономерности ее возникновения, сделанный на основании теоретических исследований. Таким образом, представленный выше расчет и его экспериментальное подтверждение показывают, что разработана и обоснована методика прогнозирования прочностной

надежности станин действующих прокатных станов. Это позволяет приступить к систематической экспертизе станин прокатных станов на заводах РФ, находящиеся длительное время в эксплуатации, с целью оценки их фактического состояния.

По представленной выше методике был дан прогноз прочностной надежности станин прокатных станов, работающих на заводах ОАО «Северсталь» и на ОАО «Корпорация ВСППО – АВИСМА». Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты прогноза прочностной надежности станин клетей прокатных станов металлургических заводов ОАО «Северсталь» и ОАО «Корпорация ВСППО – АВИСМА»

Объект исследования	Макс. сила прокатки P , МН	Радиус галтели R , мм	$\sigma_{\text{макс}}$, МПа	σ_0 , МПа	Запас прочности, n	Возможность образования трещины
ОАО «Северсталь»						
Станины стана 1700	20	3	324	210	0,65	Да
Станины стана 2800	30	5	287	200	0,70	Да
ОАО «Корпорация ВСППО-АВИСМА»						
Станины стана 1700 теплой прокатки	30	8	197	195	0,99	Да
Станины стана 2000 холодной прокатки	32	3	349	205	0,59	Да
Станины черновой клетки стана 2000 горячей прокатки	30	8	205	195	0,95	Да
Станины чистовой клетки стана 2000 горячей прокатки	30	8	214	195	0,91	Да
Станины прогладочного стана	10	5	120	205	1,71	Нет

Результаты, представленные в таблице 2, показывают, что для многих прокатных станов возможны разрушения станин, вызванные возникновением и развитием усталостных трещин в радиусной галтели. Галтель расположена в верхней поперечине станины, в месте перехода вертикального отверстия к контактной площадке станины с гайкой нажимного винта. Поэтому для обеспечения дальнейшей безотказной работы прокатных станов на металлургических заводах РФ необходимо разработать и обосновать технические решения, предупреждающие разрушения станин и обеспечивающие их долговечность без ограничения времени эксплуатации.

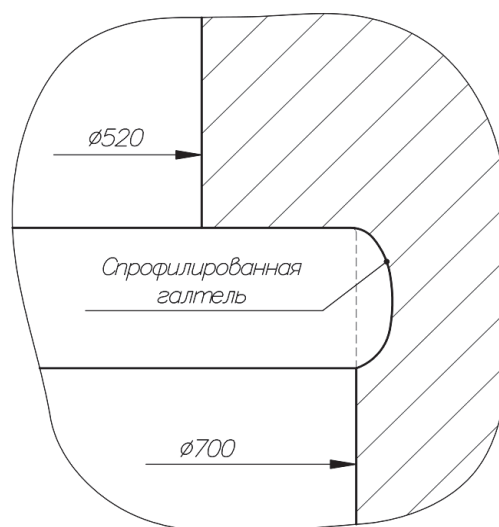


Рисунок 9. Геометрия галтели с поднутрением стенки для верхней поперечины станины клетки №2 стана 1700 ОАО «Северсталь»

Галтель контактной площадки верхней поперечины станины, где возникают максимальные напряжения, расположена в зоне нулевых значений номинальных напряжений от изгиба поперечины. Это дает возможность использовать для уменьшения максимальных напряжений в переходном сечении галтели специальной формы с поднутрением стенки (рисунок 9).

Расчеты показали, что галтель с поднутрением стенки снижает максимальные напряжения в переходном сечении в 2,9 раза с 324 МПа до 110 МПа. Этот уровень напряжений снимает вопрос о прочностной надежности станины и делает возможным ее безотказную работу без ограничения времени эксплуатации. Изменение геометрии галтели не требует демонтажа станины, осуществляется на месте мобильным расточным оборудованием.

Геометрии галтелей с поднутрением стенки рекомендованы для внедрения в станинах действующих прокатных станков заводов ОАО «Северсталь» и ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Заключение

1. Прокатные станы, работающие на металлургических заводах России, находятся в эксплуатации 30-40 и более лет. С увеличением сроков эксплуатации увеличивается число «внезапных» разрушений станин клеток прокатных станков, которые воспринимают силу прокатки.

2. Для определения причин и предупреждения разрушений станин разработана специальная расчетно-экспериментальная методика исследования напряженного состояния и прогнозирования прочностной надежности станин.

3. Результаты исследований показали, что в радиусной галтели контактной площадки верхней поперечины станины максимальные напряжения превышают предел прочности материала, что делает законо-

мерным возникновение и развитие усталостных трещин. Длительный рост усталостных трещин, оставаясь незамеченным, приводит к «внезапному» разрушению станины и длительному простоем прокатного стана.

4. Разработана, исследована и обоснована новая геометрия галтели верхней поперечины, обеспечивающая повышенную долговечность станин при сохранении существующих конструкции и компоновки деталей нажимного устройства.

5. Выполнение новой геометрии галтели верхней поперечины станины не требует демонтажа-монтажа станины, осуществляется на месте мобильным расточным оборудованием.

Библиографический список

1. Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы. М.: Металлургиздат, 1958. - 432 с.
2. Морозов Б.А. Моделирование и прочность металлургических машин. Машгиз, 1963. - 284 с.
3. Семичев Ю.С., Сурков И.А. Влияние плотности разбиения на элементы конструктивного концентратора напряжений на точность расчета методом конечных элементов // Вестник машиностроения. - 2012. - № 11. - С. 39-41.
4. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. - М.: Машиностроение, 1975. - 488с.
5. Сурков А.И. Вероятностная оценка прочности при переменных нагрузках по медианным пределам выносливости образов различных типоразмеров. // Проблемы прочности. 1982, № 12. С. 42-51.
6. Гохберг П.М., Пылайкин П.А., Юшкевич В.И. Усталостная прочность сталей для прессов // В сб. Производство крупных машин. — М.: Машиностроение, 1971. С. 10-34.



УДК 621.81

Л.С. Белевский, И.В. Белевская, О.С. Коптелова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: l.belevskiy@mail.ru
Дата поступления 19.11.2015

УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ И УДАРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация

Исследована возможность использования секционной дисковой вращающейся проволочной щетки и бойков перфоратора для наноструктурирования поверхностного слоя металлических изделий с последующим нанесением функциональных покрытий сплошной проволочной щеткой. Установлено, что методами ударной и ударно-фрикционной обработки возможно получение наноструктурированного поверхностного слоя с размером фрагментов до 0,13 мкм подобно тому, как это достигается при интенсивной пластической деформации. Изучена микротопография поверхности образцов при различных режимах обработки.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, наноструктура, фрикционное плакирование, гибкий инструмент, перфоратор, микротопография.

Введение

В данной работе представлены результаты исследований упрочнения и восстановления деталей ударно-фрикционной комбинированной обработкой с использованием гибкого инструмента и бойков перфоратора.

Основная часть

Одним из эффективных методов повышения служебных свойств деталей является нанесение покрытий и деформационное упрочнение поверхностного слоя. В последние годы получили развитие совмещенные и комбинированные методы обработки поверхности, когда наряду с механическим воздействием на изделие добавляется действие электрического тока, ультразвука, различных технологических сред и т.п. К таким методам относится и фрикционное нанесение металлических покрытий гибким инструментом – вращающейся проволочной щеткой (ВЩ), которые давно применяются для очистно-упрочняющей обработки в различных областях техники, в том числе и для нанесения покрытий. Процесс, названный фрикционным

плакированием (ФП), может найти широкое и эффективное применение в различных областях техники [1-3].

Восстановления размеров деталей накаткой роликом с последующим нанесением покрытий гибким инструментом. Процесс ФП может быть использован также для восстановления размеров и формы деталей [4]. Снижение эксплуатационных характеристик пар трения во многом связано с износом. Большие трудности возникают при восстановлении прецизионных деталей. Одним из способов восстановления является увеличение диаметра изношенной детали за счет высоты наплывов, образующихся по краям микроканавок при формировании рельефа алмазным выглаживанием или накаткой [5, 6]. При этом решаются две задачи – восстановление размера и создание дополнительных маслосъемных каналов. Представляется целесообразным применить комбинированную обработку. На поверхность с рельефом, полученным пластическим деформированием (накаткой), дополнительно нанести методом ФП функциональное покрытие, например, антифрикционное, износостойкое или коррозионностойкое. Ниже приведены результаты эксперимента комбинированной обработки.

Для накатки сетчатого рифления использовался ролик 20х9х8 мм, 0,5мм х 60°. Накатка производилась на токарном станке, на котором на образец после накатки наносилось методом ФП латунное покрытие.

Было исследовано влияние формообразующей накатки роликом на рельеф и структуру поверхностного слоя. После накатки диаметр образца увеличился на 50 мкм и на его поверхности образовались куполообразные выступы (рисунок 1).

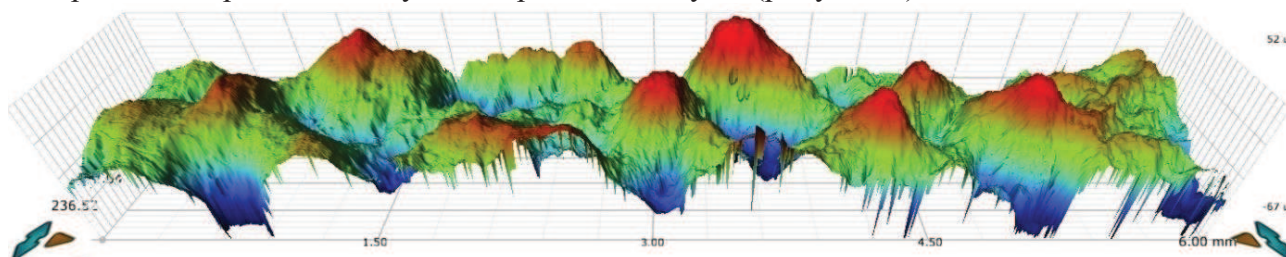


Рисунок 1 Микротопография поверхности образца после накатки¹

На рис. 2 показан общий вид латунного покрытия на стали (рисунок 2, а) и результаты микрорентгеноспектрального анализа в верхнем слое покрытия (рисунок 2, б) и слое, прилегающем к основе (рисунок 2, в)². Как следует из рисунка 2, а, покрытие толщиной около 30 мкм сплошное, однородное состоит из латуни с незначительным количеством железа, которое может попадать в покрытие с поверхности основы или ворса ВПЩ.

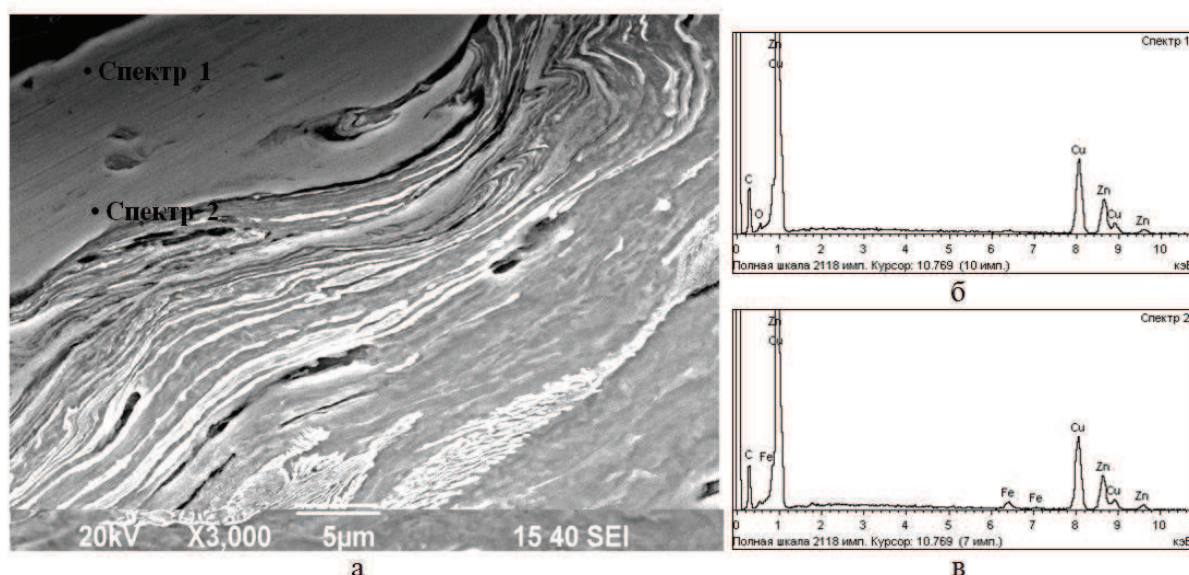


Рисунок 2 Латунное покрытие на образце из стали 20: а – вид покрытия; характеристические спектры: б – верхний слой покрытия; в – слой, прилегающий к основе

Исследование микроструктуры показало, что поверхность имеет увеличенную фактическую площадь контакта, обладает достаточной маслостойкостью, а сглаженные вершины выступов уменьшают концентрацию напряжений при контактных нагрузках.

Исследование упрочнения и микротопографии поверхности при ударно-фрикционной обработке гибким инструментом. Сплошными ВПЩ в зависимости от конструкции и режимов обработки можно в широких пределах менять шероховатость поверхности из различных металлов и сплавов, увеличивая или уменьшая шероховатость. Однако глубина упрочненного слоя при обработке стальных изделий невелика и сплошная ВПЩ оказывает, в основном, не ударное, а фрикционное воздействие. Известно, что при применении секционных дисковых щеток поверхность упрочняется наиболее эффективно. По нашему мнению, для

¹ Исследование микротопографии поверхности проводилось в лаборатории Научно-исследовательского центра «Микротопография» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» на установке Contour GT K1 (Bruker, США) к.ф.-м.н. Беловым В.К. и Губаревым Е.В.

² Исследования проводились в Центре коллективного пользования НИИ «Наносталей» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» к.т.н. Ефимовой Ю.Ю.

упрочнения и наноструктурирования поверхностного слоя целесообразно использовать секционные щетки, изготовленные из стальной закаленной проволоки, сплетенной в пучки. При входе в контакт такого пучка с поверхностью изделия он оказывает не только фрикционное воздействие, но и ударное, подобно пучку дроби из дробеметной установки или при упрочнении чеканкой. Секционной ВПЩ одновременно с упрочнением можно также наносить защитное покрытие (совмещенная обработка). Комбинированная обработка проводится в два этапа. Сначала поверхность образцов упрочняется секционной ВПЩ, а затем ее заменяют на сплошную ВПЩ, которой и наносится покрытие.

Исследование микроструктуры показало, что на поверхности образца, подвергнутого обработке секционной ВПЩ, образовался слой, который можно условно отнести к аморфизированному или наноструктурированному. Микротвердость упрочненного слоя более чем в 3 раза превышает твердость в центральной области образца.

На рис. 3 приведена микрофотография поверхности образцов, обработанных гибким инструментом (ВПЩ) по различным режимам. Измерения 3D параметров показывает, что наилучшими микрофотографическими характеристиками обладает образец "в". Хотя данный образец по маслоёмкости уступает поверхности "б" (обработка секционной ВПЩ), но он лучше удерживает слой смазки при контактном трении по следующим причинам. Образец "в" имеет более остроконечную топографию поверхности шероховатости, наибольшую площадь шероховатой поверхности, наименьший шаг неровностей. Следует также отметить, что поверхность после обработки секционной щеткой (рисунок 3, б) очень похожа на поверхность после обработки накаткой (рисунок 1).

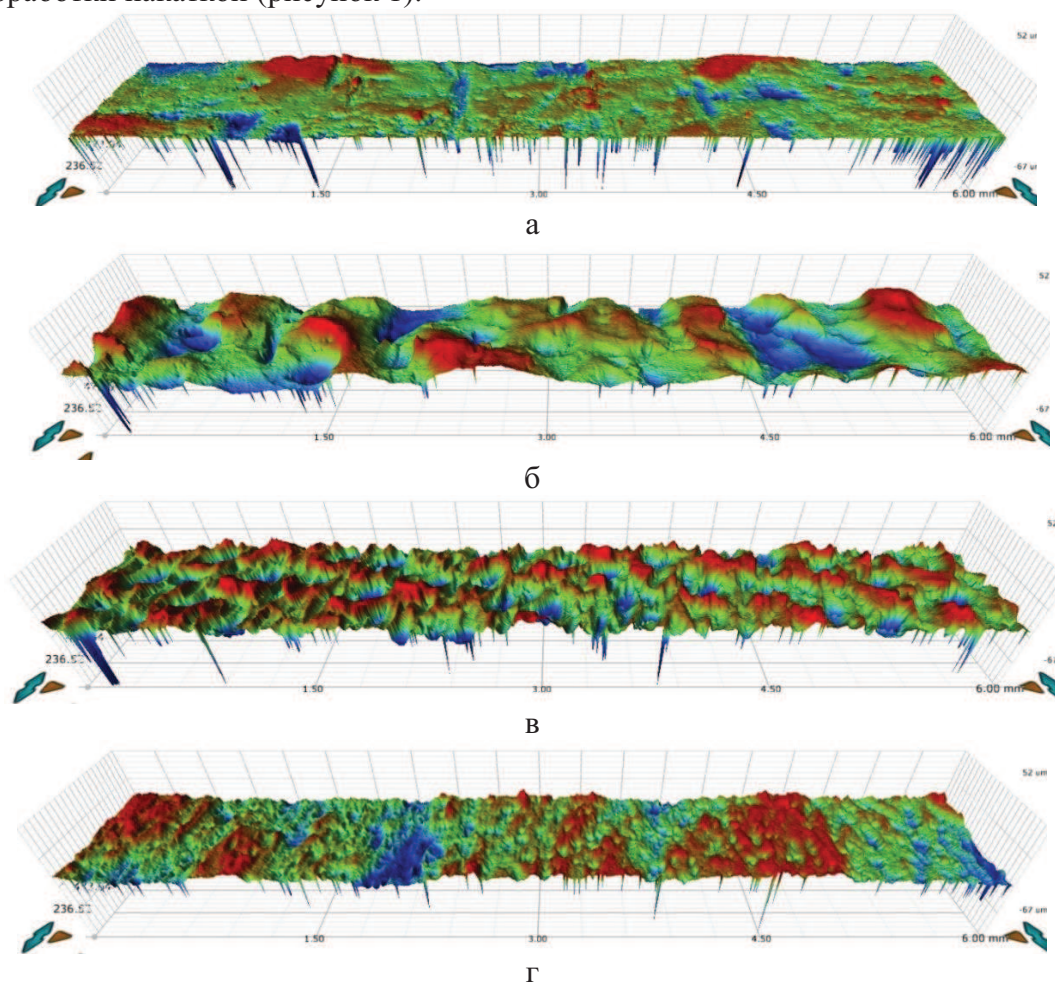


Рисунок 3 Микрофотография поверхности образцов:

а – калиброванный прут, б – обработка секционной ВПЩ;

в – покрытие латунью (совмещенная обработка секционной ВПЩ)

г – комбинированная обработка (обработка секционной ВПЩ и последующее нанесение латунного покрытия сплошной ВПЩ)

Динамический наклеп бойками. Одним из путей повышения конструктивной прочности стальных изделий является получение ультрамелкого зерна или создание нанокристаллической структуры, что может быть достигнуто различными способами [7]. Для наноструктурирования поверхности могут быть использованы методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в том числе ударное поверхностное пластическое деформирование [8-11]. Ударные методы ИПД имеют свои особенности, в ряде случаев они более эффективны, чем статические, позволяют получить большую глубину упрочненного слоя. В ЦНИИТМАШе [12] разработаны различные приспособления и устройства для упрочнения динамическим поверхностным наклепом крупногабаритных пластинчатых и круглых деталей. Для упрочнения сварных швов и других изделий рекомендуется применение многобойковых чеканочных устройств, состоящих из пневматического молотка и многобойкового наконечника в виде пучка проволок. Следует отметить, что ударные приспособления достаточно сложны по конструкции и громоздки. Отбойные пневматические молотки слишком тяжелы и для их работы необходим компрессор или магистраль с воздухом под давлением. Представляется целесообразным использовать для динамического наклепа ручной электрический перфоратор.

Для проведения экспериментов на образцах использован ручной электрический перфоратор ПРЭ-7. Номинальное число ударов – 4000 уд/мин, энергия удара – 3,5 Дж, номинальная скорость рабочего шпинделя – 700 об/мин. Обработка поверхности образцов проводилась зубилом пикообразным из высокоуглеродистой легированной стали и буром диаметром 10 мм с твердосплавным наконечником. В дальнейшем мы будем, для краткости, использовать термины «зубило» и «твердый сплав». В качестве экспериментального материала для образцов при проведении модельных опытов пластического деформирования поверхностного слоя была взята сталь марки 20.

Перфоратор позволяет работать в режимах: удар или удар с кручением. При обработке зубилом использовались оба режима.

Измерение микротвердости выполнялось послойно, с шагом 50 мкм, схема замеров показана линиями на рисунке 4.

Результаты измерения микротвердости образцов подверженных деформации удар и удар с кручением зубилом, а также удар твердым сплавом представлены на рисунке 5. При всех режимах обработки на поверхности образцов наблюдается упрочнение по отношению к основному металлу от 42 до 83 %. Протяженность упрочненного слоя составляет от 200 до 350 мкм.

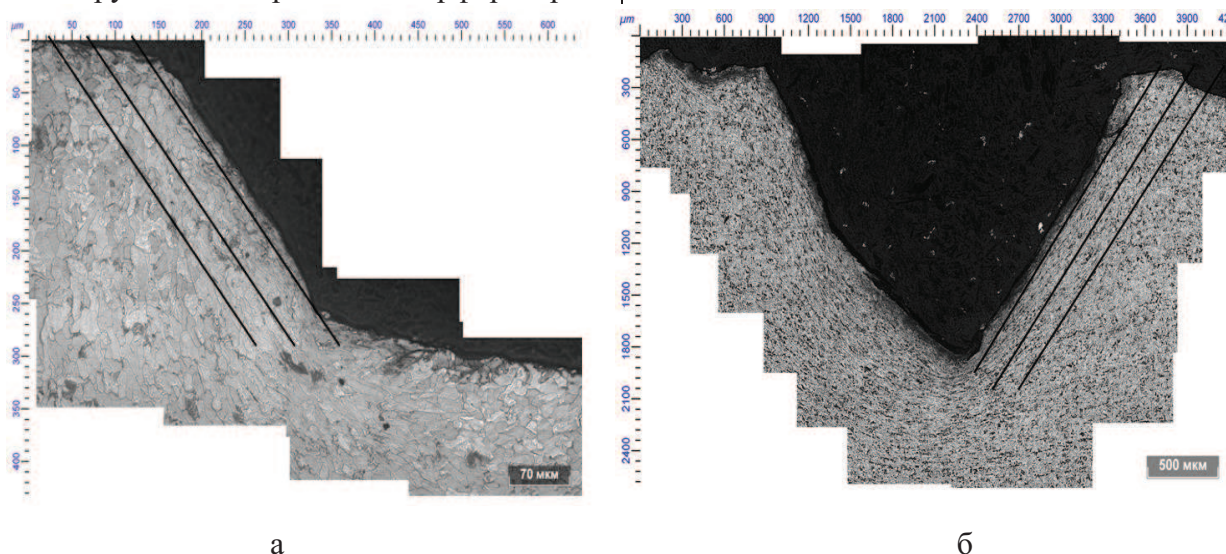


Рисунок 4 Схема замера микротвердости на образцах обработанных зубилом (а) и твердым сплавом (б)

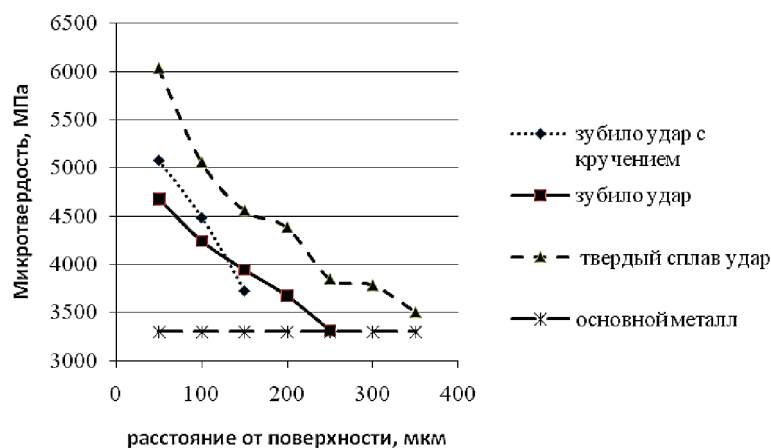


Рисунок 5 Распределение микротвердости в стали марки 20, деформированной различными способами

РЭМ анализ показал, что во всех случаях в микроструктуре поверхностного слоя происходит формирование волокнистой структуры, состоящей из вытянутых зерен феррита, которые ориентированы перпендикулярно оси образца (рисунок 6, а). Толщина волокна меняется от 0,13 мкм до 0,23 мкм, что свидетельствует о большой степени деформации. Помимо образования волокнистой структуры, развиваются процессы фрагментации в ней. Кроме того, происходит вытягивание перлитных участков и деформация и дробление цементитных пластин в них (рисунок 6, б).

