



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.

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

Томило В.А. – «Белорусский национальный технический университет», профессор, доктор технических наук, г. Минск, Республика Беларусь.

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», доцент, кандидат технических наук.

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

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. К. Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
издательский центр.

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии.

Выход в свет 11.09.2023. Заказ 290.
Тираж 300 экз.

Поздравляем профессора Чиченева Николая Алексеевича с юбилеем 85!



23 июля этого года профессору, доктору технических наук Чиченеву Николаю Алексеевичу исполнилось 85 лет.

В 1961 году Николай Алексеевич окончил Московский энергетический институт. Квалификация – инженер-электромеханик.

В 1961–1964 годах работал в МЭИ, ассистентом, а с 1964 года по настоящее время – в МИСИС: аспирант, научный сотрудник, доцент, зав. кафедрой, декан факультета, профессор.

Большое значение в становлении Н.А. Чиченева как ученого имели его научные стажировки в США (1969–1970 годы, Иллинойский технологический институт, г. Анн-Арбор; Католический университет, г. Вашингтон) и Великобритании (1977 год, Императорский колледж науки и технологии, г. Лондон). В 1972 году читал лекции по фотопластичности в Индийском технологическом университете (г. Кхарагпур, Индия). Зарекомендовал себя как высококвалифицированный преподаватель, который много внимания уделяет воспитательной работе со студентами и выполняет все виды учебных занятий на высоком научном и методическом уровне. Им разработаны и успешно прочитаны специальные курсы «Надежность технологических машин», «Эксплуатация технологических машин», «Инжиниринг грузоподъемных машин и устройств», «Инжиниринг транспортирующих машин и устройств», «Инжиниринг оборудования и технологий для подготовки шихтовых материалов» и др., по которым созданы учебно-методические комплексы, изданы учебники и учебные пособия.

Н.А. Чиченев активно участвует в организационно-методической работе по перестройке высшей школы России и подготовке кадров высшей квалификации. Он являлся организатором в МИСИС и первым деканом (1975–1985 годы) специального факультета по переподготовке кадров по новым перспективным направлениям науки и техники, одного из первых в стране. За этот период прошли переподготовку более 100 человек по четырем направлениям (автоматизация экспериментальных исследований, ультразвуковая техника и технология, химическое сопротивление материалов и защита от коррозии, лазерная и плазменная техника и технологии), для которых под его руководством были составлены уникальные учебные планы, разработано учебно-методическое обеспечение дисциплин, прочитан ряд оригинальных курсов.

При его непосредственном участии в МИСИС с 1989 года организована подготовка инженеров-механиков по специальности «Металлургические машины и оборудование» и аспирантов по направлению «Машины и агрегаты металлургического производства». Руководил выпускными квалификационными работами: специалистов – 69, магистров – 31, бакалавров – 20. Руководитель научно-методического совета «Технологические машины и оборудование» Федерального учебно-методического объединения по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 15 «Машиностроение».

В связи с переходом российской высшей школы на двухуровневую систему Н.А. Чиченев принимал участие в разработке новых образовательных стандартов бакалавров и магистров по направлению «Технологические машины и оборудование».

Н.А. Чиченев активно участвовал в создании кафедры металлургического оборудования в Новотроицком филиале МИСИС (Оренбургская обл., Россия), на базе которой подготовлено более 500 инженеров-механиков для Орско-Халиловского металлургического комбината (ныне ОАО «Уральская Сталь», Россия).

Председатель смотровой комиссии Всероссийского конкурса с международным участием дипломных проектов, дипломных работ и магистерских диссертаций в области металлургии по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» (2003–2012 годы). Член экспертной комиссии Минобрнауки России по аккредитации: Норильского индустриального института – 2007 год; Магнитогорского государственного технического университета – 2008 год; Липецкого государственного технического университета – 2009 год; Сибирского федерального университета – 2009 год. Член экспертной комиссии Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере: «У.М.Н.И.К. – 2007», «У.М.Н.И.К. – 2008».

Зарегистрирован в Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы Минобрнауки России. Член двух диссертационных советов. Являлся официальным оппонентом 11 докторских диссертаций. Был научным руководителем восьми кандидатов наук. Член редколлегий научных журналов «Черная металлургия», «Сталь» и др.

Действительный член Российской академии естествознания. Почетный профессор СевероКавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Почетный работник высшего профессионального образования РФ. Заслуженный деятель науки РФ. Лауреат Премии Совета Министров СССР.

По результатам его исследований опубликовано более 400 научных работ, в том числе 10 монографий и 45 учебников и учебных пособий для вузов, 59 учебно-методических работ (внутривузовских изданий), получено 43 авторских свидетельства СССР и патентов РФ на изобретения. Под его руководством создана научная школа «Экспериментальная механика процессов и оборудования металлургического производства».

Николай Алексеевич награжден медалями «Ветеран труда» и «В память 850-летия Москвы».

Коллектив НИТУ «МИСИС» сердечно поздравляет Николая Алексеевича Чиченева с 85-летием и желает ему крепкого здоровья и дальнейших успехов в его научно-педагогической деятельности.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

О.В. Явурик Применение системного подхода к прогнозированию надежности робототехнических комплексов	4	O.V. Yavurik System Approach Applied for Robot System Reliability Prediction	4
А.М. Милюкова, А.В. Алифанов, О.А. Толкачева, А.А. Лях Исследование влияния сильных импульсных электромагнитных полей на качество гальванических покрытий	10	A.M. Milyukova, A.V. Alifanov, O.A. Tolkacheva, A.A. Lyakh Understanding the Effect of Strong Pulsing Electromagnetic Fields on the Quality of Electroplated Coatings	10
М.П. Шишкарев Анализ процесса буксования адаптивной фрикционной муфты с переменным коэффициентом усиления	22	M.P. Shishkarev Analyzing the Slipping of An Adaptive Variable Gain Friction Coupling	22
М.Е. Гойдо, В.В. Бодров, Р.М. Багаутдинов, А.А. Важенин Модернизация электрогидравлической системы управления горизонтального профильного пресса П-8041 силой 12,5 МН	29	M.E. Goydo, V.V. Bodrov, R.M. Bagautdinov, A.A. Vazhenin An Upgraded Electrofluidic Control System of 12.5 MN Horizontal Extrusion Press P-8041	29
В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский, А.Н. Григорчик Структурно-фазовое состояние композиционных газотермических покрытий системы Ti-TiN, полученных высокоскоростной металлизацией	36	V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovskiy, A.V. Sosnovskiy, A.N. Grigorchik Structural and Phase State of Composite Thermal Spray Ti-TiN Coatings Produced by High-Speed Metal Coating Process	36
М.В. Андросенко, А.Д. Киричко, И.М. Потапов, А.П. Кошелев Целесообразность применения барабанного грохота в условиях агломерационной фабрики	43	M.V. Androsenko, A.D. Kirichko, I.M. Potapov, A.P. Koshelev Substantiating the Use of Drum Screen at a Sinter Plant	49
В.А. Томило, В. В. Левкович, А.В. Ветошкин Особенности технологии валковой правки толстых листов и исследование напряженно-деформированного состояния	49	V.A. Tomilo, V.V. Levkovich, A.V. Vetoshkin Process Features Regarding Roller Levelling of Plates and Understanding the Stress-Strain State	49



УДК 004.023:681.5

О.В. Явурик
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»
г. Белгород, Россия
E-mail: yavurik@bsu.edu.ru
Дата поступления 11.01.2023

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НАДЕЖНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация

В статье представлен выбор оптимального метода прогнозирования остаточного ресурса робототехнического комплекса на основе последовательной обработки экспертных суждений с применением метода анализа иерархий. Отобраны критерии выбора оптимального метода и описана их взаимодействие с параметрами эксплуатации робототехнического комплекса. Выбраны альтернативные методы прогнозирования остаточного ресурса.

Ключевые слова: робототехнические комплексы, надежность, прогнозирование остаточного ресурса, метод анализа иерархий.

Введение

Для обеспечения работы различной промышленности технологическое оборудование является основным звеном производства. В настоящее время в структуру технологического оборудования все чаще входят промышленные роботы, составляя при этом робототехнический комплекс.

Согласно ГОСТ Р 60.0.0.4-2019, «робототехнический комплекс (РК) – это комплекс, состоящий из одного или нескольких роботов, их рабочих органов и любых механизмов, оборудования, приборов или датчиков, обеспечивающих выполнение роботом функционального назначения (задания)» [1].

Надежность робототехнического комплекса напрямую зависит от надежности его отдельных конструктивных элементов и отсутствия неисправностей в них. Прогнозирование надежности робототехнического комплекса позволит сократить количество отказов, правильно планируя время текущих и капитальных ремонтов, что увеличит долговечность оборудования.

В соответствии с ГОСТ 27.003–2016 [2], выбор и обоснование номенклатуры задаваемых показателей надежности зависит от характеристик рассматриваемого объекта. Робототехнический комплекс явля-

ется «объектом общего назначения; по режиму функционирования его можно отнести к объектам непрерывного длительного применения, по возможности восстановления и обслуживания – восстанавливаемый и обслуживаемый» [2].

Исходя из этого, в соответствии с таблицей Б.1 ГОСТ 27.003–2016, «эксплуатационная надежность робототехнических комплексов характеризуется показателями долговечности» [2].

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта, согласно ГОСТ 27.002–2015 [3].

Показатели долговечности и их номенклатура выбирается согласно признаком ГОСТ 27.003-2016: «по возможным последствиям перехода в предельное состояние, процессу, определяющему переход в предельное состояние и возможности и способу восстановления технического ресурса (срока службы)» [2]. Согласно таблице Б.2 [2], показателем долговечности для робототехнического комплекса является показатель – гамма-процентный и/или средний остаточный ресурс.

Остаточный ресурс – это суммарная наработка объекта от момента контроля его

технического состояния до момента достижения предельного состояния: средний ресурс – математическое ожидание ресурса, гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах [3].

Основная часть

Расчет показателей долговечности, в частности остаточного ресурса, производится, согласно методическим указаниям [4]. В зависимости от срока эксплуатации существуют два способа прогнозирования остаточного ресурса:

- упрощенный – детерминистическая оценка показателей;

- уточненный – вероятностная оценка.

Первый способ подразумевает использование информации о нагруженности, при другом – исследуется степень поврежденности оборудования [4]. Основные характеристики способов прогнозирования остаточного ресурса представлены в таблице 1.

Классификация методов прогнозирования остаточного ресурса представлена на рисунке 1. Каждый метод подразумевает проведение исследования и на его основании выполнение расчетов, в соответствии с алгоритмом действий, изложенным в нормативных документах.

Таблица 1

Основные характеристики способов прогнозирования остаточного ресурса

Детерминистические методы	Вероятностные методы
малый срок эксплуатации (относительно нормативного)	срок эксплуатации, близкий к нормативному
незначительная поврежденность оборудования	значительная поврежденность элементов оборудования
меньшая трудоемкость	точный прогноз
	возможность выявления дополнительного резерва ресурса оборудования



Рисунок 1. Классификация методов прогнозирования остаточного ресурса

Нормативные документы методов прогнозирования остаточного ресурса

№ п/п	Метод прогнозирования остаточного ресурса	Нормативный документ
1	Прогнозирование остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках	ГОСТ 25859-83 «Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках»
2	Метод прогнозирования остаточного ресурса составных частей	РД 50-490-84 «Методические указания. Техническая диагностика. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам»
3	Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра	ГОСТ 23942-80 «Оценка показателей качества продукции по изменениям контролируемого параметра»
4	Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами	РД 50-690-89 «Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным»
5	Прогнозирование остаточного ресурса по развитию коррозионных повреждений	РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации»
6	Оценка остаточного ресурса по изменению выходных параметров	ГОСТ 27.302-86 «Надежность в технике. Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин»

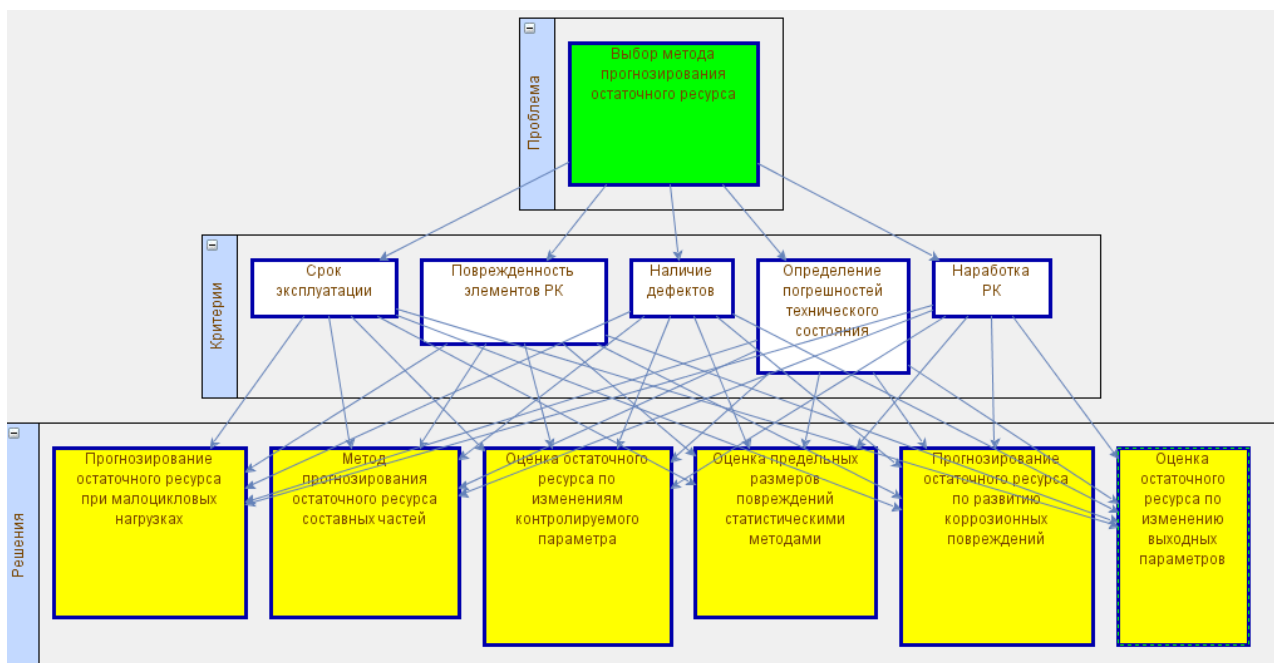


Рисунок 2. Иерархия выбора метода прогнозирования остаточного ресурса

Выбор метода прогнозирования остаточного ресурса должен учитывать факторы, влияющие на конечный результат: условия эксплуатации, причины потери работоспособности, фактические действующие нагрузки, размеры дефектов и повреждений и т.д. Связь между факторами является несистематичной, что требует определения взаимосвязи параметров.

С целью выполнения данной задачи можно применить один из методов многокритериальной оптимизации – метод анализа иерархий (МАИ) [5]. Первым шагом МАИ является анализ проблемы и построение иерархической структуры [6]. Целью является выбор оптимального метода прогнозирования остаточного ресурса. Критериями были выбраны основные параметры, влияющие на надежность робототехнических комплексов:

- срок эксплуатации;
- поврежденность элементов робототехнических комплексов;
- наличие дефектов;
- определение погрешностей технического состояния;
- наработка РК;

В качестве альтернатив выбраны методы прогнозирования остаточного ресурса, согласно классификации, представленной на рисунке 1:

- прогнозирование остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках;
- метод прогнозирования остаточного ресурса составных частей;
- оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра;
- оценка предельных размеров повреждений статистическими методами;
- прогнозирование остаточного ресурса по развитию коррозионных повреждений;
- оценка остаточного ресурса по изменению выходных параметров.

Иерархия выбора метода прогнозирования остаточного ресурса представлена на рисунке 2.

Следующим этапом при выборе метода прогнозирования остаточного ресурса является попарное сравнение альтернатив относительно каждого критерия. Для критерия «Срок эксплуатации» матрица парных сравнений представлена на рисунке 3.

Отношение согласованности составляет менее 8% (7,1%), отсюда следует, что матрица построена корректно. Аналогичным образом строятся матрицы парных сравнений для оставшихся критериев (рисунки 4-7).

Сравнение решений по критерию "Срок эксплуатации"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Приоритеты
1. Прогнозирование остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках	1	1/2	1/3	1/2	1/7	1/4	0,051
2. Метод прогнозирования остаточного ресурса составных частей	2	1	3	4	1/3	3	0,227
3. Оценка остаточного ресурса по изменению контролируемого параметра	3	1/3	1	2	1/3	1	0,125
4. Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами	2	1/4	1/2	1	1/3	1/3	0,073
5. Прогнозирование остаточного ресурса по развитию коррозионных повреждений	7	3	3	3	1	3	0,384
6. Оценка остаточного ресурса по изменению выходных параметров	4	1/3	1	3	1/3	1	0,140

СЗ: 6,439 ИС: 0,088 ОС: 0,071 F: 0,080

Рисунок 3. Матрица парных сравнений для критерия «Срок эксплуатации»

Сравнение решений по критерию "Поврежденность элементов РК"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Приоритеты
1. Прогнозирование остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках	1	1/5	1/3	1/3	1/2	1/3	0,050
2. Метод прогнозирования остаточного ресурса составных частей	5	1	5	5	2	5	0,420
3. Оценка остаточного ресурса по изменению контролируемого параметра	3	1/5	1	1/2	1/3	1/2	0,078
4. Оценка предельных размеров повреждений статистическими методами	3	1/5	2	1	1/5	2	0,113
5. Прогнозирование остаточного ресурса по развитию коррозионных повреждений	2	1/2	3	5	1	3	0,241
6. Оценка остаточного ресурса по изменению выходных параметров	3	1/5	2	1/2	1/3	1	0,098

СЗ: 6,463 ИС: 0,093 ОС: 0,075 F: 0,128

Рисунок 4. Матрица парных сравнений для критерия «Поврежденность элементов РК»

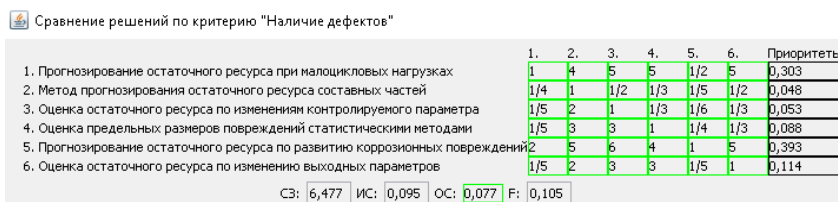


Рисунок 5. Матрица парных сравнений для критерия «Наличие дефектов»

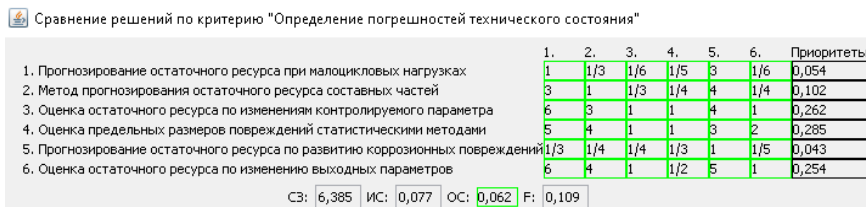


Рисунок 6. Матрица парных сравнений для критерия «Определение погрешностей технического состояния»

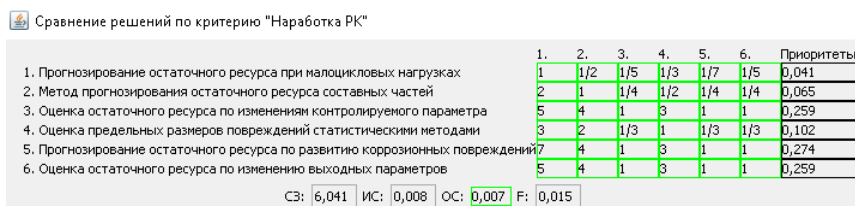


Рисунок 7. Матрица парных сравнений для критерия «Наработка РК»

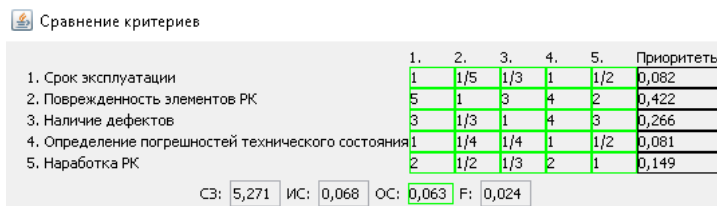


Рисунок 8. Матрица парных сравнений критериев

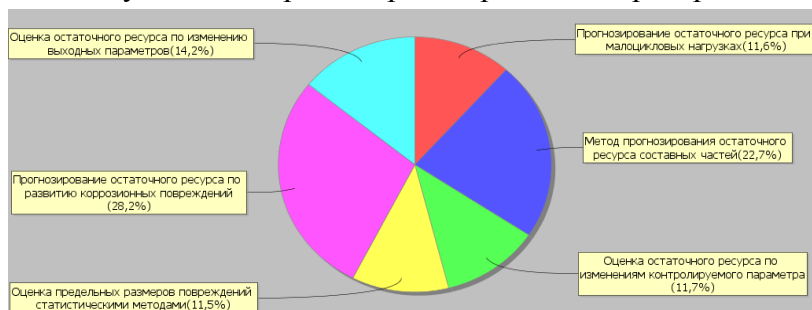


Рисунок 9. Результат расчетов приоритетов

Анализируя значения отношения согласованности матриц парных сравнений альтернатив по всем критериям, можно судить о корректности их составления.

Заключительным этапом МАИ является попарное сравнение всех критериев относительно выбранной цели (рисунок 8).

При построении матрицы парных сравнений критериев, возможно менять предпочтение в пользу того или иного критерия в зависимости от преследуемых целей. В данном случае, предпочтение было отдано в пользу критерия «Поврежден-

ность элементов РК» и небольшое предпочтение относительно критерия «Наличие дефекта».

Экспертная оценка при сравнении критериев может меняться в зависимости от технологической ситуации, изменения приоритетов надежности робототехнического комплекса, а также многих других факторов.

Заключение

Результатом парных сравнений альтернатив является выбор оптимального метода прогнозирования остаточного ресурса

(рисунок 9). В данном случае, предпочтительным методом будет прогнозирование остаточного ресурса по развитию коррозионных повреждений (28,2%), также преобладает среди остальных – метод прогнозирования остаточного ресурса составных частей (22,7%).

Библиографический список

1. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 февраля 2019 г. № 31-ст: введен взамен ГОСТ Р ИСО 8373-2014 / подготовлен ФГАНУ «ЦНИИ РТК». Москва: Стандартинформ, 2019. 31 с.
2. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2016 г. № 93-П): введен взамен ГОСТ 27.003-90 / разработан АО «НПФ «ЦКБА». Москва: Стандартинформ, 2016. 23 с.
3. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28 декабря 2015 г. № 83-П): введен взамен ГОСТ 27.002-89 / разработан ООО «ИНМиТ». Москва: Стандартинформ, 2015. 30 с.
4. РД 26.260.004-91. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации: методические указания: введен 01.01.1992 г. / разработан в НИИ ХимМаш, утвержден в концерне «Химнефтемаш» 01.01.1991 г. Москва: Стандартинформ, 1992. 96 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
6. Кравченко Т.К., Исаев Д.В. Системы поддержки принятия решений. – М.: Издательство Юрайт, 2022. 292 с.
7. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 1798 - 1803.
8. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / URSS. 2016. 532 с.

Information about the paper in English

O.V. Yavurik

Belgorod State National Research University
Belgorod, Russia
E-mail: yavurik@bsu.edu.ru
Receipt date: January 11, 2023

SYSTEM APPROACH APPLIED FOR ROBOT SYSTEM RELIABILITY PREDICTION

Abstract

This paper describes how to choose an optimum technique to predict the remaining life of a robot system by consistently processing expert opinions using the analytic hierarchy process. The author chooses selection criteria and describes their interaction with the robot system operating parameters. Alternative prediction techniques are also highlighted.

Keywords: robot systems, reliability, prediction of remaining life, analytic hierarchy process



УДК 621.795, 621.98.044.7

**А.М. Милюкова, А.В. Алифанов,
О.А. Толкачева, А.А. Лях**

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: annart@mail.ru

Дата поступления 31.05.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация

В статье представлены результаты исследований влияния сильных импульсных электромагнитных полей на поверхность образца из стали 30ХГСА, покрытую хромом. После магнитно-импульсного воздействия гальванические покрытия хромом улучшили адгезию к стальной основе, на структурах исследованных металлических образцов, обработанных после нанесения покрытия, под покрытием виден сплошной измененный слой глубиной 40-90 мкм, в 2 раза снизилась пористость покрытия, увеличилась микротвердость хромового покрытия. Новизна полученных результатов заключается в разработке метода магнитно-импульсной упрочняющей обработки для повышения эксплуатационных характеристик гальванических хромовых покрытий, нанесенных на стальные детали.

