

Международный сборник
научных трудов
Выпуск 3, 2014

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

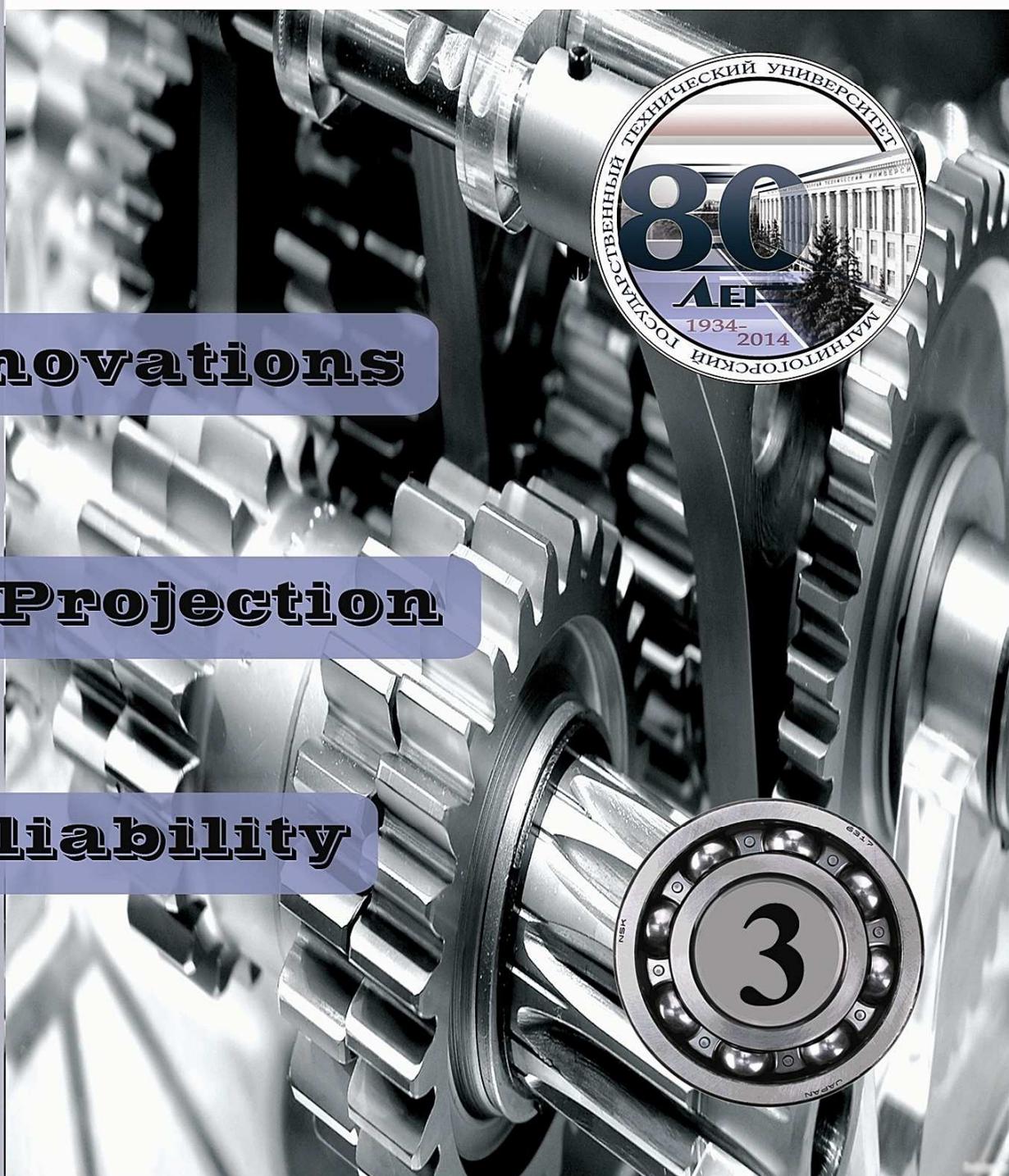
ISSN 2311-1364



Innovations

Projection

Reliability



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова»



Механическое оборудование металлургических заводов

Международный сборник научных трудов
Под редакцией А.Г. Корчунова

Выпуск 3

Магнитогорск
2014

Редакционная коллегия:

А.Г. Корчунов – д-р. техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация
металлургических машин и оборудования»
(главный научный редактор);

В.П. Анцупов – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и
эксплуатация металлургических машин и оборудования»
(заместитель главного редактора);

С.М. Горбатьюк – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
«Инжиниринг технологического оборудования» Национального
исследовательского технологического университета «Московский
институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС»).