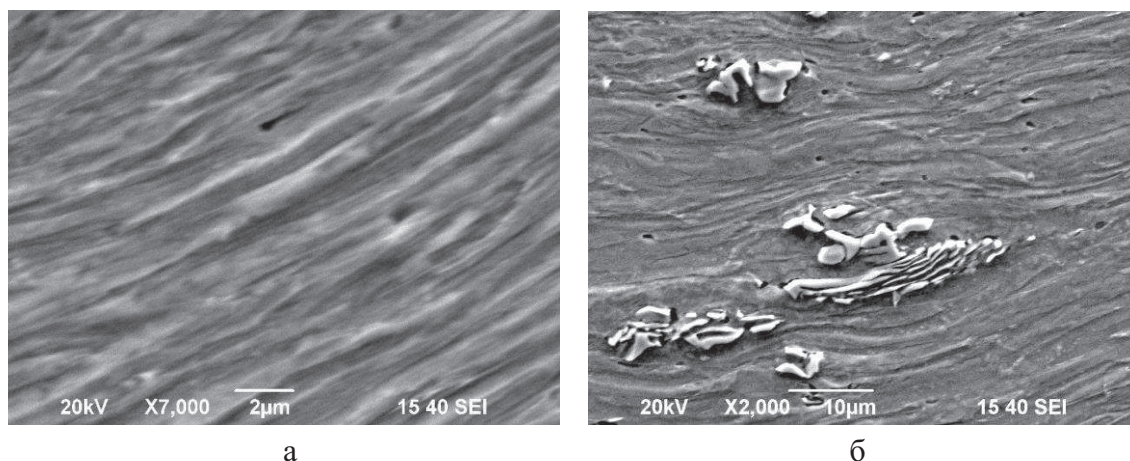


Рисунок 6 Волокнистая структура поверхностного слоя образца стали марки 20 деформированной ударом твердым сплавом (а); деформация перлитных участков (б)

Заключение

Комбинированная обработка накаткой с последующим фрикционным нанесением функционального покрытия гибким инструментом позволяет увеличить диаметр изношенной детали, получить ультрамелкозернистую структуру в поверхностном слое за счет ИПД. Функциональные покрытия различного назначения могут наноситься из чистых металлов и сплавов, композитных материалов, в том числе нанокompозиционных.

Результаты исследования показали, что методом ударно-фрикционной обработки гибким инструментом возможно получение твердого, наноструктурированного поверхностного слоя. Ударно-фрикционная обработка секционными ВПЩ может быть использована для упрочнения деталей и инструмента. Нанесение функциональных покрытий может дополнительно повысить износостойкость и другие служебные характеристики.

Исследование показало, что при использовании перфоратора, даже с небольшой энергией удара 3,5 Дж, позволяет весьма эффективно упрочнять поверхностный слой. Максимальное упрочнение стали 20 достигало 83%, глубина упрочненного слоя до 350 мкм. В поверхностном слое происходит формирование волокнистой структуры с толщиной волокон от 0,13 мкм до 0,23 мкм и развиваются процессы фрагментации. Наибольшее упрочнение, как по уровню твердости и по глубине упрочненного слоя, так и по измельчению микроструктуры достигается деформацией ударом бойка с наконечником из твердого сплава.

Обработка бойками может быть использована для упрочнения галтелей, шпоночных пазов, сварных швов, наклепа с рифлением и др. операций. Рассмотренный вариант динамического наклепа имеет свою технологическую нишу и его практическое применение требует научно-исследовательской подготовки.

Рассмотренные методы восстановления и упрочнения деталей не требуют дорогостоящего оборудования, и могут быть реализованы на обычных металлообрабатывающих станках.

Библиографический список

- Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. - Магнитогорск: Лицей РАН, 1996.
- Анцупов В.П. Теория и практика плакирования гибким инструментом. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999.
- Завалишин А.Н., Смирнов О.М., Тулупов С.А. Модификация поверхности металлических изделий с использованием покрытий. М.: Орбита-М, 2012.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Модификация поверхности и восстановление деталей фрикционной комбинированной обработкой // Ремонт, восстановление, модернизация, 2014 г., №4, С. 20-23.
- Хворостухин Л.А., Шишкин С.В., Ковалев А.П., Ишмаков Р.А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. М.: Машиностроение, 1988. 144 с.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Восстановление размеров и формы деталей комбинированной обработкой // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2013. № 2. С. 50-52.
- Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские технологии. 2006. Т. 1-2. С. 71-81.
- Макаров А.В., Коршунов Л.Г. Прочность и износостойкость нанокристаллических структур поверхностей трения сталей с мартенситной основой // Изв. ВУЗов. Физика. 2004. № 8. С. 65-80.
- Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2012. № 4. С. 61.
- Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В. Ударно-фрикционная комбинированная обработка гибким инструментом. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». - 2014. - № 4. - С. 53-57.
- Огарков Н.Н., Агарышева А.Г., Шаронов А.В. Обработка поверхностного слоя прокатных валков индентором с наложением ультразвука / Пути развития машиностроительного комплекса "ММК". Сб. научн. тр. под ред. Гостева А.А.-Магнитогорск: ПМП.- "Мини Тип".-1996.-Вып 2.-С. 184-189
- Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Савина Н.М. Усталость крупных деталей машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.



УДК 621.81

А.Д. Бардовский, П.Я. Бибиков, Т.В. Денискина, Б.В. Воронин
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский
технологический университет МИСиС»
г. Москва, Россия
E-mail: matofych@mail.ru
Дата поступления 17.11.2015

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ТОНКОГО ПОМОЛА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Аннотация

Освещены вопросы выбора оборудования для переработки минерального сырья с целью получения тонкоизмельченного продукта. Представлен новый метод оценки эффективности использования оборудования, основанный на использовании критериев удельного действия, оценивающих степень совершенства исследуемых систем и устанавливающих параметры, при которых системы являются оптимальными. С помощью этого критерия определяют комплексные затраты механических систем отнесенные к единице произведенной продукции.

Разработаны критерии удельного действия применительно к наклонным вибрационным мельницам, учитывающие затраты механической энергии-времени и позволяющие определить такие оптимальные значения их параметров, как диаметр помольных камер при тонком помоле сухих карбонатных отходов и угол их наклона при помоле влажных отходов.

Ключевые слова: вибрационная мельница, тонкоизмельченный продукт, метод оценки, эффективность

Введение

В черной металлургии доломиты и известняки применяются в качестве флюса при производстве чугуна, стали и ферросплавов для извлечения и перевода в шлаки балластных (кремнезем и глинозем) и вредных (фосфор и сера) примесей руды.

В цветной металлургии доломит применяется как огнеупорный материал и как сырье для получения металлического магния.

На медеплавильных заводах известняк используется как флюс при плавке руды, а известь – основа для получения известкового молока, применяемого при флотации.

Известняки и известь используют также при выплавке и обогащении никелевых (окисленных), свинцовых, сурьмяных и оловянных руд, при рафинировании цветных металлов и цианировании золота и серебра.

Основная часть

Операциями, определяющими качество и себестоимость продуктов, получае-

мых при помоле минерального сырья, являются операции измельчения и классификации [1,2,3,4]. Эти операции являются одними из основных как в строительной, так и в металлургической промышленности [5]. Также с помощью операции измельчения из минерального сырья и отходов его переработки могут производиться различного рода наполнители для пластмасс, резины, бумаги, рубероида, керамики, эмалей, лаков, красок и др.

Опыт показывает, что затраты, связанные с измельчением, составляют, как правило, основную часть себестоимости вышеуказанных продуктов. Высокая стоимость процесса измельчения обусловлена, прежде всего, низкой эффективностью классификаторов, работающих в замкнутом цикле с мельницами, к.п.д. которых не превышает 50...70 %. Следствием такой низкой эффективности является то, что только 80% мощности мельниц используется полезно, в то время как оставшиеся 20% затрачиваются на переизмельчение готового продукта.

Размол минерального сырья можно классифицировать по схеме, предложенной

В.И. Ревнивцевым [6]:
 грубое измельчение ($1 \text{ мм} < d < 5 \text{ мм}$);
 тонкое измельчение ($0,1 \text{ мм} < d < 1 \text{ мм}$);
 сверхтонкое измельчение ($d < 0,1 \text{ мм}$).

В соответствии с этой классификацией получение дроблёного песка, подкормки для животных и птиц, сыромолотой известняковой муки предполагает грубое измельчение; пылящей известняковой муки, посыпки для рубероида – тонкое измельчение; различного рода минеральных порошков и наполнителей – сверхтонкое измельчение.

Одной из важнейших характеристик материалов, влияющих на выбор измельчительного оборудования, является показатель их крепости. Область применения измельчителей во многом условна, так как строгих границ, определяющих использование того или иного оборудования, не существует. На практике одна и та же размольная машина может быть использована как для грубого, так и для тонкого помола пород различной прочности.

В мировой практике ведутся поиски таких путей создания помольного оборудования, которые обеспечивали бы высокую

производительность с минимальным удельным расходом энергии при требуемой тонкости помола.

В проведенных ранее исследованиях, доказана возможность оценки эффективности использования разнотипного оборудования одного функционального назначения с помощью комплексного показателя. Комплексные показатели, вычисленные на основе объединения ряда единичных показателей, являются частными критериями удельного действия, разработанными на основе принципов наименьшего действия [1, 2, 3]. Критерии удельного действия оценивают степень совершенства исследуемых систем, устанавливают параметры, при которых система является близкой к оптимальной. С помощью этого критерия определяют комплексные затраты механических систем, отнесенные к единице произведенной продукции.

В таблице 1 представлены критерии удельных действий J , выбранные для оптимизации параметров классификационно-измельчительного оборудования, используемого для получения мелких фракций минерального сырья.

Таблица 1

Критерии удельных действий используемых для оценки конкретных типов оборудования

Тип оборудования	Затраты механических систем	Определяющие критерии удельных действий
Грохоты, пневмокласификаторы	Кинетическая энергия материала - время	$J_{к.э-в} = \frac{(m_{з.ср} v_{ср}^2 t_a)}{2}$
	Количество движения материала - время	$J_{к.д-в} = m_{з.ср} \cdot v_{ср} \cdot t_a$
Измельчители	Механическая энергия машины - время	$J_{э-в} = P_{ср} \cdot t_a^2$

В представленных критериях $m_{з.ср}$ – средняя масса загрязняющего продукты разделения материала, кг (т); $v_{ср}$ – средняя скорость перемещения материала по просеивающей поверхности грохота или поддерживающей решетке пневмокласификатора, м/с; $P_{ср}$ – средняя мощность, затрачиваемая на измельчение, кВт; t_a – время переработки для получения единицы объема (массы) целевого продукта, с (ч).

За основной принимается такой определяющий (ключевой) критерий удельного

действия, выбор параметров по которому обеспечивает наилучшие эксплуатационные показатели по другим критериям.

На базе определяющих критериев разработан комплекс математических моделей, описывающих рабочие процессы классификации и измельчения минерального сырья и учитывающих закономерности поведения перерабатываемого материала в зависимости от его физико-механических свойств, а также механических и техноло-

гических характеристик оборудования. Полученные зависимости позволяют провести сравнительную оценку оборудования, работающего в конкретных эксплуатационных условиях.

Ключевым критерием удельного действия при оценке эффективности работы того или иного измельчителя является критерий $J_{э-в.}$, комплексно учитывающий как показатели работы оборудования, так и его удельную массу.

В настоящее время в технической литературе приведены формулы для определения потребляемой мощности при использовании измельчителей в процессах переработки различных видов минерального сырья [7]. Этот показатель зависит от большого числа механических и технологических параметров измельчения. Данные формулы не могут быть использованы для количественных расчётов в процессах измельчения различных видов минерального сырья, когда требуется установить абсолютные значения мощности измельчителей из-за невозможности определения ряда эмпирических коэффициентов, входящих в эти формулы. Но эти формулы можно использовать при сравнительной оценке процессов измельчения на установках различного типа или оценке параметров той или иной мельницы, когда достаточно определить относительные величины мощности, расходуемой на измельчение.

Известно, что время t_a , затрачиваемое на получение единицы объёма (массы) продукта измельчения заданного качества, является величиной, обратно пропорциональной производительности измельчения. Производительность мельниц, как известно, зависит от множества факторов: режима работы, рабочего объёма камеры измельчения, свойств материала, тонкости помола, равномерности питания и других факторов.

Опыт переработки минерального сырья показывает, что в зависимости от их зернового состава реализуются две типовые технологические схемы:

- установка измельчителя перед классификатором, используемая в случае малого содержания мелочи в исходном материале;

- установка классификатора перед измельчителем, что более предпочтительно при большом содержании мелочи в исходном материале.

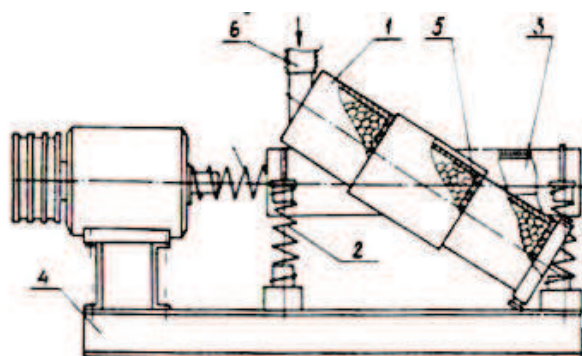
При переработке отходов минерального сырья чаще используется последняя технологическая схема, так как содержание мелочи в исходном материале, как правило, превышает 20...30 %.

Как показала практика, одним из наиболее прогрессивных измельчителей, используемых для тонкого помола, являются вибрационные мельницы. Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что эффективность процесса помола зависит не только от свойств материала, но определяется также частотой и амплитудой колебаний, размерами и количеством шаров, формой, объемом и положением помольной камеры, степенью заполнения ее измельчаемым материалом, условиями его поступления и скоростью удаления измельченного продукта.

Недостатком современных вибрационных мельниц непрерывного действия с горизонтально расположенными помольными камерами при измельчении больших потоков материала является низкая пропускная способность помольных камер [4]. С целью расширения области применения вибрационных мельниц созданы вибромельницы с вертикально расположенными помольными камерами, имеющими повышенную пропускную способность по сравнению с вибромельницами с горизонтальными помольными камерами, но уступающие им в удельной производительности. Этих недостатков лишена вибрационная мельница с наклонными помольными камерами (рисунок 1) [8, 9].

Наклон помольных камер незначительно усложняет конструкцию вибромельниц. Поэтому они являются наиболее перспективными по сравнению с другими конструкциями вибрационных мельниц для измельчения минерального сырья. В результате решения поставленных задач сформулированы зависимости для определения потребляемой на помол мощности и производительности измельчения по заданному классу (получаемому продукту) от ряда параметров мельниц.

Помол сухих отходов



Помол влажных отходов

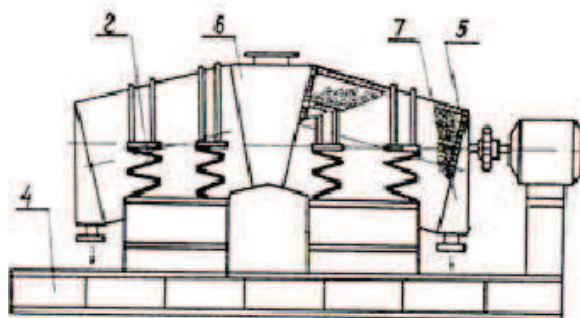


Рисунок 1. Вибрационная мельница конструкции МГИ с наклонными помольными камерами.

1-помольная камера; 2-упругая опора; 3-корпус вибровозбудителя; 4-опорная рама; 5- перфорированная решетка; 6-загрузочная камера; 7-выпускной бункер.

Таблица 2

Функциональные зависимости показателей работы наклонной вибрационной мельницы для измельчения отходов нерудных карьеров.

Тип помольной установки	Функциональные зависимости	
	Мощность, потребляемая загрузкой, кВт	Производительность $Q_{в.н.}$, т/ч
Наклонная вибрационная мельница (карбонатные отходы)	$P_{в.н.}^3 = 72,19 \cdot 10^2 \cdot \lambda \cdot c_k \left(\frac{n_m}{1000} \right)^{2,32} A^{1,51} \varepsilon_{ш}^{2,12} \cdot D_k^{2,74} \exp(1,44 \cdot \alpha_k - 1,08 \cdot \varepsilon_{ш} - 1,44 \alpha_k \varepsilon_{ш} - 3,43 \alpha_k D_k - 1,71 \varepsilon_{ш} D_k + 4,97 \alpha_k \varepsilon_k D_r - 0,15 \alpha_k^2 + 3,41 D_k^2)$	Сухой помол $Q_{в.н.}^c = k(\varepsilon_H)^{0,42} G d_k^2 \Phi \sin \alpha_k$ Влажный помол $Q_{в.н.}^B = \frac{c \cdot \Theta^3 \rho \cdot g \cdot r \sin \alpha_k}{\tau \cdot \sigma^2 F \cdot \eta} \cdot (0,5 L_k \sin 2\alpha_k + h_0 - h \cos \alpha_k)$

Полученные функциональные зависимости представлены в таблице 2.

В указанных зависимостях для наклонных вибрационных мельниц: D_k (м), L_k (м) и d_k (град) – соответственно диаметр, длина и угол наклона помольных камер; $\varepsilon_{ш}$ – коэффициент заполнения камер шарами; $\lambda = L_c/D_k$; L_c – длина секции камеры, м; c_k – суммарное число секций в помольных камерах; n_m – число оборотов приводного вала мельницы, мин⁻¹; ε_H – энергонапряженность процесса измельчения, Вт/кг; $d_{ш}$ – диаметр мелющих шаров, мм; k – коэффициент пропорциональности, кг·с/м⁵; c – безразмерная постоянная Козени; θ – пористость помольной среды; τ – коэффициент, учитывающий искривленность тока жидкости в пористой среде; ρ – плотность измельчаемого материала, г/см³; r – извилистость, определяемая как отношение средней

длины траектории частицы в помольной камере к длине помольной камеры; σ – удельная поверхность пористого материала, см²/г; η – вибровязкость потока измельченного материала, Па·с; h_0 и h – глубина фильтрационного потока соответственно на входе и выходе помольной камеры, м; Φ и F – функции конструктивных и технологических параметров мельниц, определяемые по графикам и таблицам.

Анализ результатов работ [8, 9] показывает, что величины некоторых параметров измельчителей предлагается выбирать в довольно широком диапазоне их рекомендуемых значений, что создаёт трудности при настройке реальных процессов помола. Это относится к определению диаметра помольных камер D_k вибрационных мельниц при помоле сухого минерального сырья, величину которого рекомендовано выбирать по условию $D_k \leq 0,65$ м, так как превышение

указанного значения приводит к возрастанию удельных энергозатрат на измельчение. При помоле влажного сырья на мельницах указанного типа наивысшие значения производительности достигаются при различных сочетаниях угла наклона камер α_k и их длины L_k .

Для уточнения указанных параметров исследуемых измельчителей с использованием ключевого критерия удельного действия $J_{э-в}$ проведён цикл экспериментальных исследований процесса помола различных отходов минерального сырья с варьированием параметров измельчителей в диапазонах их рекомендуемых значений, установленных в вышеуказанных работах. Гра-

нулометрический состав и физико-механические характеристики отходов соответствовали ранее проведенным исследованиям. Эффективность работы измельчителей оценивалась также и по критериям, используемым в упомянутых работах.

Исследования процесса измельчения карбонатных пород, находящихся в сухом состоянии в наклонной вибрационной мельнице показали, что оптимальные значения угла наклона камер, а также коэффициента их заполнения равны: $\alpha_k = 30^\circ$ и $\epsilon_{ш} = 0,8$. Тогда обобщенная функциональная зависимость для определения критерия удельного действия $J_{э-в}$, подсчитанная с учетом значений для $P_{в.н.}^3$ и $Q_{в.н.}^c$ (таблица 2), запишется в виде:

$$J_{э-в} = 2,52 c_k \mathfrak{E}_n^{-0,84} \left(\frac{n}{1000} \right)^{2,32} A^{1,51} D_k^{-1,26} d_{ш}^{-2} \exp(-0,754 - 1,095 D_k + 3,41 D_k^2) \quad (1)$$

На рисунке 2 представлены зависимости относительных значений мощности загрузки $P_{в.м}^{Дк}/P_{в.м}^{0,2}$, производительности $Q_{в.м}^{Дк}/Q_{в.м}^{0,2}$, а также удельных действий $J_{э-в}^{Дк}/J_{э-в}^{0,2}$ от диаметра помольных камер D_k наклонной вибрационной мельницы. Анализ кривых указывает на увеличение потребляемой мощности и пропускной способности мельницы с возрастанием диаметра камеры, однако соотношения $J_{э-в}^{Дк}/J_{э-в}^{0,2}$, подсчитанные по формуле (1), указывают на наличие минимума этого соотношения, который приходится на наиболее рациональное значение диаметра помольных камер, находящееся в пределах 500 – 550 мм.

Сравнение экспериментальных значений соотношений $J_{э-в}^{Дк}/J_{э-в}^{0,2}$, полученных по замерам параметров $P_{в.н.}^3$ и t_a , с теоретическими показывает, что относительная ошибка составляет не более 8,2 %, а несовпадение минимальных значений экспериментально определяемого и прогнозируемого соотношений – менее 10 %.

Результаты экспериментальных ис-

следований процесса измельчения на вибрационной мельнице влажных карбонатных отходов, представленных в работе [8] показывают, что максимум производительности по готовому продукту (известняковой муке фр. – 1 мм) достигается для различных сочетаний параметров α_k и L_k при вполне определенных значениях энергии загрузки E_3 . Так прирост известняковой муки порядка 60 % и выше имеет место при следующих значениях конструктивных и энергетических параметров мельницы – для $\alpha_k = 45^\circ$: $L_k = 0,6$ м, $E_3 = 6,0 \dots 7,5$ Дж; для $\alpha_k = 30^\circ$: $L_k = 0,6$ м, $E_3 = 6,0 \dots 9,0$ Дж; для $\alpha_k = 15^\circ$: $L_k = 0,4$ м, $E_3 = 3,0 \dots 6,0$ Дж и $L_k = 0,6$ м, $E = 3,0 \dots 7,5$ Дж.

Для определения наиболее оптимальных сочетаний параметров мельницы с точки зрения минимизации удельных затрат произведена их оценка по критерию $J_{э-в}$. Обобщенная функциональная зависимость для определения критерия $J_{э-в}$, подсчитанного с учетом производительности $Q_{в.н.}^c$ (таблица 1) (при $\beta_n = 0,5$ и $\epsilon_{ш} = 0,8$), запишется в виде

$$J_{э-в} = \frac{2,04 \cdot 10^{-2} V_k \cdot M_{ш} \cdot \omega^2 \cdot A \cdot F \cdot \eta}{k_\epsilon \cdot \rho \cdot r \cdot V_{ш} \sin \alpha_k (0,5 L_k \sin 2\alpha_k + h_0 - h \cos \alpha_k)}, \quad (2)$$

где $k_\epsilon = \frac{c \cdot \Theta^3}{\tau \cdot \sigma^2}$ – проницаемость, м^2 .