Ключевые слова: сталь, гальваническое покрытие хромом, адгезия, пористость, микротвердость, магнитно-импульсная обработка.

Введение

Метод нанесения хромовых покрытий гальваническим методом применяют в производстве почти 100 лет назад и является актуальным и в настоящее время. Гальванические хромовые покрытия сочетают красивый внешний вид с высокой твердостью, износостойкостью и устойчивостью к различным внешним воздействиям. Хром обладает способностью пассивироваться на воздухе в присутствии окислителей, эта особенность обеспечивает долговечность хромовых декоративных покрытий и защиту основного металла от коррозии. Хромирование металлических изделий из алюминиевых и цинковых сплавов, латуни, меди, алюминия, стали подразделяют на коррозионно-стойкие, защитно-декоративные, антифрикционные, износостойкие. Для защиты стальных изделий от коррозии применяются многослойные покрытия: медь, никель, хром (является наружным слоем). Износостойкие и антифрикционные покрытия наносят на инструменты (фрезы, сверла, протяжки, штампы, матрицы, пуансоны и др.) и детали, работающие на трение

(штоки, цилиндры). Слой хрома существенно уменьшает коэффициент трения между сопряженными деталями и уменьшает теплообразование при работе. Наиболее ценные качества хромового покрытия – плохая смачиваемость и химическая инертность хрома. Хромирование применяется также для восстановления размеров, забракованных по размерам и изношенных трущихся деталей при ремонте двигателей внутреннего сгорания. Таким способом восстанавливают цилиндры двигателей, поршневые кольца и пальцы, шейки валов и др. Целесообразность такого восстановления или исправления изделий зависит от степени несоответствия размеров.

Однако существуют у гальванических покрытий хрома ряд недостатков: плохая адгезия, большая толщина, высокая пористость, существенное снижение усталостной прочности изделий.

Разрабатывают специальные режимы электролиза, применяют финишную обработку алмазным выглаживанием или безабразивную ультразвуковую обработку для обеспечения 5 % пористости или беспори-

стых (блестящих) покрытий, надежно защищающих основной металл от морской и атмосферной коррозии. Ряд стальных изделий подвергают комбинированному хромированию, чтобы обеспечить износостойчивость и коррозионную стойкость одновременно. Для улучшения адгезии покрытий тщательно готовят поверхность основы. Толстые гальванические слои хрома наносят на шлифованную и нешлифованную поверхность основы.

Целью настоящей работы является исследование возможности улучшения качества нанесенных гальванических покрытий хрома (улучшение адгезии, устранения высокой пористости, повышение износостойкости) магнитно-импульсной обработкой (МИО) на изделиях из стали марки 30ХГСА, которая применяется для изготовления деталей в авиационной промышленности.

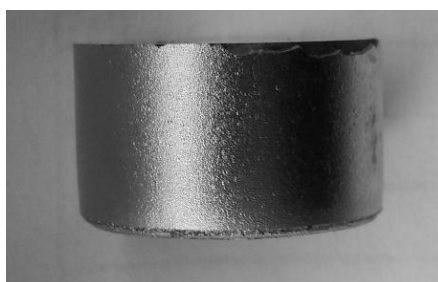
Для МИО использовали разработанную в ФТИ НАН Беларуси высокочастотную магнитно-импульсную установку (генератор импульсных токов) со специальным цилиндрическим индуктором, в котором образуется магнитное поле. В металлическом токопроводящем изделии, помещенном внутрь индуктора, возникают вихревые индукционные токи Фуко. Магнитное поле индукционного тока направлено таким образом, чтобы уменьшить изменение магнитного потока, создаваемого током индуктора. В результате возникает разность плотностей энергии магнитного поля внутри изделия и вблизи поверхности спирали индуктора. Возникают значительные электродинамические силы, создающие большие механические давления, которые в свою очередь способствуют развитию яв-

ления магнитострикции, сильному локальному разогреву, структурно-фазовым превращениям [1–3]. Комплексное воздействие на металлический образец нескольких факторов приводит к изменениям микроструктуры, физических и механических свойств [4]. Основными результатами воздействия на металл по сравнению с известными методами поверхностного упрочнения являются: улучшение шероховатости поверхности; стабилизация макронапряжений на поверхности; при этом неизменяемость геометрических параметров объемного изделия; простота технологии и оснастки; высокая производительность; отсутствие необходимости дополнительных материалов и обработки; низкое энергопотребление; экологическая безопасность.

Учитывая такие возможности данного вида обработки и наличие положительного опыта применения для стального инструмента из различных марок стали [5–8], актуальным стал вопрос возможности использования МИО для улучшения свойств гальванических покрытий хрома.

Основная часть

Для проведения запланированных исследований изготовлены цилиндрические образцы из стали марки 30ХГСА диаметром 20 мм, которые имеют хромовое покрытие толщиной порядка 100 – 200 мкм. Для проведения исследований качества, нанесенного гальваническим методом хромового покрытия использовались образцы предварительно шлифованные (рисунок 1, *а*) и не шлифованные (рисунок 1, *б*). На фотографиях видно отличие в качестве поверхности.



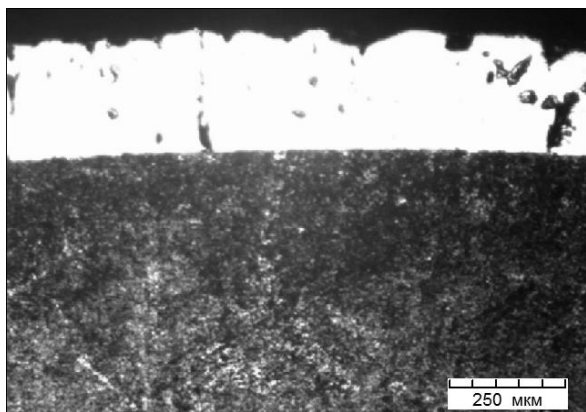
а



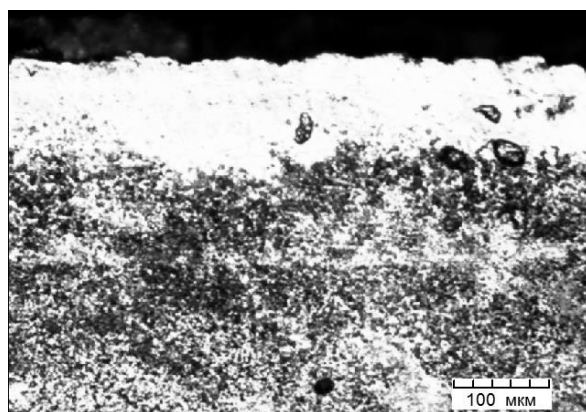
б

Рисунок 1. Образцы из стали марки 30ХГСА:

а – предварительно шлифованная поверхность, *б* – не шлифованная поверхность



a



б

Рисунок 2. Микроструктура хромового покрытия на стали 30ХГСА:

a – шлифованная поверхность стали под покрытием,
б – нешлифованная поверхность стали под покрытием

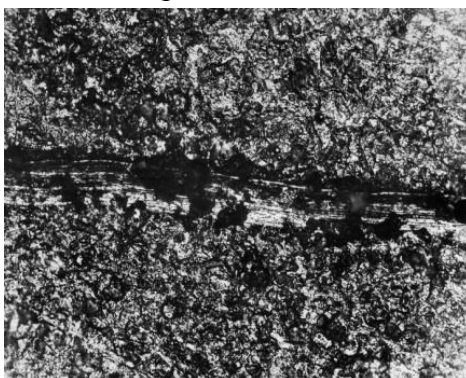


Рисунок 3. След иглы на поверхности стального образца (без предварительного шлифования) с нанесенным хромовым покрытием

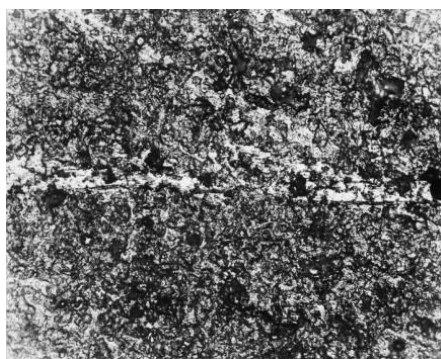


Рисунок 4. След иглы на поверхности стального образца (без предварительного шлифования) с нанесенным хромовым покрытием после МИО

Одним из способов определения адгезии покрытия к подложке является метод иглы (метод царапания), который заключается в нанесении движущейся иглой на поверхность покрытия рисок с возрастающей нагрузкой до тех пор, пока нанесенный слой не отделится от подложки. Исследования адгезии хромовых покрытий к подложке проводили методом царапания на испытательном стенде. В качестве иглы была использована эльборовая пирамида с углом

заточки 136° и радиусом острия 0,02 мм в диапазоне нагрузок от 10 до 700 г.

На рисунке 2 показана структура поперечного среза предварительно шлифованного (рисунок 2, *a*) и не шлифованного образца стали 30ХГСА (рисунок 2, *б*) с хромовым покрытием, где отчетливо видна разница в характере адгезионных связей.

На рисунке 3 показан след иглы на поверхности стального образца (без предварительного шлифования) с нанесенным

хромовым покрытием. Нагрузка на иглу составила 200 г.

Из рисунка 3 видно, что при испытании характер разрушения покрытия имеет адгезионный характер, т.е. небольшие участки покрытия имеют адгезионный отрыв от поверхности. Это указывает на недостаточную прочность адгезионных связей хромового покрытия и стальной подложки.

Для повышения прочности адгезии покрытий к подложке такие же образцы были подвергнуты магнитно-импульсной обработке с различными технологическими режимами, отличающимися энергией воздействия и количеством импульсов.

На рисунке 4 показан след иглы на поверхности образца из стали 30ХГСА без предварительного шлифования, покрытого хромом и обработанного магнитно-импульсным воздействием с энергией 6 кДж. Нагрузка на иглу составила 200 г.

Из рисунка 4 видно, что адгезия хромового покрытия к стальной подложке значительно улучшилась по сравнению с результатом царапания, представленным на рисунке 3. Это говорит о том, что магнитно-импульсное воздействие активизирует диффузионные процессы между хромовым покрытием и стальной подложкой.

На машине трения исследованы трибологические свойства покрытия, в частности, коэффициент трения стальных образцов с хромовым покрытием. В качестве контртела применялись закаленные диски, изготовленные из стали 40Х.

Коэффициент трения образцов, не подвергнутых магнитно-импульсной обработке, находился в пределах 0,09–0,10; по-

сле МИО – 0,08–0,09. Небольшое уменьшение коэффициента трения произошло, видимо, благодаря повышению плотности покрытия в результате МИО.

Исследование влияния МИО на пористость и микротвердость хромового покрытия, нанесенного на образцы из стали 30ХГСА, провели на двух типах – со шлифованной и не шлифованной поверхностью.

Провели определение пористости хромового покрытия, исследование структуры и измерение микротвердости образцов стали 30ХГСА с маркировками 1-5: 1 – контрольный образец, хром нанесен на шлифованную поверхность стали 30ХГСА; 2 – после МИО с режимом 6 кДж, 4 имп.; 3 – после МИО с режимом 8 кДж, 6 имп.; 4 – контрольный образец, хром нанесен на нешлифованную поверхность стали 30ХГСА; 5 – хром нанесен на нешлифованную поверхность стали после МИО с режимом 6 кДж, 4 имп..

Определение пористости проводили на автоматическом анализаторе изображения "Mini-Magiscan" фирмы "JouyceLoebl" (Англия) по программе "Genias 26". Погрешность метода составляет 3 – 5 относительных процентов. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе "MeF-3" фирмы "Reichert" (Австрия) при увеличении $\times 100$ (рисунки 5–9).

Микротвердость измерялась дорожкой от края покрытия к основе на микротвердомере "Micromet-II" с нагрузкой 100 г. по ГОСТ 9450-76.

Таблица 1.

Пористость покрытия на образцах стали 30ХГСА

Маркировка образца	Количество пор (3 участка)	Средняя суммарная площадь, занимаемая порами, $S_{пор}$, мкм ²	Общая анализируемая площадь, $S_{общая}$, мкм ²	Пористость, %
1	145	40,1	167185,9	3,5
2	104	57,5	167185,9	3,5
3	165	136,4	167185,9	13,5
4	155	2,4	167185,9	0,02 (~0,1)
5	21	5,8	133118,3	0,09 (~0,1)

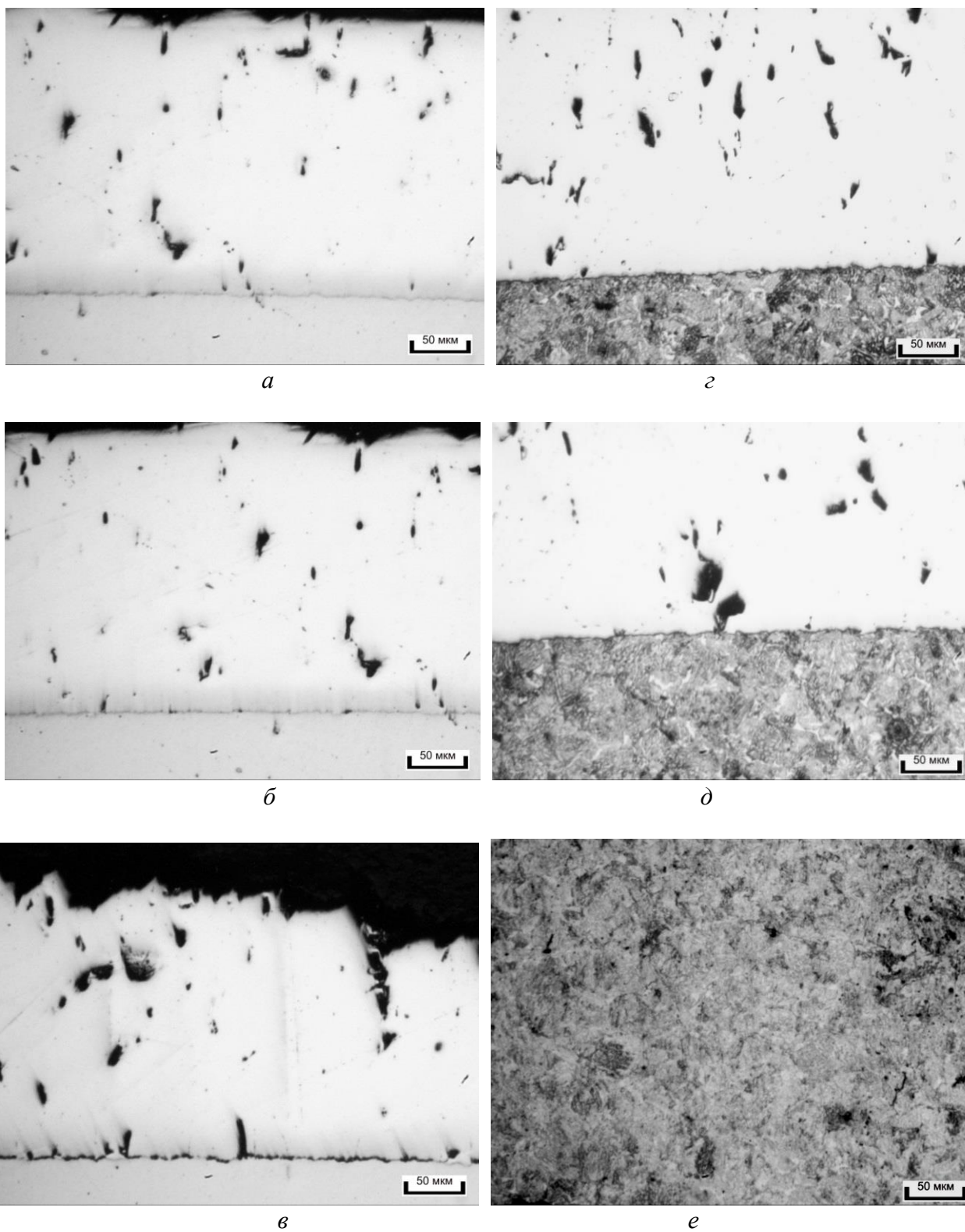


Рисунок 5. Микроструктура контрольного образца стали 30ХГСА с хромовым покрытием с маркировкой 1, x100:
a–в – различные участки пористости покрытия;
z, д – микроструктура стали под покрытием;
е – микроструктура сердцевины стали

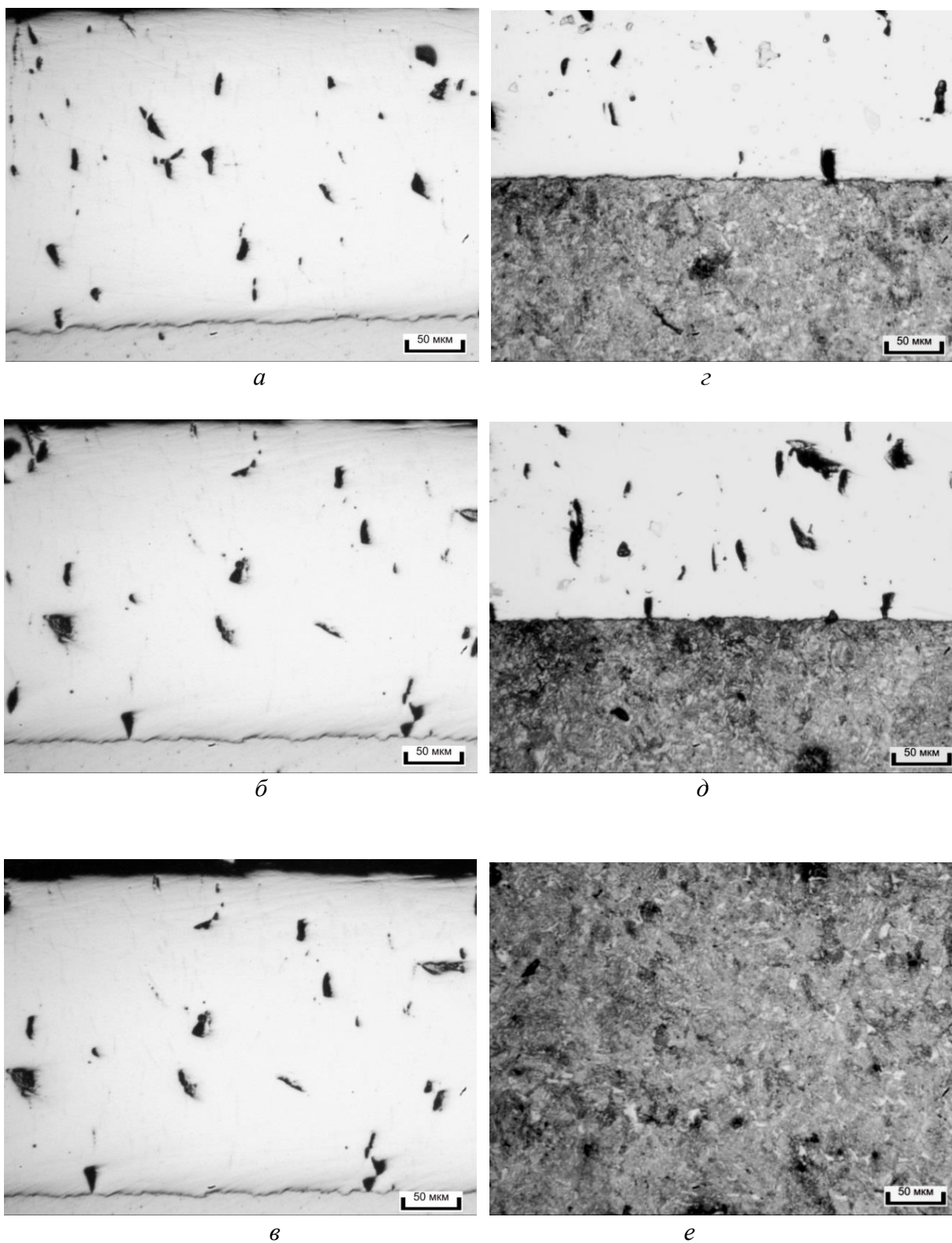


Рисунок 6. Микроструктура образца стали 30ХГСА с хромовым покрытием с маркировкой 2 после МИО (6 кДж, 4 имп.), $\times 100$:
a–в – различные участки покрытия;
г, д – микроструктура стали под покрытием; *е* – микроструктура сердцевины стали

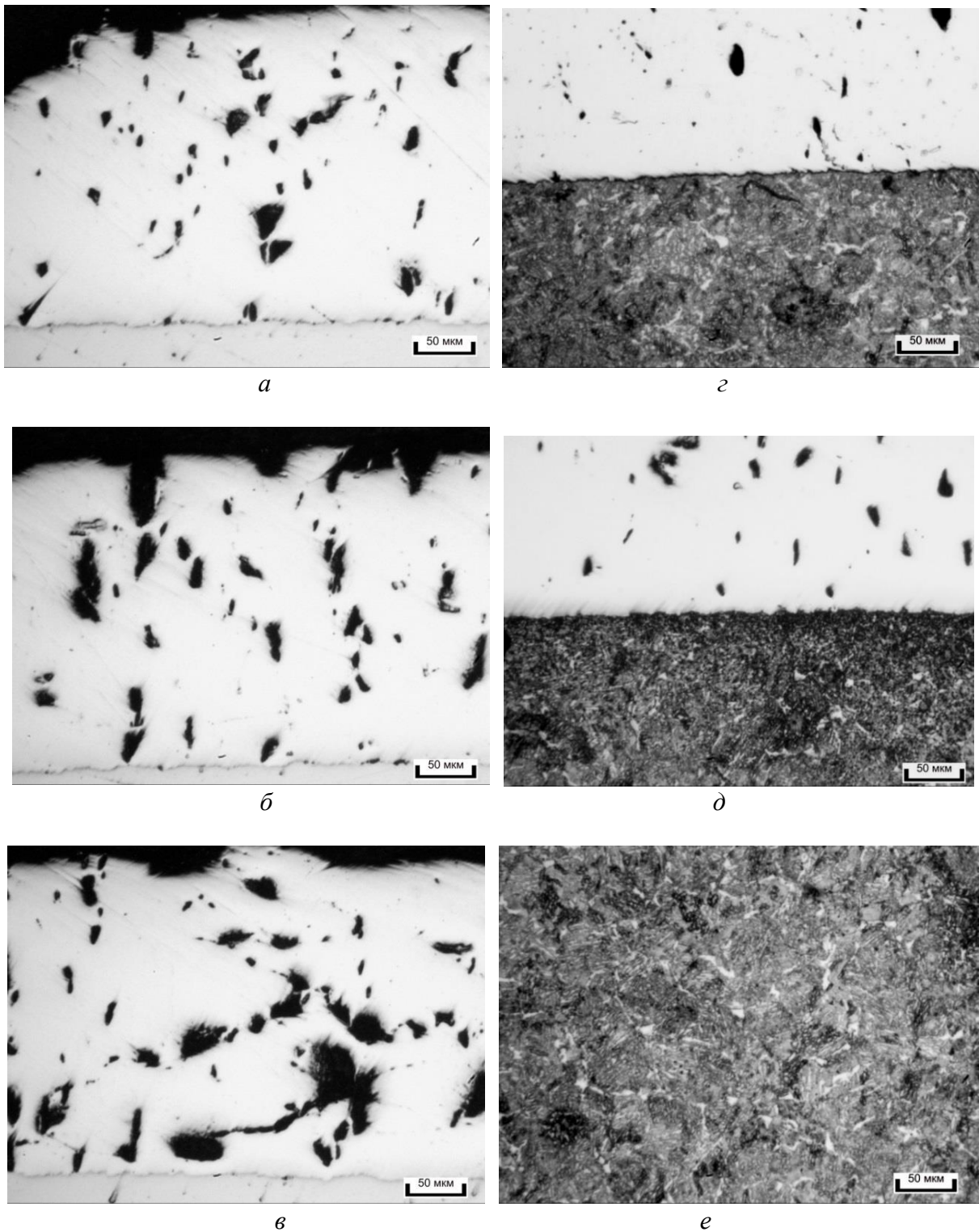
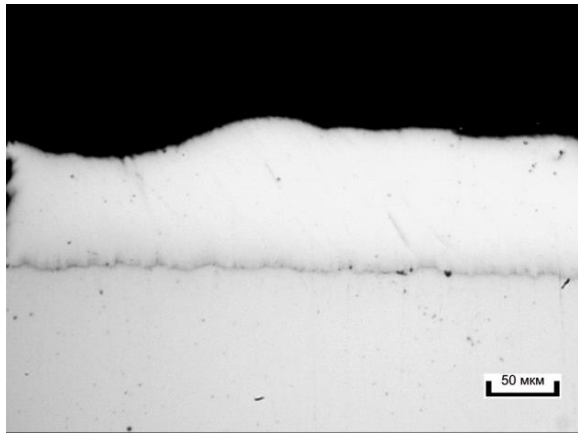
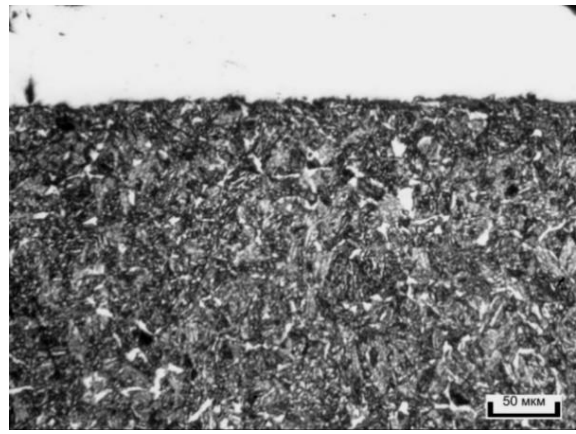