Е.Ю. Раскатов – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Металлургические
и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный
университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»;

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

М.Г. Слободянский – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры
«Проектирование и эксплуатация металлургических
машин и оборудования»
(отв. редактор).

Механическое оборудование металлургических заводов:
Междунар. сб. науч. тр./ под ред. Корчунова А.Г. Вып. 3 – Магнитогорск:
Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 218 с.

В издании «Механическое оборудование металлургических заводов» публикуются материалы и результаты исследований в области проектирования, эксплуатации и реновации металлургического оборудования.

Может быть полезно специалистам, обслуживающим и эксплуатирующим оборудование металлургических производств, аспирантам и студентам.

Уважаемые коллеги!

Редакционная коллегия вновь рада приветствовать Вас на страницах международного сборника научных трудов «Механическое оборудование металлургических заводов».

Предлагаемое научное издание посвящено 80-летию юбилею Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова, известного своими научными школами и практическими результатами в области проектирования, эксплуатации и реновации металлургического оборудования.

В материалах сборника нашли свое отражение производственный опыт промышленных предприятий и научные разработки высших учебных заведений России и зарубежных стран по широкому комплексу проблем современного металлургического оборудования. Авторский коллектив сборника включает как известных ученых и специалистов, так и молодых исследователей. Такая связь различных поколений, ведущих научных школ и производства, безусловно, способствует укреплению и развитию творческого сотрудничества в области металлургического оборудования. Многие научные статьи подкреплены промышленным внедрением результатов. В сборнике также содержатся материалы исследований, нуждающихся в дополнительной проработке и апробации на практике.

Коллектив редакционной коллегии выражает признательность коллегам ученым и специалистам производителям за активное и заинтересованное участие в формировании представленного сборника научных трудов.

Обращаем Ваше внимание на то, что информация об издании и полные электронные версии научных статей доступны на сайте научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>) в разделе «Каталог Журналов».

Главный научный редактор,
заведующий кафедрой
«Проектирование и эксплуатация
металлургических машин
и оборудования»,
ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова



Корчунов А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Н.А. Ченцов, В.Я. Седуш

Сущности технического менеджмента системы ТОиР промышленного предприятия.....8

А.М Кривенцов, С.В. Родинков

Разработка метода регламентирования упругих перемещений ручьев калибра валков с целью определения рационального соотношения радиальной и осевой жесткостей сортопрокатной клетки.....18

С.Ю. Саранча, А.Б. Моллер

Повышение эффективности сортопрокатного производства ОАО «ММК» путем увеличения точности металлургических механизмов.....25

Я.А. Чейлях

Восстановление наплавкой и упрочнение деталей металлургического оборудования, самоупрочняющихся при эксплуатации.....29

А.К. Белан, К.А. Останина, О.А. Белан

Повышение стабильности работы блока клеток с групповым приводом за счет рационализации настроечных параметров35

А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов,

В.П. Анцупов, М.Г., Слободянский, В.А. Русанов

Особенности проектной оценки долговечности деталей машин в условиях много- и малоциклового усталости40

Н.П. Максимов, Р.Н. Максимов,

К.К. Байматов, А.А. Максимов

Теоретические исследования движения материала в четырехкамерной вибрационной мельнице.....47

В.А. Русанов, А.С. Губин,

И.А. Анцупова, С.А. Камадина

Повышение долговечности гидроцилиндров системы экранирования горячекатанных полос54

А.А. Китанов, А.В. Нефедов

Совершенствование гидроборудования клетки «Кварто» ЛПЦ-1 ОАО «Уральская Сталь».....59

А.А. Мальцев

Расчет в среде MathCAD динамических напряжений в опасном сечении вала шпинделя стана дуо-16064

**А.В. Анцупов (мл), М.Г. Слободянский,
А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, А.М. Овсов**

Методология проектной оценки долговечности валковых систем кварто70

П.В. Гавриш

Реконструкция привода тянуще-правильной машины ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь» с целью повышения надежности и увеличения межремонтных сроков.....79

**Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков,
Н.Л. Султанов, М.А. Шленкина**

Оценка теплового состояния тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»82

В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская, Н.А. Ченцов

Анализ современных конструкций механизмов подъема литейных кранов87

**Р.Н. Амиров, С.П. Нефедьев,
С.А. Халина, В.В. Митрофанова**

Определение абразивной и ударно-абразивной износостойкости твердых наплавленных покрытий95

Е.А. Мананников, О.Н. Чиченева, Вас. В. Точилкин

Модернизация пневматического привода печей ЭСПЦ.....99

И.А. Салов, Ю.А. Пожидаев

Способ определения механических характеристик хрупких материалов при дроблении 102

Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков, Ю.В. Мартьянов

Способ повышения прямолинейности металлокорда осевым растяжением тонкой проволоки 106

А.Е. Гулин, М.А. Полякова Моделирование комбинированной деформационной обработки проволоки в программном комплексе Deform-3D	112
В.В. Богатов, Т.В. Степыко Модернизация тянуще-правильной клетки сортовой МНЛЗ.....	118
А.Н. Емелюшин, С.П. Нефедьев, А.А. Абдрахманова Бездеформационная плазменная наплавка штоков малого диаметра	121
В.И. Кадошников, И.А. Катеринина, Е.В. Куликова, М.В. Андросенко, И.Д.Кадошникова Особенности правки толстых листов в листопрямляющих машинах	127
Е.С. Решетникова, Т.В. Усатая Технологии САПР для оптимизации процесса обучения компьютерной графике в техническом университете	133
А.П. Чейлях, Я.А. Чейлях, Г.В. Шейченко Перспективные материалы и технологии с эффектом самоупрочнения при эксплуатации	139
А.В. Анцупов (мл), А.М. Овсов, А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский Модель отказов валков клетей кварто по критериям их прочности	145
М.В. Андросенко, Д.А. Харлов, И.Д. Кадошникова Технико-экономическое обоснование и задание на проектирование технологических линий и комплексов	151
А.С. Савинов, О.Е. Селезнёв, И.В. Поляруш, И.В. Радомская, Е.С. Савинов Сравнительный анализ удельных работ внутренних сил при расчете различными методами	154
С.Н. Рыженко, Ю.П. Шинкаревич, Д.А. Емельянов Современное оборудование для производства сэндвич – панелей	158

А.В. Анцупов (мл), А.М. Овсов, А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, Р.В. Залилов Модель отказов валков клетей кварто по критериям нарушения точности профиля прокатываемых полос	163
К.Н. Вдовин, А.А. Зайцева, Н.А. Феоктистов, М.В. Антонов Факторы, влияющие на формирование рабочего слоя листового прокатного вала.....	173
А.Ю. Столяров Освоение производства металлокорда с повышенным проникновением резины для грузовых автомобильных шин.....	181
М.В. Иванов, А.С. Ишеков, Е.А. Бардин Разработка вибрационного стенда и испытание демпферов для гашения полочастотных колебаний.....	185
Е.А. Свистунова Современные САПР в процессе изучения Инженерной и компьютерной графики в профессиональной подготовке студентов технического университета.....	190
А.П. Гопкало, Г.В. Цыбанев, В.В. Клипачевский, В.И. Калинин Моделирование НДС роликов машин непрерывного литья заготовок...	198
А.В. Кожевников, И.А. Кожевникова, Г.А. Сорокин Разработка мероприятий по повышению эффективности производства горячего проката на стане 28000/1700 при использовании режима Байпас.....	204
К.Н. Соломонов, Л.И. Тишук Анализ схем течения металла с помощью DEFORM-3D	209

Н.А. Ченцов, В.Я. Седуш
ГВУЗ «Донецкий национальный
технический университет»
г. Донецк, Украина
E-mail: chen@toir.donntu.edu.ua
Дата поступления 23.05.2014

СУЩНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА СИСТЕМЫ ТООИР ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация

Выполнено систематическое изложение и описание сущностей, используемых при решении и описании задач технического менеджмента в системе ТООИР промышленного предприятия. В рамках исследования рассмотрена предметная область системы ТООИР и место технического менеджмента в ней, приведены подходы к прогнозированию дат отказа и ремонта элементов оборудования, их связь со стратегиями ремонтов.