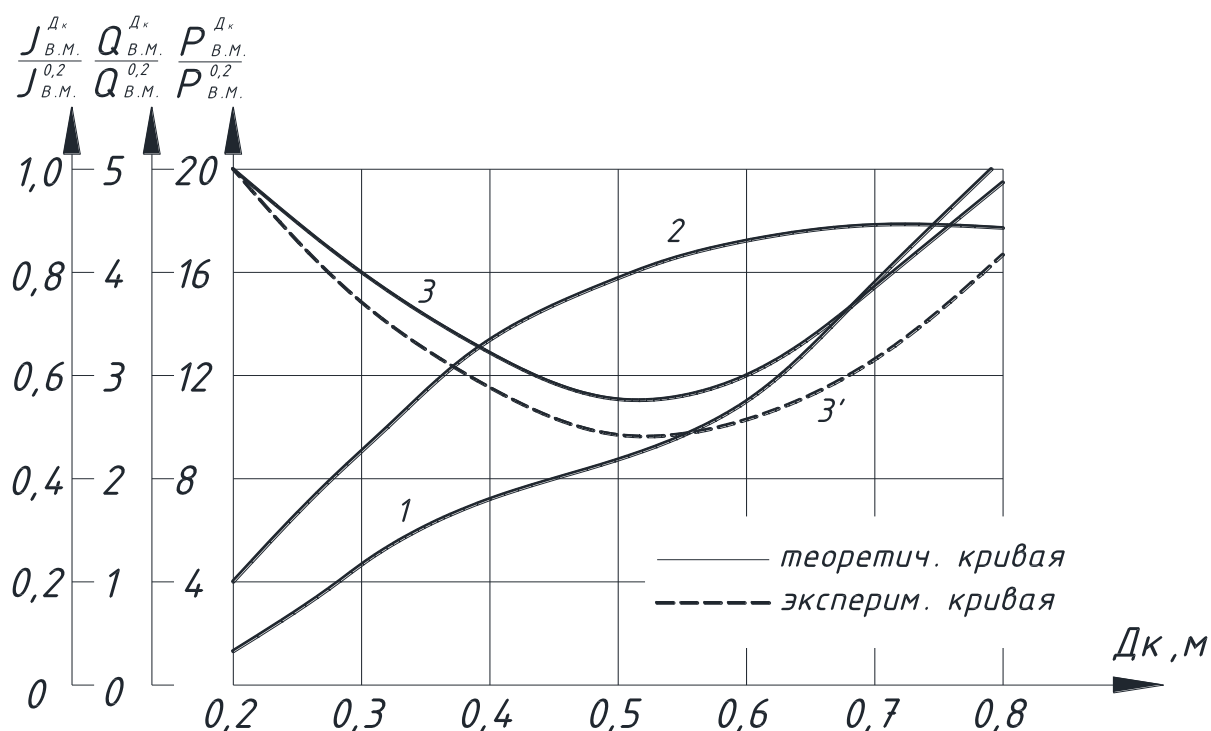


Рисунок 2. Зависимость относительных значений мощности загрузки (1), производительности (2) и удельных действий (3 и 3') от диаметра помольных камер наклонной вибрационной мельницы.

В таблице 3 приведены параметры наклонной вибрационной мельницы, используемой при помоле карбонатных отходов естественной влажности с целью получения известняковой муки.

Таблица 3

Параметры наклонной вибрационной мельницы при помоле карбонатных отходов

Параметры наклонной вибрационной мельницы	Угол наклона и длина помольной камеры					
	$\alpha_k = 15^\circ$		$\alpha_k = 30^\circ$		$\alpha_k = 45^\circ$	
	$L_k=0,4$ м	$L_k=0,6$ м	$L_k=0,4$ м	$L_k=0,6$ м	$L_k=0,4$ м	$L_k=0,6$ м
Амплитуда A , мм	4 – 7					
Частота ω , с ⁻¹						
Производительность Q_{max} , %	61	63	48	61	44	60
Энергия загрузки E_z , Дж	3,0	3,0	4,0	6,0	4,0	6,0
Относительное время на помол $t_a=(1/Q_{max}) \times 100\%$	1,61	1,59	2,01	1,61	2,27	1,67
Относительное значение удельного действия $J_{э.-в}$	7,77	7,58	16,16	15,55	20,61	16,73

Как видно из таблицы 3, минимальное удельное действие имеет место при угле наклона помольных камер $\alpha_k = 15^\circ$ ($J_{э.-в} = 7,58 - 7,77$), при этом изменение длины камер L_k в пределах от 0,4 м до 0,6 м на величину удельных затрат не оказывает существенного влияния. С увеличением угла наклона помольных камер до $30 - 45^\circ$ значение удельных действий при всех длинах L_k увеличивается более чем в 2 раза. Следовательно, с точки зрения достижения минимальных удельных затрат при помоле влажных отходов карбонатных пород угол наклона помольных камер α_k должен составлять 15° .

Заключение

1. Выбор классификационно-измельчительного оборудования целесообразно осуществлять с помощью предложенного метода его оценки, заключающегося в использовании определяющих критериев удельного действия – комплексных показателей, учитывающих затраты в зависимости от процессов переработки, иерархии оценки и отнесенных к единице объема (массы) целевого продукта переработки.

2. Оценку разнотипных машин одного функционального назначения и комплексов перерабатывающего оборудования, в частности измельчительного, осуществляют по обобщенному критерию удельного действия, учитывающему затраты механической энергии-времени, а также массу оцениваемого оборудования

3. На основе определяющего критерия удельного действия, учитывающего затраты механической энергии-времени, установлены оптимальные значения ряда параметров наклонной вибрационной мельницы: диаметра помольных камер при тонком помоле сухих карбонатных отходов ($D_k = 500 - 550$ мм) и угла их наклона при помоле влажных отходов ($\alpha_k = 15^\circ$).

Библиографический список

1. Бардовский А.Д., Бибииков П.Я. Метод выбора оборудования и технологии для переработки отходов горных предприятий. // Ежемесячный научно-техниче-

ский производственный журнал «Строительные материалы», М.: 2006, №8, С. 78-79.

2. Бардовский А.Д., Бибииков П.Я., Вержанский П.М. Оценка эффективности грохотов с неподвижными криволинейными поверхностями для сухого разделения мелких фракций отходов нерудных карьеров. // ГИАБ. М.: МГГУ, 2013, №10, С.204-208.
3. Воронин Б.В. Обеспечение и оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности скребковых конвейеров. // ГИАБ. Отдельный выпуск №16, М.: МГГУ, 2009.
4. Бардовский А.Д., Бибииков П.Я., Вержанский П.М., Воронин Б.В. Эффективность сухого виброгрохочения отходов нерудных карьеров на просеивающих поверхностях различной конструкции. // ГИАБ. М.: МГГУ, 2015, №6, стр. 182-189.
5. Gorbatyuk S.M. Problems of training for the engineering activity // Gorbatyuk S.M., Chichenev N.A., Kirillova N.L. // Steel in Translation. Volume: 43 Issue: 5, 2013 Pages 231-235.
6. Селективное разрушение минералов /Под ред. чл.-корр. АН СССР В.И.Ревнивцева.- М.: Недра, 1988.- 286 с.
7. Картавый Н.Г., Бардовский А.Д. Перспектива развития высокоэффективного классификационно-измельчительного оборудования для безотходного производства нерудных строительных материалов // Проблемы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых: Сб. научн. тр. МГИ / Под ред. Л.А. Пучкова. - М.: Недра, 1989. - С. 115 -128
8. Балаян В.А. Определение рациональных параметров наклонных вибрационных мельниц для измельчения отходов карбонатных карьеров: Дис. канд. техн. наук. - М., 1982.- 196 с.
9. Красовский Б.П. Обоснование параметров наклонной вибрационной мельницы для производства известняковой муки из отходов карбонатных карьеров: Дис. канд. техн. наук.-М., 1989.- 241 с.



УДК 621.778.8

А.К. Белан, О.А. Белан
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: oabelan@mmk-metiz.ru
Дата поступления 11.11.2015

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Аннотация

Рассмотрены оборудование, технология производства и сортамент крепежных изделия, изготавливаемых в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ». Представлены особенности технологии изготовления проволоки и калиброванного металла для дальнейшей штамповки крепежных изделий. Приведены особенности проектирования технологических процессов и инструмента.

Ключевые слова: крепежные изделия, технология, штамповка, калиброванный металл, оборудование, разработка, проектирование.

Введение

ОАО «ММК-МЕТИЗ» является производителем широкой номенклатуры крепежных изделий и выпускает железнодорожный, машиностроительный, высокопрочный и строительный крепеж. С каждым годом сортамент производимых изделий расширяется в соответствии с потребностями потребителей. Появляются новые конструкции изделий, применяются новые марки сталей. Основным направлением является — удовлетворение требований потребителей и выпуск продукции высокого качества.

Основная часть

В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» крепежные изделия изготавливаются методом холодной и горячей объемной штамповки. В отличие от точения, данные способы позволяют сократить затраты металла, трудоемкость, повысить качество и применяются в серийном производстве. Холодная штамповка имеет больше преимуществ в сравнении с горячей, поэтому применяется для производства большинства изделий [1, 2]. Горячая штамповка применяется для изготовления гаек М20-М30 и формирования головок на путевых и закладных болтах, рисунок 1.

В отличие от горячей штамповки, при которой несовершенные механические

свойства и структура металла компенсируется нагревом заготовки перед штамповкой, при холодной штамповке данные несовершенства могут приводить к низкой стойкости инструмента и не обеспечению требуемых свойств крепежных изделий. Поэтому при разработке технологии изготовления калиброванного проката и проволоки, предназначенных для дальнейшей штамповки крепежа, должны быть учтены все требования и особенности будущих крепежных изделий [3].



Рисунок 1. Штамповка гаек на автомате AMP 30

Разработка технологии изготовления проволоки начинается с выбора марки стали. Марка стали определяется, исходя из механических свойств и дальнейшего назначения крепежного изделия. Затем выбирается оборудование, разрабатывается маршрут волочения, режим термической обработки, определяется наличие подслоя. При рассмотрении особенностей технологии изготовления проволоки и калиброванного проката, целесообразно разделить крепежные изделия на группы и

рассматривать технологию изготовления металла для каждой отдельной группы:

- проволочные крепежные изделия;
- крепеж повышенной прочности из углеродистых и легированных марок сталей с последующей термообработкой;
- крепежные изделия из сталей марок 10, 10пс, 20, 20пс без термообработки.

Проволочные крепежные изделия (гвозди)

В качестве сырья используется светлая проволока общего назначения в бухтах, мотках или катушках массой до 1000 кг. Проволока изготавливается из низкоуглеродистых марок сталей. Исходным сырьем является катанка по ГОСТ 30136-95. Готовая проволока должна соответствовать требованиям ГОСТ 3282-74. Особенностью технологии является получение требуемых механических свойств проволоки. Проволока изготавливается без термической обработки. В зависимости от диаметра проволоки, волочение происходит на многократных волочильных станах. Обязательным условием при волочении является не допускать перегрева проволоки, которое приводит к образованию цветов побежалости на поверхности [4]. Перегрев проволоки и цвета побежалости возникают в результате недостаточного охлаждения волок при волочении. Это приводит к плохому формированию острия при штамповке гвоздей: не отпадает обсека и острие не формируется. Особенно это проявляется на быстроходных гвоздильных автоматах с производительностью более 1000 штук в минуту. В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» данная проблема очень часто возникала при изготовлении проволоки на волочильных станах магазинного типа. Решением данной проблемы был переход на волочение с пониженной скоростью и достаточное охлаждение волок. В связи с тем, что спрос на качественную проволоку для гвоздей становился все больше в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» было реорганизация волочильного производства и приобретение новых волочильных станков. При запуске новых прямоточных станков, проблема плохого формирования острия гвоздей при штамповке не возникает. Новые станы обеспечивают качественную поверхность

проволоки даже при высокой скорости волочения, так как обеспечивается достаточное охлаждение при волочении. Рекомендуемые механические свойства проволоки для гвоздей приведены в таблице 1.

Таблица 1
Рекомендуемые механические свойства
готовой проволоки

Марка стали	Временное сопротивление, Н/мм ²
Ст1пс, Ст1,	Ø(1,2-1,4) мм - не более 1350
Ст2пс, Ст2,	Ø(1,6-3,1) мм - 590-1180
Ст3пс	Ø(3,4-4,4) мм - 440-930 Ø(4,6-6,0) мм - 390-830

Крепежные изделия повышенной прочности из углеродистых и легированных марок сталей с последующей термообработкой

К данной категории изделий можно отнести болты и винты класса прочности 8.8, 10.9, 12.9; гайки класса прочности 8,10, 12; самонарезающие винты, дюбель, пружинные шайбы и др. Данная группа крепежных изделий изготавливается либо из легированных марок сталей 15Г(М), 20Г2Р, 30ХР, 40Х «Селект» либо из высокоуглеродистых типа 65Г, 70. Особенностью технологии изготовления проволоки для таких изделий является получение максимально пластичной проволоки перед штамповкой, т.е. снизить предел прочности и повысить удлинение и сужение. Это обеспечивает технологичность металла при штамповке. Особенность данных марок сталей является сильное упрочнение даже при небольшой степени деформации. В среднем деформация на 10% дает упрочнение на 100-150 МПа. Поэтому для штамповки необходимо сделать металл как можно более пластичным, а все необходимые прочностные свойства крепежных изделий достигаются за счет последующей термообработки крепежных изделий [5].

Технология изготовления проволоки и калиброванного металла:

- Травление исходного горячекатаного проката и известкование.
- Волочение проката на промежуточный размер.
- Отжиг передельной заготовки.
- Травление передельной заготовки и фосфатирование.

– Волочение проволоки на готовый размер.

После отжига передельной проволоки-заготовки, степень деформации при последнем волочении должна быть (5-10)%. Данное обжатие обеспечивает получение максимально пластичной проволоки. Также после отжига должна быть операция фосфатирования. Фосфат является подмазочным слоем и обеспечивает отсутствие залипания металла в инструменте при штамповке.

Также, одним из условий иногда является получение требуемого обезуглероженного слоя на калиброванном прокате. Это достигается качеством исходного горячекатаного проката (при необходимости дополнительно обговаривается с поставщиком металла) и качественным отжигом передельной заготовки. Специально для получения качественного калиброванного металла и проволоки для крепежных изделий в 2008-2009 году в ОАО «ММК-МЕТИЗ» приобретены и установлены колпаковые печи фирмы «EBNER», рисунок 2.

Отжиг металла в данных печах обеспечивает получение требуемой структуры металла и механических свойств без прироста по величине обезуглероженного слоя.

Свойства горячекатаного проката и передельной заготовки после отжига приведены в таблице 2.



Рисунок 2. Колпаковая печь фирмы «EBNER»

Таким образом, качественный отжиг, хорошая подготовка поверхности и степень деформации не более 10 % при волочении на готовый размер, обеспечивают получение качественного калиброванного проката и проволоки из трудноштампуемых марок сталей.

Рекомендуемые в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» механические свойства калиброванного готового проката приведены в таблице 3.

Крепежные изделия из сталей марок 10, 10пс, 20, 20пс без термообработки

Особенностью технологии подготовки калиброванного металла для данной группы является получение требуемых механических свойств проволоки, с одной стороны обеспечивающие требуемый класс прочности будущих крепежных изделий, с другой — пластичность металла при штамповке [6].

Таблица 2

Свойства горячекатаного проката и передельной заготовки после отжига

Марка стали	Обозначение документа	Временное сопротивление, Н/мм ² (кгс/мм ²), не более	Относительное сужение, %, не менее	Относительное удлинение (δ_{100}), %, не менее
40X	ГОСТ 10702	650 (66,0)	55	-
40X «Селект»	ТС 00187895-028 ТУ 14-101-594			
40C2A«Селект»	ТУ 14-101-481	750 (76,5)	48	13
65Г	ТС 14-101-773	750 (76,5)	-	13
10, 20	ГОСТ 10702	460 (47,0)	-	-
15Г(М)	ТС 14-101-679-2007	450	50	20

Таблица 3

Рекомендуемые механические свойства готового калиброванного проката и проволоки

Марка стали	Назначение калиброванного металла	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное сужение, %, не менее	Относительное удлинение (δ_{100}), %, не менее
20Г2Р, 30ХР, 40Х, 40Х «Селект»	Болты класса прочности 8.8; 10.9	не более 750	-	-
40C2A «Селект»	шайбы двухвитковые	не более 750	48	13
65Г	шайбы пружинные	не более 804	-	13
15Г(М)	самонарезающие винты	не более 490	50	20

Существует несколько вариантов технологии изготовления проволоки и калиброванного металла в зависимости от условий штамповки и требований к будущему крепежному изделию.

1 вариант:

–Травление и фосфатирование горячекатаного проката.

–Волочение проволоки на готовый размер.

Данный вариант технологии без отжига наиболее подходит для болтов с шестигранной головкой, поскольку для их штамповки не требуется повышенная пластичность металла. Варьируя диаметром горячекатаного металла, можно подобрать требуемый процент обжатия при волочении, и получить необходимые механические свойства на металле и готовых болтах.

2 вариант:

– Отжиг горячекатаного проката.

– Травление и фосфатирование.

– Волочение проволоки на готовый размер.

Данная технология применяется для болтов с шестигранной головкой до М12, болтов с фасонной головкой, шестигранных гаек, может также применяться для заклепок, винтов и шурупов.

Недостатками первых двух вариантов является:

– Качество поверхности готового металла зависит от качества поверхности горячекатаного проката. При маленьком обжатии есть вероятность наличия дефектов на поверхности.

– Отсутствие требуемого диаметра горячекатаного проката.

3 вариант:

– Травление исходного горячекатаного проката и известкование.

– Волочение проката на промежуточный размер.

– Отжиг передельной заготовки.

– Травление передельной заготовки и фосфатирование.

– Волочение проволоки на готовый размер.

Этот вариант применяется в основном для изготовления проволоки для винтов, шурупов, заклепок. Для данных изделий требуется маленькие размеры проволоки от 2 мм, а минимальный размер катанки 5,5 мм и при этом необходимо получить достаточно пластичную проволоку, обеспечивающую механические свойства будущих заклепок и позволяющую производить штамповку шлица на винта и шурупах. Следовательно без промежуточного отжига не обойтись.

Механические свойства готового калиброванного проката и проволоки приведены в таблице 4.

Таблица 4

Рекомендуемые механические свойства готового калиброванного проката и проволоки

Марка стали	Назначение калиброванного металла	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное сужение, %, не менее
10, 20	болты классов прочности 4.8; 5.8; 6.8	не более 650	-
10, 10пс, 20, 20пс	гайки класса прочности 6	461 - 588	-
10, 10пс	винты класса прочности 4.8; 5.8	450 - 560	55
10, 10пс	шурупы, заклепки	343 - 510	55

После выбора требуемого материала и разработки маршрута волочения разрабатывается технология штамповки и проектирование чертежей технологического ин-

струмента. Для снижения сроков разработки и изготовления инструмента применяются программы КОМПАС-2D, КОМПАС-3D, ГеММа-3D и математическое моделирование процессов [7, 8].

На первом этапе проектирования разрабатывается технологическая документация: технологические карты и инструкции. При разработке используется графический редакторы КОМПАС-2D, КОМПАС-3D, рисунок 3, 4.

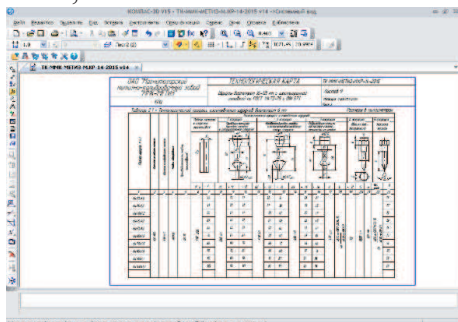


Рисунок 3. Разработка технологического процесса в КОМПАС-2D

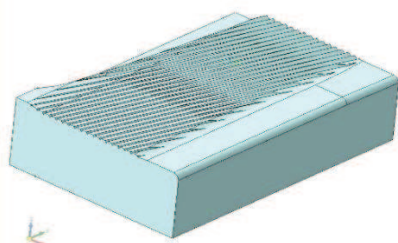


Рисунок 4. Трехмерная модель резьбонакатной плашки, выполненная в системе КОМПАС-3D

КОМПАС 3D позволяет точно рассчитать объемы заготовок по операциям, построить трехмерные модели и чертежи деформирующего инструмента, что отражается на точности его дальнейшего изготовления. Создание трехмерной модели позволило существенно сократить время выпуска конструкторской документации, так как с её помощью путем вставки различных видов можно получить готовый чертёж в течении короткого промежутка времени. Создание модели также позволяет в дальнейшем быстро скорректировать конструкторскую документацию, если это необходимо [5, 9].

Из КОМПАС-3D трехмерная модель инструмента импортируется в ГеММа-3D, где пишется управляющая программа для станков с ЧПУ. Применяемое программное обеспечение позволяет повысить точность и ускорить сроки проектирования и изготовления технологического инструмента. Инструмент для крепежных изделий, как

изготавливается в условиях инструментального цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ», так и приобретается.

Для изготовления крепежных изделий холодной объемной штамповкой в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» применяются гвоздильные и многопозиционные холодновысадочные автоматы отечественного и импортного производства, таблица 5

С целью расширения сортамента производства крепежных изделий в 2006 году было установлено оборудование для производства самонарезающих винтов:

- для штамповки - Однопозиционные двухударные холодновысадочные автоматы HC4-35 фирмы HILGELAND и ND 90 фирмы WAFIOS, рисунок 5;
- для накатки резьбы - резьбонакатные станки FN 6-60, FN 6/8-80 фирмы HILGELAND, рисунок 6;
- для химико-термической обработки винтов - линия фирмы Automation Service S.r.l.



Рисунок 5. Однопозиционный двухударный автомат ND 90 фирмы WAFIOS



Рисунок 6. Резьбонакатные станки FN 6-60, FN 6/8-80 фирмы HILGELAND

По требованию потребителей крепежные изделия изготавливаются с фосфатным или цинковым покрытием. В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» нанесение фосфатного покрытия осуществляется на итальянской линии MSA-PHOS 400-9 фирмы Automation Service S.r.l. Гальваническое оцинкование — на линиях АЛГ-404, АЛГ-561, АЛГ-561М производства ОАО «Тамбовгальванотехник».

Оборудование для изготовления крепежных изделий

Наименование крепежного изделия	Число позиций	Число ударов	Модели автоматов
Гвозди	1	1	Гвоздильные автоматы: АВ4116, АВ4118, ТНА 40/120, МТГ S2, МТГ S3, N 41, N51, N61
Дюбель, винты, шурупы, заклепки диаметром до 6 мм	1	2	A1918; A1219
Болты	4	4	TDZR-8, АБ1919, А1921, А104А, QPBA-101, QPBA-161, QPBA-201, КА-74, КА-84
Гайки до М20	5	5	AB1818, AB1819, AB1822, AB1823, AB1823

На всех переделах производства - крепежные изделия проходят различные виды испытаний в центральной заводской лаборатории, оснащенной всем необходимым испытательным оборудованием.

Заключение

В условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» отлажена система контроля качества изделий, которая осуществляется на всех производственных этапах: от исходного сырья до упаковки готовой продукции. Отлаженная технология и высокопроизводительное холодновысадочное, термическое и испытательное оборудование позволяют получать крепежные изделия высокого качества, удовлетворяющие требованиям потребителей.

Библиографический список

- Петриков В.Г., Власов А.П. Прогрессивные крепежные изделия. - М.: Машиностроение, 1991. - 256с.
- Лавриненко Ю.А., Евсюков С.А., Лавриненко В.Ю. Объемная штамповка на автоматах. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 259с.
- Белан А.К., Белан О.А. Особенности технологии изготовления проволоки и калиброванного проката для холодной штамповки // КШП. ОМД. 2014. №12. С. 28 – 31.
- Харитонов В.И., Зюзин В.И., Белан А.К. Ресурсосбережение при производстве проволоки: Учеб. пособие. - Магнитогорск: МГТУ, 2003. - 268с.
- Тефтелев Е.Н., Артюхин В.И., Паршин В.Г., Белан О.А. Проектирование многопереходных процессов холодной объемной штамповки крепежных изделий на основе средств САПР. Эффективные технологии производства метизов: Сб. науч. тр. / Под ред. Тефтелева Е.Н. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 73-81.
- Белан А.К., Малышева М.С., Белан О.А. Холодная штамповка головок стержневых изделий методом поперечного выдавливания. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.
- Белан А.К., Белан О.А., Юркова Е.В., Сидоренко В.В., Овчинников Д.А. Проектирование и изготовление технологического инструмента для кузнечно-штамповочных машин при производстве самонарезающих винтов // КШП. ОМД. 2014. №12. С. 28 – 31.
- Мальцев А.Л., Тихонов И.Н., Мальцев Л.В. Моделирование обработки плоских резьбонакатных плашек // Метизы. 2011. № 1. С. 82-83.
- Белан А.К., Белан О.А. Применение средств САПР при освоении новых видов крепежных изделий на ОАО «ММК-МЕТИЗ». Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: Международный сб. науч. тр./ Под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. С. 137-142.