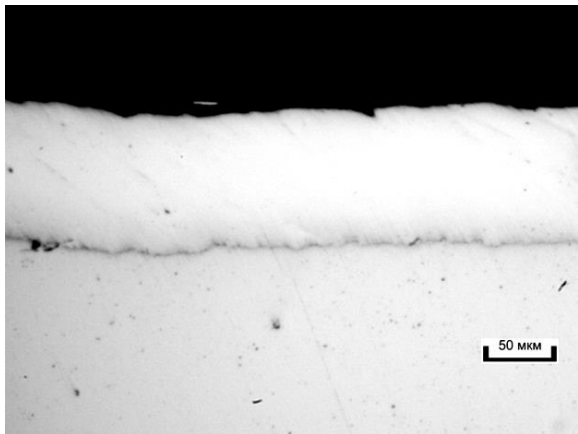
Рисунок 7. Микроструктура образца стали 30ХГСА с хромовым покрытием с маркировкой 3 после МИО (8 кДж, 6 имп.), $\times 100$:
a-в – различные участки пористости покрытия;
г, д – микроструктура стали под покрытием;
е – микроструктура сердцевины стали



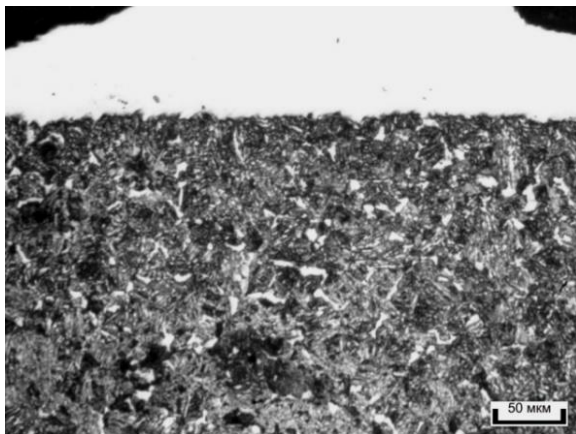
a



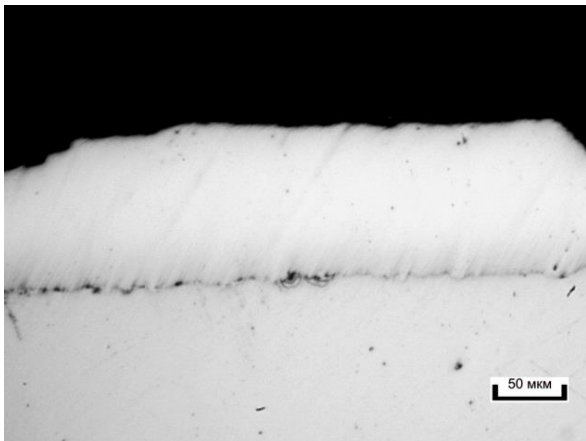
z



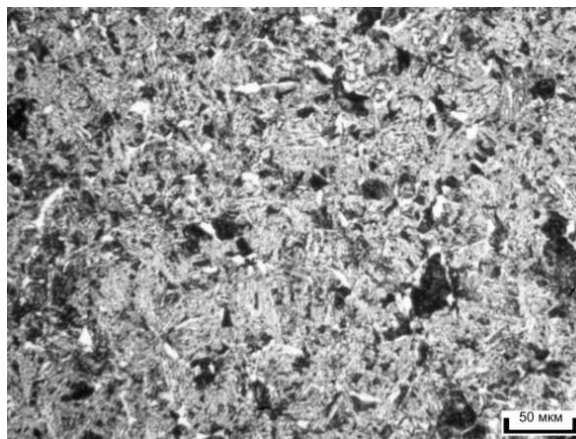
б



д



в



е

Рисунок 8. Микроструктура контрольного образца стали 30ХГСА с хромовым покрытием с маркировкой 4, $\times 100$:
a–в – различные участки пористости покрытия;
z, д – микроструктура стали под покрытием;
е – микроструктура сердцевины стали

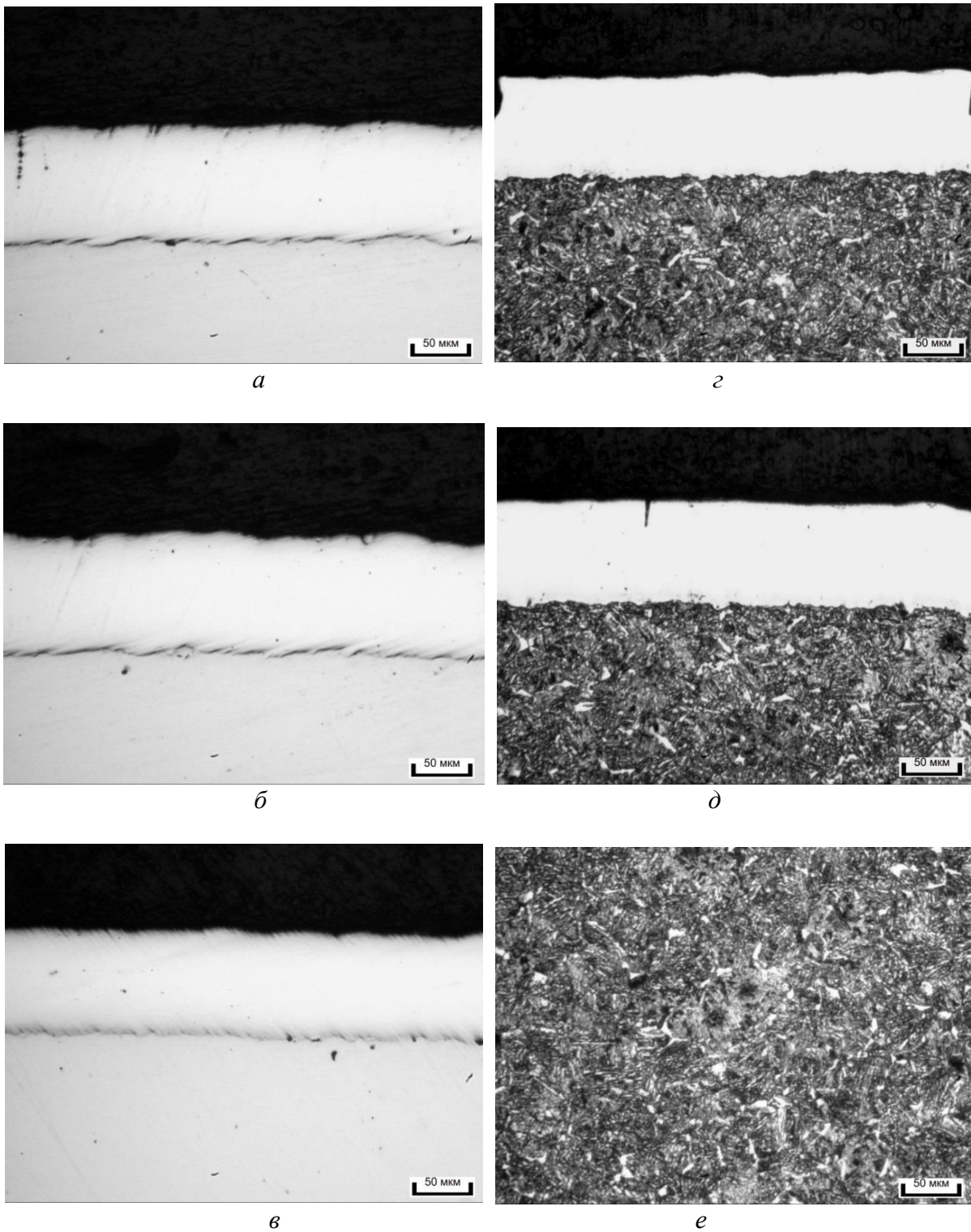


Рисунок 9. Микроструктура контрольного образца стали 30ХГСА с хромовым покрытием с маркировкой 2 после МИО (6 кДж, 4 имп.), x100:
a-в – различные участки пористости Cr –покрытия;
г, д – микроструктура стали под покрытием;
е – микроструктура сердцевины стали

Микроструктура стали 30ХГСА представляет собой феррит, сорбитообразный перлит с твердостью 260 НV. Изменение микротвердости под покрытием относительно сердцевины стали 30ХГСА после МИО не наблюдается, однако на стальном образце под хромовым покрытием образовался модифицированный слой глубиной 40–90 мкм. Средняя твердость хромового покрытия составляет 670 НV.

В результате проведенных исследований пористости покрытия установлено:

- пористость образца с маркировкой 2 после МИО по режиму 6 кДж, 4 имп. не изменяется относительно контрольного образца с маркировкой 1 и составляет в среднем 3,5 %; режим МИО при повышенной энергии 8 кДж и увеличенной длительностью обработки до 6 импульсов (образец 3) приводит к увеличению пористости до 13,5 %, т.е. поры видимо образовались новые

вследствие некачественного покрытия или слились в более крупные;

- хромовые покрытия на образцах с маркировками 1, 2, 3 имеют крупные поры размером порядка 20-30 мкм (образцы 1, 2) и 30-45 мкм (образец 3). Толщина покрытия составляет 250–280 мкм;

- хромовые покрытия на образцах с маркировками 4, 5 имеют мелкие поры размером порядка 1-2 мкм, незначительная пористость не превышает 0,1 %. Толщина хромового покрытия составляет 100-120 мкм.

Микроструктура, твердость хромового покрытия и стали 30ХГСА аналогичны образцам с маркировками 1, 2, 3.

Графики измерения микротвердости хромового покрытия от края поверхности покрытия к стальной основе образцов 30ХГСА до и после МИО представлены на рисунках 10, 11.

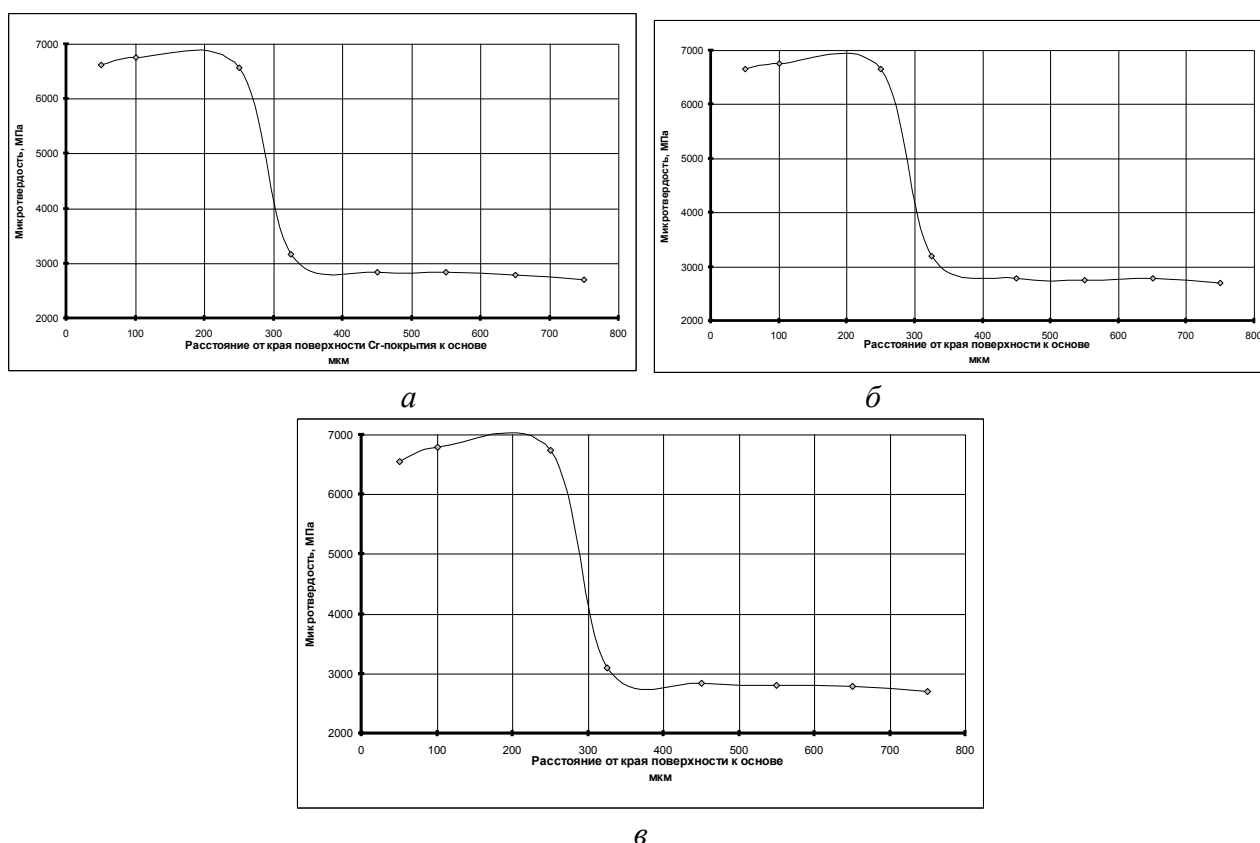


Рисунок 10. Распределение микротвердости от края поверхности Cr-покрытия к стальной основе 30ХГСА:

а – образец с маркировкой 1; б – образец с маркировкой 2; в – образец с маркировкой 3

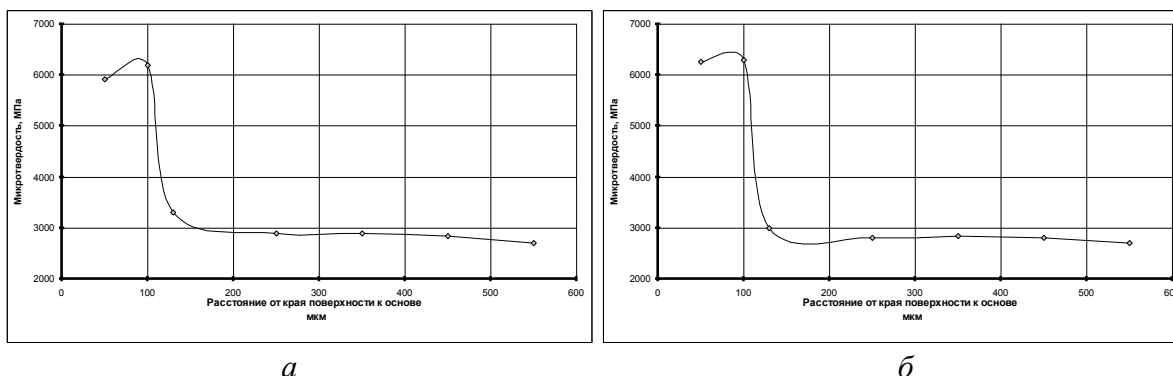


Рисунок 11. Распределение микротвердости от края поверхности хромового покрытия к стальной основе 30ХГСА:
а – образец с маркировкой 1; *б* – образец с маркировкой 2

Анализ полученных результатов показал, что МИО улучшила структурное состояние хромового покрытия с малым количеством пор (до 1 %) и размером пор не более 1-2 мкм, о чем свидетельствует выравнивание микротвердости по толщине покрытия относительно исходного состояния (см. рисунок 11, *а*, *б*).

При наличии крупных пор в хромовом покрытии размером 20-30 мкм происходит увеличение размера пор до 45-50 мкм, что ухудшает качество покрытия за счет повышения его дефектности.

Микротвердость упрочненного слоя примерно в 2 раза выше микротвердости HV основного металла и составляет $\sigma = 2600\text{--}3500$ МПа (основной металл имеет $\sigma = 1300\text{--}1600$ МПа). Микротвердость поверхностного слоя – 4000–4400 МПа, что соответствует твердости закаленной стали 30ХГСА.

Заключение

Обычная пористость хромового покрытия, нанесенного гальваническим способом, с последующей обработкой алмазным выглаживанием или безабразивной ультразвуковой финишной обработкой составляет 5 %. После МИО образцов стали, изготовленных вышеописанным способом, получена пористость 1–2 %. Это подтверждается наличием упрочненного слоя глубиной 40–90 мкм на стальном образце под хромовым покрытием.

Пористая структура в ограниченном интервале значений для деталей, работающих в условиях высоких нагрузок и ограниченной смазки, становится достоинством,

т.к. способствует удержанию смазки.

Микротвердость упрочненного слоя примерно в 2 раза выше микротвердости HV 0,01 основного металла и составляет $\sigma = 2600\text{--}3500$ МПа (основной металл имеет $\sigma = 1300\text{--}1600$ МПа). Микротвердость поверхностного слоя – 4000–4400 МПа, что соответствует твердости закаленной стали 30ХГСА. Микротвердость хромового покрытия соответствует микротвердости молочного хрома. Полученные результаты показывают, что МИО можно при умеренных параметрах применять для упрочнения поверхности стальных изделий, имеющих гальваническое покрытие хромом. Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать продолжить дальнейшие исследования для разработки технологии инновационной упрочняющей МИО с целью повышения качественных характеристик хромовых покрытий.

Библиографический список

1. Б.В. Малыгин Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 112 с.
2. Алифанов А.В., Ционенко Д.А., Милюкова А. М. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В. В. Клубовича. Витебск: ВГТУ. 2017. Гл. 13. С. 31–52.
3. Магнестрикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в

- стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милюкова и др. // Весці Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. 2016. № 4. С. 31–36.
4. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка материалов / А. В. Алифанов, А. М. Милюкова, А. Н. Матяс и др. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы (редколлегия: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]). Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2021. С. 27–153.
 5. Особенности магнитно-импульсной упрочняющей обработки стальных цилиндрических изделий переменного сечения / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милюкова и др. // Литье и металлургия. 2017. Вып. 2 (87). С. 66–75.
 6. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлорежущих сверл из быстрорежущей стали. / А. М. Милюкова, А. И. Горчанин, А. Н. Матяс, и др. // Вестник БарГУ. Серия Технические науки. 2018. Вып. 9. С. 50–56.
 7. Горчанин А. И., Милюкова А. М., Лях А. А. Повышение эффективности упрочняющей магнитно-импульсной обработки ножей со сложным профилем лезвия // Вестник БарГУ. Серия Технические науки. 2019. Вып. 7. С. 43–48.
 8. Матяс А. Н., Милюкова А. М. Определение эффективности использования упрочняющей магнитно-импульсной обработки для повышения периода стойкости режущего инструмента // Механическое оборудование металлургических заводов. 2020. С. 3–10.

Information about the paper in English

A.M. Milyukova, A.V. Alifanov, O.A. Tolkacheva, A.A. Lyakh
Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: annart@mail.ru
Receipt date: May 31, 2023

UNDERSTANDING THE EFFECT OF STRONG PULSING ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE QUALITY OF ELECTROPLATED COATINGS

Abstract

This paper describes the results of a study that looked at the effect produced by strong pulsing electromagnetic fields on the chromium-coated surface of a steel 30KhGSA specimen. The magnetic pulse impact helped improve the adhesion of the chromium coating to the steel base. A 40-90 μm deep solid modified layer can be observed underneath the coating when examining the structure of the steel specimens. The coating porosity dropped twice, while the microhardness of the chromium coating increased. The novelty of the obtained results is in the magnetic pulse strengthening treatment that was developed for improving the performance of chromium coatings electroplated on steel parts.

Keywords: Steel, chrome plating, adhesion, porosity, microhardness, pulse-magnetic processing



УДК 621.838.222

М.П. Шишкарёв
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет» (ДГТУ)
г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: shishkarevm@mail.ru
Дата поступления 23.03.2023

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА БУКСОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Аннотация

В статье приведена функциональная зависимость между коэффициентом усиления обратной связи при буксовании адаптивной фрикционной муфты после ее срабатывания и соответствующим коэффициентом трения скольжения. Показано, что вращающий момент муфты при буксовании больше ее номинального вращающего момента при любом коэффициенте трения, кроме минимального значения.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, переменный коэффициент усиления, коэффициент трения скольжения, буксование.

Введение

В работах [1, 2] изложены результаты исследования адаптивной фрикционной муфты (АФМ) с переменным значением коэффициента усиления (КУ). Исследование основано на результатах, полученных в работе [3], которая посвящена синтезу принципиальной схемы и установлению зависимостей между параметрами управляющего устройства (УУ) адаптивного фрикционного контакта (АФК).

Установлено, в частности, что теоретически нечувствительность синтезированных в указанных работах принципиальных схем АФМ и АФК к изменению коэффициента трения достигается за счет переменного угла контакта тел качения УУ. Данный эффект обеспечивается за счет специального профиля боковых стенок гнезд, в которых размещены чувствительные элементы, и введения упругой связи между сумматором и чувствительными элементами [3].

В работе [4] найдена функциональная зависимость между значением КУ и текущим коэффициентом трения, в соответствии с которой для обеспечения стабильности значения вращающего момента муфты каждому значению коэффициента трения должно соответствовать определенное значение КУ.

Поскольку теоретически стабильность значения вращающего момента муфты достигается благодаря изменению значения КУ при относительном перемещении элементов УУ, в работе [5] установлено, что указанное перемещение происходит в результате увеличения нагрузки в приводе машины.

Это означает неизбежное возникновение перегрузки, действующей в приводе машины, в результате которой внешний вращающий момент становится больше, чем номинальный вращающий момент муфты.

Причиной расхождения теоретических результатов и выводов, сформулированных с учетом картины изменения относительного расположения элементов УУ, является необходимость приложения дополнительной нагрузки для обеспечения функционального соответствия значения КУ текущему коэффициенту трения. Поскольку, как установлено в работе [6], при отсутствии перегрузки и увеличении коэффициента трения АФМ обладает так называемым «потенциальным» вращающим моментом, который превышает номинальный вращающий момент муфты, уменьшение «потенциального» вращающего момента в результате наступления перегрузки происходит не до номинального, а до большего значения вращающего момента.

В работе [5] также констатируется, что величина перегрузки при срабатывании муфты в данном случае определяет ее точность срабатывания.

Процесс буксования предохранительных фрикционных муфт и, в частности, АФМ [7] характеризуется переходом от трения покоя между элементами фрикционных пар к трению скольжения между ними. При этом уменьшение значения коэффициента трения приводит соответственно к уменьшению момента сил трения, что характерно для неадаптивных предохранительных фрикционных муфт, а также для АФМ первого поколения (типа муфты Н.Д. Вернера), имеющих постоянное значение КУ [8].

Данные муфты обладают коэффициентом чувствительности (по терминологии, приведенной в работе [9] – коэффициентом остаточного момента), меньшим единицы [6]. В соответствии с этим, момент сил трения при буксовании упомянутых муфт меньше, чем предельный вращающий момент при их срабатывании.

В АФМ с переменным значением КУ любое изменение внешней нагрузки приводит к перемещению элементов УУ и к изменению значения КУ. Изменение момента сил трения приводит к нарушению состояния относительного равновесия элементов УУ, что также сопровождается изменением значения КУ.

Постановка задачи исследования.

Определение значения установившегося вращающего момента АФМ с переменным значением КУ при буксовании. Поскольку математическая модель АФМ, определяющая ее нагрузочную способность, справедлива и для рассматриваемого случая, для решения задачи исследования необходимо определить значение КУ при установившемся буксовании.

Основная часть

Воспользуемся принципиальной схемой АФМ, приведенной на рис. 1. Полу-муфты 1 и 2 соединены между собой в угловом направлении дисками трения 3 и 4. Диски 3 соединены со ступицей нажимного диска 5, смонтированного с возможностью

поворота и осевого перемещения вдоль полумуфты 1.

Диски 4 соединены таким же способом с барабаном полумуфты 2.

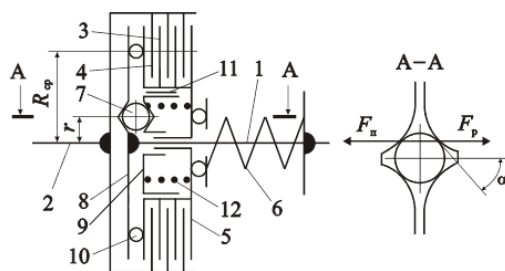


Рисунок. 1. Принципиальная схема АФМ первого поколения с переменным значением КУ

Прижатие друг к другу фрикционных дисков производится затянутой на определенное усилие пружиной 6.

Управляющее устройство АФМ состоит из тел качения 7, размещенных в гнездах, которые выполнены на оппозитных торцевых поверхностях упорного диска 8, жестко закрепленного на ступице полумуфты 1, и стакана 9, размещенного в отверстии нажимного диска 5.

Гнезда под тела качения 7 имеют профилированные боковые стенки (рис. 1, сечение А-А).

Между левым крайним диском 4 и упорным диском 8 смонтирован подшипник 10, следовательно, фрикционная группа имеет схему со всеми ведущими парами трения [10].

Стакан 9 связан в угловом направлении с нажимным диском 5 направляющей шпонкой 11.

Между нажимным диском 5 и стаканом 9 установлена пружина сжатия 12. Согласно данным работы [5], сила натяжения пружины 12 равна нулю при крайнем левом (по рис. 1) положении опорной втулки 9.

Боковые стенки гнезд под тела качения 7 профилированы линиями такого профиля, что значение угла α_i (см. рис. 1, сечение А-А), образованный касательной в точке контакта тела качения 7 со стенкой гнезда, и осевой линией центра тела качения и параллельной оси вращения муфты, увеличивается по мере перемещения вправо стакана 9.

Момент времени, соответствующий

срабатыванию муфты, характеризуется состоянием осевого равновесия стакана 9 под воздействием на него всех осевых сил, соответствующих определенному осевому положению, зависящему от текущего коэффициента трения между дисками 3 и 4.

Поскольку, как отмечено выше, перегрузка при срабатывании муфты больше, чем номинальный вращающий момент, соответствующее значение угла α_i меньше значения угла, при котором муфта передает номинальный вращающий момент при текущем значении коэффициента трения [11].

Дальнейшее исследование основано на том, что, согласно полученной в работе [4] функциональной зависимости между значением КУ и текущим значением коэффициента трения, боковые стенки гнезд профилированы таким образом, что каждому фиксированному осевому перемещению стакана 9 соответствует определенное значение угла давления α_i и КУ C_i .

Кроме того, каждое фиксированное осевое положение опорной втулки соответствует определенному текущему значению коэффициента трения.

Предположим, что значение коэффициента трения покоя f_n и коэффициента трения скольжения f_c связаны между собой следующим соотношением:

$$f_c = pf_n, \quad (1)$$

где p – коэффициент пропорциональности.

Согласно данным работы [8], $p < 1$. Далее будем считать, что $p = \text{const}$, т. е. что любое значения коэффициента трения удовлетворяет соотношению (1).

В соответствии с изложенным выше, для любого осевого положения стакана 9 справедливо следующее уравнение его осевого равновесия:

$$F_{p,i} - cx_i - F_{\text{тр},i} = 0, \quad (2)$$

где $F_{p,i}$ – распорная сила (осевая реакция), действующая на тела качения 7 (см. рис. 1, сечение А-А); c – осевая жесткость пружины 13; x_i – текущее значение осевой деформации пружины 12; $F_{\text{тр},i}$ – текущая сила трения между стаканом 9 и направляющей шпонкой 11.

Поскольку установившееся после срабатывания АФМ значение вращающего момента определяется, в частности, значением КУ, установим предварительно соотношение между значениями КУ, одно из которых соответствует предельному вращающему моменту непосредственно перед срабатыванием муфты, второе – коэффициенту трения скольжения при ее буксовании.

Первое из перечисленных значений КУ функционально зависит от текущего значения коэффициента трения покоя, при котором срабатывает муфта. Эта зависимость опосредованно, через коэффициент точности АФМ, получена в работе [5] и, поскольку представлена сложной математической формой, может быть использована в исследовании при помощи графического способа.

Второе значение КУ связано с коэффициентом трения зависимостью, полученной в работе [4] и имеющей следующий вид:

$$C_i = \frac{1}{z} \left(\frac{1}{f_{\min}} - \frac{1}{f_i} + zC_{\min} \right), \quad (3)$$

где z – число пар трения 3–4 фрикционной группы муфты; f_{\min} – минимальное значение коэффициента трения; f_i – текущее значение коэффициента трения; C_{\min} – минимальное значение КУ, соответствующее крайнему левому (по рис. 1) положению стакана 9.

В работе [5] показано, что значение КУ, при котором срабатывает АФМ, если значение коэффициента трения равно f_i , меньше, чем значение, вычисляемое по соотношению (3). В связи с этим, первым этапом исследования является установление значений КУ при всех значениях коэффициента трения скольжения и сопоставление их со значением КУ при срабатывании муфты.

Поскольку при этом необходимо оценить соотношение значений вращающего момента при срабатывании АФМ и при ее буксовании, которые зависят от коэффициентов трения соответственно f_n и f_c , вторым этапом исследования является проведение указанной оценки.

Воспользуемся при исследовании

данными работы [5], которые относятся к значению коэффициента n_i , характеризующего значение вращающего момента АФМ при срабатывании по отношению к номинальному вращающему моменту, а также полученной зависимостью между значениями КУ и коэффициента n_i , которая имеет следующий вид:

$$C_i = 2n_i C_{\min} / (1 + n_i). \quad (4)$$

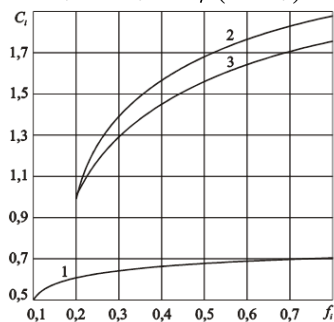


Рисунок 2. Зависимости текущего значения КУ от коэффициента трения

Принимая $z=6$ и соответствующие данные по коэффициенту n_i и КУ [5], рассмотрим графики, изображенные на рис. 2. Кривая 1 на этом рисунке отражает график функции (4), кривая 2 – график функции (3) (с учетом зависимости $n_i(f_i)$, полученной в работе [5]).

При построении кривой 1 в формуле (3) принято $f_i = p f_{n,i}$ (где $f_{n,i}$ – текущий коэффициент трения покоя).

Согласно данным работы [8], для различных сочетаний материалов пар трения принимается $p=0,67...0,8$. Примем для пары трения «сталь – асбофрикционный материал НСФ-3» $p=0,75$.

Графики на рис. 2 показывают, что при всех значениях коэффициента трения, принадлежащих реальному интервалу его изменения, кривая 2 располагается выше по отношению к кривой 1. Это означает, что значение КУ при срабатывании муфты меньше, чем значение КУ, которое должно установиться в результате ее буксования при текущем значении коэффициента трения покоя $f_{n,i}$.

Таким образом, возможность передачи номинального вращающего момента при буксовании муфты исключена, поскольку очевидно, что в процессе буксова-

ния значение КУ будет меньше, чем его соответствующее значение, принадлежащее кривой 1.

При текущем значении коэффициента трения скольжения значение КУ не будет соответствовать его указанному значению, согласно ранее установленной теоретической зависимости.

Изложенное иллюстрируется рис. 3, на котором изображено расположение тела качения 7 в гнезде стакана 9 (номера позиций элементов на рис. 1 и рис. 3 соответствуют друг другу). Прямая 1–1 проходит через точку касания между телом качения и боковой стенкой гнезда в положении, которое тело качения занимает при срабатывании муфты, прямая 2–2 – через точку контакта тела качения с боковой стенкой гнезда в положении, которое должно занимать тело качения при буксовании муфты после ее срабатывания при номинальном вращающем моменте, прямая 3–3 – через точку контакта тела качения и боковой стенки гнезда, соответствующую положению при буксовании муфты после срабатывания с учетом реальной перегрузки.

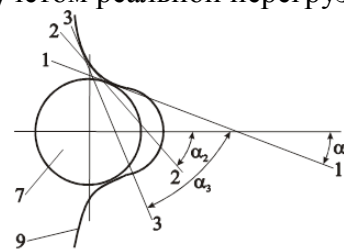


Рисунок 3. Схема изменения угла давления тела качения в процесс срабатывания АФМ

Каждому положению тела качения в гнезде соответствует определенный угол давления $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и определенное значение КУ обратной связи.

Члены, входящие в уравнение (2), определяются по следующим формулам:

$$F_{p,i} = (T_{n,i}/r) \operatorname{tg} \alpha_i, \quad (5)$$

$$F_{\text{тр},i} = (2T_{n,i}/d) f_1, \quad (6)$$

где $T_{n,i}$ – текущее значение вращающего момента; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 7; α_i – см. выше; d – диаметр центрального отверстия нажимного диска 5; f_1 – коэффициент трения между стаканом 9 и направляющей

шпонкой 10.

Согласно данным работы [12], для соединений, подобных шпоночному соединению в исследуемой муфте, принимается $f_1 = \text{const}$.

Профиль боковых стенок гнезд стакана 9 построен таким образом, что обеспечивает такое функциональное соответствие между значением КУ и определенным значением коэффициента трения (согласно соотношению (3)), при котором АФМ передает номинальный вращающий момент T_n .

На основе изложенного выше, а также учитывая формулы (2), (5) и (6), запишем:

$$(T_n/r) \operatorname{tg} \alpha_i = cx_i + (2T_n/d) f_1. \quad (7)$$

Поскольку

$$C_i = (R_{cp}/r) \operatorname{tg} \alpha_i, \quad (8)$$

умножим и разделим на R_{cp} левую часть уравнения (7) и, используя соотношение (8), получим:

$$\frac{T_n}{R_{cp}} C_i = cx_i + \frac{2T_n}{d} f_1. \quad (9)$$

В формулах (8) и (9) параметр R_{cp} – средний радиус дорожки трения дисков 3 и 4.

Из уравнения (9) находим:

$$cx_i = T_n \left((C_i/R_{cp}) - (2f_1/d) \right). \quad (10)$$

Предельный вращающий момент АФМ в зависимости от текущего значения коэффициента трения определяется, как и для АФМ первого поколения с постоянным значением КУ, по следующему соотношению [7]:

$$T_{n,i} = zF_n R_{cp} (f_i / (1 + zC_i f_i)), \quad (11)$$

где F_n – сила отдачи замыкающей пружины 6 (см. рис. 1).

Соотношение (11) записано для варианта АФМ со всеми ведущими парами трения, изображенного на рис. 1.

Используя формулу (11) в выражениях (5) и (6), а последние – в уравнении (2), и учитывая в этом уравнении соотношение (10), получаем уравнение второй степени относительно неизвестного C_i . Решение данного уравнения имеет следующий вид:

$$C_i = \left(A - \sqrt{A^2 - B} \right) / D, \quad (12)$$

где

$$A = 2zpf_i f_1 (T_n/d) + zF_n pf_i - (T_n/R_{cp}),$$

$$B = \left(8zT_n pf_i f_1 / (dR_{cp}) \right) \cdot (zF_n R_{cp} pf_i - T_n),$$

$$D = 2zT_n pf_i / R_{cp}.$$

График функции $C_i(f_i)$, построенный с учетом формулы (12), показан на рис. 2 (кривая 3). При построении кривой 3 использованы следующие исходные данные: $F_n = 600$ Н, $R_{cp} = 0,1$ м, $d = 0,06$ м, $f_1 = 0,15$, $C_{\min} = 0,5$, $f_{\min} = 0,1$.

При указанных данных значение номинального вращающего момента, вычисляемое по формуле (11) (с заменой параметров f_i и C_i соответственно параметрами f_{\min} и C_{\min}), составила $T_n = 27,7$ Н·м. Значения параметров z и p приняты теми же, что и при построении кривой 2 на рис. 2.

Кривая 3 показывает, что при всех значениях коэффициента трения значение КУ при буксовании муфты меньше значения КУ, соответствующего срабатыванию АФМ. Это подтверждает, что в результате перемещения тел качения 7 в гнездах стакана 9 при буксовании муфты уменьшается угол давления α_i .

Уменьшение значения КУ в результате буксования муфты формально приводит к увеличению вращающего момента (см. формулу (11)) по сравнению с вращающим моментом, соответствующим срабатыванию АФМ. Однако при этом необходимо принять во внимание уменьшение значения коэффициента трения.

В связи с этим, обратимся к рис. 4, на котором показаны графики зависимости $T_{n,i}(f_i)$ для периода срабатывания муфты и для режима ее буксования (соответственно кривые 1 и 2). Графики построены по тем же исходным данным, что и графики, изображенные на рис. 2.

Значение КУ для построения кривой 1 вычислялось по соотношению (4), значения коэффициента n_i заимствованы из работы [5].

Из рис. 2 следует, что при вращающие моменты при буксовании муфты меньше, чем в период срабатывания. Очевидно, что

основной причиной этого является уменьшение коэффициента трения при буксовании муфты.

Таким образом, в процессе буксования муфта не создает перегрузку, превышающую ту перегрузку, которая возникает в момент ее срабатывания. При буксовании муфты установившееся состояние осевого равновесия стакана 9 при равенстве друг другу всех действующих на нее сил будет поддерживать вращающий момент при ее буксовании.

Однако, значение вращающего момента АФМ при буксовании превышает значение номинального вращающего момента (прямая 3) при всех, даже небольших, значениях коэффициента трения.

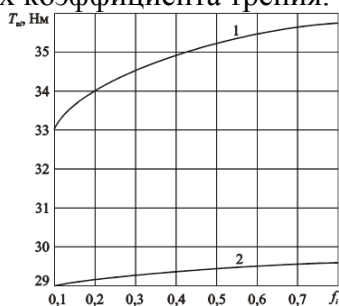


Рисунок 4. Зависимости вращающего момента АФМ от коэффициента трения

В случае остановки работы привода, в составе которого функционирует АФМ, распорная сила на телах качения 7 (рис. 1) обращается в ноль, в результате чего нарушается состояние осевого равновесия стакана 9 и она, под действием силы натяжения пружины 11, перемещается влево (по рисунку 1).

При этом происходит проскальзывание ведущих фрикционных дисков 3 (если полумуфта 1 соединена с двигателем привода) относительно ведомых дисков 4 и перекатывание тел качения 7 по стенкам гнезд. В результате этого происходит возврат всех тел системы в исходное положение.

Если перегрузка в приводе носит кратковременный характер, после срабатывания АФМ быстро прекращается и при этом отключение работы привода не происходит, то, согласно полученному выше результату (вращающий момент муфты при буксовании больше, чем ее номинальный вращающий момент), уменьшение внешней

нагрузки приводит к уменьшению распорной силы на телах качения 7 и к перемещению влево (по рис. 1) стакана 9.

В результате этого тела качения 7 занимают в гнездах положение, соответствующее передаче номинальной нагрузки.

Обсуждение и результаты. Установлено, что значение КУ обратной связи при срабатывании АФМ с переменным значением КУ уменьшается в процессе ее буксования.

Показано, что значение вращающего момента АФМ с переменным КУ в процессе буксования превышает значение ее номинального вращающего момента при всех реальных значениях коэффициента трения, кроме его минимального значения.

Результаты исследования, приведенные в настоящей работе, применимы для определения технико-эксплуатационных характеристик АФМ с переменным значением КУ обратной связи в зависимости от ее конструктивных параметров. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы, как составная часть, при разработке основ теории АФМ, в том числе с переменным значением КУ обратной связи.

Выводы

1. Значение КУ обратной связи при срабатывании АФМ меньше, чем его значение при буксовании муфты при номинальном вращающем моменте.
2. Найдена функциональная зависимость между КУ обратной связи при буксовании АФМ после ее срабатывания и соответствующим коэффициентом трения скольжения.
3. Значение вращающего момента АФМ с переменным значением КУ обратной связи в процессе буксования меньше, чем значение предельного вращающего момента при срабатывании муфты, для всех реальных значений коэффициента трения.
4. Значение вращающего момента АФМ с переменным значением КУ в процессе буксования превышает значение ее номинального вращающего момента при всех реальных значениях коэффициента трения, кроме его минимального значения.
5. По окончании действия внешней перегрузки или при отключении работы

привода машины элементы УУ отрицательной обратной связи занимают положение, соответствующее передаче муфтой номинального вращающего момента.

6. Точность срабатывания АФМ с переменным значением КУ обратной связи зависит от предельного вращающего момента при срабатывании муфты, соответствующего максимальному коэффициенту трения.

Библиографический список

1. Фокин А.Е., Гавриленко М.Д., Шишкарёв М.П. Исследование адаптивной фрикционной муфты с дифференцированными парами трения // Вестн. ДГТУ. – 2011. – Т. 11. – № 1 (52). – С. 49–56.
2. Шишкарёв М.П. Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 2. – С. 42–44.
3. Шишкарёв М.П., Чан Ван Дык. Исследование адаптивной фрикционной муфты с комбинированной обратной связью // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2014. – № 9. – С. 25–32.
4. Запорожченко Р.М. Оптимальные характеристики предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1972. – № 7. – С. 32–36.
5. Есипенко Я.И., Паламаренко А.З., Афанасьев М.К. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.
6. Афанасьев М.К. Исследование фрикционных муфт повышенной точности ограничения нагрузки: Автореф. дис....канд. техн. наук: – Киев, 1971. – 21 с.
7. Тепинкичиев В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 112 с.
8. Кравчук С.В. Универсальные предохранительные муфты // Приводная техника. – 1998. – № 6. – С. 38–40.
9. Запорожченко Р.М. О характеристиках предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1971. – № 1. – С. 48–52.
10. Зельцерман И.М. и др. Фрикционные муфты и тормоза гусеничных машин / И.М. Зельцерман, Д.М. Каминский, А.Д. Оношко. – М.: Машиностроение, 1965. – 238 с.
11. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
12. Запорожченко Р.М. Оптимальные параметры фрикционной предохранительной муфты // Изв. вузов. Машиностроение. – 1974. – № 5. – С. 21–27.

Information about the paper in English

M.P. Shishkarev
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia
E-mail: shishkarevm@mail.ru
Receipt date: March 23, 2022

ANALYZING THE SLIPPING OF AN ADAPTIVE VARIABLE GAIN FRICTION COUPLING

Abstract

This paper describes a relationship between the feedback gain that occurs when an adaptive friction coupling is slipping after it has been enabled and the corresponding sliding friction coefficient. The author shows that when the coupling is slipping, its actual torque exceeds its torque rating at any friction coefficient value, except for the minimum one.

Keywords: Adaptive friction coupling, variable gain, sliding, slipping



УДК 62-822

**М.Е. Гойдо, В.В. Бодров,
Р.М. Багаутдинов, А.А. Важенин**
ООО «Уральский инжиниринговый центр»
г. Челябинск, Россия
E-mail: goido@cheltec.ru
Дата поступления 02.05.2023

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРОФИЛЬНОГО ПРЕССА П-8041 СИЛОЙ 12,5 МН

Аннотация

Приведено описание модернизированной гидросистемы управления горизонтального профильного пресса П-8041 силой 12,5 МН, в которой в качестве рабочей жидкости используется гидравлическое масло. Гидросистема обеспечивает ступенчатое изменение скорости движения выходных звеньев гидроцилиндров, благодаря использованию нескольких нерегулируемых насосов, и непрерывное регулирование скорости, благодаря применению частотно регулируемого электропривода. При работе гидросистемы частично используется потенциальная энергия упругих деформаций, накопленная к концу рабочего хода в рабочей жидкости и в металлоконструкциях пресса, и обеспечивается без применения каких-либо сложных дополнительных устройств качественное (без нарушения сплошности жидкости) наполнение рабочей полости рабочего гидроцилиндра пресс-штемпеля при выдвигании его плунжера с повышенной скоростью с помощью форсирующего гидроцилиндра.

Ключевые слова: профилировочный пресс; электрогидравлическая система управления; модернизация; устройство и работа.

Введение

В 1982 году в новосибирском производственном объединении «Тяжстанкогидропресс» им. А. И. Ефремова был изготовлен в единственном экземпляре специальный горизонтальный гидравлический пресс П-8041 силой 12,5 МН, предназначенный для производства горячим прессованием прямым методом профильных кольцевых и прямолинейных изделий из таких материалов, как сталь, алюминиевые и титановые сплавы.

Для привода пресс-штемпеля указанного пресса используются: один форсирующий, один рабочий и два возвратных гидроцилиндра, — а для привода контейнеродержателя — два прижимных и два возвратных гидроцилиндра. Все перечисленные гидроцилиндры являются плунжерными, и их плунжеры установлены в едином корпусе.

В гидросистеме пресса предусмотрено использование двух видов рабочей жидкости: воды в гидроприводах пресс-штемпеля и контейнеродержателя и гидрав-

лического масла для управления вспомогательными механизмами (загрузчиком заготовок, заталкивателем заготовок в контейнер, инструментальной доской) и клапанными гидрораспределителями гидроприводов пресс-штемпеля и контейнеродержателя. Соответственно, пресс укомплектован насосной установкой небольшой мощности, работающей на гидравлическом масле, и насосно-аккумуляторной станцией (НАС), обеспечивающей гидросистему пресса водой под регулируемым давлением от 7,5 до 32,0 МПа для подачи ее в рабочий гидроцилиндр пресс-штемпеля и водой под практически постоянным давлением 32,0 МПа для подачи ее в форсирующий и возвратные гидроцилиндры пресс-штемпеля и гидроцилиндры привода контейнеродержателя. Выбор максимального давления рабочей жидкости для подачи в рабочий гидроцилиндр пресс-штемпеля определяется диаметром отверстия в контейнере под прессуемую заготовку, установленного в контейнеродержателе, и ограничен прочностными характеристиками используемых при этом пресс-штемпеля и фильтры.

За длительный период эксплуатации пресса гидравлическое оборудование, используемое в составе его гидросистемы и являющееся нестандартным, а также насосы и распределительная гидроаппаратура, входящие в состав НАС, в силу их естественного износа сделали актуальным вопрос об их замене. С учетом же того обстоятельства, что система управления пресса за прошедшие годы морально устарела, принято решение об одновременной модернизации гидросистемы и системы управления пресса.

Цель модернизации гидравлической системы и системы управления пресса состоит в повышении их надежности и ремонтпригодности, повышении удобства работы производственного и обслуживающего персонала, снижении потерь энергии, повышении качества продукции, увеличении объема выпускаемой продукции за счёт снижения простоев пресса по причине выхода из строя оборудования.

Выполнение данной работы поручено ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск), специалисты которого имеют многолетний опыт осуществления модернизации прессового оборудования [1-7].

Основная часть

Поскольку одной из главных целей модернизации является снижение потерь энергии при работе пресса при минимально возможных затратах на проведение модернизации, то принято решение при реконструкции гидросистемы пресса отказаться от дроссельного способа управления, используемого в случае применения существующего насосно-аккумуляторного гидропривода, и в качестве рабочей жидкости для всех гидроприводов использовать гидравлическое масло.

Выбор в качестве рабочей жидкости масла вместо воды диктуется более низкой стоимостью, большей доступностью (распространенностью) и более продолжительным сроком службы гидрооборудования для масляных гидросистем по сравнению с аналогичным по назначению гидрооборудованием для гидросистем, работающих на воде и водной эмульсии. Следует отметить,

что большинство известных мировых производителей прессов (в частности, таких, как фирмы: PAHNKE, SMS MEER, SIEMPELKAMP, DANIELI) в течение многих лет успешно выпускают мощные прессы с гидросистемами, работающими на масле [8].

При работе пресса существует необходимость обеспечения различных значений скоростей движения пресс-штемпеля и контейнеродержателя в зависимости от выполняемых операций и условий их проведения, и в связи с этим требуются различные значения расхода рабочей жидкости, подаваемой в соответствующие гидроцилиндры.

Как известно, при прочих равных условиях наименьшие потери энергии имеют место при использовании насосного гидропривода с машинным управлением или с управлением приводящим двигателем.

При указанных способах управления давление на выходе насоса определяется текущим значением силы сопротивления на выходном звене гидродвигателя, к которому этим насосом подается рабочая жидкость, и потерями давления в гидролиниях и каналах, по которым движется жидкость, и в гидродвигатель поступает вся жидкость, подаваемая насосом.

С учетом вышесказанного и требований к значениям скоростей движения пресс-штемпеля и контейнеродержателя в состав насосной установки высокого давления модернизированной гидросистемы пресса включены шесть идентичных нерегулируемых аксиально-поршневых насосов, один из которых снабжен частотно-регулируемым электроприводом (ЧРЭП) (рисунок 1).

Наличие силового насоса с ЧРЭП позволяет плавно регулировать значения скорости движения пресс-штемпеля при выполнении: холостого хода вперед (в направлении контейнеродержателя и инструментальной доски), ходов распрессовки заготовки и выталкивания пресс-шайбы (при выполнении этих операций рабочая жидкость, подаваемая указанным насосом, поступает только в форсирующий гидроцилиндр) и обратного хода, — а также значе-

ния скорости движения контейнеродержателя как в направлении инструментальной доски, так и в обратном направлении во всем предусмотренном техническим заданием диапазоне изменения перечисленных скоростей. Благодаря применению сило-

вого насоса с ЧРЭП обеспечиваются движение пресс-штемпеля с малыми значениями скоростей при выполнении рабочего хода и возможность плавного снижения скорости движения пресс-штемпеля при приближении его к положению, соответствующему заданной координате останова.