УДК 621.778

Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков,
Ю.В. Мартьянов, А.В. Веденеев
УО «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»
г. Гомель, Республика Беларусь
E-mail: bobarikin@tut.by
Дата поступления 15.11.2015

ВЛИЯНИЕ СХЕМ ЗАПРАВКИ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ МЕТАЛЛОКОРДА

Аннотация

Исследовано влияние схем заправки металлокорда в деформаторе на величину прямолинейности металлокорда 2+2х0,30SHT после изготовления. Испытаны варианты заправки металлокорда в деформатор с различным углом охвата деформирующего ролика. Определено, что для диаметра деформирующего ролика 44 мм оптимальный угол охвата составляет 360-390°, что составляет примерно 1-1,1 оборота металлокорда вокруг деформирующего ролика.

Ключевые слова: прямолинейность металлокорда, деформатор, схема заправки металлокорда, угол охвата ролика металлокордом.

Металлокорд изготавливают преимущественно на канатных машинах двойного кручения последовательной скруткой тонкой латунированной углеродистой или высокоуглеродистой стальной проволоки. Современные тенденции развития производства металлокорда заключаются в производстве высокопрочного и сверхпрочного металлокорда из высокоуглеродистой стали, что позволяет уменьшить массу металлокорда в шине, следствием чего является снижение массы шины, снижение потерь на качение и расхода топлива [1]. Технология свивки определяет конструкцию металлокорда. В процессе свивки высокоуглеродистая проволока испытывает крутящие, изгибающие и растягивающие напряжения. В результате свивки металлокорда высокоуглеродистая стальная проволока образует объемную спираль. Формируемые объемные спирали проволок повышенной прочности имеют неравномерный контакт друг с другом в конструкции металлокорда. Неравномерность контакта заключается в неравномерном распределении сил сцепления проволок в конструкции металлокорда. В этой связи в конструкции металлокорда формируются неравномерно распределенные остаточные напряжения. Результатом

релаксации остаточных напряжений в конструкции металлокорда является появление отклонения от прямолинейности металлокорда, отмотанного с приемной катушки канатной машины. С течением времени после изготовления до 15 дней это отклонение увеличивается в результате накопления остаточных деформаций, разгружающих металлокорд от остаточных напряжений.

В связи с повышением уровня автоматизации производства шин ужесточились требования по прямолинейности металлокорда. Прямолинейность металлокорда должна находиться в узкой области регламентируемых значений для обеспечения возможности автоматической укладки металлокорда в производстве шин. В связи с этим отклонение от прямолинейности металлокорда в современном металлокордном производстве жестко регламентируется. Металлокорд с повышенным отклонением от прямолинейности отбраковывается.

Для повышения прямолинейности металлокорда использование традиционных роликовых рихтовальных устройств не эффективно. Поэтому ведущие производители металлокорда для повышения прямолинейности приступили к использованию

дополнительных роликовых устройств, деформирующих металлокорд непосредственно перед его намотом на приемную катушку. Такие устройства называются деформаторами.

Принцип работы деформатора заключается в изгибе металлокорда в направлении, обратном направлению намотки на катушку. Поэтому чаще всего деформаторы располагаются непосредственно в узлах намотки после свивки или после перемотки. Обратный изгиб металлокорда позволяет перераспределить контактные взаимодействия между проволоками [2].

Теоретические исследования по влиянию деформаторов на прямолинейность показали, что обратный изгиб металлокорда в деформаторе влияет на смещение проволок в конструкции металлокорда и изменяет контактное взаимодействие между проволоками металлокорда [2].

Цель работы: исследовать влияние схем заправки металлокорда в деформаторе на прямолинейность металлокорда.

Исследования выполнялись на экспериментальном уровне в лабораторных условиях.

Простейший деформатор состоит из одного направляющего ролика и одного деформирующего ролика (рисунок 1). Направляющий ролик служит для предотвращения перекосов металлокорда и уменьшению вибрации. Деформирующий ролик совершает полезную работу.

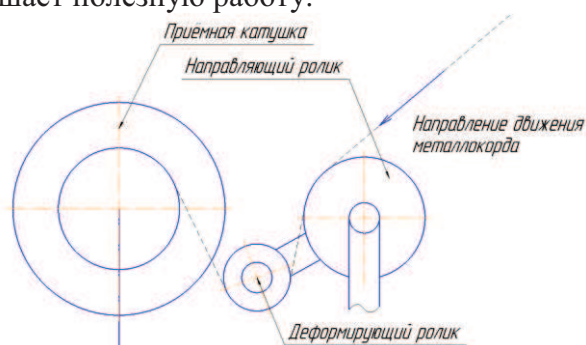


Рисунок 1. Принципиальная схема простейшего деформатора

Для проведения эксперимента были разработаны схемы проведения испытаний для различных вариантов заправки металлокорда в деформатор, а также для различных вариантов угла охвата металлокордом

деформирующих роликов. Угол охвата характеризует степень проработки полезного сечения металлокорда и эффективность перемещений контактных точек проволоки в конструкции металлокорда.

Диаметр деформирующего ролика влияет на величину осевого сдвига проволок в металлокорде. Угол охвата определяет количество шагов металлокорда, одновременно обрабатываемых на деформирующем ролике. Тогда скорость проработки можно представить следующим выражением:

$$V_{np} = \frac{V_{намот} \cdot \pi d \alpha}{t \cdot 360}, \quad (1)$$

где V_{np} – скорость проработки металлокорда, шаг/с;

$V_{намот}$ – скорость намота металлокорда на приёмную катушку, м/с;

d – диаметр деформирующего ролика, мм;

t – шаг металлокорда, мм;

α – угол охвата металлокордом деформирующего ролика, град.

Скорость проработки также показывает, сколько шагов металлокорда найдется каждую секунду на деформирующем ролике.

В эксперименте были использованы заправки металлокорда в деформатор согласно схемам, представленным на рисунке 2.

Были проверены варианты заправки металлокорда конструкции 2х0,30НТ в деформатор со следующими углами охвата металлокордом деформирующего ролика: 0,7 оборота; 1 оборот; 2 оборота; также был проверен действующий промышленный вариант 0,46 оборота.

Для опытов был использован модифицированный лабораторный стенд, используемый для экспериментов с волочением и намоткой на катушку. В соответствии с [2] определен диаметр деформирующего ролика – 44 мм. Деформатор с деформирующим роликом диаметром 44 мм был установлен перед приёмной катушкой. Используемый деформатор представлен на рисунке 3.

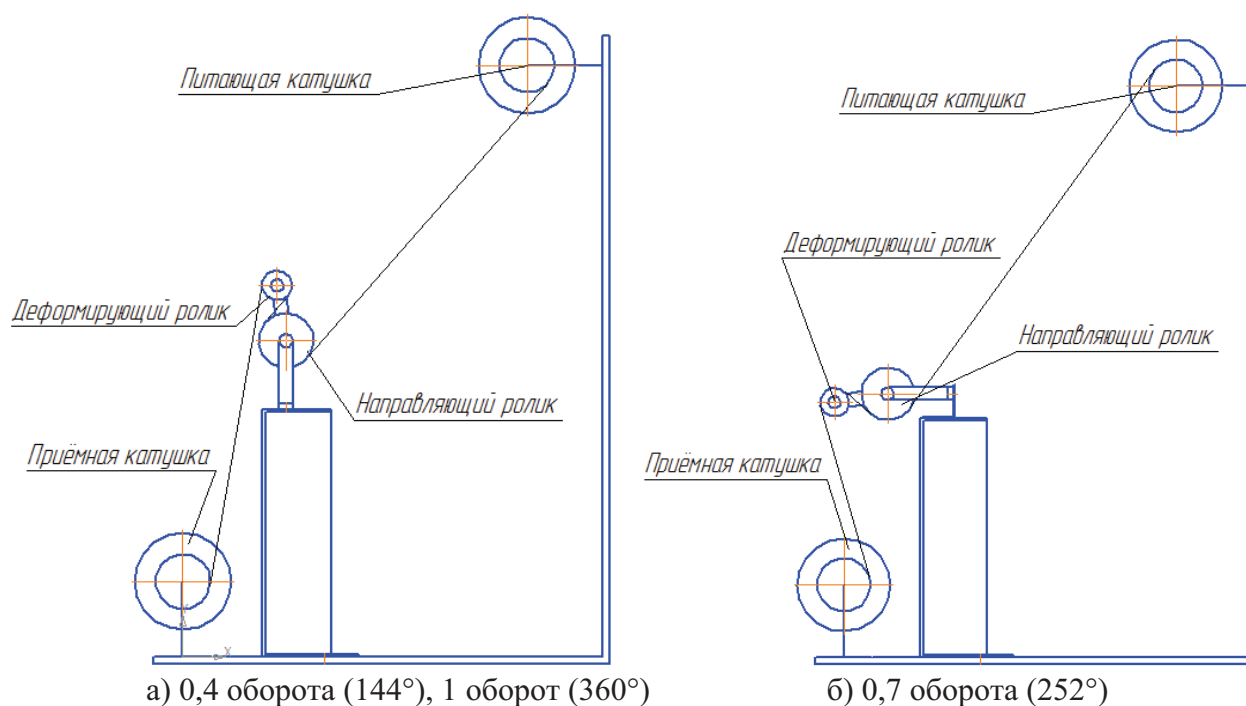


Рисунок 2. Схемы испытаний деформатора

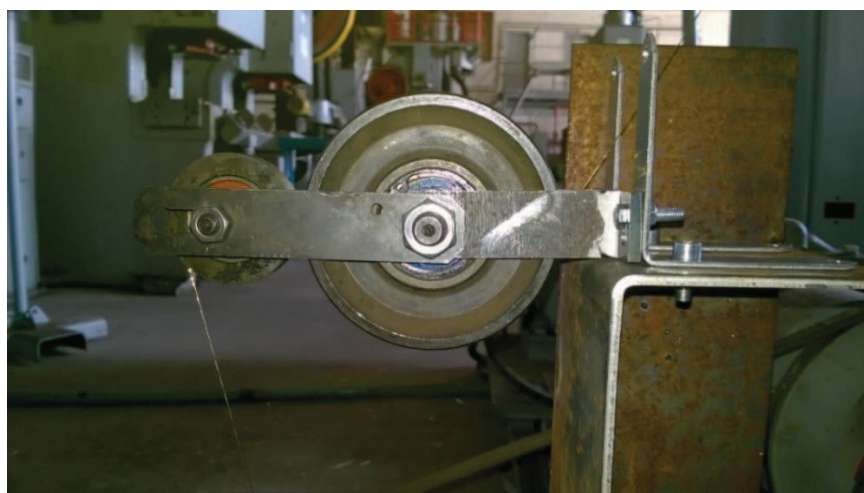


Рисунок 3. Деформатор на лабораторном стенде

После установки деформатора на лабораторный стенд и проведения опыта полученные образцы металлокорда на катушках были выдержаны в течение 14 суток с момента намотки. Периодически производился замер отклонения от прямолинейности на базе 600 мм.

После проведения лабораторных испытаний деформатора после снятия показателей отклонения от прямолинейности металлокорда были получены значения, сведённые в таблицу 1.

Анализ графиков показывает, что наибольшим эффектом для металлокорда 2х0,30НТ обладает заправка с 1 – 1,2 оборотом на деформирующем ролике диаметром 44 мм. Увеличение количества оборотов не даёт положительного эффекта. Напротив, при увеличении числа оборотов до двух наблюдается увеличение отклонения от прямолинейности металлокорда при выдержке его на катушке. Это значит, что воздействие на металлокорд должно быть ограничено упругой зоной и не превышать предел текучести металла, т. е. не переходить зону пластичности.

Таблица 1

Результаты отклонения от прямолинейности металлокорда 2х0,30НТ
с использованием деформатора

Время после опыта	№ Образца	Отклонение от прямолинейности, мм (по линейке)				
		(Количество оборотов на ролике, об) / (Скорость проработки, шаг/с)				
		0/0	1/19,747	2/39,494	0,46/9,084	0,6/11,848
Сразу после намота	1	85	55	75	50	50
	2	105	45	70	45	55
	3	95	50	70	60	55
	средн	95,0	50,0	71,7	51,7	53,3
1 сутки	1	100	60	100	60	55
	2	120	60	70	65	50
	3	110	55	75	65	50
	средн	110,0	58,3	81,7	63,3	51,7
3 суток	1	90	50	90	60	65
	2	85	50	90	65	65
	3	95	50	90	65	60
	средн	90,0	50,0	90,0	63,3	63,3
6 суток	1	90	50	80	60	-
	2	85	50	90	65	-
	3	90	50	90	65	-
	средн	88,3	50,0	86,7	63,3	-
10 суток	1	85	50	-	65	-
	2	85	55	-	65	-
	3	90	60	-	60	-
	средн	86,7	55,0	-	63,3	-
14 суток	1	95	60	-	65	-
	2	95	55	-	65	-
	3	90	55	-	65	-
	средн	93,3	56,7	-	65,0	-

Полученные данные в виде графиков изображены на рисунке 4.

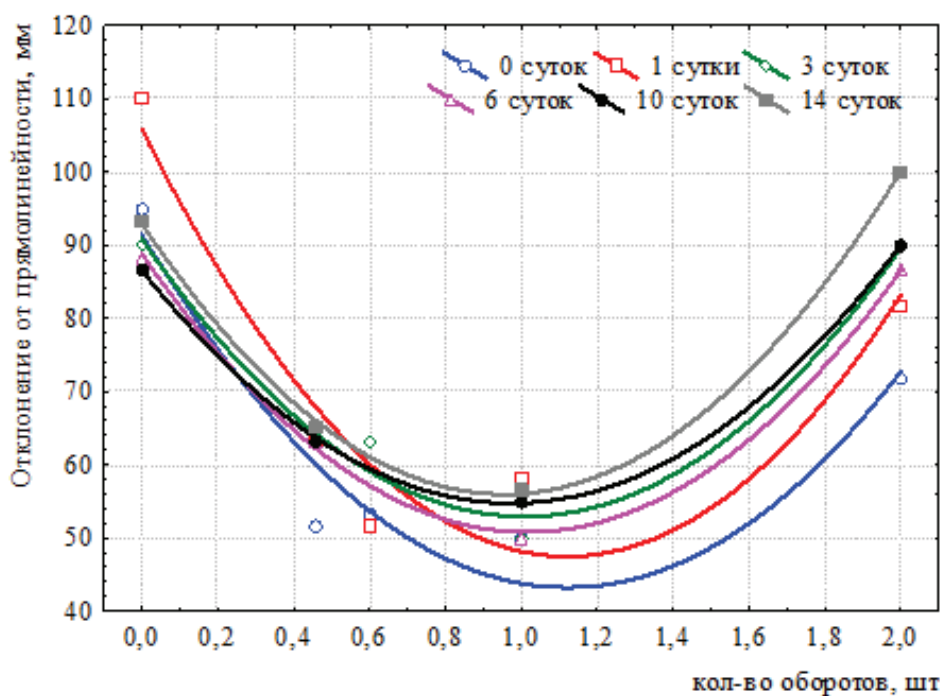


Рисунок 4. Результаты отклонения от прямолинейности металлокорда 2х0,30НТ
с использованием деформатора

Аналогичные испытания были проведены для металлокорда конструкции 2+2х0,30SHT с деформирующим роликом диаметром 44 мм. Результаты представлены в виде графиков на рисунке 5.

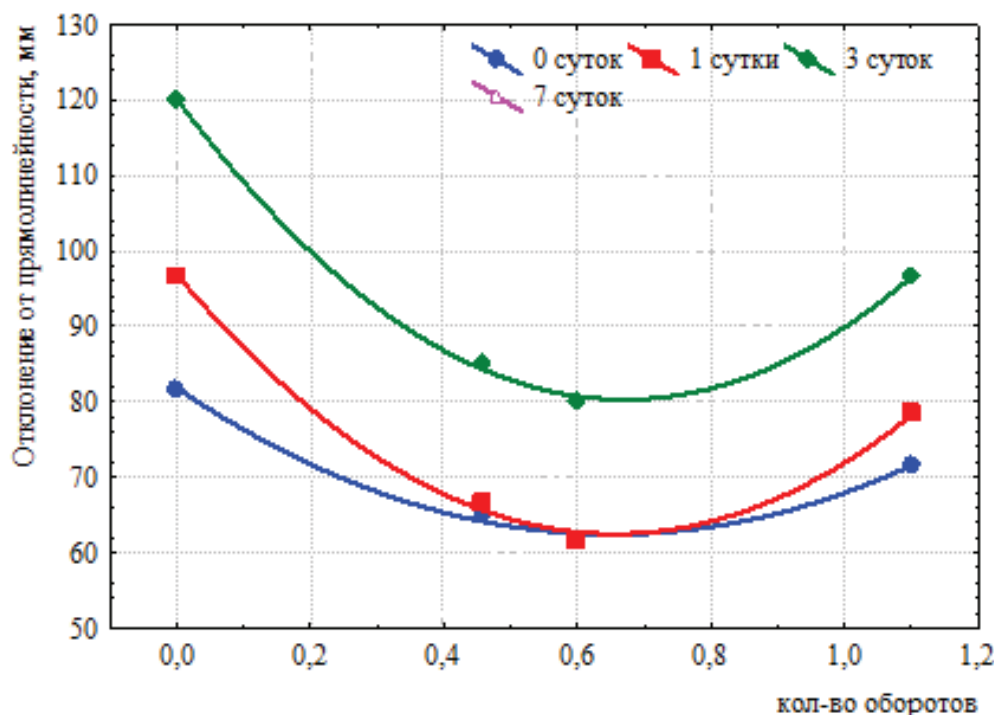


Рисунок 5. Результаты отклонения от прямолинейности металлокорда 2+2х0,30SHT с использованием деформатора

Для металлокорда 2+2х0,30SHT при заправке в деформатор оптимальный угол охвата металлокордом ролика составляет 0,6 оборота. При использовании рекомендуемого ролика, полученного аналитическим расчётом для данного металлокорда, оптимальный угол охвата должен составлять 1 – 1,2 оборота.

Выводы

В работе исследовано влияние схем заправки металлокорда в деформаторе на величину прямолинейности металлокорда 2+2х0,30SHT после изготовления. Испытаны варианты заправки металлокорда в деформатор с различным углом охвата деформирующего ролика. Выявлено, что для диаметра деформирующего ролика 44 мм оптимальный угол охвата составляет 360-

390°, что составляет примерно 1-1,1 оборота.

Угол охвата или количество оборотов металлокорда вокруг деформирующего ролика зависит от диаметра и класса прочности металлокорда, диаметра деформирующего ролика.

Библиографический список

1. Перспективные направления развития производства металлокорда /В.П.Фетисов, Б.А.Бирюков, Ю.В.Феоктистов, Л.А.Куличев: Экспресс-информ. / Инт"Чернот-информация"". М., 1992. 40 с.
2. Бобарикин Ю. Л., Авсейков С. В., Мартянов Ю. В., Веденеев А. В. Определение диаметра ролика обратной деформации для канатной машины в узле намота металлокорда / Обработка материалов давлением. 2015. № 1 (40)



УДК 621.785.54

В.А. Коротков
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского федерального университета
г. Нижний Тагил, Россия
E-mail: vk@udgz.ru
Дата поступления 20.06.2015

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ УСТАНОВКОЙ УДГЗ-200

Аннотация

Модифицирование поверхностей сталей и чугунов установкой УДГЗ-200 производится путем их разогрева плазменной дугой. Благодаря небольшой площади пятна нагрева под дугой, высокие скорости охлаждения обеспечиваются за счет только теплопроводности в тело детали, и мартенситное превращение (закалка) происходит без сопутствующего охлаждения водой. Это дает возможность выполнять закалку на ремонтных участках, а не только в специальных термических цехах, и упрочнять, что было невозможно. Модифицированная поверхность сохраняет исходную шероховатость и может использоваться без финишной механообработки. Модифицированный слой многократно увеличивает износостойкость зубчатых и шлицевых соединений, крановых колес и рельс, тормозных шкивов и канатных барабанов, контактных поверхностей корпусов и станин оборудования. Это в свою очередь увеличивает межремонтный срок эксплуатации машин и оборудования, сокращает ремонтные простои и ремонтные затраты, способствует наращиванию объемов производства и снижению его себестоимости.

Ключевые слова: плазменная дуга, модифицирование закалкой, механическое оборудование.

Введение

Использование разновидностей электрической дуги для поверхностной модификации сталей и чугунов известно с 80-х годов 20 века. Для этого адаптировались, получившие распространение в промышленности, установки аргонодуговой, плазменной и микроплазменной сварки, плазменной резки и плазменного напыления [1]. Однако, технологиям 80...90-х годов был присущ существенный недостаток. Они применялись только в автоматическом режиме, когда параметры дуги (скорость перемещения, длина) легко поддерживаются неизменными, ручное же ведение процесса было практически невозможно. В современный век роботов и «безлюдных» производств разработка ручной технологии может показаться ошибочной. Но ручные технологии, благодаря универсальности, демонстрируют живучесть. В мире основной объем сварки (более 80 %) продолжает выполняться электродами или полуавтоматами, т. е. вручную. По аналогии полагали

(и этот расчет оправдался), что с разработкой ручного способа объемы поверхностного модифицирования (закалки) электрической дугой возрастут, и произойдет это за счет изделий, которые ранее по тем или иным причинам упрочнить было невозможно или затруднительно.

Проблема ручной плазменной закалки была решена в 2002г в ООО «Композит», созданном в 1990г при Нижнетагильском филиале УПИ (ныне УрФУ), где выполнили разработку способа и установки для ручной плазменной закалки [2]. В установке (УДГЗ-200, рис. 1) предусмотрена горелка, небольшие размеры которой делают ее удобной для ручного манипулирования, и позволяют добираться до труднодоступных мест, т.е. упрочнять, что ранее оставалось без упрочнения. При закалке сварщик перемещает дугу по поверхности, на которой остаются, закаленные полосы шириной 8...16 мм, имеющие цвета побежалости, рис.1. Сварщик следит, чтобы под дугой происходило «вспотевание» поверхности

(состояние, предшествующее плавлению) при котором гарантируется надлежащий разогрев без грубых повреждений в виде оплавлений. «Вспотевание» контролировать не труднее, чем плавление при сварке, поэтому работу на установке осваивают сварщики 2...3 разрядов. Установка прошла сертификацию и стала первой специализированной установкой для поверхностной закалки, выпускающейся серийно.

Благодаря небольшой площади нагрева под дугой, высокие скорости охлаждения обеспечиваются за счет теплопроводности в тело детали, что позволяет получать закалку без сопутствующего охлаждения водой [3]. Поэтому установка УДГЗ-200 применяется не только в термических цехах и специализированных участках, но также на ремонтных площадках, участках механообработки и даже по месту эксплуатации деталей. Закалка установкой УДГЗ-200 может быть механизирована, автоматизирована и роботизирована, что делает её пригодной к применению в современных высокотехнологичных производствах.

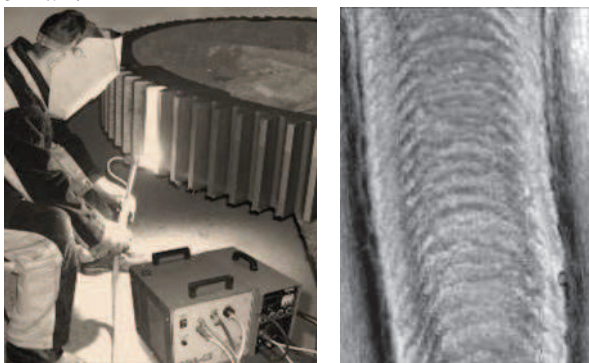


Рисунок 1. Закалка установкой УДГЗ-200 (слева) и вид закаленной полосы (справа)

Целью настоящей работы является обобщение известных и приведение новых данных о свойствах модифицированного слоя, полученного установкой УДГЗ-200 и эффективности применения установки в промышленном производстве.

Структура закаленного слоя

Для получения закаленного слоя необходимы достаточно высокие скорости охлаждения. Расчетным и экспериментальным путем установлено, что при закалке

массивных тел на режимах, типичных для УДГЗ-200, скорости охлаждения превышают критические. При воздействии дуги на пластины, возможность неполной закалки (на твердость ~ HV360) сохраняется для толщин ~ 4мм. Для полной закалки пластины и др. небольшие детали на половину толщины помещают в емкости с водой [4].

Проведение закалки установкой УДГЗ-200 предусматривает поддержание на поверхности температуры близкой к температуре плавления, поэтому структурообразование закаленного слоя подобно структурообразованию в зоне термического влияния сварных соединений. В общем случае непосредственно под поверхностью, где наиболее высокая температура нагрева, возможно укрупнение зерна, далее идет участок мелкого зерна, затем участок не полной перекристаллизации (не полной закалки), переходящий к основному металлу [5]. Если деталь прошла предварительную объемную закалку, то между участком не полной закалки и основным металлом может располагаться участок отпуска с твердостью ниже твердости основного металла. На рис. 2 показано распределение микротвердости в слое плазменной закалки на поверхности рельса (сталь 70), прошедшего объемную закалку с отпуском. Можно отметить, что плазменная закалка дала увеличение микротвердости, при том, что на границе закаленного слоя вследствие отпускных процессов произошло некоторое снижение твердости основного металла. Непосредственно под поверхностью микротвердость несколько ниже, чем на большем удалении вследствие повышенного содержания остаточного аустенита [6]. Микроструктура слоя плазменной закалки представлена на рис. 3. Изображения получены на 2-х лучевом ионно-электронном микроскопе Auriga Crossbeam в режиме ионного облучения [7]. По ним видно, что предположение об образовании зон крупного и мелкого зерна в слое плазменной закалки, полученном установкой УДГЗ-200, на данной углеродистой стали 70 нашло подтверждение.



Рисунок 2. Распределение микротвердости по глубине закаленного слоя на рельсовой стали 70 с объемной закалкой и отпуском.

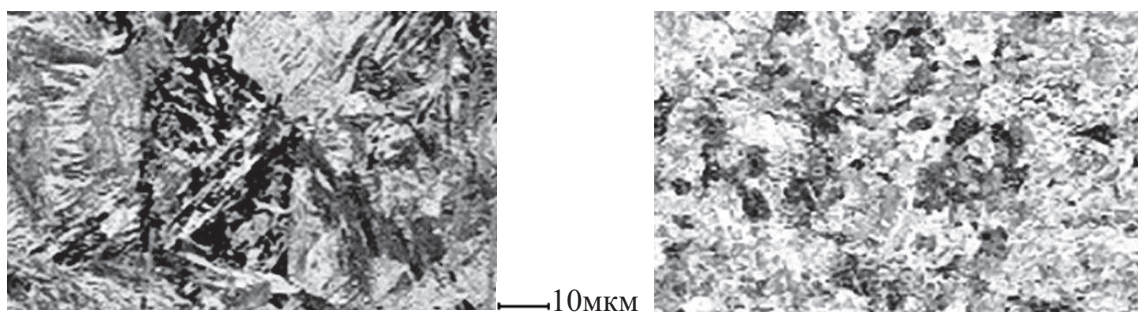


Рисунок 3. Микроструктура зон крупного (слева) и мелкого (справа) зерна в слое плазменной закалки на рельсовой стали 70.

Низкоуглеродистые стали плохо воспринимают закалку, поэтому их термическое упрочнение не практикуется. Вместе с тем известно, что при высоких скоростях нагрева, характерных для плазменной закалки, температурный интервал $[\alpha-\gamma]$ -превращения увеличивается, и при полном исчезновении феррита на месте карбидных частиц могут сохраняться участки с высокой концентрацией углерода, способные в случае быстрого охлаждения к упрочнению.

Это послужило основанием к проведению плазменной закалки установкой УДГЗ-200 низкоуглеродистой стали с содержанием углерода $\sim 0,2\%$. Было установлено, что на месте перлитных зерен (HV276) в закаленном слое образовались фрагменты высокой микротвердости (HV905), характерной для мартенсита [8]. Этот результат дал основание рекомендовать установку УДГЗ-200 для упрочнения контактных поверхностей корпусов (станин) машин и оборудования. Они, обычно, изготавливаются из низкоуглеродистых сталей, применяются в неупрочненном состоянии, и становятся причиной частых и

дорогостоящих ремонтов. Модифицированный слой увеличивает износостойкость контактных поверхностей, а вместе с этим – межремонтный срок эксплуатации оборудования, сокращает ремонтные простои и ремонтные затраты, способствует наращиванию объемов производства и снижению его себестоимости. Например, плазменная закалка контактных поясов (рис. 4), предназначенных для закрепления дробящей брони на валах дробилок среднего дробления, в Качканарском ГОКе увеличила их наработку в 5 раз.

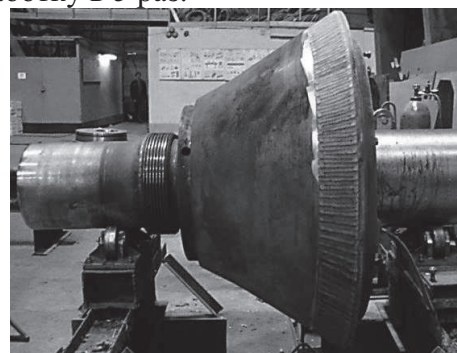


Рисунок 4. Вал дробилки среднего дробления, контактный пояс которого упрочнен плазменной закалкой установкой УДГЗ-200

При плазменной закалке широких поверхностей оператор наносит полосы закалки с некоторым перекрытием. На рис. 4 можно видеть, что по месту наложения по-

лос происходит двойная закалка с увеличением микротвердости до ~HV850, а в зоне термического влияния от последующей полосы в предыдущей полосе – уменьшение микротвердости до HV600.

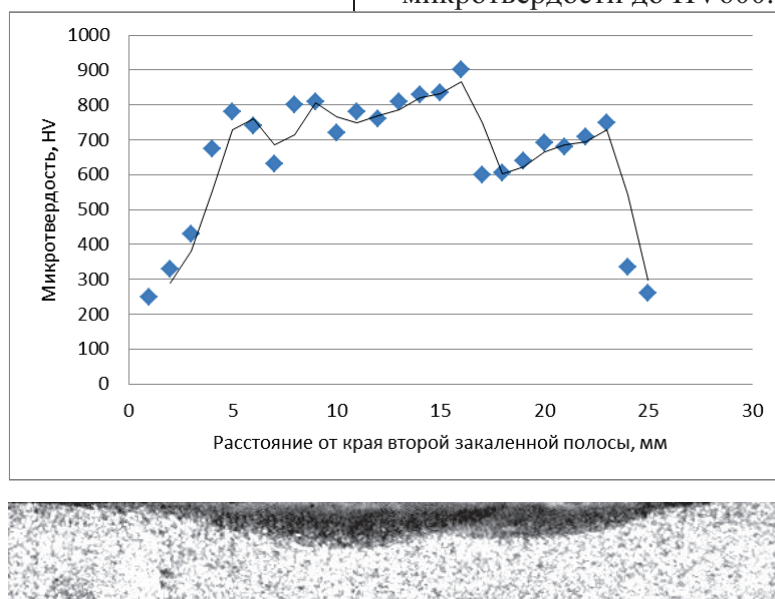


Рисунок 5. Поперечное сечение образца (сталь 45) с двумя полосами закалки плазменной дугой (внизу); распределение микротвердости (нагрузка 500 г·с) на глубине от поверхности 0,1 мм (вверху).

Эти процессы (упрочнения-разупрочнения) на различных сталях и режимах закалки могут протекать с большей или меньшей интенсивностью, но обычно они не являются препятствием к увеличению сроков эксплуатации (износостойкости) закаленных деталей.

Влияние плазменной закалки на шероховатость поверхности

В таблице 1 приведены сведения об изменении шероховатости поверхности в результате плазменной закалки углеродистых сталей. Можно отметить, что закалка поверхности с высокой шероховатостью сопровождается некоторым ее улучшением от Rz65 до Rz55, что происходит за счет оплавления высоких гребешков микронеровностей. В диапазоне Rz 25-40 плазменная закалка пренебрежимо мало сказывается на значениях шероховатости. Применение зачистки поверхности лепестковым кругом позволяет обеспечивать значение шероховатости на уровне Rz 10 (Ra 2,5).

Приведенные результаты показывают (а более чем 10-летняя производственная практика их подтверждает), что упрочнение установкой УДГЗ-200 может использоваться в качестве финишной операции, что

существенно снижает себестоимость изготовления деталей в целом, т.к. исключает трудоемкую механообработку закаленных поверхностей.

Таблица 1
Влияние плазменной закалки на твердость и шероховатости поверхности

Сталь	Твердость, НВ (прибор УЗИТ-3)		Шероховатость, Rz (прибор TR100)	
	До закалки	После закалки	До закалки	После закалки
20ГЛ	180	330	65	55
20ГЛ	180	330	40	40
20ГЛ	180	330	10	30
45	220	440	25	25
35Л*	170	440	8	10

*Производилась зачистка лепестковым кругом до и после закалки

Влияние плазменной закалки на износостойкость

Исследовалась износостойкость рельсовой стали с плазменной закалкой на машине трения по схеме «диск–колодка», без смазки [9]. Результаты приведены в табл. 2. По ним видно, что плазменная закалка снизила износ колодки в 121 раз; при этом неупрочненный диск не только не снизил износостойкости, но увеличил её в 2,1 раза.

Существенное увеличение износостойкости в результате плазменной закалки объясняется сменой механизма изнашивания. Поверхности трения без упрочнения имели возможность «схватываться», т.е. образовывать выступами микронеровностей точечные сварные соединения, которые создавали абразивный фактор ускоряющий износ. Исключение явлений схватывания, за счет упрочнения плазменной закалкой, привело к более медленному изнашиванию по механизму усталостного диспергирования.

На линии Уралвагонзавода по производству железнодорожных колесных осей

их кованая поверхность вызывала быстрый износ незакаленных рельсов, по которым оси перемещаются. За 28 месяцев износ составил ~3,2 мм из 5 мм допускаемых. Для замедления изнашивания поверхность рельсов без прерывания производства осей закалили установкой УДГЗ-200. Твердость увеличилась от HRC20 до HRC 50. Стойкость рельсов в результате закалки возросла в 431/62 ~ 7 раз (табл. 3). Поскольку износ рельс (3,2+1,1 = 4,3 мм) еще не достиг критического (5 мм), а закаленный слой (~ 1мм) уже изнашивался, то была выполнена еще одна закалка без остановки производства.

Таблица 2

Влияние плазменной закалки на износостойкость рельсовой стали

Колодка				Диск			
Сталь 70	HV	Износ*, г	K _{из}	Сталь 65Г	HV	Износ*, г	K _{из}
Без закалки	280	1,50740	1,0	Без закалки	314	2,1246	1,0
С плазменной закалкой	877	0,01242	121,0	Без закалки	314	1,0208	2,1

* Суммарный за 4 цикла испытаний по 5 минут; средний по 3 парам.

Таблица 3

Износ рельсов на линии по производству колесных осей

Срок эксплуатации, мес.	Износ, мм.	Выпуск осей, шт.	Стойкость, тыс. шт. осей / мм. износа
28	3,2	198 324	62
78	1,1	474 000	431

Таблица 4

Износ дисков при сухом трении о колодку из нормализованной стали 45

Материал диска. Темпообработка. Твердость	Износ*, г	Коэффициент износостойкости, K _{из}
Сталь 45 Нормализация. HB 220	0,358	1
Сталь 45 Плазменная закалка. HB440	0,029	12
Сталь 30ХГСА Плазменная закалка. HB 440	0,003	119
Сталь 12ХН3А Цементация. HB570	0,005	72

*Средние значения по трем парам образцов на этапах 2-4 установившегося изнашивания

Исследовалась износостойкость материалов, используемых для изготовления зубчатых колес и шестерней. По схеме диск-колодка на машине трения МИ-1М испытывались диски в различном состоянии в условиях сухого трения о колодки из нормализованной стали 45. В таблице 4 приведены (средние по трем парам образцов) износы дисков на стадиях установившегося

изнашивания, по которым можно заключить следующее. Плазменная закалка более чем на порядок (в 12 раз) снизила износ нормализованной стали 45. Цементированная сталь 12ХН3А, применяющаяся для изготовления шестерней, по износостойкости (K_{из} = 72) заняла промежуточное положение между, закаленными плазменной дугой, сталями 45 (K_{из} = 12) и 30ХГСА

(Киз = 119). Таким образом, плазменная закалка представляется эффективным и более доступным, чем цементация, средством для увеличения износостойкости зубчатых зацеплений.

Размеры закалочной горелки установки УДГЗ-200 позволяют закалывать зубья шестерен с модулем $m \geq 6$. Закалка производится по боковой поверхности зуба. Впадины между зубьями не закалываются, т. к. туда нет доступа плазменной дуге. При закалке ТВЧ это является недостатком, вызывающим поломки зубьев при эксплуатации. Но плазменная закалка боковых поверхности к поломкам не приводит, т. к. производится последовательно, тогда как закалка ТВЧ – одновременно по всему профилю, с наведением высоких остаточных напряжений. Закалка установкой УДГЗ-200 зубчатых колес (сталь 35Л, $z = 90$, $m = 24$) сталеразливочного крана грузоподъемностью 225т (рисунок 1) увеличила срок службы в 2,8 раза. Подобный результат получен при плазменной закалке зубчатого венца (сталь 35ГЛ) рудо-усреднительной машины. Из-за больших размеров венца (диаметр ~ 6 м), закалка производилась на шихтовом дворе под открытым небом, что составляет еще одно преимущество установки УДГЗ-200 [9]. Шестерни ($m 10$, $z 16$) из конструкционной стали 40Х в «улучшенном» состоянии, в открытой передаче укладчика в агломерационном производстве, изнашивались в течение одной недели. Плазменная закалка увеличила твердость с HB250 до HB520, а наработку – до 4 недель, то есть в 4 раза. При этом изнашивался только закаленный слой (~ 1мм), что позволило повторять закалку прямо на укладчике (важная особенность работы установкой УДГЗ-200) и увеличить срок службы шестерней до 8 раз.

Исследовалось упрочнение чугунов плазменной закалкой. Для испытаний на машине трения колодки изготовили из чугуна: ВЧ120, ВЧ60, СЧ25, а диски – из стали 30ХГСА (HB330). Чугуны ВЧ60 и СЧ25 без плазменного упрочнения на три порядка уступали в износостойкости чугуну ВЧ120, поэтому не приведены на графике, но плазменная закалка увеличила их

износостойкость и приблизила к износостойкому чугуну ВЧ120 (рис.6).

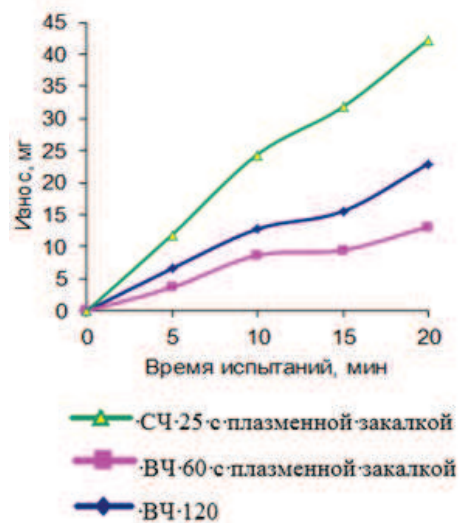


Рисунок 6. Износ колодок

Закключение

Значительным событием в развитии поверхностной модификации сталей и чугунов стала разработка установки УДГЗ-200. Она сделала поверхностную закалку доступной ручному применению, благодаря чему теперь *закаливается, что было не доступно*. Её использование для упрочнения деталей горного и металлургического оборудования многократно увеличивает их срок службы с высокой экономической эффективностью. К началу 2015 г было выпущено более 60 установок, которые поставлены на предприятия России, Азербайджана, Украины, Казахстана, Киргизии. В 2008г. установка отмечена серебряной медалью на Женевском салоне изобретений и инноваций.

Библиографический список

1. Коротков В.А. Совершенствование дуговой закалки. / Тяжелое машиностроение, 2004. № 6. С.34-37.
2. Коротков В. А. 10 лет применению ручной плазменной закалки / В. А. Коротков // Тяжелое машиностроение, 2012. № 1. С. 2-5.
3. Investigation of the effect of the cooling rate on the quality of the surface layer in plasma quenching. /Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Shekurov A.V// Welding International, 2013. Vol. 27. № 5. P. 407-410.
4. Investigation of the effect of the cooling rate on the structure and mechanical properties

of metal in plasma quenching. / Korotkov V.A., Ananyev S.A., Shekurov A.V. // Welding International. 2014. Vol. 28. № 2. P. 140-142.

5. Теория сварочных процессов. Под ред. В.М. Неровного – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 752 с.
6. Бердников А.А. Структура закаленных углеродистых сталей после плазменного поверхностного нагрева / А.А. Бердников, М. А. Филиппов, Е. С. Студенок // Металловедение и термическая обработка металлов, 1997. № 6. С. 2-4.
7. Ананьев С.П. Плазменная закалка рельсовой стали / С.П. Ананьев, В.Я. Шур,

Д.С. Чезганов, В.А. Коротков // Вопросы материаловедения, 2014. № 1. С. 20-28.

8. Investigations into Plasma Quenching. / Korotkov V.A., Shekurov A.V. // Welding International, 2008. Vol.22. №7. P. 475-479.
9. Korotkov V.A. Wear Resistance of Plasma-Hardened Materials. // Journal of Friction and Wear, 2011. Vol.32. No.1. P.17-22.
10. Korotkov V.A. Plasma Quenching of Gear and Slotted Couplings. // Russian Engineering Research, 2009. Vol 29. No.8. P.813-816.



УДК 621.791.75.03-5

Л.Т. Плаксина
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: trsf@mail.ru, plt2006@yandex.ru

В.Н. Сорокин
РГУ «Нефти и газа» им. И.М.Губкина,

С.Ф. Трух
ООО «АПС РАДИС»

г. Москва, Россия

Дата поступления 09.11.2015

ОБОРУДОВАНИЕ ПАРС ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Аннотация

На базе широкого использования цифровых устройств управления (и полного исключения аналоговых узлов) разработаны инверторный выпрямитель с радиоуправлением для ручной дуговой сварки, полуавтоматы для сварки в среде защитных газов с синергетическим управлением, автомат для сварки под флюсом, устройство радиоуправления для удаленного источника питания дуги (выпрямитель или генератор) при ручной дуговой сварке.

Ключевые слова: сварка, наплавка, сварочное оборудование, радиоуправление, технические характеристики, технологические преимущества.

Введение

В данной работе приведены результаты разработки ряда единиц оборудования ПАРС («АПС РАДИС»). Представлены технические характеристики и технологические возможности оборудования.

Основная часть

Аппарат сварочный постоянного тока Ф-302 (в дальнейшем аппарат) промышленного применения предназначен для ручной электродуговой сварки (режим «ММА»).

При наличии специальных аксессуаров и материалов аппарат может использоваться в качестве источника питания для аргонодуговой сварки постоянным током деталей и материалов из титана, нержавеющей стали и медных сплавов (режим «TIG»). В режиме «ММА» сварка производится штучными плавящимися электродами любой марки диаметром от 1,6 до 5,0 мм при дуге, образованной постоянным током, регулируемым в пределах от 20 до 315 А специальным регулятором на передней панели

аппарата или с помощью пульта дистанционного управления управляемого по радио (рПДУ) [1].

Использование радио для управления выпрямителем позволяет эффективно организовать выполнение сварочных работ на удаленных объектах, для которых размещение сварочного аппарата рядом с местом сварки нецелесообразно или небезопасно. Радиоуправление позволяет выполнить полноценное управление выпрямителем на расстоянии до 200м с передачей на рабочее место информации о измеренных параметрах режима сварки, исключает использование соединительного кабеля управления, существенно экономит время подготовки сварочных работ.

Аппарат может эксплуатироваться в следующих условиях:

- рабочая температура окружающего воздуха от минус 20 до плюс 40⁰С;
- относительная влажность воздуха (90±3) % при температуре (25±2)⁰С;
- атмосферное давление от 86,6 до 106,7 кПа (от 650 до 800 мм рт. ст.);
- вибрации с амплитудой до 0,5 мм и ускорением 15 м/с² (1,5g) в диапазоне частот от 1 до 35 Гц.

Аппарат соответствует требованиям безопасности ГОСТ 12.2.007.8-75 «ССБТ. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности» и выполнен со степенью защиты IP22 по ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)».

Технические характеристики и общие функции аппарата приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Технические характеристики сварочного аппарата Ф-302

№	Характеристика	Значение
1	Электропитание – трехфазная сеть переменного тока со следующими параметрами: - линейное напряжение, В - частота, Гц	380 ⁺³⁸ / ₋₅₇ 50±1
2	Электрическая мощность, потребляемая от сети, кВт·А	не более 17
Основные параметры в режиме «ММА»		
3	Напряжение холостого хода, В	80 ⁺²⁰ / ₋₁₀
4	Минимальное значение выходного тока, А	не более 15 *
5	Максимальное выходное напряжение, В	не менее 30 *
6	Ток короткого замыкания, А	440 ⁺⁶⁰ / ₋₄₀
7	Напряжение питания внешних потребителей, В	24±4
8	Функция «НАКЛОН ВАХ» (регулируемая) обеспечивает оптимальный для ручной дуговой сварки наклон ВАХ	
9	Напряжение ХХ: - в безопасном режиме, В ** - в активном режиме, В	4±1 80 ⁺²⁰ / ₋₁₀
10	Время переключения аппарата на безопасное напряжение ХХ, с	не более 0,6
11	Максимальный сварочный ток, А 315+10 *	315 ⁺¹⁰ / ₋₄₀ ; **
12	Ток КЗ в режиме максимального сварочного тока, А	355±10 *, **
13	Минимальный сварочный ток, А	20 ⁺⁵ / ₋₁₀ ; *, **
14	Функция «форсаж дуги» (регулируемая), обеспечивает кратковременное увеличение сварочного тока относительно рабочего значения	
* При номинальном значении линейного напряжения питающей сети ~380 В (фазного напряжения ~220 В)		
** При крайних значениях линейного напряжения питающей сети ~323 и ~418 В (фазного напряжения ~187 и ~242 В)		

Общие функции сварочного аппарата Ф-302

№	Функция
1	2
1	Цифровая индикация сварочного тока и выходного напряжения
2	Режим «ДУ»: - регулирование сварочного тока с помощью рПДУ; - регулирование сварочного тока с помощью регулятора сварочной горелки (при его наличии)
3	Защита аппарата от перепадов напряжения питающей сети: - силовой преобразователь аппарата отключается при линейном напряжении питающей сети более: ~450 В (фазном напряжении питающей сети более ~260 В); - силовой преобразователь аппарата отключается при линейном напряжении питающей сети менее ~295 В (фазном напряжении питающей сети ~170 В и менее); - силовой преобразователь аппарата включается в течение не более 3 с после возвращения напряжения сети в допустимый диапазон, при этом индикаторы аппарата «А» и «V» показывают текущие значения выходных параметров.
4	ПН при рабочем цикле 5 минут (для режима «MIG» рабочий цикл должен быть 10 минут) и рабочей температуре окружающего воздуха $+(25\pm 2)^\circ\text{C}$, %: - при максимальном сварочном токе 315 А - 60; - при сварочном токе 250 А - 100.
5	Электрическое сопротивление изоляции между цепями сетевого питания и корпусом, между выходными цепями и корпусом, а также между цепями сетевого питания и выходными цепями в зависимости от климатических условий окружающей среды должно быть, МОм, не менее: - в нормальных климатических условиях окружающей среды - 10; - при наибольшем значении рабочей температуры окружающего воздуха - 5; - при наибольшем значении относительной влажности окружающего воздуха - 2.
6	Габаритные размеры аппарата, мм, не более 640x274x381
7	Масса аппарата, кг $19,3\pm 1,4$
8	Масса брутто аппарата, кг, не более 22
9	Срок службы, лет, не менее 6

Аппарат представляет собой инверторный источник питания, в основу работы которого положен метод высокочастотного преобразования электроэнергии. Функциональная схема аппарата приведена на рисунке 1.

Переменное напряжение сети электропитания (либо от автономной электростанции) подается на БИК, в котором осуществляется его измерение. В случае соответствия линейного напряжения питающей сети допустимому диапазону, оно поступает на ВхВ, где выпрямляется. В случае несоответствия напряжения питающей сети

допустимому диапазону силовой преобразователь аппарата не включается. Далее напряжение питающей сети сглаживается Ф. Постоянное напряжение с выхода Ф поступает на ТП, представляющий собой генератор с внешним возбуждением, где вновь происходит его трансформация в переменное импульсное напряжение. Также ТП обеспечивает формирование необходимой выходной вольтамперной характеристики. Импульсное напряжение выпрямляется ВВ и поступает на выходные соединители аппарата «+», «-».