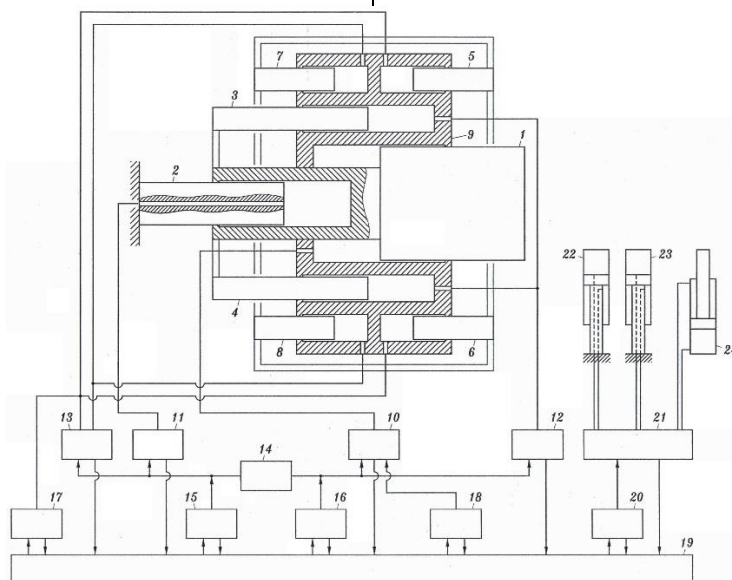


Рисунок 1. Структурная схема модернизированной гидросистемы пресса П-8041:

- 1 — плунжер рабочего гидроцилиндра пресс-штемпеля; 2 — плунжер форсирующего гидроцилиндра пресс-штемпеля; 3, 4 — плунжеры возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля; 5, 6 — плунжеры прижимных гидроцилиндров контейнеродержателя; 7, 8 — плунжеры возвратных гидроцилиндров контейнеродержателя; 9 — корпус блока гидроцилиндров; 10 — гидрораспределитель рабочего гидроцилиндра пресс-штемпеля; 11 — гидрораспределитель форсирующего гидроцилиндра пресс-штемпеля; 12 — гидрораспределитель возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля; 13 — гидрораспределитель прижимных и возвратных гидроцилиндров контейнеродержателя; 14 — суммирующий гидрораспределитель; 15 — блок силового насоса с частотно регулируемым электроприводом; 16 — блок силовых насосов с приводом от нерегулируемых электродвигателей; 17 — блок насоса поддержания давления прижима контейнеродержателя; 18 — установка фильтрации и охлаждения рабочей жидкости; 19 — гидробак; 20 — блок насосов гидропривода вспомогательных механизмов; 21 — гидропанель управления вспомогательными механизмами; 22 — гидроцилиндр загрузчика заготовок; 23 — гидроцилиндр заталкивателя заготовок; 24 — гидроцилиндр привода инструментальной доски

При повышенных скоростях движения пресс-штемпеля во время выполнения рабочего хода изменение его скорости может осуществляться ступенчато путем перевода части силовых насосов с режима разгрузки в режим работы на нагрузку (для увеличения скорости движения пресс-штемпеля) или наоборот (для уменьшения скорости движения пресс-штемпеля). Указанное изменение режима работы каждого из силовых насосов производится посредством индивидуального предохранительного клапана непрямого действия с электрическим управлением, подключенного своим входным каналом к напорному каналу насоса. При этом канал управления каждого из предохранительных клапанов

посредством дополнительных гидрораспределителей с электромагнитным управлением и нормально закрытым проходным сечением соединен с несколькими управляющими предохранительными клапанами прямого действия, настроенными на различные уровни давления. При указании оператором с пульта управления пресса типа используемого контейнера автоматически управляющий канал предохранительного клапана непрямого действия через открывающееся при этом проходное сечение соответствующего гидрораспределителя соединяется с входным каналом предохранительного клапана, настроенного на давление, соответствующее типу используемого контейнера и выполняемой операции.

Благодаря этому, при использовании насоса для осуществления рабочего хода пресс-штемпеля максимальное давление на его выходе и, соответственно, сила, создаваемая на пресс-штемпеле, ограничиваются на необходимом уровне.

С целью минимизации в процессе работы гидросистемы пресса перетечек рабочей жидкости (гидравлического масла) и сокращения номенклатуры гидроаппаратов, используемых для управления вышеперечисленными гидроцилиндрами привода пресс-штемпеля и контейнеродержателя, в модернизированной гидросистеме прессов предусмотрено применение двухлинейных двухпозиционных клапанов встраиваемого исполнения с электрическим управлением. Такие клапаны выпускаются большинством производителей гидравлического оборудования. С учетом требования высокого качества при приемлемой цене в рассматриваемом случае выбраны клапаны производства компании ATOS (Италия).

Напорный канал каждого из пяти силовых насосов с нерегулируемыми приводящими электродвигателями через индивидуальный обратный клапан соединен с общим напорным коллектором этих насосов. Этот коллектор отделен от напорного коллектора, к которому через обратный клапан подсоединен напорный канал силового насоса с ЧРЭП, посредством клапана типа SCLI, снабженного управляющей крышкой типа LIDBH1C со встроенным логическим элементом «ИЛИ», обеспечивающего герметичное разделение входного и выходного каналов клапана при обесточенном электромагните управления и допускающего движение рабочей жидкости через клапан в любом направлении при подаче на электромагнит управляющего электрического сигнала (см. каталожный лист: Modular cartridge valves type LIDEW*P and LIDBH*P: H030-21/E. ATOS. 4 p.). Разделение указанных напорных коллекторов требуется при выполнении холостого хода пресс-штемпеля вперед, ходов распрессовки заготовки и выталкивания пресс-шайбы. При соединении указанных коллекторов появляется возможность использования силового насоса с ЧРЭП при выполнении рабочего и обратного ходов пресс-штемпеля.

Для соединения рабочих полостей прижимных и возвратных гидроцилиндров контейнеродержателя с напорным коллектором используются клапаны типа SCLI, снабженные управляющей крышкой типа LIDBH2C со встроенным логическим элементом «ИЛИ», обеспечивающие герметичное разделение входного и выходного каналов клапана при обесточенном электромагните управления и допускающего движение рабочей жидкости только из входного канала в выходной канал клапана при подаче на электромагнит управляющего электрического сигнала.

Соединение рабочих полостей форсирующего, рабочего и возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля с напорным коллектором выполнено посредством клапана типа SCLI, снабженного управляющей крышкой типа LIDBH1C.

При этом входные каналы напорных клапанов рабочего и возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля соединены с общим напорным коллектором силовых насосов с нерегулируемыми приводящими электродвигателями, а входные каналы напорных клапанов форсирующего гидроцилиндра пресс-штемпеля, прижимных и возвратных гидроцилиндров контейнеродержателя соединены с напорным коллектором силового насоса с ЧРЭП.

Соединение рабочих полостей гидроцилиндров со сливной гидролинией гидросистемы пресса выполнено с использованием клапанов типа SCLI, снабженных управляющей крышкой типа LIDEW1 (для форсирующего и рабочего гидроцилиндров пресс-штемпеля и прижимных гидроцилиндров контейнеродержателя), и клапанов типа SCLI, снабженных управляющей крышкой типа LIMHC (для возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля и прижимных гидроцилиндров контейнеродержателя). Клапаны с управляющей крышкой типа LIMHC являются предохранительными клапанами с электрическим управлением с нормально закрытым проходным сечением и выполняют две функции: сливного клапана при подаче напряжения на их электромагнит управления и предохранительного клапана при обесточенном элек-

тромагните, обеспечивая ограничение максимального давления в рабочих полостях соответствующих гидроцилиндров в случае появления эффекта мультипликации.

Соединение полости рабочего гидроцилиндра пресс-штемпеля со сливной гидролинией выполнено с использованием двух клапанов с управляющей крышкой типа LIDEW1, имеющих разные значения условного прохода. Один из этих клапанов, имеющий меньшее значение условного прохода, служит для разгрузки рабочего гидроцилиндра от высокого давления после завершения рабочего хода пресс-штемпеля и, соответственно, исключения гидравлического удара в сливной гидролинии.

Для частичного использования потенциальной энергии упругих деформаций, накопленной к концу рабочего хода пресса в рабочей жидкости и в металлоконструкциях пресса, алгоритмом управления прессом по окончании рабочего хода предусмотрено закрытие проходного сечения сливного клапана возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля и открытие проходного сечения их напорного клапана после перевода силовых насосов в разгрузочный режим работы (до закрытия проходных сечений напорных клапанов рабочего и форсирующего гидроцилиндров и открытия проходных сечений разгрузочного клапана рабочего гидроцилиндра и сливного клапана форсирующего гидроцилиндра) [9].

При этом разгрузка полостей рабочего и форсирующего гидроцилиндров от давления производится в два этапа. На первом этапе в результате соединения полостей рабочего и форсирующего гидроцилиндров с полостями возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля происходит перетекание рабочей жидкости через открытые проходные сечения напорных клапанов этих гидроцилиндров из рабочих полостей рабочего и форсирующего гидроцилиндров в рабочие полости возвратных гидроцилиндров. В результате давление в рабочем и форсирующем гидроцилиндрах уменьшается, а давление в возвратных гидроцилиндрах увеличивается. Таким образом, на первом этапе разгрузки рабочего и форсирующего гидроцилиндров от давления сразу

происходит преобразование некоторой части потенциальной энергии, накопленной во время рабочего хода вследствие упругих деформаций рабочей жидкости и металлоконструкций пресса, в энергию жидкости, используемую в дальнейшем для выполнения обратного хода пресс-штемпеля.

После выравнивания с заданной погрешностью значений давления в рабочих полостях рабочего, форсирующего и возвратных гидроцилиндров (контроль этих значений давления осуществляют на основании сигналов датчиков давления) указанные полости разобщаются путем закрытия проходных сечений напорных клапанов, и для осуществления второго этапа разгрузки рабочих полостей рабочего и форсирующего гидроцилиндров от высокого давления последние соединяются со сливной гидролинией гидросистемы путем открытия проходных сечений соответствующих сливных клапанов.

В соответствии с вышеизложенным при использовании такого способа управления продолжительность перемещения пресс-штемпеля сокращается на время, необходимое для набора давления в рабочих полостях его возвратных гидроцилиндров и присоединенных к ним трубопроводах перед выполнением обратного хода пресс-штемпеля. Указанный набор давления в рабочих полостях возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля происходит одновременно с первым этапом разгрузки рабочих полостей рабочего и форсирующего гидроцилиндров от высокого давления после окончания рабочего хода и осуществляется за счет части потенциальной энергии, накопленной во время рабочего хода пресс-штемпеля вследствие упругих деформаций жидкости и металлоконструкций пресса.

Для поддержания на необходимом уровне давления в прижимных гидроцилиндрах контейнеродержателя после его перемещения в позицию прессования в составе модернизированной гидросистемы используется дополнительный насос высокого давления с небольшой подачей, напорный канал которого соединен с рабочими полостями прижимных гидроцилиндров через обратный клапан. Если давление прижима находится в установленных пределах,

указанный насос работает в режиме разгрузки.

Гидробак модернизированной гидросистемы укомплектован датчиками уровня и температуры рабочей жидкости, воздушными фильтрами (сапунами), люками для проведения осмотра внутренней поверхности бака и его очистки, шаровыми кранами для слива рабочей жидкости.

Для решения задач поддержания, требуемых температуры и чистоты рабочей жидкости в составе модернизированной гидросистемы, имеется установка кондиционирования (фильтрации и охлаждения) рабочей жидкости, укомплектованная циркуляционными насосами, фильтрами, оснащенными электровизуальными сигнализаторами загрязненности, теплообменным аппаратом с водяным охлаждением, датчиками давления, манометрами, комплектом шаровых кранов и обратных клапанов. В сливном трубопроводе установки кондиционирования установлен обратный клапан, обеспечивающий на своем входе при работе циркуляционных насосов подпор на уровне $0,3 \div 0,4$ МПа. Входной канал указанного обратного клапана посредством клапана, аналогичного напорному клапану рабочего гидроцилиндра, соединен с выходным каналом напорного клапана рабочего гидроцилиндра и выполняет функцию клапана наполнения.

Существуют различные способы наполнения полости рабочего гидроцилиндра пресса рабочей жидкостью в период выдвижения его плунжера с высокой скоростью в период выполнения холостого хода: 1) с использованием бака наполнения; 2) с помощью дополнительных насосов низкого давления; 3) посредством гидропреобразователя, работающего как мультипликатор расхода и обеспечивающего получение требуемого расхода рабочей жидкости на его выходе (со стороны рабочей полости с большим характерным геометрическим размером) за счет энергии жидкости, поступающей на его вход (со стороны рабочей полости с меньшим характерным геометрическим размером) при меньшем расходе; 4) путем оснащения пресса дополнительными гидроцилиндрами низкого давления [10].

В модернизированной гидросистеме пресса задача наполнения полости рабочего гидроцилиндра при выдвижении его плунжера с высокой скоростью решается без применения каких-либо сложных дополнительных устройств. При холостом ходе прессштемпеля вперед, ходах распрессовки заготовки и выталкивания пресс-шайбы, которые выполняются при подаче рабочей жидкости в форсирующий гидроцилиндр от силового насоса с ЧРЭП, в рабочий гидроцилиндр жидкость поступает от силовых насосов с нерегулируемыми приводящими электродвигателями, которые при этом работают в режиме загрузки при ограничении максимального давления на их выходе на уровне порядка 1,0 МПа, от циркуляционных насосов и из рабочих полостей возвратных гидроцилиндров пресс-штемпеля, благодаря одновременному открытию проходных сечений напорных клапанов рабочего и возвратных гидроцилиндров.

Заключение

В соответствии с вышеизложенным модернизированная электрогидравлическая система пресса П-8041:

- отличается пониженными потерями энергии при работе, поскольку в ней не используется дроссельный способ управления;
- обеспечивает при этом необходимый диапазон скоростей движения пресс-штемпеля и контейнеродержателя в каждом из двух возможных направлений;
- позволяет частично использовать потенциальную энергию упругих деформаций, накопленную к концу рабочего хода в рабочей жидкости и в металлоконструкциях пресса;
- обеспечивает без применения каких-либо сложных дополнительных устройств качественное (без нарушения сплошности жидкости) наполнение рабочей полости рабочего гидроцилиндра при выдвижении его плунжера с использованием форсирующего гидроцилиндра.

Библиографический список

1. Модернизация гидравлической системы радиально-ковочной машины

- усилием 8 МН / Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Гойдо М.Е. и др. // *Металлург*. 2002. № 12. С. 48-50.
2. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Носенко А.А. Режимы работы штамповочного пресса НП-130 с модернизированной электрогидравлической системой управления // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2009. № 3. С. 31-34.
 3. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Серебряков П.Б. Управление подвижной траверсой ковочного пресса в автоматическом режиме работы // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2012. № 6. С. 14-19.
 4. Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Батурин А.А., Гойдо М.Е. Опыт модернизации гидроприводов и систем управления прессов // *Индустрия*. 2014. № 2. С. 51-55.
 5. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Технические решения для улучшения характеристик работы гидроприводов прессов // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2015. № 4. С. 25-32.
 6. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Шнайдер Л.Б. Реконструкция ковочного пресса “UNITED” силой 20 МН // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2016. — № 4. С. 20-25.
 7. Бодров В.В., Гойдо М.Е., Опарин С.В., Шляпин Е.А. Использование унифицированных схемных решений при модернизации гидросистем штамповочных прессов // *Metal Russia*. 2020. № 2 (март-апрель). С. 8-10.
 8. Ганс-Йоахим Панке и разработка пресса свободнойковки / Составитель: В. Вестермейер; Под ред. К. Бильхарца. Метцинген (Германия): ВЕПУКО ПАНКЕ ГмбХ, 2012. 53 с.
 9. Гойдо М.Е. О сохранении энергии упругих деформаций при работе гидравлического пресса // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2022. Т. 20, № 2. С. 70-76.
 10. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Способы наполнения рабочих гидроцилиндров гидравлических прессов при выполнении хода приближения // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2022. № 2. С. 32-38.

Information about the paper in English

M.E. Goydo, V.V. Bodrov, R.M. Bagautdinov, A.A. Vazhenin
 Ural Engineering Centre LLC
 Chelyabinsk, Russia
 E-mail: goido@cheltec.ru
 Receipt date: May 02, 2023

AN UPGRADED ELECTROFLUIDIC CONTROL SYSTEM OF 12.5 MN HORIZONTAL
 EXTRUSION PRESS P-8041

Abstract

This paper describes an upgraded hydraulic control system of a 12.5 MN horizontal extrusion press P-8041, which uses hydraulic oil as the working fluid. The hydraulic system ensures a stepwise change in the speed of output arms, due to the use of several fixed pumps, and a continuous speed adjustment, due to the use of a variable-frequency drive. The hydraulic system partially uses the potential energy of elastic strains accumulated at the end of a stroke in the working fluid and in the press structure. Thus, no additional sophisticated devices are needed for the hydraulic cylinder cavity to be filled up with working fluid in a proper way (avoiding discontinuity) when the piston is pushed out at a higher rate by the booster cylinder.

Keywords: Extrusion press, electrofluidic control system, upgrade, design and operation



УДК 621.793

**В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский,
А.В. Сосновский, А.Н. Григорчик**
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: GrigorchikAN@gmail.com
Дата поступления 19.05.2023

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ti-TiN, ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Аннотация

Исследовано структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства газотермических покрытий системы Ti-TiN, полученных методом высокоскоростной металлизации по различным режимам. В качестве материалов для высокоскоростной металлизации использовались проволочные материалы из титановых сплавов BT1-0 и OT4. Показано, что фазовый состав напыленного покрытия из титанового сплава OT4 включает в себя кубический нитрид титана TiN_x , Ti и небольшое количество оксида TiO_2 . На основании значений параметров кристаллической решетки, $a = 0,4209 - 0,4218$ нм кубической нитридной фазы TiN_x установлено, что $x \approx 0,50$ до $0,70$. Покрытия из сплава, BT1-0 помимо вышеуказанных соединений, содержат гексагональную фазу $TiN_{0,3}$, которая представляет собой твердый раствор азота в ГПУ решетке титана. Установлено, что давление пропана, используемого при напылении покрытий, оказывает существенное влияние на их пористость, содержание нитрида титана и дюрометрические свойства покрытий. Покрытия, полученные при давлении пропана $0,60$ МПа, имеют относительно пониженную пористость $\approx 18-23$ об. % и более высокую твердость ($650-670$ HV 10) по сравнению с покрытиями, напыленными при давлениях пропана $0,17-0,40$ МПа (пористость – $25-35$ об. % и твердость $480-610$ HV 10). Максимальные значения микротвердости ($1400-1700$ HV 0,025) композиционных покрытий из титановых сплавов регистрируются после напыления при давлении пропана $0,30$ МПа, которое обеспечивает уменьшение среднего размера распыляемых частиц титана (до $\approx 15-20$ мкм), что способствует увеличению поглощения ими атомов азота.

Ключевые слова: композиционные покрытия, высокоскоростная металлизация, фазовый состав, пористость, нитрид титана, микротвердость.

Введение

Традиционно синтез нитрида титана осуществляется методом осаждения пленок на подложку (газофазное и ионно-плазменное осаждение, вакуумно-дуговое и активированное реакционное испарение) или формированием порошка с последующим спеканием [1]. В работе [2] было показано, что метод высокоскоростной металлизации позволяет формировать газотермические покрытия из титановых сплавов, содержащих повышенное количество высокопрочного и твердого нитрида титана. Известно, что титан при горении в воздухе при темпе-

ратурах свыше 900°C интенсивно взаимодействует с азотом с образованием нитридов [3 - 5]. Особенно интенсивно реакция взаимодействия азота с титаном протекает при его расплавлении. Образовавшийся нитрид титана на поверхности жидкого титана препятствует диффузии кислорода из окружающей среды, однако, при медленном охлаждении нитрид титана трансформируется в оксид, который является более стабильным [3]. Можно полагать, что ускоренный нагрев и плавление титановой проволоки в процессе высокоскоростной металлизации, а также ускоренный перенос жидких капель и их быстрое охлаждение на обрабатываемой поверхности позволяет

фиксировать повышенное количество метастабильной нитридной фазы TiN в покрытиях. В тоже время, формирование покрытий, включающих большое количество нитрида титана методом высокоскоростной металлизации может позволить существенно удешевить и упростить получение износостойких слоев, используемых на поверхностях трибосопряжений и режущего инструмента, в качестве декоративных покрытий, защитных слоев в медицине и химической промышленности, а также в качестве электропроводящих слоев в микроэлектронике [1, 6 - 7]. Таким образом, разработка новых производительных способов формирования покрытий на базе нитрида титана является актуальной задачей и целью данной работы являлось исследование структуры, фазового состава и дюрометрических свойств композиционных газотермических покрытий системы Ti-TiN, полученных методом высокоскоростной металлизации.

Основная часть

Получение образцов и методики их исследований. В качестве объектов исследований были выбраны газотермические покрытия из титановых сплавов BT1-0 и OT4. Химический состав напыленных покрытий представлен в таблице 1. Напыление выполнялось методом высокоскоростной металлизации с использованием установки АДМ-10 [8]. При напылении образцов из титанового сплава BT1-0 давление пропана составляло 0,30 МПа, а случае напыления покрытий из титанового сплава

OT4 давление варьировалось в диапазоне от 0,17 до 0,60 МПа. Давление воздуха при напылении составляло 0,37 МПа, а дистанция напыления находилась в диапазоне от 125 до 150 мм. Покрытие напылялось на пластину (40×40×5 мм), изготовленную из стали 35. Толщина покрытий составляла ≈ 1,0 мм. Для исследований структуры, фазового состава, а также измерений твердости и микротвердости из пластин с напыленными слоями вырезались образцы с размерами 8×5×5 мм.

Металлографические исследования композиционных газотермических покрытий из титановых сплавов проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Исследование фазового состава покрытий, выполнялось на дифрактометре POWDIX 600 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_α) излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотеккой PDF-2. Измерения твердости и микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan20 при нагрузке на индентор 10 кг и 50 г, соответственно.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате газотермического напыления титановых проволок из сплавов BT1-0 и OT4 методом высокоскоростной металлизации формируются слоистые покрытия, характеризующиеся повышенной пористостью (таблица 2).

Таблица 1

Химический состав напыленных газотермических покрытий из титановых сплавов

Материал напыляемой проволоки	Массовая доля элемента, масс. %								
	Al	P	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
OT4	1,971	0,048	0,018	Ост.	0,011	0,243	0,266	0,021	0,010
BT1-0	0,291	0,040	0,018	Ост.	0,152	-	-	0,021	0,014

Таблица 2

Пористость напыленных газотермических покрытий из титановых сплавов BT1-0 и OT4, полученных методом высокоскоростной металлизации

Материал и давление пропана (P) при напылении	Пористость, об. %
OT4, P = 0,17 МПа	30-35
OT4, P = 0,30 МПа	28-33
OT4, P = 0,30 МПа, подогрев подложки до 400 ⁰ С	23-28
BT1-0, P = 0,30 МПа	23-28
OT4, P = 0,40 МПа	25-30
OT4, P = 0,60 МПа	18-23

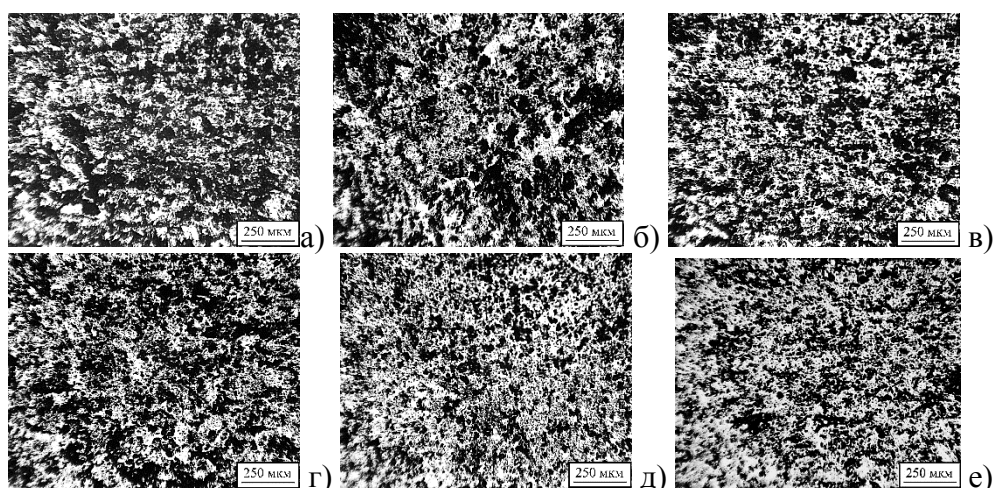


Рисунок 1. Микроструктуры газотермических покрытий из титановых сплавов ОТ4 (а, б, в, г, д) и VT1-0 (е), полученных методом высокоскоростной металлизации при различных давлениях пропана: а – давление пропана 0,17 МПа; б – давление пропана 0,30 МПа; в – давление пропана 0,30 МПа + подогрев подложки до 400⁰С; г - давление пропана 0,40 МПа; д - давление пропана 0,60 МПа; е - давление пропана 0,30 МПа

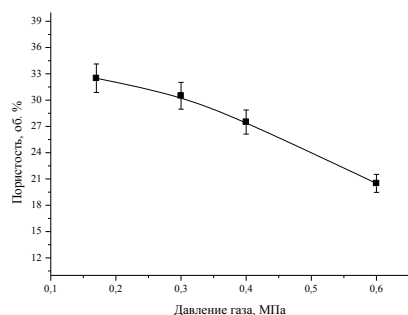


Рисунок 2. Зависимость пористости газотермических покрытий из титанового сплава ОТ4 от давления горючего газа (пропана), используемого при металлизации

Из представленных на рисунках 1, 2 и в таблице 2 данных можно видеть, что с увеличением давления пропана при напылении покрытий из титановых сплавов их пористость снижается. В частности, покрытие, полученное при давлении пропана 0,17 МПа, характеризуется наличием относительно крупных пор по сравнению с покрытиями, полученными при давлениях воздуха 0,40 и 0,60 МПа (рисунок 1). Наличие крупных пор в покрытии из сплава ОТ4, сформированном при пониженном давлении воздуха, связано с меньшей скоростью полета расплавленных частиц Ti и их большими размерами по сравнению с формируемыми при высоком давлении пропано-воздушной смеси мелкими частицами. Также известно, что уменьшению пористости материалов из цветных сплавов при литье способствует подогрев формы, используемой для формирования отливки [9]. В

связи с этим, проводилось напыление титанового сплава ОТ4 на предварительно разогретую до 400⁰С стальную подложку. В результате напыления титана при давлении пропана 0,30 МПа на подогретую стальную подложку формировалось покрытие с пониженной пористостью, составляющей 23-28 об. % по сравнению с покрытием напыленным при том же давлении на холодную стальную подложку (таблица 2). Однако, необходимо отметить, что покрытие, полученное при давлении пропана 0,60 МПа на холодной подложке (20⁰С) имеет более низкую пористость по сравнению с покрытием на разогретой подложке (таблица 2). Покрытие из титанового сплава VT1-0, полученное при давлении пропана 0,30 МПа имеет пористость сопоставимую с пористостью покрытий из титанового сплава ОТ4, сформированном при 0,30 МПа (таблица 2). Можно видеть, что химический состав распыляемых титановых сплавов не оказывает влияния на пористость напыляемых покрытий. Таким образом, можно сделать вывод, что давление горючего газа при металлизации оказывает существенное влияние на пористость напыляемых покрытий из титановых сплавов (рисунок 2).