Технические характеристики пульта дистанционного управления (РПДУ)

№	Характеристика	Значение
1	Дальность устойчивой радиосвязи, м	200
2	Максимальная дальность радиосвязи, км	5
3	Частота работы, МГц	868
4	Тип связи с СА	цифровая, двусторонняя

В корпусе пульта дистанционного управления находится отсек для 4-х батарей или аккумуляторов габарита АА, ЖКИ дисплей с подсветкой, плата управления, клавиатура.

Команды от пульта управления принимаются и выполняются блоком управления сварочным аппаратом (СА). рПДУ выполнен в виде переносного блока, на котором смонтированы индикатор, выключатель питания и кнопки управления. На индикаторе производится отображение текущих режимов работы устройства, уровень приемного сигнала от базы, заряд батареи. При работе рПДУ данные, передаваемые в выпрямитель, заносятся в память текущего номера режима. Остальные номера режима в выпрямителе остаются неизменными. Данные параметров меню полностью совпадают с аналогичными для выпрямителя Ф-302. Исключение составляют специфические параметры для рПДУ.

Пульт дистанционный радиуправления выполнен с использованием высоких технологий в области экономии энергии батарей и позволяет, при правильной эксплуатации, производить работы в течение 7 суток непрерывно без подзарядки.

В настоящее время аппарат Ф-302 используется сварки металлоконструкций при ремонте локомотивов, изготовлении строительных и мостовых конструкций на монтаже, сварки ответственных швов в судостроении.

Полуавтомат сварочный типа ПАРС Н-511 (в дальнейшем «полуавтомат») предназначен для полуавтоматической дуговой сварки плавящимся электродом в защитных

газах (MIG/MAG) изделий из малоуглеродистых и низколегированных сталей протяженными и прерывистыми швами в различных пространственных положениях, а также сварки и наплавки порошковыми проволоками (диаметром до 3,2 мм). В качестве защитного газа может использоваться углекислый газ по ГОСТ 8050-76, аргон по ГОСТ 10157-73 или смеси газов (Ar+CO₂, Ar+O₂, и др.).

Полуавтомат ПАРС Н-511 предназначен для работы в закрытых помещениях, удовлетворяющим требованиям УХЛ4 ГОСТ 15150-69 (температура окружающего воздуха от +1 до +45 °С, высота над уровнем моря до 1000 м., относительная влажность воздуха не более 80% при температуре +25 °С).

Полуавтомат оснащен цифровой системой управления, выполненной в виде 3-х отдельных блоков. Управление производится с единого пульта (ПУ-501), имеющего двухстрочный жидкокристаллический индикатор (экран сообщений). Система управления позволяет в режиме реального времени управлять периферийным оборудованием, входящим в состав полуавтомата, производить его тестирование перед сваркой, запоминать и хранить в памяти рабочие настройки (10 вариантов режимов сварки), измерять величину тока и напряжения в процессе сварки [1, 2]. Информация о состоянии оборудования, параметрах настройки и режимах сварки выводится на экран пульта. Полуавтомат может располагаться от источника питания на расстоянии до 80 м. Основные технические характеристики приведены в таблице 4.

Основные технические характеристики ПАРС Н511

Наименование параметра	Величина
Номинальное напряжение питающей сети, В	340...400
Потребляемая мощность, кВт (не более)	15
Род сварочного тока	постоянный
Номинальный сварочный ток при ПВ=80%, А.	300/500
Режим работы	Повторно-кратковременный
Длительность цикла, мин.	5
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8 ... 3,2
Количество ведущих роликов	4
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин.	1-20
Точность поддержания скорости подачи, % (не менее)	1,0
Расход защитного газа, л/мин.	5-40
Габариты механизма подачи (ВхШхД)	280х305х545
Габариты источника питания (ВхШхД)	470х360х380
Масса механизма подачи без электродной проволоки, кг.	11,5
Масса электродной проволоки в кассете, кг.	15

Полуавтомат состоит из выпрямителя (Ф-320И, Ф-500И, ВДУ-516), горелки сварочной, переносного механизма подачи проволоки (БПП-511), пульта управления (ПУ-501), силовых и сигнальных кабелей.

В механизме подачи проволоки БПП-511 расположен мотор-редуктор ($i=20$) с электродвигателем постоянного тока с 4-мя ведущими роликами, оснащенный датчиком прямого измерения и стабилизации скорости двигателя, электропневмоклапан; необходимые разъемы и плата цифрового управления. Производится плавное и точное регулирование скорости подачи проволоки.

Связь модулей полуавтомата с пультом управления производится по последовательному каналу с использованием специально разработанной помехозащищенной сети PARS-net.

Пульт управления производит непрерывное тестирование модулей полуавтомата и оперативно позволяет локализовать неисправность и сообщает оператору о выявленной неисправности. Ремонт производится простой заменой вышедшего из строя модуля обычным электриком.

Пульт управления включает в себя плату управления и ЖКИ индикатор. Обмен информацией и управление устройствами, входящими в состав полуавтомата осуществляется по внутренней сети. Во время процесса сварки регуляторами

устройства управления автоматически стабилизируется скорость подачи проволоки в зону сварки и заданное напряжение на дуге. Пульт управления предназначен для управления и диагностики модулей полуавтомата, настройки параметров и управления ходом сварки. При подаче питания установка входит в режим настройки. В этом режиме происходит настройка параметров сварки и управление блоком подачи проволоки.

Пульт управления полуавтоматом ПАРС Н-511 позволяет осуществить следующие функции: выбор способа сварки; выбор материала, защитного газа и диаметра сварочной проволоки, настройку параметров режима сварки, выбор и изменение параметров меню (номер режима) и т.д. Кроме того, пульт управления содержит меню тестирования. При нажатии кнопки на горелке полуавтомат переходит в режим сварки. В этом режиме происходит индикация измеренного тока и напряжения, регуляторами на пульте управления можно производить коррекцию скорости подачи проволоки и сварочного напряжения. Управление меню осуществляется с помощью кнопок.

Настройка полуавтомата осуществляется по двум вариантам – при включенной и отключенной синергетике. В зависимости от этого варьируется содержание меню. Вид дисплея в режиме наладки показан на рисунке 2.

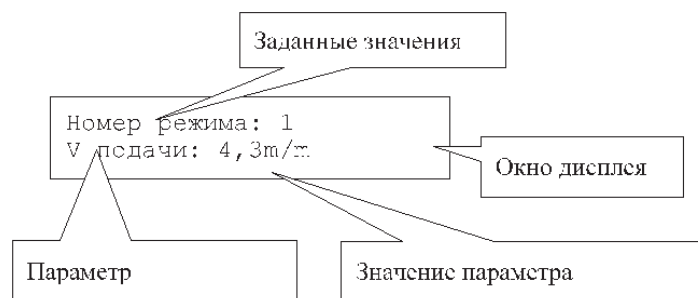


Рисунок 2. Вид дисплея в режиме наладки

Пульт управления хранит все установленные параметры для каждого из 10 режимов сварки. Номер режима выбирается в соответствующем пункте меню. Номер режима постоянно отображается в верхней строчке экрана при сварке. Диаметр проволоки выбирается из значений 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 мм. При сварке в режиме синергетики могут быть использованы следующие материалы: стали (Fe), хромоникелевые стали (CrNi), алюминий и его сплавы (Al). Скорость подачи проволоки изменяется в диапазоне 3...14 м/мин. Ток сварки пропорционален скорости подачи проволоки и ее диаметру. Скорость подачи проволоки отображается в верхней строке экрана, а измеренный ток сварки отображается в нижней строчке экрана. Напряжение сварки при включенной синергетике устанавливается автоматически в зависимости от выбранных параметров. Дополнительно может быть откорректировано в пределах $\pm 5\text{В}$. Об этом производится сообщение. И при включенной, и отключенной синергетике изменяется в диапазоне 15...40В с шагом 0,1В. Заданное напряжение индицируется в нижней строке экрана, в режиме сварки реальное напряжение сварки индицируется в верхней строчке экрана. При колебаниях напряжения в сети напряжение на дуге стабилизируется автоматически. Индуктивность выпрямителя автоматически устанавливается в зависимости от выбранных параметров. Но дополнительно может изменяться в пределах $\pm 50\text{ А/мС}$. Переход на другой ток путем изменения скорости подачи проволоки в режиме синергетики приводит к автоматическому изменению все остальных параметров ВАХ выпрямителя.

При использовании выпрямителя ВДУ-516 вольтамперная характеристика

выбирается и настраивается на пульте управления сварочного источника ВДУ-516. Параметры ВАХ инверторных выпрямителей Р-320И, Р-502И можно настраивать непосредственно из меню механизма подачи проволоки, для чего используются следующие параметры:

1. Индуктивность выпрямителя. Изменяется в пределах 60...160 А/мС;
2. Наклон ВАХ. Изменяется в пределах 10...40 мВ/А;
3. Базовый ток. Изменяется в пределах 5...30А.

Наклон ВАХ в определенных пределах позволяет регулировать динамику сварочной дуги и управлять разбрызгиванием. Для тонких проволок наклон ВАХ выбирается из больших значений, а для проволок большего диаметра – характеристика ВАХ должна быть жестче, и параметр наклон ВАХ снижается. Напряжение холостого хода формируется в зависимости от установки базового тока.

Выпрямители Р-320И и Р-502И реализуют процесс управляемого переноса металла в дуге. Микропроцессорная система управления выпрямителем позволяет со скоростью 30 кГц производить управление мгновенным значениям тока на дуге. В зависимости от преднастроенных параметров устройство управления выбирает именно то мгновенное значение тока на дуге, которое необходимо для устойчивого горения дуги, минимального динамического воздействия на металл сварочной ванны с учетом всех стадий переноса металла: горения дуги, касания капель жидкой ванны, разрыва перемычки и повторное возбуждение дуги.

В целом это позволяет точно настроить выпрямитель для выполнения корневых

швов, существенно снизить разбрызгивание металла при сварке, быстро выбрать оптимальный вектор параметра режима сварки, сохранить в долговременной памяти настройки и быстро их вызвать.

При выборе четырехтактного режима кнопки на горелке выполняется, например, следующая логика работы: режим поджига (при первом нажатии кнопки) устанавливается на 10..20% больше номинального для предварительного подогрева изделия затем, при отпускании кнопки, выполняется переход на номинальный режим. При повторном нажатии кнопки мощность снижается на 20...50% и производится заварка кратера с последующим выключением.

В режиме сварки дисплей имеет следующий вид, показанный на рисунке 3.

После нажатия горелки в режиме настройки начинается сварочный цикл. Цикл проходит следующие стадии:

- Продувка горелки защитным газом в течение времени, установленном в меню «Продувка до: XX,X С»;

- Включение подачи сварочной проволоки с рабочей скоростью;

- Поджиг сварочной дуги, при наличии тока и напряжения переход в режим сварки;

- При сварке кнопки на пульте управления блокируются, кроме регуляторов тока и напряжения, которыми при сварке можно произвести оперативную корректировку;

- Остановка сварки по отпусканию кнопки горелки либо её повторному нажатию. Остановка подачи проволоки и гашение дуги.

- Продувка горелки защитным газом в течение времени, установленном в меню «Продувка после: XX,X С».



Рисунок 3. Вид дисплея при сварке

По окончании сварочного цикла на дисплей выводятся ток и напряжение, на котором велась сварка. Коррекция скорости подачи (тока сварки) непосредственно при сварке производится регулятором «Ток сварки». Коррекция напряжения (длины дуги) непосредственно при сварке производится регулятором «Напряжение сварки». Дополнительно фиксируется количество отработанных часов. Производится отсчет только чистого времени горения дуги. Счетчик чистого времени горения дуги включается с момента повышения тока выше 20А и отключается при понижении тока менее 20А.

Пульт управления постоянно производит тестирование работы подключенного оборудования: выпрямителя, механизма подачи проволоки, охладителя. Перед нача-

лом работы из пульта управления в подключенные модули передаются рабочие настройки. В процессе работы постоянно проверяется их значение.

Полуавтоматы ПАРС Н-511 широко используются в промышленности для изготовления ответственных сварных конструкций на Качканарском ГОКе, заводах «АО НПК УВЗ», НТМК, ОАО «АТОММАШ», депо и заводах РЖД, ОАО «Северсталь-маш» и др.

Сварочный автомат АДФ-1002Ц предназначен для сварки под слоем флюса стыковых швов с разделкой и без разделки кромок, угловых швов вертикальным и наклонным электродом, а также нахлесточных швов; швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на нем

направляющей линейке .

Автомат поставляется в комплекте с выпрямителем ВДУ-1216. Цифровое устройство управления автоматом в комплекте с ВДУ-1216 позволяет: обеспечивать высокую управляемость автомата при удалении от выпрямителя до 100 м; выбрать режимы из банка данных; сократить количество проводов в кабеле

управления до 3-х; управлять статическими и динамическими характеристиками дуги; стабилизировать параметры режима и плавно изменять напряжение на дуге при сварке.

Конструктивные особенности автомата приведены в таблице 5, технические характеристики – в таблице 6 [2, 3, 4].

Таблица 5

Конструктивные особенности автомата

Модификация автомата	Род тока	Источник питания	Назначение
АДФ-1002-1 УЗ АДФ-1002-1 О4	Постоянный	ВДУ-1216	Для сварки сплошной проволокой Ø2-5 мм; Ленточным электродом 1,5х20 мм*
АДФ-1002-2 УЗ	Постоянный	ВДУ-1216	Для сварки сплошной проволокой Ø 2-5 мм
* По требованию заказчика автомат комплектуется устройством для сварки ленточным электродом.			

Таблица 6

Технические характеристики автоматов

Наименование параметра	Норма			
	АДФ-1002Ц	АДФ-1002-1Ц	АДФ-1002-2Ц	АДФ-1002-4Ц
Номинальный сварочный ток (А)	1000			
Номинальное напряжение питающей трехфазной сети (В)	380			
Номинальный режим работы, ПВ, %	100			
Диаметр сплошной электродной проволоки (мм)	2...5			
Диапазон регулирования скорости подачи электродной проволоки (м/ч)	60-362			
Диапазон регулирования скорости сварки (м/ч)	12-120			
Предельный угол наклона сварочной головки к плоскости перпендикулярной шву, град	45			
Масса проволоки в кассете (кг)	6			
Масса ленточного электрода в кассете (кг)		15		
Емкость бункера для флюса (дм³)	6			
Средний срок службы (лет)	5			
Установленный ресурс до капитального ремонта (ч)	7500			
Габаритные размеры (мм):				
Длина	716	850	716	850
Ширина	346	370	346	370
Высота	526	526	526	730
Габаритные размеры АДФ-1002-1 УЗ для сварки ленточным электродом (мм):				
Длина		850		
Ширина		370		
Высота		526		
Масса автомата без электродной про-волоки, флюса и источника питания (кг)	45	52	45	52

Автоматы АДФ-1002Ц, АДФ-1002-1Ц по условиям эксплуатации изготавливаются в двух исполнениях: УЗ – для работы в странах с умеренным климатом при температуре окружающего воздуха от -10°C до +40°C, относительной

влажности 80% при 15°C на высоте над уровнем моря до 1000 м; О4 – для работы в странах с тропическим климатом при температуре окружающего воздуха от -5°C до +45°C, относительной влажности 80% при 27°C на высоте над уровнем моря до

1000 м. Автоматы АДФ-1002-2Ц, АДФ-1002-4Ц изготавливаются только в климатическом исполнении УЗ.

Автомат оборудован алфавитно-цифровым дисплеем с подсветкой для индикации настроек и режима сварки. Питание автомата производится от выпрямителя ВДУ-1216, в блоке управления автомата содержится только плата пульта управления, индикатор и кнопки. Связь с выпрямителем производится по последовательному каналу с использованием помехозащищенной сети PARS-net [4].

Реализована тестовая система с сообщением оператору о причине неисправности. Оборудование рассчитано на подключение к заводской информационной сети.

Автомат АДФ-1002Ц с ВДУ-1216 показал высокую надежность, ввиду снижения количества управляющих проводов в кабеле управления, цифровое управление позволило комплексно учесть особенность работы каждого узла оборудования, тестовая система позволяет быстро локализовать неисправность. Оборудование нашло широкое применение на заводах по изготовлению металлоконструкций ОАО «Сталькон», ЗАО «Гидросталь», ОАО «Новокузнецкие металлоконструкции» и др.

Для удаленного управления источником питания дуги (выпрямителем или генератором) при ручной дуговой сварке разработано устройство радиуправления сварочным оборудованием «ДУГА РЗ-В» (выпрямителем) и «ДУГА РЗ-Г» (генератором) [1, 5]. Модель «ДУГА РЗ-Г» (с генератором ГД-4004) позволяет производить, наряду с дистанционным, местное управление работой сварочного генератора.

Устройство радиуправления включает выносной пульт управления (ВПУ) и базовый блок, соединенный кабелем с источником питания (выпрямителем или генератором). ВПУ содержит корпус, устройство управления с цифровым приемо-передатчиком на частоте 2,4 ГГц, клавиатуру, аккумуляторы, жидкокристаллический индикатор с подсветкой. На пульте управления отображается вся текущая информация

о настройках, содержится банк режимов сварки.

Для повышения управляемости на рабочем месте сварщика предусмотрено:

1. Плавная регулировка параметров режима сварки (начальный и рабочий ток).

2. Банк данных режимов сварки и настройки.

3. Показывается измеренный и заданный ток.

4. Показываются степень заряда аккумулятора и уровень сигнала от базового блока.

5. Дисплей оборудован регулируемой подсветкой экрана.

6. Управление работой источника питания на расстоянии до 300 м.

Функция регулируемого отключения напряжения на электроде после окончания сварки позволяет исключить замыкание электрода на металл при движении по объекту.

Для увеличения зоны радиопокрытия предусмотрена возможность выноса базового блока от выпрямителя на расстояние до 100 м.

Краткие технические характеристики устройства радиуправления приведены в таблице 6.

При первом включении система производит сканирование эфира и автоматически выбирает свободный канал.

В процессе сварки сварщик может включать или выключать источник питания дуги, плавно изменять ток и напряжение сварки, включить и отключить импульсные режимы работы, получить измеренные значения тока и напряжения сварки.

Таблица 6

Технические характеристики устройства радиуправления

Наименование параметра	Значение
Дальность устойчивой радиосвязи, м	30...300
Время непрерывной работы одной зарядки аккумулятора, час	от 48
Количество режимов сварки в памяти	10
Вид радиосвязи	Цифровая
Температурный диапазон работы, °С	-20...+45

В диагностическом меню постоянно показывается текущее состояние аккумулятора ВПУ и уровень сигнала от базового блока. Для экономии энергии подсветка индикатора включается при любом нажатии кнопок и отключается через заданное регулируемое время.

ВПУ позволяет запомнить до 10 вариантов режимов сварки и вызвать их нажатием соответствующей кнопки с номером режима или оперативно произвести корректировку текущего режима с запоминанием настройки.

Технологическими преимуществами устройства радиоуправления сварочным оборудованием являются [1, 5]:

1. Ввиду отсутствия кабеля управления исключается его запутывание и обрыв.

2. Допускается работа нескольких постов, оборудованных ВПУ одновременно.

3. Выпрямитель можно поставить в удобном для обслуживания месте (закрытом от пыли), и применить более совершенный выпрямитель без опасности его механического повреждения в монтажных условиях.

4. Существенно расширяется площадь обслуживания одним выпрямителем при соблюдении правил техники безопасности (нет проводов высокого напряжения под ногами).

5. Для снижения загрязнения выпрямителя пылью предусмотрено отключение вентилятора в период отсутствия сварочного тока.

6. Применение ВПУ позволяет осуществлять эксплуатацию в жестких производственных условиях при температуре окружающей среды от -20 до +45°C.

В настоящее время системы ДУГА РЗ-В и «ДУГА РЗ-Г» проходят промышленное опробование. Постановка на серийное производство запланирована в 2016 г.

Заключение

Результаты разработки оборудования, созданного на основе современных наукоемких технологий, позволяют заключить следующее:

- функциональность оборудования обусловлена представленными техническими характеристиками и технологическими возможностями;

- конструктивные особенности оборудования (модульность узлов) позволяют при необходимости оперативно осуществлять его ремонт;

- применение дуплексного радиоуправления в конструкции сварочных машин повышает управляемость на рабочем месте, существенно сокращает время на подготовку работ, позволяет применить его для выполнения ответственных работ (точное измерение и стабилизация режима сварки); Оборудование для сварки на этом принципе впервые разработано и выпускается исключительно в России.

- полуавтоматы, автоматы, выпрямители ПАРС, реализующие цифровые технологии, успешно работают более чем на 50 предприятиях РФ, Украины, Узбекистана.

Библиографический список

1. Трух С.Ф., Плаксина Л.Т. Оборудование ПАРС по дуговой сварке и наплавке // Сварка и диагностика: сборник докладов международного форума. Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2014. С.172-177.
2. Трух С.Ф., Плаксина Л.Т. Сварочное и наплавочное оборудование ПАРС для работы в цеховых и полевых условиях // Сварка, реновация, триботехника: тезисы докладов 7 Уральской научно-практической конференции. Нижний Тагил: Изд-во НТИ (филиал) ФГАОУ ВПО УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2015. С.153-157.
3. Трух С.Ф., Плаксина Л.Т. Наплавочное и сварочное оборудование на основе модульных узлов ПАРС // Сварщик в России. №6. 2013. С. 44-51.
4. Трух С.Ф., Плаксина Л.Т. Наплавочное и сварочное оборудование на основе модульных узлов ПАРС // Сварщик. №1. 2014. С. 22-29.
5. Трух С.Ф., Плаксина Л.Т. Оборудование ПАРС для дуговой сварки и наплавки в цеху и в полевых условиях // Сварщик в России. №6. 2014. С. 16-18.



УДК 659.113.7:378

Т.В. Усатая, Л.В. Дерябина
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: Usatayatv@gmail.com
Дата поступления 16.11.2015

ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ФИРМЕННОГО СТИЛЯ КАФЕДРЫ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы формирования положительного потребительского образа кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования с целью привлечения абитуриентов по направлениям подготовки кафедры, а также вопросы, требующие комплексного исследования в рамках анализа проектной ситуации разработки рекламно-информационной продукции для кафедры.

Ключевые слова: проектирование, дизайн, корпоративная идентичность, кафедра проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования.

Введение

С развитием технологий современного общества, человек не успевает усваивать тот поток информации, который на него воздействует. Сотни предприятий каждый день стремятся выпустить новый ещё более современный продукт. Но как показывает мировая практика, выпущенная с большими капиталовложениями новая инновационная продукция, может быстро потерять свою актуальность, если своевременно не придать ей соответствующий «толчок» в обществе. Дизайн как средство коммуникации, помогает информировать людей, донося до них сведения различного рода: от названий фирм, товаров и услуг, до данных о численности населения в различных странах. С помощью грамотно построенных и тонко продуманных проектов дизайнер способен эффективно доносить до людей сложные идеи [3]. Визуальная коммуникация объединяет в себе речь, письменный язык и образы с целью создания сообщений, которые будут эстетически приятны взгляду зрителя, смогут быть восприняты аудиторией на интеллектуальном и эмоциональном уровнях и обеспечат зрителей необходимой информацией. Однако, для долгосрочного и эффективного планирования развития предприятия, удержания занимаемой на рынке ниши, нельзя упус-

кать из виду значение корпоративной идентичности. Так же термин «корпоративная идентичность» (Corporate Identity) в России принято называть корпоративным или фирменным стилем – комплексной системой визуальной идентификации, способствующей формированию благоприятного имиджа компании и повышению эффективности ее рекламных контактов с потребителями и партнёрами, способствующей росту репутации и известности компании на рынке.

Основная часть

Разработка программы корпоративной идентичности подразумевает создание простых, но запоминающихся логотипов и графических элементов, а также подбор удачной цветовой гаммы, в которой будут реализованы все дизайнерские решения данной компании. Одним из наиболее важных факторов успешности разработанной программы идентичности является последовательное применение её элементов на всём, что имеет отношение к данной компании.

Корпоративная идентичность - это визуальная система, которая используется для идентификации целей компании, её ценностей и индивидуальных особенностей.

Разрабатывая новые проекты корпоративной идентичности, дизайнеру необходимо быть последовательным в применении разработанных элементов. Последовательность играет важную роль в том, как организация будет восприниматься клиентами. Если выбранные атрибуты идентичности от раза к разу сильно изменяются или применяются лишь выборочно, потенциальные клиенты получают смешанное сообщение, что может запутать их или вызвать вопросы.