Фазовый состав напыленных композиционных покрытий из титановых сплавов представлен на рентгеновских дифрактограммах на рисунке 3. Можно видеть, что фазовый состав газотермических покрытий из титанового сплава ОТ4, полученных при

различных давлениях пропана, включает в себя нитрид титана TiN_x с кубической кристаллической решеткой, Ti и небольшое количество оксида TiO_2 (рисунок 3). В тоже время, фазовый состав покрытия из сплава VT1-0 дополнительно содержит фазу $TiN_{0,3}$, которая представляет собой твердый раствор азота в ГПУ решетке титана. Образование фазы $TiN_{0,3}$ в покрытиях из сплава VT1-0 может быть связано с пониженным содержанием в сплаве легирующих элементов и, в частности, алюминия, который активно взаимодействует с азотом и кислородом. Необходимо отметить, что параметр кристаллической решетки кубического TiN_x составляет, $a = 0,4209 - 0,4218$ нм. Регистрируемые значения параметра кристаллической решетки кубического TiN_x отвечают значениям $x \approx 0,50$ до $0,70$ [10, 11].

Формирование нитрида титана в процессе напыления происходит за счет взаимодействия капель расплавленного в электрической дуге титанового сплава с ионизированными атомами азота, содержащимися в продуктах сгорания пропано-воздушной смеси после прохождения ими области электродугового разряда. В результате указанного взаимодействия, вследствие низкой энергии образования нитрида титана, ионизированные атомы азота интенсивно образуют соединение TiN_x (стандартная энтальпия ΔH образования TiN при 298 К: составляет: -323 кДж/моль [11]), формирующееся на поверхности расплавленных капель и входящее в состав покрытий. Далее, в процессе высокоскоростного напыления, жидкие капли титана, покрытые слоем TiN_x , бомбардируют подложку и расплющиваются, приобретая пластинчатую форму. При этом нитридные поверхностные слои растрескиваются, что приводит к микросвариванию смежных титановых частиц и формированию прочного покрытия $Ti-TiN_x$. Ускоренный перенос ($\approx 10^{-4}$ с) расплавленных частиц в процессе металлизации, а также их быстрое охлаждение на холодной стальной подложке предотвращает переход образовавшегося нитрида титана в более стабильный оксид титана. Толщина формирующейся нитридной пленки на поверхности частиц титана

будет зависеть от продолжительности контакта частиц с ионизированными атомами и от реакционноспособной площади поверхности титановых частиц, которая увеличивается с уменьшением их размера. При этом, в случае пониженного давления пропано-воздушной смеси (0,17 МПа), снижается скорость истечения продуктов сгорания из сопла Лавала металлизатора [8], что приводит к увеличению среднего размера распыляемых частиц титана до 25-30 мкм и уменьшению количества поглощенных ими атомов азота из-за уменьшения площади поверхности частиц. В результате регистрируется относительно пониженное содержание TiN_x в покрытии (≈ 45 об. %). С увеличением давления пропано-воздушной смеси до 0,30 МПа растет скорость истечения продуктов сгорания, а также уменьшается средний размер распыляемых частиц титана (до 15-20 мкм), что способствует увеличению поглощения ими атомов азота. При этом растет доля синтезирующегося TiN_x (до ≈ 60 об. %). Дальнейшее повышение давления пропано-воздушной смеси до 0,40 и 0,60 МПа при напылении приводит к закономерному снижению количества нитрида титана в покрытиях (таблица 3). При таких режимах напыления частицы Ti незначительно изменяются в размере ($\approx 12-15$ мкм), но увеличение скорости полета расплавленных капель титана в атмосфере ионизированных газов и, соответственно, уменьшение времени их взаимодействия с ионизированными атомами азота воздуха приводит к некоторому снижению содержания TiN_x в покрытиях (таблица 3).

Таким образом, можно сделать вывод, что для формирования покрытий из титановых сплавов, содержащих повышенное количество нитрида титана необходимо использовать при напылении проволочные материалы из титановых сплавов, содержащих пониженное количество легирующих элементов, активно взаимодействующих с азотом, а также проводить процесс высокоскоростной металлизации при давлении пропана 0,30 МПа (таблица 3).

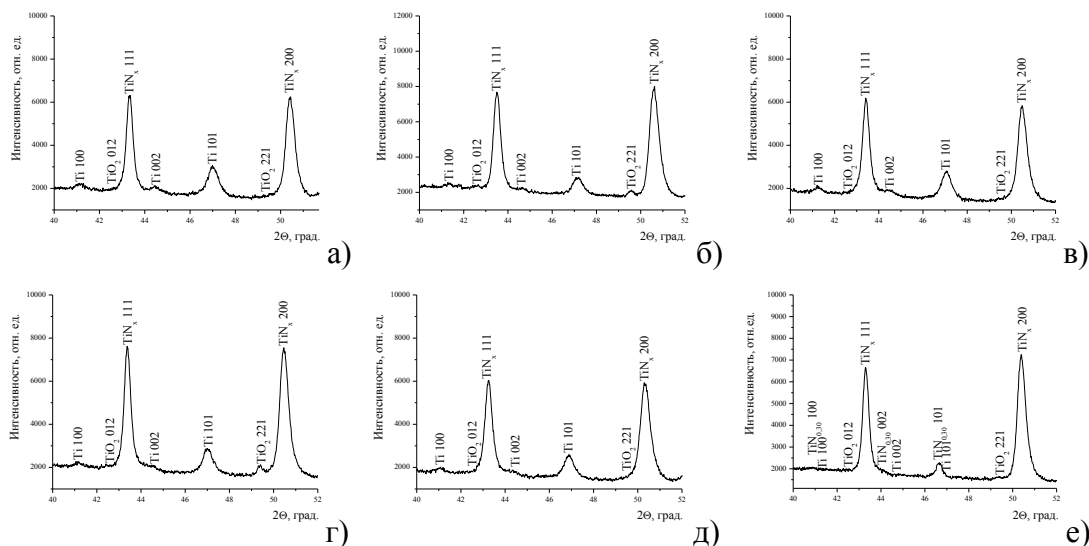


Рисунок 3. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (CoK_α) газотермических покрытий из титановых сплавов ОТ4 (а, б, в, г, д) и ВТ1-0 (е), полученных методом высокоскоростной металлизации при различных давлениях пропана: а – давление пропана 0,17 МПа; б – давление пропана 0,30 МПа; в – давление пропана 0,30 МПа + подогрев подложки до 400°C ; г - давление пропана 0,40 МПа; д - давление пропана 0,60 МПа;

Таблица 3.

Содержание нитрида титана в напыленных композиционных газотермических покрытиях из сплавов ВТ1-0 и ОТ4

Материал и давление пропана (P) при напылении	Отношение интенсивностей дифракционных линий TiN_x 200/ Ti 101	Объемное содержание TiN_x , об. %
ОТ4, P = 0,17 МПа	2,04	45
ОТ4, P = 0,30 МПа	2,81	60
ОТ4, P = 0,30 МПа, подогрев подложки до 400°C	2,08	50
ВТ1-0, P = 0,30 МПа	3,19	70
ОТ4, P = 0,40 МПа	2,62	55
ОТ4, P = 0,60 МПа	2,29	50

Таблица 4.

Твердость и микротвердость напыленных композиционных газотермических покрытиях из сплавов ВТ1-0 и ОТ4

Материал и давление пропана (P) при напылении	Твердость, HV 10	Микротвердость, HV 0,05
ОТ4, P = 0,17 МПа	480-520	1200-1400
ОТ4, P = 0,30 МПа	600-620	1400-1600
ОТ4, P = 0,30 МПа, подогрев подложки до 400°C	620-640	1200-1400
ВТ1-0, P = 0,30 МПа	620-640	1500-1700
ОТ4, P = 0,40 МПа	580-610	1300-1450
ОТ4, P = 0,60 МПа	650-670	1200-1400

Результаты измерений твердости и микротвердости газотермических покрытий из титановых сплавов ВТ1-0 и ОТ4 представлены в таблице 4. Можно видеть, что покрытие из титанового сплава ОТ4, напыленное при давлении пропана 0,60 МПа и имеющее наименьшую пористость (таблица 2, рисунок 1), характеризуется повышенными значениями твердости (таблица 4). Вместе с тем, микротвердость покрытия существенно ниже, чем у покрытий

из титанового сплава ОТ4, напыленных при давлениях пропана 0,30 и 0,40 МПа, а также ниже чем у покрытия из титанового сплава ВТ1-0 (таблица 4). Это связано с формированием в покрытиях, получаемых при высоких давлениях пропана, пониженного количества нитрида титана (таблица 3).

На основании полученных данных твердости и микротвердости композиционных покрытий из титановых сплавов можно сделать вывод, что наибольшее влияние на

макротвердость оказывает пористость покрытий (таблица 2, 4). В частности, с уменьшением пористости твердость покрытий возрастает несмотря на снижение микротвердости. Вместе с тем, микротвердость покрытий существенно зависит от содержания в них нитрида титана, количество которого увеличивается при повышении давления пропана при напылении с 0,17 до 0,30 МПа и снижается при его дальнейшем повышении до 0,40-0,60 МПа (таблица 4).

Заключение

Исследовано структурно-фазовое состояние и дюротметрические свойства композиционных газотермических покрытий на базе титановых сплавов ВТ1-0 и ОТ4, полученных методом высокоскоростной металлизации по различным режимам. Установлено, что фазовый состав газотермических покрытий из титанового сплава ОТ4 включает в себя нитрид титана TiN_x с кубической кристаллической решеткой, Ti и небольшое количество оксида TiO_2 . Исходя из значений параметров кристаллической решетки кубического нитрида титана, составляющих $a = 0,4209 - 0,4218$ нм, установлено, что величина x находится в пределах от 0,50 до 0,70. Фазовый состав покрытия из сплава ВТ1-0 помимо вышеуказанных соединений содержит гексагональную фазу $TiN_{0,3}$, которая представляет собой твердый раствор азота в ГПУ решетке титана. Образование фазы $TiN_{0,3}$ в покрытиях из сплава ВТ1-0 может быть связано с пониженным содержанием в сплаве легирующих элементов и, в частности, алюминия, который активно взаимодействует азотом и кислородом.

Показано, что давление пропана, используемого при напылении, оказывает существенное влияние на пористость и содержание нитрида титана в сформированных покрытиях. Покрытия, полученные при давлении пропана 0,60 МПа, имеют относительно пониженную пористость $\approx 18-23$ об. % и более высокую твердость (650-670 HV 10) по сравнению с покрытиями, напыленными при давлениях пропана 0,17-0,40 МПа (пористость – 25-35 об. % и твердость 480-610 HV 10). Напыление покрытий из титановых сплавов при повышенных

давлениях горючего газа приводит к уменьшению размеров распыляемых частиц и времени полета расплавленных капель титана в атмосфере ионизированных газов и, соответственно, к уменьшению времени их взаимодействия с ионизированными атомами азота воздуха, что в свою очередь, сопровождается некоторым снижением содержания TiN_x в покрытиях. Кроме этого, напыление композиционных покрытий из титановых сплавов при пониженном давлении пропана 0,17 МПа, также приводит к формированию покрытий с пониженным количеством нитрида титана, что обусловлено большим размером распыляемых капель ($\approx 25-30$ мкм) и уменьшением площади поверхности частиц, вступающих в реакцию с азотом воздуха. Снижение количества нитрида титана в напыленных покрытиях приводит к снижению их микротвердости до 1200-1400 HV 0,025. При этом, максимальные значения микротвердости (1400-1700 HV 0,025) композиционных покрытий из титановых сплавов регистрируются после напыления при давлении пропана 0,30 МПа, которое обеспечивает уменьшение среднего размера распыляемых частиц титана (до $\approx 15-20$ мкм), что способствует увеличению поглощения ими атомов азота.

Библиографический список

1. Марьева Е.А. Электрохимическое модифицирование титана в водноорганических электролитах / Монография. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. 151 с.
2. Structure and Tribological Properties of a Ti-TiN Coating Obtained by Hypersonic Metallization / V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovskii, A.N. Grigorchik, A.V. Sosnovskii // Journal of Friction and Wear, 2022, Vol. 43, No. 5, pp. 300–304.
3. Строкова Ю.И., Громов А.А., Пономарев М.Ю., Верецагин В.И. О нитридообразовании при горении порошковых смесей Ti-TiO₂ и Ti-Al в воздухе в режиме СВС // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44. №5. С. 131 – 135.
4. Ильин А.П., Роот Л.О. Высокотемпературное химическое связывание

- азота воздуха // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. №3. С. 6 – 11.
5. Копыт Н.Х., Садлий Т.П., Калинин В.В. и др. Влияние растворенных газов на энергетические характеристики титана // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. №1. С. 30 – 34.
 6. Окислительное конструирование компактных керамик на основе нитридов V, Nb, Ta и Ti. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Москва 2018.
 7. Мордвинцев В.М., Наумов В.В., Симакин С.Г. Влияние давления кислорода на процесс окисления поверхности нитрида титана в плазме // МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. 2019. Т. 48. №6. С. 460–466.
 8. Белоцерковский М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий /

Монография. Минск: УП «Техно-принт». 2004. 200 с.

9. Галдин Н.М., Чернега Д.Ф., Иванчук Д.Ф. и др. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др.; под общ. ред. Н.М. Галдина. – М.: Машиностроение. 1989. 528 с.
10. Громов А.А., Закономерности процессов получения нитридов и оксинитридов элементов III и IV групп: учебное пособие / А.А. Громов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 199 с.
11. Самсонов Г.В., Кулик О.П., Полищук В.С. Получение и методы анализа нитридов. – «Наук. думка», 1978. – 320 с.

Работа выполнена в рамках гранта докторантам НАН Беларуси (№ 2023-26-044 от «3» апреля 2023 г.)

Information about the paper in English

**V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovskiy,
A.V. Sosnovskiy, A.N. Grigorchik**
The Joint Institute of Mechanical Engineering of the
National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: GrigorchikAN@gmail.com
Receipt date: May 19, 2022

STRUCTURAL AND PHASE STATE OF COMPOSITE THERMAL SPRAY TI-TIN COATINGS PRODUCED BY HIGH-SPEED METAL COATING PROCESS

Abstract

This paper examines the structural and phase state and the durometric properties of thermal spray Ti-TiN coatings produced in different modes of high-speed metal coating process. Wire of titanium alloys VT1-0 and OT4 was used as the coating material. The paper shows that the phase composition of the OT4 coating contains a cubic titanium nitride TiN_x, Ti and a small amount of TiO₂. On the basis of the cubic lattice parameters: $a = 0,4209 - 0,4218$ nm of cubic nitride phase TiN_x, it was established that $x \approx 0.50$ to 0.70 . VT1-0 coatings, apart from the above compounds, contain a hexagonal phase TiN_{0.3}, which is a solid solution of nitrogen in the HCP lattice of titanium. It was found that the pressure of propane, which is used for spraying, has a considerable effect on the porosity of coatings, the concentration of titanium nitride and their durometric properties. Coatings produced at the propane pressure of 0.60 MPa have a relatively low porosity ($\approx 18-23$ vol %) and a higher hardness (650-670 HV 10) compared with the coatings installed at the propane pressure of 0.17-0.40 MPa (porosity – 25-35 vol % and hardness 480-610 HV 10). Maximum microhardness values (1,400-1,700 HV 0.025) of composite titanium alloy coatings are registered when the spraying is done at 0.30 MPa of propane pressure. Because of this, the average size of the sprayed titanium particles is reduced to $\approx 15-20$ μm , which raises their absorption of nitrogen atoms.

Keywords: Composite coatings, high-speed spraying, phase composition, porosity, titanium nitride, microhardness.



УДК 669.2

М.В. Андросенко, А.Д. Киричко, И.М. Потапов

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Россия

А.П. Кошелев Арсений

ГБПОУ «Магнитогорский педагогический колледж»

г. Магнитогорск, РФ

E-mail: m.Androsenko@magtu.ru

Дата поступления 21.06.2023

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БАРАБАННОГО ГРОХОТА В УСЛОВИЯХ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ

Аннотация

Агломерат представляет собой смесь железной руды, окислов и других процессов, которые используются в производстве стали в доменных печах. Качество агломерата приходится на такие показатели работы печей, как эффективность, энергетическая эффективность и стоимость производства.

Для отсева мелочи сыпучих материалов на аглофабрике отвечают самобалансные наклонные откатные грохоты.

Анализ работы самобалансного откатного грохота ГСТ42 для отсева мелочи агломерата, выявил, что его применение оказывает существенное влияние на персонал фабрики (запылённость, вибрация), предлагается для отсева мелочи агломерата использовать барабанный грохот, который чаще всего применяются при процессах обогащения рудных материалов.

Ключевые слова: аглофабрика, самобалансный грохот, барабанный грохот, агломерат, бандаж, зубчатый венец.

Введение

Горно-обогажительный промышленный комплекс представляет собой комплексное производство, включающее в себя горнодобывающие и обогажительные предприятия, которые являются следствием обогащения полезных ископаемых. Они работают в различных секторах горнодобывающей промышленности, таких как добыча угля, железной руды, редких металлов, золота, алмазов и других полезных ископаемых.

Основные компоненты горно-обогажительного промышленного комплекса:

Шахты: включают в себя различные типы шахт, такие как горные, угольные, рудные и т.д. Шахты используются для вертикальной или наклонной добычи полезных ископаемых из подземных залежей.

Рудники: Рудники пользуются собственными открытыми горными работами для добычи руд и других полезных ископаемых. Рудники могут быть карьерными,

глинистыми, песчаными и т.д., в зависимости от типа добываемого сырья.

Обогажительные фабрики: Обогажительные фабрики или фабрики, использующие ресурсы для обработки и обогащения сырого материала. Это могут быть установки для сортировки, дробления, измельчения, разделения, флотации, магнитной и газовой сепарации и процессы, которые позволяют получать необходимую продукцию высокого качества и характеристик.

Транспортные системы: Важную роль играют транспортные системы, которые увеличивают скорость поступления и готовой продукции внутри комплекса и за его пределами. Это может быть связано с конвейерными лентами, железными дорогами, автомобильными дорогами, трубопроводами и другими видами транспорта.

Железная руда является результатом окисленного (концентрированного) железорудного сырья. Железная руда представляет собой природное повышенное об-

разование, содержащее повышенное содержание железа и других элементов, которые делают ее ценным сырьем для производства стали и других металлов. Для получения стали и других металлов из железной руды требуется процесс ее обогащения. Это включает в себя различные этапы обработки и обогащения, такие как дробление, измельчение, магнитная и гравитационная сепарация, флотация и другие технологии. После обогащения полученный концентрат железной руды поступает на переработку в металлургических производствах для получения готовой стали или других металлических продуктов.

Основная часть

Аглофабрика №5 расположена в восточной части левобережного района Магнитогорска, северо-восточного агломерационного производства ПАО "ММК". На аглофабрике установлен самобалансный наклонный откатной грохот ГСТ42 (рисунок 1). Этот тип грохота используется для разделения агломерата на фракции путем отсева мелочи и сыпучих материалов. ГСТ42 имеет специальную конструкцию, позволяющую достичь эффективного разделения материалов на основе их размера.

Самобалансный грохот обеспечивает равномерное распределение материала по площади сетки и минимизирует вибрацию, что способствует более эффективному отсеву мелочи. Наклонный механизм позволяет регулировать угол наклона грохота в зависимости от требуемых условий и размера фракций, что повышает гибкость процесса сортировки.

Установка ГСТ42 на аглофабрике позволяет достичь более точного и эффективного отсева мелочи агломерата, что в свою очередь может улучшить качество производимого агломерата и повысить показатели работы доменных печей.

Грохот состоит из следующих основных узлов: сварного корпуса 1 с колосниковой решеткой 2, вибрационного привода 3, опорной тележки 4 и системы охлаждения корпуса.

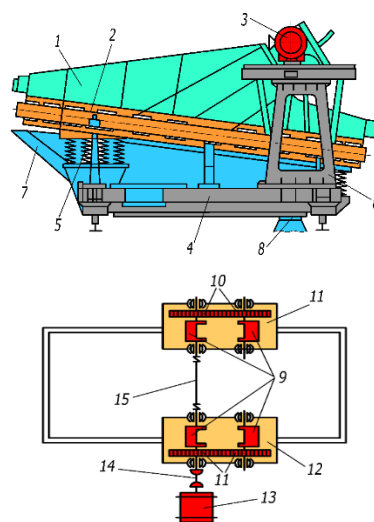


Рисунок 1. Самобалансный откатной грохот ГСТ42 для отсева мелочи агломерата:

а – общий вид;

б – кинематическая схема привода;

в - схема работы дебалансов

Колосниковые плиты являются важным элементом для процесса просеивания и отсева материала. Они пользуются особыми плитами с отверстиями или щелями определенного размера, через которые проходит сыпучий материал.

Выбор размера отверстий или щелей в колосниковых плитах зависит от требуемого размера фракций, которые необходимо отсечь.

Колосниковые плиты обычно закрепляются на нижних балках с помощью различных методов крепления, таких как болты, сварка или другие специальные крепежные элементы. Это обеспечивает надежное и прочное крепление плит к корпусу грохота, чтобы они могли эффективно просеивать материал и выдерживать воздействие вибраций и нагрузок в процессе работы.

Такая конструкция позволяет обеспечить стабильность и прочность рабочей решетки грохота, что является важным для эффективного функционирования грохота при отсеве материала.

Процесс просеивания и отсева материала происходит следующим образом:

1. Сыпучий материал подается на грохот или сито, где он распространен на поверхности колосниковых плит.

2. Вибрация грохота или сита, а также наклонные движения, если грохот

наклонный, позволяет материалу проходить через отверстия в колосниковых плитах.

3. Отверстия в колосниковых плитах бывают различных размеров, что позволяет отделить материал на разных размерах. Более крупные частицы появляются через более крупные отверстия, мелкие - через мелкие отверстия.

4. Разделенные доходы от различных доходов или транспортные скорости для дальнейшей обработки или использования.

Изучив принцип работы самобалансного откатного грохота ГСТ42 для отсева мелочи агломерата, были выявлено следующее:

1. Принцип работы самобалансного откатного грохота ГСТ42 основан на просевании агломерата через решетки с использованием принимаемых вибраций. Это позволяет отсеивать материал по крупности. Однако воздействие, генерируемое грохотом, может привести к вредному воздействию на рабочий персонал. Вибрации вызывают дискомфорт, утомляемость и повышенный риск возникновения травм у персонала, работающего вблизи грохота.

2. Также открытый тип конструкции самобалансного откатного грохота ГСТ42 может приводить к повышенной запыленности в цехе. При работе грохота мелкие частицы материала поднимаются в воздух и могут оседать на пожарах и в воздушной среде, что может создавать необычное загрязнение и пылевую среду для рабочих.