Не многие современные предприятия и организации могут позволить себе держать в штате профессионального дизайнера, который будет следить за строгим соответствием корпоративной идентичности выпускаемой продукции и рекламно-информационными печатными материалами. Выполняя анализ проектной ситуации, дизайнер должен быть беспристрастным, владеть достаточной базой знаний не только об организации, но и о предлагаемых услугах, видах деятельности. Особенно важным является понимание того, каким образом данные услуги видит или хотел бы видеть потребитель, в нашем случае – это абитуриенты, их родители, потом студенты, преподаватели и сотрудники.

Кафедра проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ведёт активную деятельность в области образования специализированных кадров, в связи с этим и встала необходимость создания запоминающегося фирменного стиля, который в свою очередь и стал бы средством привлечения новых студентов и сотрудников в свою деятельность. Важную роль в этом процессе занимает последовательное и понятное конечному пользователю, партнёру или абитуриенту, оформление и описание разработок. Это серьёзная задача и нужен комплексный подход, что защитит от непродуманных, случайных проектных решений. В результате случайного использования элементов корпоративной идентичности в различных материалах и при оформлении мероприятий, многие печатные материалы теряют информативность и научную значимость, не только в глазах абитуриентов, но и потенциальных

инвесторов, что не позволяет кафедре достичь большей экономической и образовательной эффективности.

Вопросами разработки и продвижения фирменного стиля, корпоративной идентичности, а значит и услуг и направлений деятельности кафедры должна заниматься группа дизайнеров на протяжении длительного периода времени, а без должного обсуждения основных идей и целей кафедры, попытки продвижения ООП кафедры приводят к значительным тратам ресурсов и времени. Многими дизайнерами дизайн рассматривается как сложение каких-либо элементов, вероятно, этот подход формируется при оформлении многочисленных заказов разнообразных по направлениям деятельности фирм и организаций, но в итоге оказывается неверным. Верное решение редко получается найти сразу, но будучи найденным, выглядит очевидным. Поэтому эффективный дизайн невозможен без исследования и анализа [2].

Объектом проектирования в данном случае выступает фирменный стиль кафедры ПиЭММО. Предметом – разрабатываемая полиграфическая и рекламно-информационная продукция (для интернет-продвижения, например) продукция. Цель проектной работы – разработка рекламно-информационной продукции с учётом направления деятельности и основных идей кафедры ПиЭММО. Основными комплексного анализа проектной ситуации при выполнении данной работы являются [5]:

1. Анализ специфических особенностей дизайна для отрасли образования.
2. Анализ наработанной информационной базы кафедры.
3. Анализ целевой аудитории.
4. Анализ дизайнерских решений аналогов и конкурентов.
5. Разработка рекламно-информационной продукции, соответствующей высокотехнологичному и инновационному образу динамично развивающейся кафедры.

Для решения поставленных задач необходимо исследовать направления в графическом дизайне, которые используются организациями, кафедрами, схожими по виду деятельности с нашей. Выявить

сильные и слабые стороны, конкурирующих кафедр, в том числе и в нашем институте и университете. Основываясь на целях и задачах кафедры ПиЭММО, разработать программу фирменного стиля.

Большинством работ авторов [4,8,3,11], посвящённых современным проблемам графического дизайна в полиграфической продукции отмечается недостаток внимания к вопросам: правил типографии при оформлении текстовых блоков; использования модульной сетки; разработки концепции дизайна; выбора цветовых и графических решений и фотоматериалов. Задачей любой организации, предприятия или фирмы является уверенное позиционирование себя на рынке, а это становится возможным только при реализации правильной политики развития и грамотной демонстрации своих возможностей. Первостепенной задачей дизайнера при этом, является разработка полиграфической продукции, отражающей элементы фирменного стиля предприятия, его основные цели, задачи и принципы. Именно такой подход способствует развитию современных компаний, их узнаваемости, серьёзности и уважения на рынке.

Следует отметить, что недостаточное внимание к проработке таких составляющих корпоративной идентичности, как логотип, фирменные бланки, визитные карточки и рекламно-информационные материалы могут привести к замедлению развития организации. Для инвесторов, партнёров по бизнесу и клиентов важно видеть порядок в том предприятии, с которым они собираются сотрудничать.

Например, первое, что интересует инвесторов при заключении договоров с кафедрой ПиЭММО - это демонстрация их разработок и продуктов. Ключевую роль играет порядок документов, технических инструкций, информационных листов, и других печатных материалов. Присутствие в них единообразия и достойного оформления, будет свидетельствовать о завершенности какого-либо проекта, и серьёзности подхода руководства к управлению кафедрой.

В настоящее время на кафедре ПиЭММО осуществляется подготовка высококвалифицированных специалистов в области проектирования, эксплуатации и реновации металлургического оборудования. Кафедра динамично развивается. Студенты имеют возможность пройти обучение по программам специалитета, бакалавриата и магистратуры. В учебный процесс внедряются современные образовательные технологии с использованием CAD/CAE/CAM программ, мультимедийные лекции, интернет-тренажеры, совершенствуется материально-техническая база [14]. Подготовка студентов ведётся в рамках направления «Технологические машины и оборудование» по двухступенчатой системе бакалавр – магистр, профиль «Металлургические машины и оборудование» и «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», а также осуществляется подготовка специалистов по направлению «Проектирование технологических машин и комплексов», специализация «Проектирование технологических комплексов в прокатном производстве» Объектами профессиональной деятельности бакалавра по направлению «Технологические машины и оборудование» и специалиста по направлению «Проектирование технологических машин и комплексов» являются машины и оборудование различного назначения, методы их проектирования, производства, реновации и утилизации. Магистр техники и технологии по направлению «Технологические машины и оборудование» подготовлен к деятельности, требующей углубленной фундаментальной теоретической и профессиональной подготовки, в том числе к научно-исследовательской работе, а при условии освоения соответствующей образовательно-профессиональной программы педагогического профиля – к педагогической деятельности [13].

В процессе насыщения рынка новыми квалифицированными кадрами, кафедре важно вовремя представить свою направленность. Фактор времени играет критическую роль на пути формирования обще-

ственного мнения на рынке, где особый интерес вызывают именно новые сферы образования.

Идея, принципы и само представление о кафедре и направлениях подготовки, деятельности кафедры в целом, транслируется конечному пользователю через фирменный стиль и его составляющие.

Рассмотрим основные наиболее значимые атрибуты фирменного стиля. Самый важный – логотип. Логотип уже конечно включает в себя продуманные графические элементы фирменного стиля – это цвет, шрифт, система верстки. Из полиграфической продукции можно выделить выделить визитки (личные и корпоративные) и информационный лист.

Важности логотипа компании, как элемента корпоративной идентичности, известна уже более ста лет. Каждый день, сотни логотипов конкурируют за привлечение внимания с сотнями себе подобных. Логотип рассказывает о истории компании, качестве выпускаемой ею изделий или предлагаемых услуг. Логотип – это максимально краткая форма визуальной коммуникации и первый шаг в разработке программы идентичности.

Поскольку зачастую именно визитные карточки попадают в поле зрения потенциальных клиентов или покупателей, компании, как правило, выделяют на их разработку гораздо больше ресурсов, чем на создание любых других элементов системы печатной продукции. В наши дни визитная карточка в большей степени несёт рекламную нагрузку, поэтому в дизайне визитки важную роль играет максимальная выразительность и информативность,

Нами разработан логотип и корпоративная визитная карточка кафедры ПиЭММО (представлен один из вариантов корпоративной визитки кафедры) (рисунок 1, 2).



Рисунок 1. Логотип кафедры ПиЭММО



Рисунок 2. Корпоративная визитка кафедры ПиЭММО

Принятые размеры визитных карточек в России: 50*90 мм, плотность бумаги не ниже 250 г/см². В коммерческих организациях, обычно используются два вида визиток: деловая и корпоративная. На деловых визитках указываются имя, фамилия, должность представителя бизнеса, а также название компании или её логотип. Корпоративная визитная карточка, как правило, не содержит имен и фамилий. В ней указывается полная информация о компании: контактные телефоны, юридический и физический адрес, адрес веб-страницы и электронной почты. Имеет вид, в точности соответствующий фирменному стилю компании.

Информационный лист несёт в себе, как правило, долгосрочную информационную функцию. Служит для рекламы новых продуктов, краткого описания разработок и освещения новостей организации. Обычно это цветные или белые листы формата А4, А3, с монохромной или полноцветной печатью.

Для формирования набора рекламно-информационной продукции кафедры необходимо провести комплексный анализ проектной ситуации, изучив целевую аудиторию, сформировав четкие и достижимые цели кафедры, исследовав деятельность конкурентов на рынке образовательных услуг, что требует значительных ресурсов, в том числе и по времени [12]. Так, обычно, такая работа в рекламных агентствах, выполняющаяся группой дизайнеров, маркетологов, копирайтеров и других специалистов занимает от полугода до года, что и дает эффективный результат.

В процессе анализа проектной ситуации нами были выявлены следующие проблемы:

1. Проблема, связанная подбором и использованием графических знаков и образов, способных охарактеризовать область деятельности кафедры, понятных для целевой аудитории

2. Преемственность цветовых решений в областях направлений подготовки, осуществляемых на кафедре.

Исходя из специфических особенностей отрасли образования и научно-технической направленности кафедры, целесообразно придерживаться в разрабатываемой полиграфической продукции таких направлений графического дизайна, как минимализм. Эти требования, прежде всего, вытекают из анализа рынка и ожиданий потребителей, кроме того, в технике приоритетное значение имеет содержание, нежели отвлекающее изобилие графики.

Можно сформулировать следующие основные требования к дизайну рекламно-информационной продукции:

- Дизайн полиграфической продукции должен быть в стиле документации, плакатов и схем направлений деятельности кафедры.

- Строгость и точность в размещении материалов на странице.

- При разработке макетов использовать модульную сетку.

- Размещать фотоматериалы только высокого качества, по возможности, специально снятые для кафедры.

- Использовать цвета, соответствующие тематической направленности (цвета уже подобраны при разработке логотипа кафедры).

- Применять цвета, соответствующие целям и задачам кафедры ПиЭММО.

- Соблюдать типографические требования при работе с текстом, а именно: контраст заголовков; правила использования отступов; межстрочных и межбуквенных интервалов; количества символов в строках; кавычек; выключки и выравнивания.

Следует отметить, что конечный вариант дизайна полиграфической продукции, зависит и от дизайна самого фирменного стиля. На этапе создания макета, от размера фотографий зависит расположение блоков текста.

Заключение

В настоящее время получить качественное образование желают множество абитуриентов из числа выпускников школ они и составляют основную часть целевой аудитории, кроме того есть абитуриенты за образование которых платит будущий работодатель, это не только выпускники школ, но и уже состоявшиеся специалисты, имеющие необходимость получения образования. Целевую аудиторию также составляют ученые и преподаватели кафедры [14], разрабатывающие уникальные курсы лекций, работодатели будущих выпускников института.

Главной задачей настоящего проекта является создать такой образ кафедры, который бы отражал уникальность и стремительность развития, фундаментальность и важность образовательной деятельности для большей части целевой аудитории.

Библиографический список

1. Кнабе Г.А. «Энциклопедия дизайнера печатной продукции. Профессиональная работа», М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 736 с.
2. Дэвид Дебнер «Школа графического дизайна», пер. с англ. В.Е. Бельченко. - М.: РИПОЛ классик, 2007. – 192 с.
3. Райн Хембри «Графический дизайн», пер. с англ. А.В. Банкрашкова. – М.: АСТ: Астрель, 2008. – 192 с.
4. Робин Вильямс, Джон Толлетт «Студия дизайна», пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2008. – 280 с.
5. Решетникова Е.С., Усатая Т.В., Усатый Д.Ю. Компьютерная графика в дизайне и проектировании // Архитектура. Строительство. Образование. - 2015. – №2 (6). – С. 194 - 202.
6. Josef Müller-Brockmann «Grid System in Graphic Design/Raster System Fur Die Visuele Gestaltung» Arthur Niggli; Bulin-gual edition, 2001. - 176 p.
7. Charlotte Fiell, Peter Fiell «Graphic Design for the 21st Century: 100 of the World's Best Graphic Designers», Taschen, 2002. – 637p.
8. Timothy Samara «Making and Breaking the Grid: A Graphic Design Layout Workshop» Rockport publishers, 2005. – 208 p.

9. Лакшми Бхаскаран «Дизайн и время» Пер. с англ. И.Д. Галыбиной, М.: АРТ-РОДНИК, 2006.
10. Джон МакВейд «Before&After: Дизайн страниц» Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. – 272 с.
11. Робин Вильямс «Дизайн для недизайнеров», пер. с англ. В. Овчинникова, – М.: Символ-Плюс, 2008. – 192 с.
12. Усатая Т.В. Развитие художественно-проектной деятельности в процессе профессиональной подготовки студентов университета. Автореферат дис. канд. пед. наук – Магнитогорск, 2004. – 23 с.
13. Кафедра проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.magtu.ru>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус. англ.
14. Свистунова Е.А. Современные САПР в процессе изучения Инженерной и компьютерной графики в профессиональной подготовке студентов технического университета// Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Вып. 3. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. - С. 190-198.



УДК 658.588 + 621.791 + 621.785

С. И. Козлов

ООО «Инженерно-технический центр»

Нижний Тагил, Россия

E-mail: itcpb@mail.ru

Дата поступления 16.10.2015

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТОВ КАК УСЛОВИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация

Трещины, износ и др. повреждения оборудования, появляющиеся при эксплуатации, указывают на недостатки в конструировании. Их целесообразно устранять во время проведения ремонтов, что увеличивает безремонтную наработку оборудования, уменьшает число отказов и неисправностей, в целом способствует росту безопасности промышленных объектов. Рассмотрены приоритетные для применения в ремонтном производстве способы упрочнения (ручная плазменная закалка установкой УДГЗ-200, карбонитрация) и рациональные приемы ремонтной сварки, выполняемой по месту эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: промышленная безопасность, наплавка, плазменная закалка, карбонитрация, напыление, оборудование горных и металлургических предприятий.

Введение

Слово «ремонт» дословно означает «перемонтировать», т.е. предусматривает извлечение из механизма неисправной детали и замену ее подобной, но новой деталью. Срок службы новой детали будет примерно таким же, как у замененной детали, или меньше с учетом ветшания других частей механизма. В справочнике по проектированию [1], говорится, что какой бы тща-

тельной ни была конструкторская разработка настоящая доводка механизмов, возможна только с началом их эксплуатации. Появляющиеся во время ее неисправности указывают на то, что требует улучшения, поэтому ремонты полезно совмещать с модернизацией.

Производитель механизмов и запасных частей, безусловно, заботится о надежности и долговечности своей продукции, но

при возможности выбора, предпочтение отдает снижению себестоимости ее производства. Потребитель же, сопоставляя свои потери от ремонтов и технического обслуживания, уменьшающих объемы годового выпуска продукции, может заметить целесообразность удорожания ремонтов в пользу повышения безотказности работы оборудования. Одновременно с безотказностью оборудования, повышается безопасность эксплуатации промышленного объекта, чему уделяется все больше внимания. Так изменяющие документы по Федеральному закону о промышленной безопасности № 116 ФЗ от 21.07.1997г в среднем принимаются каждые 1,2 года. Совершенствование требований безопасности несомненно важно, но основу ее все же составляют безотказно работающие детали, механизмы, машины и оборудование. Поэтому работа по совершенствованию ремонтов должна рассматриваться как приоритетная в области промышленной безопасности. Ее проведение логично вытекает из требования регистрации отказов и неисправностей при внедрении системы автоматизации планирования ТООР [2].

Методы упрочнения в ремонтном производстве

Причиной отказов механического оборудования в 80% случаев является износ. Им повреждается не все тело деталей, а лишь места контактов, поэтому для их защиты были разработаны методы поверхностного упрочнения. Гальваническое хромирование в сотни раз увеличило стойкость типографского набора и тиражи изданий. Русское техническое общество, в 1888г празднуя 50-летие этого изобретения, сделанного в России Б.С. Якоби, отмечало, что по своему значению оно может быть приравнено к открытию книгопечатания [3]. В настоящее время насчитывается более 100 методов поверхностного упрочнения, но широкое применение кроме хромирования нашли не многие: закалка (объемная, газопламенная, ТВЧ), цементация, азотирование. Как следствие, детали часто используется в не упрочненном или незначительно упрочненном состоянии, быстро изнашивается и становится причиной, не только пла-

новых, но и непредвиденных или аварийных ремонтов. Поэтому имеет актуальность совершенствование технологий упрочнения деталей и частей оборудования во время их ремонтов.

Ремонтное производство отличается от машиностроительного масштабами и серийностью, что дает основание проанализировать возможность применения в нем методов упрочнения, которые не нашли широкого применения у машиностроителей.

Карбонитрация. Она представляет собой разновидность азотирования в расплаве солей [4]. Не вызывает деформаций и повреждения поверхности, что позволяет проводить ее готовым деталям, избавляясь от их трудоемкой финишной шлифовки. Продолжительность карбонитрации на порядок короче азотирования, а перед обработкой не требуется тщательной очистки деталей, как перед газовым (ионным, каталитическим) азотированием. В отличие от газового азотирования, она не удобна для автоматизации [5], но пригодна к применению с высокой эффективностью в средне- и мелкосерийном производстве запасных частей. При испытаниях на трение карбонитрация на порядок и более снижает износ упрочненных образцов, одновременно в ~ 2 раза уменьшает изнашивание сопрягаемых неупрочненных образцов; применение карбонитрированных деталей (рисунок 1) существенно сокращает их расход и на ~20% снижает потери на трение [6-9].

Плазменная закалка. Закалка стала более доступна с разработкой в 2002г в ООО «Композит» установки УДГЗ-200 [10]. Работая с ней, сварщик 2-3 разряда перемещает горелку с плазменной дугой по закаливаемой поверхности, оставляя на ней с некоторым перекрытием упрочненные полосы шириной 5...10мм. Закалка происходит без подачи воды на деталь, за счет теплоотвода в её тело, поэтому применяется не только в термических цехах, но и на ремонтных (сборочных) площадках. Плазменная дуга, вызывая на поверхности цвета побежалости, не ухудшает шероховатость в диапазоне Rz10...60, не дает деформаций, благодаря чему закаленным деталям не требуются финишная шлифовка.

Установка УДГЗ-200 восполняет отсутствие дорогостоящего термического оборудования; делает закалку экологически чистой, процесс закалки удобен для автоматизации. Твердый (HRC45-65) слой закалки (0,5...1,5мм) увеличивает срок службы: крановых рельс и колес, зубчатых и шлицевых соединений, канатных блоков, футеровочных плит, направляющих [11-13]. Это делает работу оборудования более надежной, существенно сокращает простои. Например, плазменная закалка конусов дробилок (рис. 3) на Качканарском ГОКе в пять раз сократила их восстановительные ремонты [14].

Рециклинг и наплавка

Принцип «секондхенд» в 90-е годы в США был распространен из бытовой сферы в промышленность, как индустриальный кодекс «рециклинга» [15]. Им предусматривается восстановление изношенных деталей и частей оборудования для повторного употребления по прямому или альтернативному назначению, причем восстановление должно предусматриваться уже при проектировании.

Наиболее часто для восстановления используются наплавка - нанесение на поверхность слоя металла методом сварки. Экономический эффект в этом случае столь очевиден, что первооткрыватели сварки Бенардос Н.Н. и Славянов Н.Г. применяли наплавку чаще, чем саму сварку. Впоследствии восстановление наплавкой стали сочетать с приданием восстановленной поверхности повышенной износостойкости. В настоящее время стандартизовано (ГОСТ 10543-98, ГОСТ 21448-75, ГОСТ 10051-75 и др.) более сотни марок наплавочных материалов (электродов, прутков, порошков, проволок, лент) для различных видов изнашивания. В этом случае дорогостоящий износостойкий материал расходуется в небольшом количестве ($\leq 5\%$ от всей массы) на облицовку рабочих поверхностей, тогда как основная масса детали выполняется из экономичной углеродистой стали [16].

Износостойкая (твердая) наплавка создает затруднения при механообработке. Применение «мягкой» наплавки с последующей закалкой не практиковалось, из-за

появления деформаций и повреждения окатиной не наплавленных поверхностей. Появление в промышленности установки УДГЗ-200 сделало возможным проведение закалки наплавленным деталям. Например, наплавка проволокой Нп-30ХГСА (HB250) не создает затруднений при механической обработке, при этом существенно упрочняется до HB490 в результате финишной закалки установкой УДГЗ-200 [17]. Сочетание наплавки с закалкой установкой УДГЗ-200 расширяет возможности упрочнения в ходе ремонтов.

Электроискровое легирование (ЭИЛ), представляющее собой мало-амперную разновидность наплавки, преимущественно применялось для упрочнения режущего и штампового инструмента. Однако, как показано в работах [18, 19] оно эффективно так же для восстановления небольших износов (до 0,4мм) тяжелых валов по месту их эксплуатации (на дробилках, шахтных подъемных машинах и др.), и дает существенное сокращение простоев оборудования и ремонтных расходов.

Ремонтная сварка

Стоимость изготовления и монтажа станин, корпусов и др. массивных частей оборудования, как правило, высокая, поэтому экономически целесообразно, образующиеся на них в ходе эксплуатации трещины устранять ремонтной сваркой. Сварка часто сопровождается появлением сварочных трещин. Ремонтная сварка выполняется по поврежденному металлу, поэтому вероятность появления сварочных трещин в ходе ее выполнения выше. Вопросы оптимизации ремонтной сварки по месту эксплуатации ремонтируемых изделий рассмотрены в работе [20]. Показано, что применение дуговой строжки снижает затраты на разделку трещин, при этом дает возможность надежного контроля за полной удалением разделяемых трещин. Для уменьшения простоев ремонтируемого оборудования организованы передвижные посты, оснащенные сварочными полуавтоматами. Их применение одновременно с многократным ростом производительности сварки, по сравнению с ручной сваркой

электродами, уменьшает деформации и вероятность появления сварочных трещин [21, 22]. Для снижения температуры подогрева при сварке, выполнение которого на массивных деталях затруднительно, разработано рациональное применение проковки швов в ходе сварки.

Оптимизация конструкторских решений в ходе ремонтов

Важными принципами конструирования является снижение массы машин (оборудования) и увеличение производительности (мощности). Но это приводит к росту напряжений в элементах конструкций и на контактных поверхностях, вызывающих поломки и изнашивание. Поэтому с учетом условий эксплуатации и частоты ремонтов могут быть оправданными решения по снижению нагрузок при эксплуатации и увеличению массы оборудования, если это сопровождается увеличением рентабельности.

Можно различать благоприятное и неблагоприятное восприятие оборудованием рабочих нагрузок. Во втором случае возможны вибрация, шумовые эффекты, концентрация напряжений, которые приводят к быстрым отказам. Решения по исключению неблагоприятного восприятия оборудованием рабочих нагрузок имеет большое значение.

В машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) часто прекращалось вращение роликов. При этом «трение качения» ролика о слиток переходило в более агрессивное «трение скольжения», что приводило к быстрому локальному износу и преждевременной замене роликов. После того как вращение роликов с осями заменили вращением бочки ролика на неподвижной оси, случаи заклинивания роликов устранились. Как следствие исключился агрессивный вид изнашивания «трением скольжением», что увеличило наработку роликов в 2,5 раза [23].

Корпус 12-метрового штампа для формовки труб большого диаметра после непродолжительной эксплуатации разломился надвое вдоль продольной оси. Его ремонтная сварка без «усиления» конструкторской

представлялась не перспективной. Однако собственно «усиления» за счет увеличения массы удалось избежать. Анализ напряженного состояния, показал, что изменение от нормали на 7 град. угла расположения нижних ребер жесткости более равномерно распределяет рабочее усилие по корпусу штампа и устраняет концентрацию напряжений по линии излома. Такая модернизация не потребовала ни удорожания ремонта, ни увеличения массы конструкции [24]. Подобным образом с усовершенствованием конструкции были выполнены ремонты траверс и рукояти ковша экскаватора [25-27].

Тележки обжиговых печей при движении контактируют бортами. Износ бортов приводит к перекосу тележек, что в свою очередь создает повышенную нагрузку на приводную «звездочку». Быстрый износ бортов тележек был исключен твердой наплавкой «в размер» [28]. Это одновременно ликвидировало перекос тележек в машине, уменьшило нагрузку на «звездочку» и, как следствие, – частоту замены её секторов. Если раньше в «звездочке» каждый год заменялось по одному сектору (ценой ~1 млн. руб.), то теперь замена сектора проводится раз в четыре года.