С точки зрения экологии и безопасности труда разумнее установить барабанный грохот, который имеет следующие преимущества:

Уменьшение запыленности: Закрытая конструкция барабанного грохота поглощает пыль в атмосфере, что значительно уменьшает загрязнение воздуха в цехе. Это не только повышает уровень безопасности и комфорта для работников, но также является более экологически чистым веществом, поглощая выбросы пыли и частицы природных материалов.

Отсутствие вибраций: Барабанные грохоты обычно не вызывают таких сильных вибраций, как самоуравновешенные откатные грохоты. Это выраженное негативное воздействие на обслуживающий персонал, который работает вблизи грохота. Исключение или минимизация вибраций может снизить риск возникновения травматизма и утомляемости у работников.

Улучшение рабочей среды: благодаря отсутствию вибраций и сокращению запыленности, установка барабанного грохота может значительно улучшить условия работы на аглофабрике. Чистая и безопасная рабочая среда повышает производительность и снижает благоприятные условия для персонала.

Барабанный грохот имеет несколько достоинств, которые делают его популярным выбором в различных промышленных отраслях. Вот некоторые из их преимуществ:

1. Высокая производительность: Барабанные грохоты обычно отличаются высокой производительностью и требуют обработки больших объемов материала. Они часто делятся и классифицируют сырье на различные случаи, обнаруживая использование материала и повышение производительности процесса.

2. Широкий диапазон применения: они доступны для обработки различных материалов, таких как руда, камень, песок, гравий и другие сыпучие материалы.

3. Гибкость настройки: Барабанные грохоты позволяют легко настраивать параметры сортировки и разделения материала, включая различные размеры отверстий в барабане и скорость вращения барабана.

4. Минимальное явление в окружающей среде: Барабанные грохоты обычно имеют закрытую природу, что способствует снижению выбросов пыли и частиц в окружающей среде.

5. Надежность и наличие: Барабанные грохоты обычно изготавливаются из прочных материалов. Они измеряют высокие нагрузки и учитывают условия без существенного снижения производительности.

Корпус грохота, состоящий из отдельных цилиндрических обечаек, обычно изготавливается из котельной стали. Это материал с достаточной прочностью и устойчивостью к механическим нагрузкам, которые могут возникать в процессе работы грохота. Цилиндрические обечайки свариваются вместе для создания прочной и жесткой конструкции корпуса.

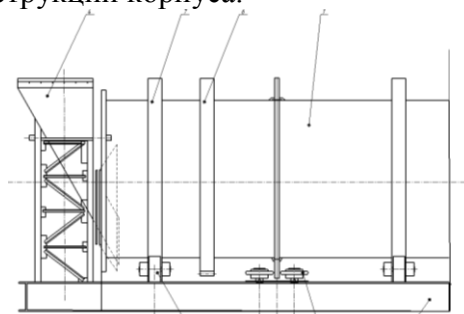


Рисунок 2. Общий вид барабанного грохота:

- 1 - барабан; 2 - упорные ролики; 3 - ролики опорные; 4 - загрузочная воронка; 5 - рама; 6 -зубчатый венец; 7 - бандаж

Барабанный грохот оборудован бандажами, чтобы обеспечить передачу давления от масс всех вращающихся частей. Бандажи пользуются собой прочные обручи, которые надеваются на поверхность барабана и закрепляются таким образом, чтобы возникло прочное и надежное соединение. Обычно бандажи изготавливаются из таких материалов, как сталь или сплавы, обладающие высокой прочностью и стойкостью к износу. Благодаря этим характеристикам бандажи выдерживают высокие нагрузки и увеличивают частоту работы барабанного грохота в течение продолжительного времени.

Опорная станция включает в себя опорные ролики, которые поддерживают и удерживают барабан грохота. Опорные ролики размещаются таким образом, чтобы обеспечить стабильную поддержку и позволить барабану вращаться свободно. Они играют важную роль в поддержании равновесия и стабильности работы грохота.

С целью компенсации местных деформаций (напряжений), сечение барабана усиливается с помощью установки колец жесткости — бандажей.

Установка бандажей позволяет повысить структурную прочность барабана и

вызвать его деформацию под воздействием силы, вызываемой вибрацией, нагрузками от материалов и другими факторами. Это долгий срок службы барабанного грохота и повышение его надежности в работе. Бандажи могут быть литые, пустотелые, сплошные и установлены: а) с тепловым зазором; б) жёстким закреплением

Распространены два наиболее часто встречающихся случая крепления бандажей к фланцу барабана — это фиксация при помощи болтов и бесплатное крепление.

Крепление бандажа при помощи болтов: в этом методе бандажи крепятся к фланцу барабана с помощью болтовых соединений. Бандажи имеют отверстия, через которые проходят болты, которые крепятся к фланцу барабана гайками. Этот метод требует прочного и надежного крепления повязки, что особенно важно при работе с большими нагрузками и диаметром барабанов.

Свободное крепление бандажа: при свободном закреплении бандажи не закреплены за фланцем барабана. Вместо этого они происходят с зазором между бандажами и фланцем. Этот зазор позволяет бандажам обращаться независимо и подстраиваться под международную мобильность и использование барабана, которые связаны с его работой по обнаружению и температурным изменениям (рисунок 3).

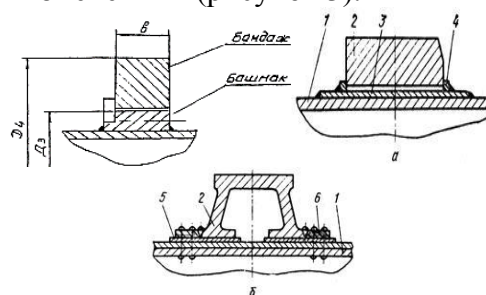


Рисунок 3. Способы крепления бандажей:

- а – с тепловым зазором (с натягом); б – жесткое крепление; 1 - основная обечайка корпуса; 2 - бандаж; 3 - подбандажная обечайка, усиление корпуса; 4 - ограничивающие башмаки; 5 - подбандажная подкладка; 6 - ограничивающие кольца.

Материал бандажа сталь, марки - сталь 45Л.

Крепление зубчатых венцов показано на рисунке 4.

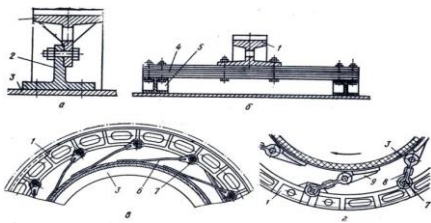


Рисунок 4. Крепление зубчатых венцов: а) жёсткое крепление (для барабанов малых диаметров); б) рессорное закрепление (для барабанов среднего диаметра 2,5÷3 м); в) тангенциальное крепление на упругих пластинах для крупных грохотов; г) крепление на тангенциальных шарнирных тягах

Упругие пластины используются специально для отдельных металлических элементов, которые обеспечивают гибкость и подвижность барабана. Упругость пластины важна для контроля за температурной деформацией и дефектами сварки, такими как несовпадение осей вращения барабана грохота и оси зубчатого венца. Эти проблемы могут возникать из-за различных факторов, включая изменение температуры окружающей среды и неравномерности в процессе сварки. Зубчатое зацепление в грохотах прямозубое с повышенным радиальным зазором для обеспечения возможности работы при неточности монтажа.

Опорная станция барабанного грохота (рисунок 5) состоит из двух опорных роликов, которые имеют возможность перемещаться за счёт регулировочных винтов.

Материал опорных роликов сталь, марки - сталь 45Л.



Рисунок 5. Опорная станция барабанного грохота

Корпус упорной станции (рисунок 6) устанавливается под углом к горизонту, который соответствует углу наклона печи.



Рисунок 6. Упорная станция для фиксации барабана грохота

Каждый упорный ролик установлен на подшипниках качения, смонтированных на вертикальной оси.

Заключение

Изучив принцип работы самобалансного откатного грохота ГСТ42 для отсева мелочи агломерата, были выявлено следующее:

1. Высокая производительность: барабанный грохот обычно обладает большей производительностью по сравнению с самобалансным откатным грохотом. Он способен обрабатывать больший объем материала за единицу времени, что может быть важным при работе с большими объемами агломерата.

2. Улучшенная эффективность отсева: барабанный грохот может обеспечить более точное отделение материала разных размеров. Он может иметь различные отверстия и сменные сита, что позволяет достичь более точного контроля над размером отсеиваемой фракции.

3. Меньший износ решеток: В барабанном грохоте используется цилиндрический барабан с отверстиями, которые служат для просеивания материала. В отличие от решеток самобалансного откатного грохота, барабан обычно менее подвержен износу и требует меньшего количества замен.

4. Гибкость в настройке: барабанный грохот может быть настроен для работы с различными типами материалов и разными требованиями к крупности фракций. Это достигается путем выбора подходящего сита и оптимальной скорости вращения барабана.

5. Меньшие габариты и вес: барабан-

ный грохот обычно имеет компактные размеры и меньший вес по сравнению с самобалансным откатным грохотом. Это может быть важно при ограниченном пространстве или при необходимости мобильного использования.

6. С точки зрения экологии, барабанный грохот позволит снизить уровень запыленности вокруг рабочего места.

Однако стоит отметить, что выбор между барабанным грохотом и самобалансным откатным грохотом ГСТ42 зависит от конкретных требований процесса и свойств материала, поэтому важно учитывать все факторы при выборе оптимального решения.

Библиографический список

1. М.Х. Фастовский, Г.В. Дакалов, А.А. Носовский. Механическое и транспортное оборудование агломерационных фабрик. - М.: Металлургия, 1983.
2. А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. – М.: Металлургия, 2-е изд., 1987.
3. В.М. Гребенник, Д.А. Сторожик и др.

Механическое оборудование фабрик окискования и доменных цехов. – Киев, 1985.

4. Андросенко, М. В. Основы управления металлургическими машинами и оборудованием: Учебное пособие. Электронный ресурс / М.В. Андросенко, О.А. Филатова. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2016.
5. ГОСТ 26-01-147-89 «Аппараты сушильные с вращающимися барабанами. Общие требования».
6. РД 26-01-158-86 «Аппараты сушильные с вращающимися барабанами газовые. Нормы и методы расчёта на прочность».

Проектирование оборудования цехов агломерационного и доменного производства: Электронное издание / М.В. Андросенко, О.А. Филатова, В.И. Кадошников, Е.В. Куликова. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2016. – 152 с. – EDN XNECGC.

Information about the paper in English

M.V. Androsenko, A.D. Kirichko, I.M. Potapov
Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia
A.P. Koshelev
Magnitogorsk College for Teacher Training
Magnitogorsk, Russia
E-mail: m.Androsenko@magtu.ru
Receipt date: June 21, 2023

SUBSTANTIATING THE USE OF DRUM SCREEN AT A SINTER PLANT

Abstract

Sinter is a mixture of iron ore, oxides and other products that are used for blast-furnace steel making. The quality of sinter is responsible for such furnace parameters as overall performance, energy efficiency and production cost.

Self-balancing inclined retractable screens are used for separating fine bulk materials at a sinter plant.

Having analyzed the operation of the self-balancing retractable screen GST42 for separating fine sinter, the authors found that such screens do produce an impact on the plant personnel in terms of dust and vibration. It is proposed to use drum screens for separating fine sinter at a sinter plant, which are normally used in ore concentration circuits.

Keywords: Sinter plant, self-balancing screen, drum screen, sinter, shroud ring, ring gear.



УДК 621.982.45

В.А. Томило, В. В. Левкович, А.В. Ветошкин
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton.vetoshkin.99@gmail.com
Дата поступления 30.06.2023

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВАЛКОВОЙ ПРАВКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация

Рассмотрены особенности технологии многовалковой правки толстых листов и заготовок сложной конфигурации, представлена схема рекомендуемого изменения кривизны изгиба проката вдоль листопрямильной машины с описанием каждой зоны по технологическим признакам, а также выделены основные направления совершенствования конструкций ЛПМ и технологий правки. Описаны возможные дефекты в процессе исправления геометрии на ЛМП различной конструкции. Создана компьютерная модель для исследования напряженно-деформированного состояния полосы, применяя метод конечных элементов. Для описания упругопластических деформаций при моделировании использовались линейная и билинейная изотропная модель. Представлен анализ процесса валковой правки с учетом явлений, протекающих в металле, подвергающемся знакопеременному нагружению с уменьшающейся амплитудой (взаимодействие упругой и пластической деформации, эффект Баушингера и пр.).

Ключевые слова: листопрямильная машина, упругопластическая деформация, эффект Баушингера, валковая правка, напряженно-деформированное состояние, линейная изотропная модель, билинейная изотропная модель.

Введение

Правка относится к операциям, выполняемым в ходе основного производства. Применение данной технологии является необходимостью, так как предотвратить искривления и нарушение формы изделия в процессе изготовления не всегда возможно.

В некоторых случаях методы предупреждения искривлений могут быть технически возможными, но неэффективными с точки зрения экономики. Все это делает процесс правки ответственной операцией в технологической карте изготовления деталей.

Технологии правки толстых листов и заготовок сложной конфигурации во многом определяются конструкцией правильной машины и, в первую очередь, количеством независимых регулировок рабочих роликов. Анализ развития конструкций показывает на постоянное увеличение количества независимых регулировок рабочих роликов.

Наиболее простые и старые машины имеют параллельную настройку и минимальное количество роликов, которое равно пяти. Такие машины позволяют регулировать один параметр правки - расстояние между верхним и нижним рядами роликов. Поэтому глубина пластической проработки на них незначительна, так как она определяется необходимостью обеспечить получение прямого проката после последних роликов.

Две независимые регулировки имеют машины с наклонным регулированием одной из траверс. Машины с параллельно смещаемой траверсой и независимо регулируемые первым и последним роликами позволяют независимо регулировать три параметра правки. Четыре независимые регулировки имеют машины с наклонной регулировкой одного ряда роликов и независимо регулируемые первым и последним роликами из другого ряда.

В последнее время наблюдается переход к машинам, в которых увеличивается количество независимых регулировок или

практически все рабочие ролики имеют независимое регулирование, и поэтому их технологические возможности наиболее широки.

Основная часть

Рассмотрим возможность достижения высшего качества правки листов, учитывая оптимальное распределение кривизны изгиба проката между рабочими роликами машины. Опыт показывает целесообразность использования технологии, основанной на шести зонах правки (рисунок 1). Эту методику можно назвать «идеальной» способом правки листов. Каждая из этих зон выполняет свои технологические функции: зона захода (I), переходная зона (II), зона наибольших деформаций (III), ещё одна переходная зона (IV), зона стабилизации (V) и зона выправления и выдачи (VI) [1].

Зона захода, выполняет важные функции, такие как обеспечение плавного входа листа в машину под небольшим углом, надежный захват и направление листа на первые ролики листопрокатного стана, а также передача его в последующие зоны. Для достижения этих целей используются постепенно увеличивающийся изгиб листа.

Вторая выполняет роль промежуточной зоны и обеспечивает быстрое увеличение кривизны изгиба до максимальных значений.

Третья зона является основной и ответственна за создание наибольших пластических деформаций в прокате (зона наибольших деформаций). Для обеспечения эффективной правки важно, чтобы пластические деформации в этой зоне составляли от 75% до 80% от площади поперечного сечения листа (коэффициент пластической проработки сечения $K_{пс} = 75\% \dots 80\%$).

Четвертая выполняет роль промежуточной зоны и обеспечивает быстрое снижение кривизны листа до значений, характерных для пятой зоны.

Пятая зона представляет собой последовательность постепенно уменьшающихся изгибов проката с целью обеспечить стабильность процесса правки по двум аспектам.

Во-первых, пятая зона имеет задачу обеспечить стабильность правки листов с учетом различий в исходной не прямолинейности, механических свойствах и геометрических размерах поперечного сечения листа. Эти различия могут проявляться как в пределах одного листа, так и внутри партии одного сортамента. Устойчивый режим правки позволяет добиться плоскостности листов одного сортамента в требуемых допусках с минимальной необходимостью перенастройки последнего ролика (в идеале - без перенастройки последнего ролика за один проход).

Во-вторых, в этой зоне следует обеспечить прямолинейность переходных участков между областями некачественной правки, которые находятся на расстоянии от $0,7t$ до $2,0t$ от переднего и заднего торцев листа (где t - расстояние между опорными роликами). Как правило, условия правки этих переходных участков отличаются от условий правки средней части листа и от условий изгиба концевых участков, где пластические деформации отсутствуют.

Последняя, шестая зона правки, обеспечивает выправление и достижение нулевой кривизны в любом месте средней части листов, имеющих средние значения исходных параметров. Кроме этого, лист должен выдаваться практически горизонтально. Отметим, что последние три зоны должны способствовать получению оптимальной эпюры остаточных напряжений в готовом листе (раздробление и снижение напряжений около поверхности листа).

Таким образом, в каждой зоне необходимо иметь по крайней мере один изгиб, а в зоне III – минимум два изгиба. Следовательно, минимальное количество изгибов при «идеальном» способе составляет 7, а минимальное количество роликов - 9. В практике обычно зоны не разделяются отдельными роликами, а плавно переходят друг в друга.

На процесс правки и его стабильность влияют не только различия в исходной не прямолинейности листов до начала правки.

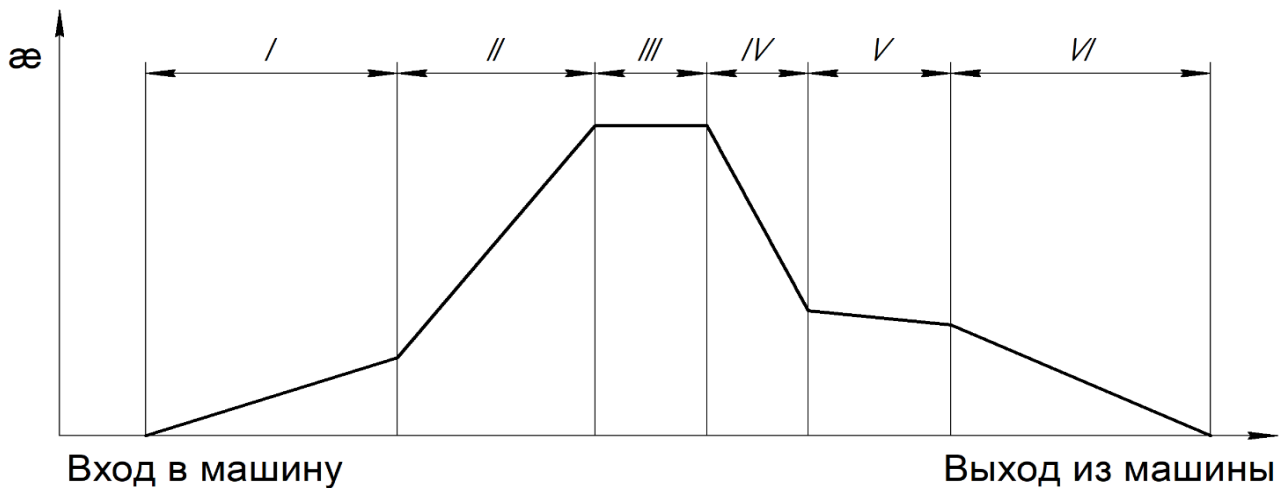


Рисунок 1. Рекомендуемое изменение кривизны изгиба проката вдоль ЛПМ при «идеальном» способе правки

Существуют также два параметра, которые значительно влияют данную операцию: предел текучести и толщина листа. Особенно важен разброс этих параметров как на площади одного конкретного листа, так и внутри партии, подлежащей правке. Ширина листов оказывает почти линейное влияние на усилия и моменты, необходимые для правки, при этом кривизна изгиба и коэффициент проникновения пластической деформации (K_p) не изменяются при постоянной настройке роликов.

Определение номинальных значений толщины, ширины, предела текучести и начальной искривленности листа перед холодной правкой не представляет больших трудностей. При технологическом расчете (когда требуется исследовать процесс на действующей машине) толщина и ширина листов передается со стана, предел текучести прокатанной марки стали определяется при стандартных механических испытаниях на разрыв образцов, исходная искривленность принимается равной среднему значению по партии, которое практически всегда близко к нулю.

Диапазон изменения толщины может принят либо по стандарту, в соответствии с которым выпускается исследуемая партия листов, либо получен со стана (часто прокатчики стараются получить толщины ближе к нижнему допуску стандарта с целью экономии металла). Диапазон изменения исходной непрямолинейности листов подлежит либо измерению, либо заданию

на основе статистических данных прокатчиков. Нижнее значение предела текучести обычно указывается в стандартах на выпускаемую марку стали. Полный диапазон изменения предела текучести лучше определять по справочникам или марочникам стали, однако в них обычно рассматривают большие деформации, которые характерны для условий прокатки, а не правки.

В этих же справочниках можно найти данные, учитывающие влияние скорости деформирования на предел текучести.

Однако необходимо понимать, что каждое волокно расположено на разном расстоянии от центра выправляемого сечения проката и поэтому при правке имеет разные деформации и деформируется с разной скоростью. Отсюда предел текучести изменяется по высоте листа. Для учета этого фактора следует пересмотреть основополагающие расчетные формулы, что усложнит расчет.

Поэтому рекомендуется при использовании предлагаемой или более простых моделей расчета использовать итеративный расчет и определять номинальное и максимальное значения предела текучести при средней скорости деформации по сечению проката (а не при наибольшей), а так же использовать по возможности компьютерное моделирование процесса правки, которое может учесть большее количество параметров без многих упрощений.

Еще к одной основной особенности процесса правки листов относится неравномерность деформаций листа по его ширине при правке. В случае если жесткость рабочего ролика недостаточна, то его середина прогибается под нагрузкой сильнее, чем края. Тогда реальный прогиб средней части листа становится меньше, а краев – больше требуемого. Это приводит к разной пластической деформации и зависимости режима правки конкретного элемента листа от его расстояния до кромки.

В результате правки на машинах с податливыми рабочими роликами лист приобретает не только ухудшенную продольную прямолинейность, но и неравномерное (в виде параболы) распределение остаточных напряжений по ширине готового листа. Такой лист может терять свою плоскостность, образуя срединную коробоватость, «елочку» или краевую волну.

Потеря плоскостности может происходить либо сразу после выхода листа из правильной машины, либо при его транспортировании, либо при последующей продольной разрезке листа у потребителя. Исследование неравномерных по ширине деформаций листов с помощью собственной математической модели выполнено в единственной работе [2] компанией «Irsid», Франция, и работа с самого начала была нацелена на использование на 4-х заводах группы «Usinor Sasilor» («Sollac», Франция; «GTS Industries», Дюнкерк, Франция;

«Dillinger Huttenwerke», Диллинген, Германия; «Creusot - Loire Industrie», Франция). В модели учтены противоизгиб и деформации роликов по ширине листа, неравномерное распределение продольных и поперечных напряжений по ширине и высоте листов, в том числе до и после правки. Последующие публикации подтвердили использование данных исследований в промышленных условиях на всех четырех вышеуказанных заводах.

Совершенствование конструкции валковых систем идет в направлении повышения жесткости рабочего ролика, регулирования его формы, введении системы противоизгиба роликов или использовании такой начальной параболической формы рабочего ролика, которая под нагрузкой распрямляется и становится прямолинейной. Однако полностью исключить неравномерность деформаций листа по его ширине все равно не удастся. В идеале при любой ширине листа следует стремиться к прямой линии контакта рабочего ролика с листом, а также к параллельности таких линий контакта на различных рабочих роликах. Только в этом случае каждый элемент листа будет иметь при правке одинаковый по ширине прогиб под конкретным рабочим роликом и каждый элемент листа (независимо от его расположения по ширине) пройдет одинаковый режим деформаций.

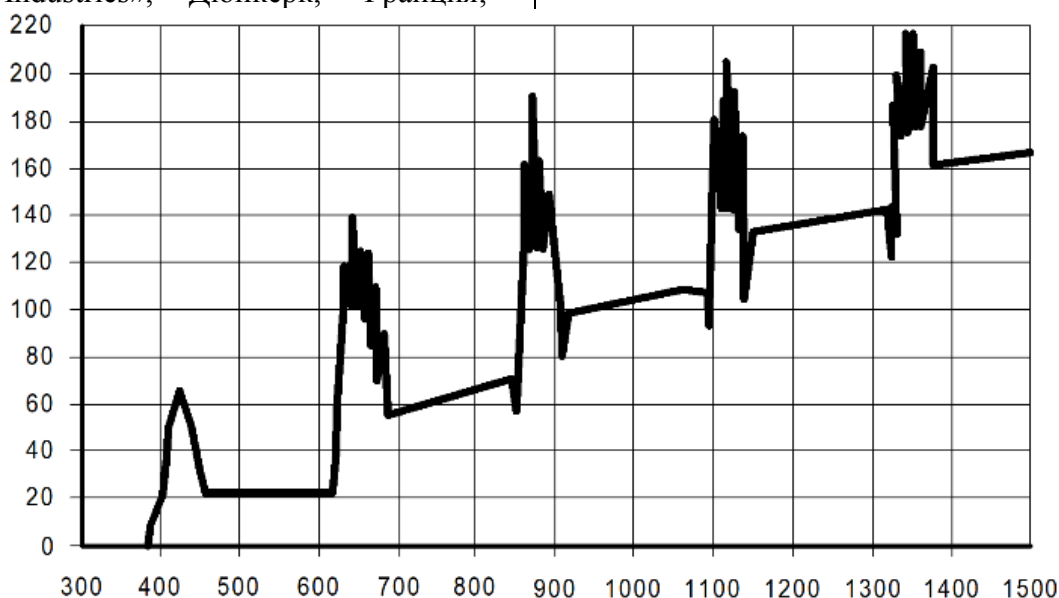


Рисунок 2. Суммарное тянущее усилие при заходе (погрешности расчета не сглажены), кН

Процесс правки концевых участков листов имеет свои особенности. Из известных публикаций на эту тему следует отметить единственную работу [3, с.202 - 203], в которой предпринята попытка решить задачу захода толстого листа в ЛПМ с помощью элементарных геометрических построений.