Работа по оптимизации конструкции и качеству оборудования во время ремонтов формализована компанией ООО «Балтех» в виде концептуальной программы «Надежное оборудование» [29]. Она предусматривает накопление данных о неисправностях и отказах во время эксплуатации и на основе этого планирование сроков и содержания ремонтов. При этом используются разнообразные средства диагностирования: мобильные смазочные минилаборатории, тепловизоры, виброметры лазерные приборы центровки и позиционирования и проч. Получаемый обширный материал о темпах изменения состояния оборудования является основой для корректировки его конструкции, технологий изготовления и сборки. Этот новый тип системы ТОиР получил название «Проактивные ремонты».

Заключение

Эксплуатация оборудования сопровождается его износом и др. повреждениями, которые не только требуют ремонтных расходов, но и становятся причиной внезапных сбоев в работе, несущих в себе угрозу безопасности. По особенностям трещин, износа и др. повреждений оборудования, появляющихся при эксплуатации, целесообразно выявлять и устранять его недостатки, т.е. использовать ремонты как школу конструирования. Приведенный обзор литературных источников убеждает в эффективности такой работы.

Список литературы

1. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. /Под ред. П.Н.Учаева. – М.:Машиностроение, 1988. – 560с.
2. Эффективность автоматизации планирования ТООР на металлургическом предприятии. / Суханцев С.С., Киров А.Н.// Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – Вып. 1. – С. 22-27. 22-27
3. Рассказы из истории русской науки и техники. / Болховитинов В.Н., Буянов А.В., Захарченко В.Д., Остроумов Г.Н. // М.: Молодая гвардия, 1957. – 590с.
4. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М.: Машиностроение – Металлургия, 1984. – 240с.
5. Тихонов А.К. Химико-термическая обработка в массовом производстве. //Металловедение и термическая обработка металлов, 1996. – №1. – С.15...18.
6. Studying the Wear Resistance of Carbonitrided Workpieces // Journal of Friction and Wear. 2013, Vol. 34, No. 1, pp. 27–31.
7. Investigation of phase composition of high temperature chromium steels and chromonitriding process in austenitic alloys / Skorobogatykh V.N., Tsikh S.G., Shchenkova I.A., Kozlov P.A. // International Heat Treatment and Surface Engineering. 2011. Vol. 5. № 4. P. 161-164.
8. Korotkov V.A. Study of Carbonitration. // Chemical and Petroleum Engineering Volume 50, Issue 7-8, November 2014 P. 494...498.
9. Исследование влияния карбонитрирования на коэффициент трения зубчатых передач на основе физического моделирования. / Жиркин Ю.В., Юсупов Р.Р., Султанов Н.Л., Мироненков Е.И. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 11. С. 21-25.
10. Установка для ручной поверхностной закалки плазменной дугой. / Коротков В.А., Макаров С. В. // Металлообработка. 2009. № 5. С. 43-46.
11. Korotkov V.A. Metallurgical Equipment Component Plasma Hardening // Metallurgist. 2014. Vol.58, Nos.7-8. P. 705-711.
12. Korotkov V.A. Wear Resistance of Plasma-Hardened Materials. // Journal of Friction and Wear, 2011. Vol.32. No.1. P.17-22.
13. Korotkov V.A. Plasma Quenching of Gear and Slotted Couplings. // Russian Engineering Research, 2009. Vol 29. No.8. P.813...816.
14. Реновационные работы на Качканарском ГОКе. / Липатов, А. М. Веснин, В. А. Коротков В.А. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2015, №2, С.3-7.
15. Кривошеков В.Е. Реинжиниринг систем восстановления изношенных деталей машин и рециклинг запасных частей. // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 4-ой междунар. научн.-технич. конференции. Киев, 2004. – С. 129-131.
16. Коротков В.А. Наплавка в промышленности. // Тяжелое машиностроение, 2001. № 2. С. 8-13.
17. Коротков В.А. Плазменная закалка слоя наплавки 30ХГСА. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2015. №5. С. 19-21.
18. Коротков В.А. Электроискровое легирование. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2005. – № 10. – С. 31-35.
19. Восстановление тяжелых валов методом электроискрового легирования. /

- Коротков В.А., Агафонов Э.Ж. Шекуров А.В., Ячменев Э.В. // Горный журнал, 2006. №2. С. 59-61.
20. Из опыта ремонтной сварки горно-металлургического оборудования. / Коротков В.А., Михайлов И.Д. // Сварочное производство, 2011. №7. С. 41-48.
 21. Коротков В.А. Опыт применения сварочных полуавтоматов на предприятиях Уральского региона. // Сварочное производство, 2004. №3. С. 32-36.
 22. Из опыта эффективного использования механизированной сварки в среде аргона. / Коротков В.А., Максимов В.Н., Сумеркин В.П. // Сварка и Диагностика, 2008. №4. С.25-26.
 23. Исследование наплавки на роликах МНЛЗ. / Коротков В.А., Михайлов И.Д., Бабайлов Д.С. // Сварочное производство, 2007. № 1. С. 30-31.
 24. Моделирование напряженно-деформированного состояния штампа для формовки

труб большого диаметра. / Гончаров К.А., Чечулин Ю.Б. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2011. №7. С.33-38.

25. Ремонтная сварка траверсы пресса. / Коротков В.А., Зотов С.А. // Сварка и Диагностика, 2008. №5. С.26-27.
26. Ремонтная сварка пресса СКВ-6000. / Коротков В.А., Михайлов И.Д., Панов В.И. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2009. № 2. С. 4-7.
27. Совершенствование технологий ремонта ковша и рукояти экскаватора ЭКГ-5А. / Коротков В.А., Гаев А.С. // Технология машиностроения, 2010. №10. С.47-50.
28. Совершенствование технологий сварки и наплавки в ремонтах горного оборудования. / Коротков В.А., Агафонов Э.Ж., Веснин А.М. // Горный журнал, 2008. №4. С. 82...85.
29. ООО «Балтех». // www.baltechprom.ru - просмотр 14.10.2015.



УДК 621.771.25.08

Н.Ш. Тютеряков
 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
 технический университет им. Г.И. Носова»
 г. Магнитогорск, Россия
 E-mail: ntc.mgtu@mail.ru
 Дата поступления 26.11.2015

АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ВАЛКОВОЙ АРМАТУРЫ PRD СОРТОПРОКАТНОГО СТАНА 450 ОАО «ММК» ПО КРИТЕРИЯМ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация

Работа посвящена изучению износостойкости изнашиваемых деталей валковой арматуры качения – роликов. Предложена методика определения критериев надежности валковой арматуры PRD. Выполнена статистическая обработка наработок деталей арматуры PRD. Выполнен расчет ресурса деталей валковой арматуры PRD. Определен необходимый месячный, а также годовой запасы в роликах, подшипниках, осей, накладок и винтовых пар валковой арматуры. Предложены рекомендации по повышению надежности валковой арматуры.

Ключевые слова: валковая арматура, сортовой стан, прокатная клеть, надежность.

Введение

Валковая арматура, образуя с прокатными валками единый комплекс технологического инструмента, является неотъемлемой частью основных агрегатов сортовых станов – рабочих клетей [4]. Она включает в себя детали, работающие длительное время и не требующие замены, регулярного

восстановления – арматурные брусья, коробки, крепежные элементы и др. В то же время валковая арматура содержит сменные детали, подвергающиеся изнашиванию. Эти детали требуют периодической замены или восстановления.

Износостойкость сменных деталей валковой арматуры во многом определяет

качество готового проката, ритмичность работы стана, что, в конечном счете определяет конкурентоспособность выпускаемой продукции как на внешнем, так и на внутреннем рынках.

Поэтому в данной работе основное внимание было уделено изучению износоустойчивости изнашиваемых деталей валковой арматуры качения.

Основная часть

Для анализа надежности машин в процессе эксплуатации необходимо иметь сведения о наработках до отказа элементов, на основании которых осуществляют оценивание показателей надежности исследуемого объекта. Получение же оценок надежности основано на различных предположениях о законах распределения наработок до отказа.

Исследование надежности металлургического оборудования показало, что наработки оборудования можно описать в большинстве случаев следующими распределениями [1,2]:

- экспоненциальным (показательным);
- нормальным;

Экспоненциальное распределение характерно для внезапных отказов (поломках), когда элемент не стареет, а также для отказов сложных технических систем независимо от причины их возникновения.

Нормальным распределением описываются наработки, длительность которых определяется процессами изнашивания (старения).

Для экспоненциального распределения:

плотность вероятности отказов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \lambda = \text{Const}; \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (3)$$

числовые характеристики:

$$\lambda = \frac{1}{T};$$

Средняя наработка

$$T = M_{\xi} \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda};$$

$$v = \sigma/T = 1.$$

Характерным признаком экспоненциального распределения является равенство коэффициента вариации v единице. Экспоненциальное распределение является распределением без последствий, так как $\lambda = \text{Const}$, т.е. вероятность отказа в каждую последующую единицу времени остается неизменной сколько бы ни проработал безотказно элемент до данного момента времени. Но необходимо отметить, что вероятность безотказной работы с течением времени снижается, т.е. чем дальше рассматривается момент времени от начала эксплуатации, тем меньше вероятность того, что объект будет находиться в работоспособном состоянии.

Но если объект не отказал к рассматриваемому моменту времени, то вероятность его отказа в последующую единицу времени будет та же, что и в начальный момент эксплуатации.

Значения показателей безотказности, определяемые по результатам испытаний, являются оценками показателей надежности.

Нормальное распределение – это двухпараметрическое распределение с плотностью

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

где μ, σ – параметры распределения.

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{\left[0,5 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); \quad (6)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 0,5 - \Phi((t-\mu)/\sigma), \quad (7)$$

где $(t-\mu)/\sigma = u_q$ – квантиль нормированного распределения.

Числовые характеристики распределения:

средняя наработка

$$T = M_{\xi} = \mu; \quad (8)$$

коэффициент вариации

$$v = \sigma/\mu;$$

За значения показателей надежности принимают точечную оценку или границы

доверительного интервала (нижнюю (НДГ) и верхнюю (ВДГ)) границы.

Вычисление НДГ осуществляется по следующим формулам.

Экспоненциальное распределение

Средняя наработка

$$\hat{T} = 1/\hat{\lambda}; \quad (9)$$

Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа

$$\underline{T} = \hat{T} \frac{2(N-1)}{\chi^2_{\alpha, 2N}}. \quad (10)$$

Нормальное распределение

Средняя наработка

$$\hat{T} = \hat{\mu}; \quad (11)$$

Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа

$$\underline{T} = \hat{T} - t_{q; (r-1)} \cdot \left(\hat{\sigma} / \sqrt{r} \right); \quad (12)$$

где $t_{q; (r-1)}$ – квантиль распределения Стьюдента.

Надежность систем определяется надежностью входящих в ее состав элементов. При оценке надежности системы важно выяснить влияние на вероятность ее безотказной работы:

- количества входящих в нее элементов;
- вероятности безотказной работы элементов;
- способов соединения элементов в системе.

Элементы в системе могут иметь соединение последовательное, параллельное, смешанное.

Рабочие элементы валковой арматуры сортовых станов являются системой с последовательным соединением элементов.

Для такой системы при известной вероятности безотказной работы элементов P_i вероятность ее безотказной работы P_s находится из зависимости

$$P_s = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (13)$$

где правая часть представляет собой произведение вероятностей безотказной работы элементов.

Система с параллельным соединением элементов – это такая система, которая не выходит из строя, пока не отказали все ее элементы.

Вероятность безотказной работы такой системы P_s с вероятностью безотказной работы P_i находится из зависимости

$$P_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (14)$$

При анализе системы с параллельным соединением элементов подразумевается, что при включении системы включаются все элементы и что отказы не влияют на надежность элементов, продолжающих работать.

В валковой арматуре все элементы выполняют одну и ту же функцию. В такой ситуации элементы, как правило, бывают одинаковыми и имеют равную надежность.

Поэтому этот тип резервирования называют горячим или нагруженным резервом. Вероятность безотказной работы такой системы

$$P_s(t) = 1 - [1 - P(t)]^n. \quad (15)$$

Средняя наработка системы в случае экспоненциального распределения

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right), \quad (16)$$

где n – число элементов в системе.

Если каждый элемент имеет экспоненциальное распределение наработки и одинаковую интенсивность отказов, то вероятность безотказной работы системы для $n=2$ (дублирование) найдем из зависимости

$$P_s(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}, \quad (17)$$

а средняя наработка системы до отказа

$$T_s = 3/(2\lambda). \quad (18)$$

Значительная часть элементов металлургического оборудования при отказах не заменяется на новые, а восстанавливается.

Рабочая часть валковой арматуры, принятая за элемент при анализе надежности, является восстанавливаемым элементом, так как любой отказ устраняется путем замены либо конкретной детали, либо узла, в состав которого входит отказавшая деталь. Если же валковую арматуру при анализе надежности считать системой, а входящие в нее узлы – элементами и отказы устраняются путем замены узлов, то такая система называется восстанавливаемой, а элементы (узлы) – невосстанавливаемыми.

Характеристики процесса восстановления являются характеристиками надежности восстанавливаемого объекта. Основные из этих характеристик следующие:
- число отказов до момента $t - v(t)$, имеющее распределение:

$$P[v(t) = r] = F_r(t) - F_{r+1}(t), \quad (19)$$

где

$$F_r(t) = P[t_r < t];$$

- функция восстановления (поток отказов) - среднее число отказов до момента $t - H(t)$, $\Omega(t)$:

$$H(t) = Mv(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(t). \quad (20)$$

Отсюда среднее число отказов на интервале $[t, t+x]$ равно

$$H(t+x) - H(t);$$

- интенсивность отказов (плотность восстановления) — $h(t)$, $\omega(t)$

$$h(t) = H^1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_{k(t)} \quad (21)$$

Во многих случаях восстанавливаемый элемент функционирует в течение времени t , которое во много раз больше средней наработки на отказ. В этом случае среднее число отказов на интервале $[0, t]$ приближенно равно

$$H(t) \approx \frac{t}{T} + \frac{\sigma^2 - T^2}{2T^2}. \quad (22)$$

Если элемент восстанавливается путем замены входящей в его состав отказавшей части и функционирует время t , то $v(t) \leq n_0$ есть число запасных элементов, необходимых для непрерывной работы элемента до момента t . Тогда

$$n_0 = \left(\frac{t}{T} \right) + u_q \sqrt{\sigma^2 \cdot t / T^3} \quad (23)$$

где u_q - квантиль распределения ($u_{q=0,90...0,95}=1,3...1,65$).

Стойкость роликов на различных типоразмерах этой арматуры (рисунок. 1) не одинакова (таблицы 1 – 3). На арматуре PRD01 средняя наработка составляет 11900т; PRD02 – 11500 т, а PRD03 – 3440 т [5]. Такие значительные расхождения в показателях объясняются увеличивающимися

динамическими нагрузками. Необходимый месячный запас в роликах должен составлять исходя из объемов производства и учета комплектации стана арматурой 7, 8 и 4 шт. соответственно. Годовой запас 75, 82 и 41 шт.

Подшипники также имеют неодинаковый ресурс. На арматурах PRD01 и PRD02 долговечность составляет 167 и 127 тыс.т, на арматуре PRD03 ресурс значительно ниже - 20600 т. Причинами этого являются разрушения подшипников в результате значительных динамических нагрузок. Это в свою очередь приводит к преждевременному выходу осей, средний срок службы которых составляет 27500т. На арматуре более легкой серии ресурс осей соизмерим с годовой производительностью стана и составляет на PRD01 – 295 тыс.т и 180 тыс.т на PRD02. Необходимый годовой запас для обеспечения бесперебойной работы составляет 42 и 60 шт. соответственно.

Накладки используются для компенсации нагрузок на ролики и удерживают прокат в случаях возникновения перекосов. Изношенные накладки восстанавливаются наплавкой; замена осуществляется в случаях их разрушения или срыва. Такие отказы являются внезапными и их появление трудно прогнозировать. Поэтому из анализа вероятности возникновения таких случаев за 2006 год был рассчитан их средний ресурс который составил для PRD01 - 295 тыс.т и 311 тыс.т - PRD02. Накладки на PRD03 выходят значительно чаще и их ресурс составляет - 41 тыс.т.

Винтовые пары, предназначенные для регулировки, выходят из строя по причине износа. Средний ресурс составляет 106 тыс.т - PRD01, 54.5 тыс.т - PRD02 и PRD03 – 10.3 тыс.т. На интенсивность износа винтовых пар влияют наличие загрязнений в виде окалины и нагрузки, возникающие в процессе прокатки.

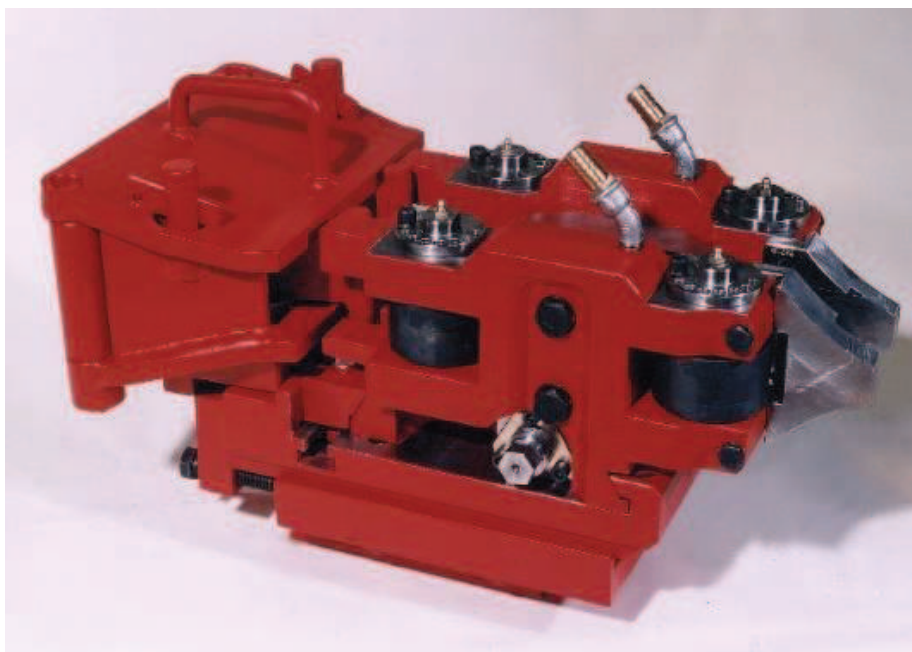


Рисунок 1. Четырехроlikовая арматура PRD

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 01

Таблица 1

арматура	PRD 01				
	наработка (тон.)				
деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	14000	196000	-	34000	-
2	11500	161000	-	68000	-
3	12500	175000	-	85000	-
4	11000	154000	-	143000	-
5	14000	196000	-	204000	-
6	13000	182000	-	-	-
7	11000	154000	-	-	-
8	10500	147000	-	-	-
9	10000	140000	-	-	-
10	11500	161000	204000		204000
число замен	67	57	10	5	10
$P(t)$	-	-	0,5	-	0,5
λ	-	-	3,4E-06	-	3,4E-06
Средняя наработка T	11900,0	166600,0	294309,8	106800,0	294309,8
Стандарт отклонения σ	1410,3	19743,9	294309,8	67154,3	294309,8
НДГ $\underline{T}$	11507,5	161105,7	294309,8	80371,6	294309,8
Комплект	20	40	20	5	20
Отказов в месяц При производстве 17000 т.	1,7	0,2	0,5	0,8	0,5
Отказов в год При производстве 204 тыс.т.	18,6	1,5	2,1	4,7	2,1
Запчастей на год	74,3	59,8	41,3	23,7	41,3
запчастей на месяц	6,9	6,8	9,1	4,2	9,1

Таблица 2

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 02

Арматура	PRD 02				
	наработка (тон.)				
Деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	13500	148500	-	59400	-
2	11500	126500	-	50600	-
3	12500	137500	-	55000	-
4	11000	121000	-	48400	-
5	13500	148500	-	59400	-
6	13000	143000	-	57200	-
7	9000	99000	-	39600	-
8	10500	115500	-	46200	-
9	9500	104500	-	41800	-
10	11500	126500	216000	50600	216000
число замен	79	78	14	14	10
P(t)	-	-	0,3	-	0,5
λ	-	-	5,6E-06	-	3,21E-06
Средняя наработка T	11550,0	127050,0	179406,0	54560,0	311622,1
Стандарт отклонения σ	1589,0	17479,3	179406,0	5016,8	311622,1
НДГ T	11107,8	122185,9	179406,0	52585,7	311622,1
Комплект	20	40	20	5	20
Отказов в месяц При производстве 18000 т.	1,9	0,2	0,6	0,4	0,5
Отказов в год При производстве 216 тыс.т.	20,5	2,1	3,0	4,4	2,1
Запчастей на год	81,9	83,3	60,3	22,1	41,3
запчастей на месяц	7,7	9,5	12,5	2,2	9,1

Таблица 3

Результаты статистической обработки наработок деталей арматуры PRD 03

арматура	PRD 03				
	наработка (тон.)				
деталь	ролик 1	подш. 1	ось	винтовые	накладки
1	2	3	4	5	6
1	4000	24000	32000	12000	48000
2	3400	20400	27200	10200	40800
3	3000	18000	24000	9000	36000
4	2900	17400	23200	8700	34800
5	3500	21000	28000	10500	42000
6	4100	24600	32800	12300	49200
7	3400	20400	27200	10200	40800
8	3500	21000	28000	10500	42000
9	3000	18000	24000	9000	36000
10	3600	21600	28800	10800	43200
число замен	38	61	18	10	13
Средняя наработка T	3440,0	20640,0	27520,0	10320,0	41280,0
Стандарт отклонения σ	403,3	2419,9	3226,6	1210,0	4839,8
НДГ T	3327,8	19966,6	26622,1	9983,3	39933,2
Комплект	4	8	4	1	4
Отказов в месяц При производстве 13500 т.	4,5	0,8	0,6	1,6	0,5
Отказов в год При производстве 162 тыс.т.	50,1	8,7	6,6	17,0	4,5
Запчастей на год	40,1	69,5	26,3	17,0	17,8
запчастей на месяц	3,6	6,7	2,6	1,6	1,8

Из приведенных данных следует, что наименьшими показателями надежности, а именно долговечностью, обладают детали арматуры PRD03. Это объясняется тем, что данная арматура используется при прокатке самых крупных профилей и подвержена чрезмерным нагрузкам, что приводит к разрушению подшипников, повреждению роликов и осей, разрушению и срыву накладок и деформации винтовых пар. Таким образом, для повышения надежности необходимо, либо изменить конструкцию с целью повышения несущей способности подшипниковых узлов, либо заменить арматуру типа PRD на арматуру скольжения.

Заключение

1. Предложена методика определения критериев надежности валковой арматуры PRD.
2. Выполнена статистическая обработка наработок деталей арматуры PRD.
3. По методике выполнен анализ деталей валковой арматуры PRD по критериям надежности.
4. Определен необходимый месячный, а также годовой запасы в роликах, подшипниках, осей, накладок и винтовых пар валковой арматуры.
5. По результатам расчета выявлено, что наименьшими показателями именно долговечностью, обладают детали арматуры PRD03, т.к. она используется при прокатке самых крупных профилей и подвержена чрезмерным нагрузкам.

6. Предложены рекомендации по повышению надежности валковой арматуры, заключающиеся в изменении конструкции с целью повышения несущей способности подшипниковых узлов, либо в замене арматуры типа PRD на арматуру скольжения.

Библиографический список

1. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: Учебник. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 330с.
2. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности): Справочник. - М.: Металлургия, 1980. -230с.
3. Методика оценки надежности валковой арматуры сортовых станов. /Л.Е. Кандауров, Н.В. Оншин, Н.Ш. Тютеряков, С.Я. Унру. // Труды VII конгресса прокатчиков (15-18 октября 2007г, Москва). Том 1.-М., 2007.-С.525-528.
4. Моделирование условий эксплуатации роликовой валковой арматуры сортовых станов. Новицкий Р.В., Остапчук А.М., Оншин Н.В., Тютеряков Н.Ш., Коковихин А.В. Черные металлы. 2012. № 6. С. 64-67.
5. Валковая арматура сортовых станов: назначение, конструкции, надежность /Л.Е. Кандауров, Н.В. Оншин, Н.Ш. Тютеряков и др.// Учеб. Пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 161с.