Сначала рассмотрим нагрузку на привод ЛПМ. На (рисунке 2) показано развитие суммарного тянущего усилия при заходе листа в машину. Так же, четко видны пиковые нагрузки на привод.

Было определено, что нагрузка при заходе практически на каждый ролик превышает нагрузку в установившемся режиме. Для рассмотренного примера превышение достигало 25%. Для других режимов и настроек роликов развитие тянущего усилия во времени и превышение его над параметрами установившегося режима будет другим и нуждается в дополнительных расчетах.

Так же было определено, что при заходе листа на ролик i резко возрастает кривизна изгиба под роликом $i-1$, и пик кривизны формируется не только под роликом $i-1$, но и под роликом $i-2$ (кривизна под роликом $i-3$ меняется намного слабее). Причем пик под роликом $i-2$ наибольший, что связано с ужесточением схемы защемления листа в роликах и приближением её к схеме изгиба средней части листа с максимальными пластическими деформациями и защемлением листа с двух сторон.

Таким образом, на расстояниях примерно t и $2t$ от переднего торца листа формируются два пика остаточных кривизн, которые продвигаются по машине и меняют свой знак. Отметим, что так происходит только при одинаковых или мало отличающихся шагах правильных роликов. В итоге, на переднем конце готового листа накатываются два пика остаточных кривизн.

Поэтому на всем листе на расстоянии $0,7t$ от переднего и заднего торцов листа выделяются направленные зоны, где пластическая деформация при правке на ЛПМ не проявляется. Далее к ним примыкают две зоны

некачественной правки, которые расположены на расстоянии $0,7t \dots 2,0t$ от переднего и заднего торцов выправленного листа. И только после этого расположена средняя часть листа, которая имеет наилучшее качество, так как правится в установившемся режиме.

Некоторые разработчики предлагают изменять настройку роликов во время прохождения концов листов через листопрямильную машину. Например, фирма «SMS-Demag, AG» [4] через контроль давления в гидравлическом нажимном устройстве предлагает держать постоянным суммарное усилие на верхней траверсе вне зависимости от того, какая часть листа находится внутри машины. Таким образом, передний и задний концы листа стараются пережимать больше, чем его середину. По-видимому, при таком способе регулирования произойдет дополнительное ухудшение процесса правки концов, удлинение участка некачественной неустановившейся правки, увеличение ударных нагрузок на оборудование и прокат.

Моделирование процесса валковой правки и исследование напряженно-деформированного состояния

Для построения компьютерной модели процесса правки используется много-роликковая схема, в которой принимаются определенных допущениях. В этой модели правильные валки рассматриваются как абсолютно твердые объекты, что позволяет сократить время вычислений на компьютере. Сама деталь моделируется как упруго-пластическое тело. В решении трехмерных задач методом конечных элементов часто применяются элементы типа Solid 164 и Shell 163.

Основными материалами для правки являются Сталь35 и 10ХСНД по ГОСТ 19282-73, ГОСТ 19281-73, для которых принимаются следующие единые параметры с максимальным сопротивлением деформации: модуль Юнга 210000 МПа, коэффициент Пуассона 0,3, плотность 7850кг/м³, предел текучести $\sigma_T=390$ МПа,

предел прочности для листов и полос в состоянии поставки $\sigma_B = 530 \text{ МПа}$, удлинение $\delta = 19\%$.

На основе полученных данных разрабатывается модель, описывающая упрочнение материала. При решении трехмерных задач методом конечных элементов применяется линейная (рисунок. 3) или билинейная изотропная модель, которая используется для описания упругопластических деформаций (рисунок. 4). Кривая модели состоит из двух компонентов - упругой и пластической составляющих.

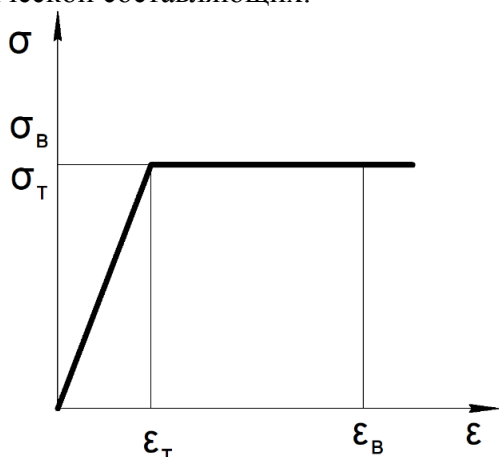


Рисунок 3. Линейная изотропная модель

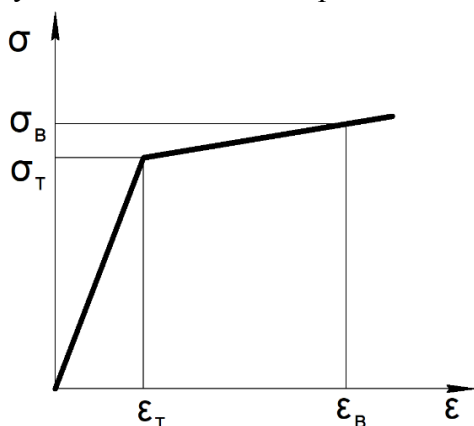


Рисунок 4. Билинейная изотропная модель

Билинейная модель может быть изотропная и кинематическая.

Эти модели отличаются наличием/отсутствием эффекта Баушингера.

Если металл подвергается пластической деформации с одним направлением, то при изменении направления деформации обычно наблюдается снижение предела текучести. Разница между пределами текучести при растяжении и сжатии, которая равна $2\sigma_y$, остается постоянной. Это явление и есть эффект Баушингера. В нашей компьютерной модели в настоящее время этот эффект не учитывается, что, вероятно, приведет к завышению результатов расчетов.

Скорость вращения правильных валков должна обеспечивать скорость металла $v = 100 \text{ мм/с}$. Коэффициент трения μ , который обычно варьируется в различных источниках (от 0,3 до 0,7), в данном случае будет равен 0,4. Расчеты проводились для материала с толщиной $h = 10 \text{ мм}$ и шириной $B = 50 \text{ мм}$. Рассматривался случай правки с использованием 13 валков диаметром $D = 96 \text{ мм}$ и межосевым расстоянием между роликками $t = 100 \text{ мм}$. В этой схеме (рисунок 5) использовались 11 приводных валков (6 верхних и 5 нижних). В данном расчете сравнивались напряженно-деформированные состояния (НДС) линейной и билинейной изотропных моделей материала при правке валками. Результаты представлены на рисунках 6 и 7.

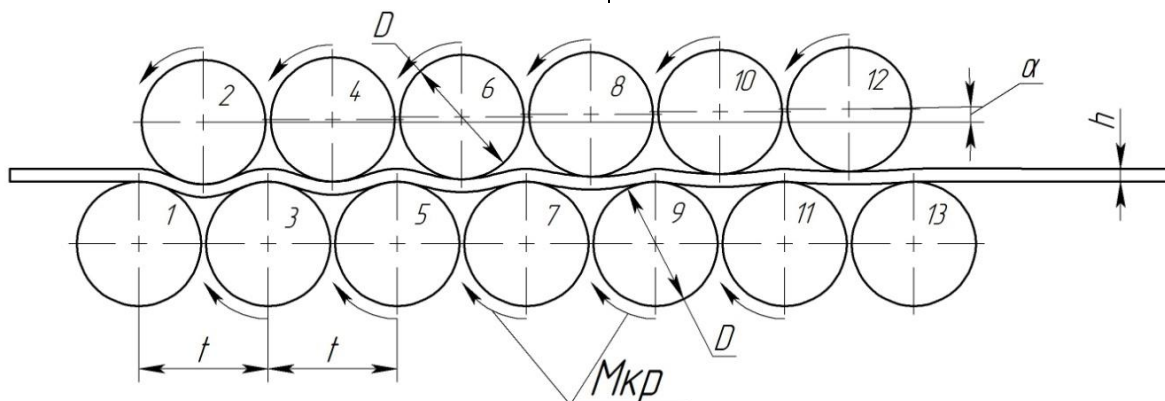


Рисунок 5. Схема правки (приводные 11 валков)

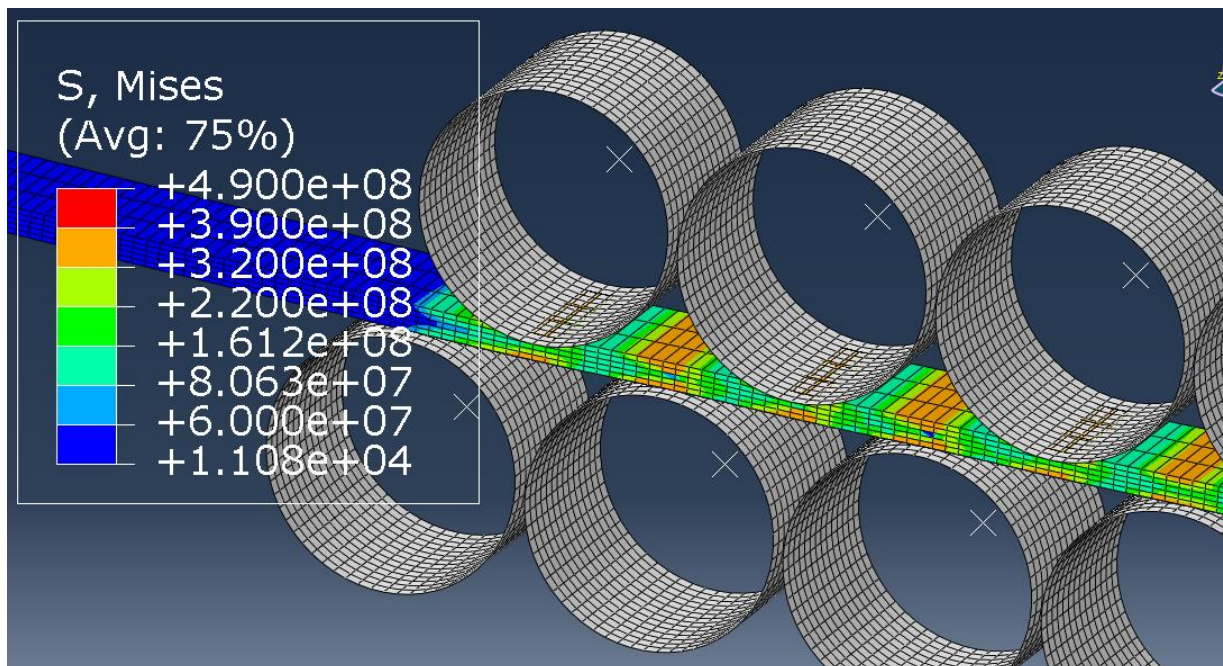


Рисунок 6. НДС металла линейной изотропной модели

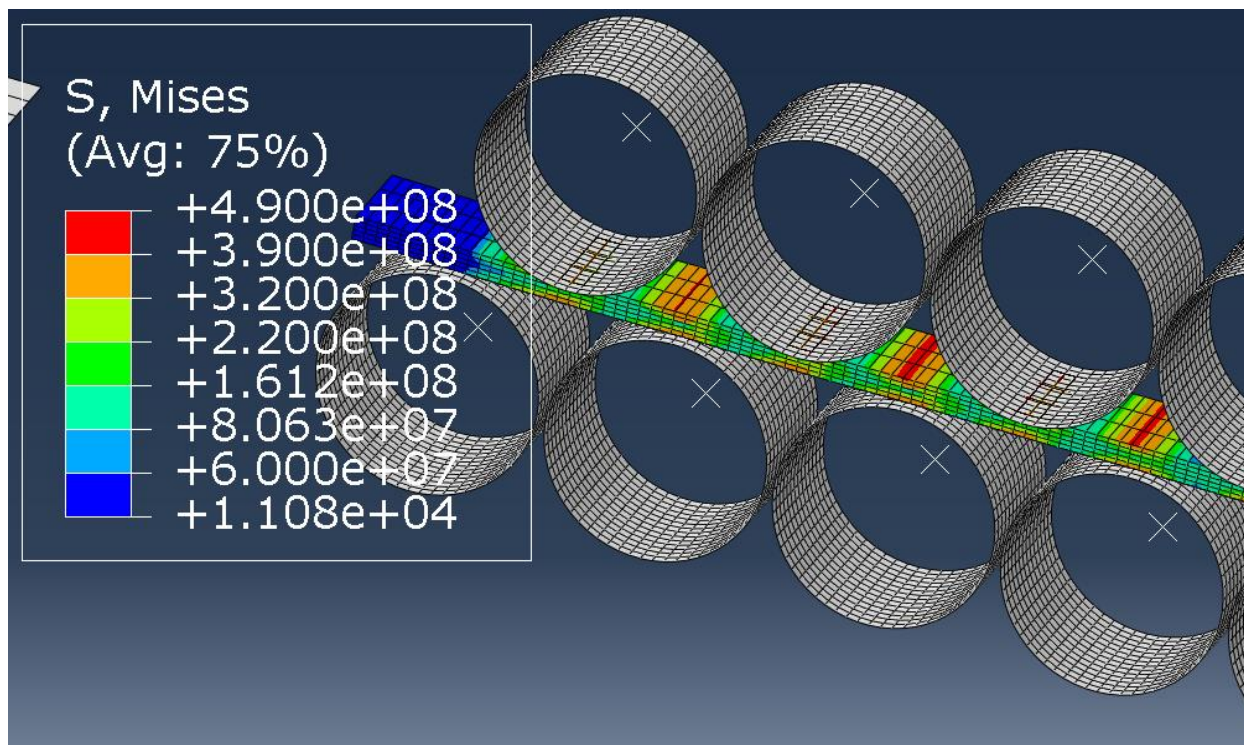


Рисунок 7. НДС металла билинейной изотропной модели

Заключение

Изучение процесса правки в отношении других процессов ОМД, таких как прокатка, отстает из-за необходимости учета множества явлений, происходящих в металле при знакопеременной нагрузке с уменьшающейся амплитудой. В этих яв-

лениях участвуют как упругая, так и пластическая деформация, эффект Баушингера и другие.

В процессе правки существуют условия, которые затрудняют процесс (упрочнение), а также условия, которые облегчают его (эффект Баушингера). Все это может приводить к значительным различиям в результатах расчетов, выполненных с использованием различных методик.

Настройка валков для правки может значительно отличаться для различных материалов с разными толщинами. Кроме того, необходимо учитывать возможность начального захвата полосы. Поэтому для достижения точных результатов и создания корректной компьютерной модели требуется учет максимального числа необходимых параметров для каждой конкретной станки.

Следует отметить, что у билинейной изотропной модели ярко выражен эффект упрочнения, несмотря на то что прогиб валков от начальных пар к конечным уменьшался.

Библиографический список

1. Технология и оборудование валковой правки листового металла = Technology and equipment of roll straightening of sheet metal / В. А. Томило [и др.] // Литье и металлургия. – 2022. – № 4. – С. 70-78.
2. Bourgon J. Y., Dreistadt D., Guillard O., Irastorza L. Planage en tolerie forte. Modélisation et application industrielles. Правка толстых листов. Математическое моделирование и его применение // Rev. met. (Fr.). - 1993. - 90, № 4. - С.537-544. - Фр.; рез. англ., нем., исп.
3. Долженков Ф.Е., Коновалов Ю.В., Носов В.Г. и др. Повышение качества толстых листов. - М.: Металлургия, 1984. - 247с.
4. Kaden V., Konig A. High performance leveller for hot and cold levelling of heavy plates. Усовершенствованная машина для горячей и холодной правки толстых листов // MPT Int., [MPT: Met. Plant and Techn.]. - 1997. - 20, № 2. - С. 92-94, 96, 98- 100

Information about the paper in English

V.A. Tomilo, V.V. Levkovich, A.V. Vetoshkin

Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton.vetoshkin.99@gmail.com

Receipt date: June 30, 2023

PROCESS FEATURES REGARDING ROLLER LEVELLING OF PLATES AND UNDERSTANDING THE STRESS-STRAIN STATE

Abstract

This paper considers the process of multiple-roller levelling of plates and complex-shape billets, describes a recommended camber adjustment pattern along the leveler while also describing each zone based on process parameters and highlights the key optimization areas in terms of leveller design and the actual process. Possible defects are described that may result from levelling in machines of different design. A finite element model was built for examining the stress-strain state of the strip. The authors used a linear and bilinear isotropic model to describe the elastoplastic strains during modelling. The paper analyzes the process of roller levelling accounting for the phenomena that occur in the material subjected to alternating load with a reducing amplitude (interaction between elastic and plastic strains, Bauschinger effect, etc.)

Keywords: Plate leveller, elastoplastic strain, Bauschinger effect, roller levelling, stress-strain state, linear isotropic model, bilinear isotropic model.



VII международная молодежная
научно-практическая конференция

Magnitogorsk

Rolling Practice

MRRP
2023

ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2023»

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова с 30 мая по 03 июня 2023 г. состоялась VII международная молодежная конференция «*Magnitogorsk Rolling Practice 2023*».

Магнитогорск – город трудовой доблести, один из центров мировой металлургии, сочетающий значительный научный и промышленный потенциал. Поэтому, стало доброй традицией проводить здесь молодежный форум, посвященный обсуждению фундаментальных и прикладных вопросов обработки металлов и сплавов давлением.

Основная цель конференции – предоставить молодым ученым площадку для обсуждения новых трендов, перспектив развития и инноваций в их профессиональной сфере деятельности.

Организаторы конференции подготовили насыщенную повестку конференции, включающую пленарные доклады известных ученых, работу в тематических секциях, семинар по QForm, презентацию комплекса асимметричной прокатки и инкрементальной штамповки международной лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева», индустриальный тур на промышленные предприятия города ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и ОАО «ММК-МЕТИЗ», посещение паркового пространства «Притяжение», а также горнолыжного центра «Металлург-Магнитогорск».

В работе конференции приняли участие молодые ученые из 23 университетов, научно-исследовательских институтов, промышленных предприятий и инновационных фирм России, Белоруссии и Казахстана.

В качестве приглашенных спикеров на пленарном заседании выступили *Томило В.А.*, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, *Аксенов С.А.*, НИУ «Высшая школа экономики», г. Москва, *Стебунов С.А.*, генеральный директор ООО «КванторФорм», г. Москва, *Зайцева М.В.*, ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, *Песин А.М.*, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.

В секционных заседаниях было заслушано и обсуждено более 50 научных докладов молодых ученых.

По результатам докладов молодых ученых определены номинанты, победитель и призеры конференции. Обладателями номинации «*Старт в науку*» стали *Эльмира Абдрахманова*, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, *Егор Мелихов*, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск и *Николай Уткин*, Рудненский индустриальный институт, г. Рудный. Номинацией «*Лучшая практическая реализация*» был награжден *Федор Столяров*, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. Номинация «*Лучшее моделирование*» была присуждена *Юлии Замараевой*, ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», г. Каменск-Уральский. Номинации «*Лучшая теоретическая проработка*» удостоены *Елена Корзунова*, Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург и *Арсений Казаков*, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа. Номинация «*Лучшая инновационная разработка*» присуждена *Кириллу Цыденову*, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва. Номинация «*Лучшее кроссдисциплинарное решение*» присуждена *Денису Брайко*, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва. Номинацией «*Реализация приоритетных направлений промышленности*» награжден *Вадим Беспалов*, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Дипломом 3 степени награждены *Махмуд Алхаж Али Абдулла*, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва и *Сергей Захаров*, ООО «Исследовательский центр ТМК», г. Челябинск. Диплома 2 степени удостоены *Дмитрий Демин*, «Высшая школа экономики», г. Москва и *Олеся Бирюкова*, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.

Победителем конференции с вручением Диплома 1 степени была признана *Анна Левыкина*, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.

Оргкомитет конференции выражает огромную признательность всем участникам за персональный вклад в реализацию цели и задач конференции. Мы благодарим руководство ПАО «*Магнитогорский металлургический комбинат*» и ОАО «*Магнитогорский метизно-калывровочный завод ММК-МЕТИЗ*» за индустриальный тур, ООО «*КванторФорм*» (г. Москва), АО «*СПМ-М*» (г. Москва) и ООО «*ЧерметИнформСистемы*» (г. Магнитогорск) за поддержку конференции, научные журналы – партнеры конференции за освещение и продвижение нашего мероприятия.

Дополнительную информацию об итогах конференции можно получить на сайте <http://mrp.magtu.ru> или в Telegram-канале: <https://t.me/MRPrmgn>.

До встречи на полях VIII международной молодежной научно-практической конференции «*Magnitogorsk Rolling Practice 2024*», которая будет посвящена 90-летию нашего университета.

Оргкомитет конференции

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению материалов представляемых для публикации

1. Материалы предоставляются в электронном виде, оформленные в программе MS Word 97-2003.
2. Объем представленных материалов должен быть не менее 6-ти страниц (в режиме оформления одной колонкой на листах формата А4), включая рисунки и таблицы.
3. Формат листа: А4 (210x297 мм).
4. Межстрочный интервал: одинарный.
5. Размер полей слева, справа и сверху страницы 18 мм, снизу 20 мм.
6. Нумерация страниц осуществляется внизу по центру страницы.
7. Шрифт текста: Times New Roman, размер 12 пт.
8. Отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 10 мм.
9. Формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается, размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов.
10. Рисунки должны быть вставлены в текст и обязательно представлены в виде отдельного файла в формате jpeg, tiff, bmp с разрешением не менее 300 dpi. Наличие подрисуночной надписи обязательно.
11. Не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу.
12. Структура текста.
 - 12.1. Индекс УДК.
 - 12.2. Имя, отчество и фамилия авторов, жирный шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт.
 - 12.3. Наименование организации.
 - 12.4. Город, страна.
 - 12.5. Контактный адрес электронной почты (E-mail).
 - 12.6. Название (должно быть набрано прописными буквами не в режиме CAPS LOCK (SHIFT)).
 - 12.7. Аннотация (объем не менее 100 слов).
 - 12.8. Ключевые слова (не менее 8 слов).
 - 12.9. Введение.
 - 12.10. Основная часть.
 - 12.11. Заключение (Выводы).
 - 12.12. Библиографический список.
13. Библиографический список составляется в последовательности ссылок в тексте. В тексте статьи ссылки на литературный источник заключаются в квадратные скобки. Библиографическое описание регламентировано ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Материалы для публикации направлять по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования».

Контактные телефоны: (3519) 29-85-07, 29-84-51.

E-mail: momz-magtu@yandex.ru, momz-magtu@mail.ru с указанием темы электронного письма «Журнал МОМЗ».

Сайт журнала: www.momz.magtu.ru

Контактное лицо, отв. редактор к.т.н. Слободянский Михаил Геннадьевич.


ПРАЙС-ЛИСТ

на размещение рекламы в журнале
«Механическое оборудование металлургических заводов»

№ п/п	Цветная реклама на обложке издания		Черно-белые внутренние полосы	
	Объем	Цена, руб	Объем	Цена, руб
1	2-ая полоса (формат А4)	8000	1 полоса	6000
2	3-ая полоса (формат А4)	8000	½ полосы	4000
3	4-ая полоса (формат А4)	10000	¼ полосы	2000

Статья рекламного содержания		Реклама на сайте издания			
Объем	Цена, руб	Место расположения рекламного контента	Объем / размер	Срок размещения	Цена, руб
1 полоса	3000	Слайдер на главной странице (изображение)	700 x 380 pixels	1-6 месяцев	4000
				6-12 месяцев	6000

Пример оформления рекламного изображения в слайдере на главной странице сайта издания



- Главная
- О журнале
- Автору
- Архив
- Редакция
- Партнеры
- Контакты

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов"

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является бесплатным изданием открытого доступа.



700 x 380 pixels

Журнал "Механическое оборудование металлургических заводов" является информационным партнером XIV-го международного конгресса сталеплавателей

Научно-технический журнал MOM3

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. ГИ. Носова» приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в журнале «Механическое оборудование металлургических заводов». Журнал «МOM3» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и ему присвоен международный стандартный номер сериального издания ISSN 2311-1364. Сведения о журнале