Ключевые слова: стадия эксплуатации, система ТООИР, техническое состояние, прогнозирование отказов, стратегии ремонтов, технический менеджмент, сущность.

При описании бизнес- процессов системы ТООИР и методов решения ее задач используются специализированные термины, сущностью которых является «главное внутреннее содержание явления, определяющее его реальность и действительность» [1]. Сущности терминов системы ТООИР, приведенных в стандартах и используемых различными авторами, могут значительно различаться. Такие различия приводят к усложнению и ошибкам в понимании материалов исследований.

Процессе существования промышленного оборудования представлен рядом типовых этапов его жизненного цикла [2]. Часть их этих этапов оказывают непосредственное влияние на решение задач технического менеджмента системы ТООИР по подготовке ремонтных воздействий, обеспечивающих поддержание оборудования в работоспособном состоянии на стадии эксплуатации (рисунок 1).

При этом на стадии эксплуатации оборудования протекают два взаимно противоположных процесса [3]. Первый приводит к ухудшению технического состояния (ТС) Y его деталей как результат работы технологического персонала, использующего оборудование для выполнения технологического процесса. Второй реализуется ремонтным

персоналом, осуществляющим замену деталей, отказавших в результате достижения предельного ТС $У_{пр}$. Таким образом, в штатном расписании цеха выделяют эксплуатационный и ремонтный персонал. По использованию эксплуатационного персонала для решения задач обслуживания оборудования можно выделить его виды.



Рисунок 1. Структура жизненного цикла оборудования

Операторы сложного оборудования (с высокой степенью механизации и автоматизации) обеспечивающие управление оборудованием в процессе реализации технологического процесса, например, оборудованием прокатного стана. Во время простоев оборудования выполняют простейшие операции по его обслуживанию в соответствии с картами технического обслуживания. Ремонтный и технологический персонал однозначно выполняют работы в соответствии с их назначением.

Операторы простого оборудования (с низкой степенью механизации и автоматизации) используют оборудование при реализации технологического процесса и выполняют его широкое обслуживание во время ремонтных смен. Например, проходчики на угольной шахте, использующие отбойные молотки, выполняют их обслуживание, а ремонтный персонал выполняет работы по обслуживанию сложного оборудования.

Пользователи автоматического оборудования (полностью механизированного и автоматизированного). Используют оборудование без воздействия на него, например, персонал цеха пользуется системой отопления в административно - бытовом корпусе. Обслуживание такого оборудования выполняется специализированным ремонтным персоналом. Дополнительно он управляет оборудованием, например, отрывает вентили для повышения температуры в помещении. Ремонтный персонал выполняет все работы по обслуживанию оборудования, а эксплуатационный персонал (пользователи) в его обслуживании не участвуют.

Из анализа видов технологического персонала видно, что повышение степени механизации и автоматизации промышленного оборудования приводит к увеличению доли ремонтного персонала в штате цеха. При этом вне зависимости от вида оборудования ремонтный персонал решает комплекс задач, объединенных в его предметную область, имеющую подобную структуру на любом предприятии [4], рисунок 2.

В рамках модуля «РЕМОНТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ» выполняется физическое воздействие на оборудование, результатом которого является его восстановленное работоспособное состояние. Использование модуля «ОБРАЗ ОБОРУДОВАНИЯ» обеспечивает формирование комплекса данных об оборудовании, необходимых для решения задач системы ТОиР, в том числе и данные о ТС Y , используемом при прогнозировании стохастических дат отказа $T_{ОТК}$ его элементов. В модуле «ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ» решаются задачи планирования, подготовки и описания выполненных ремонтных воздействий, включающих разработку и обмен ремонтной документацией между персоналом системы ТОиР.

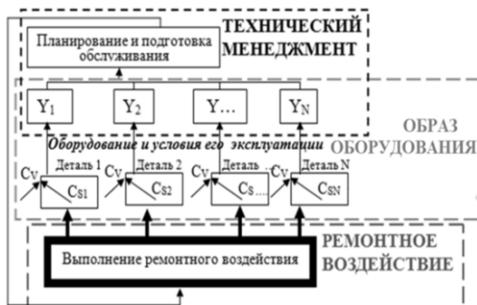


Рисунок 2. Предметная область системы ТОиР

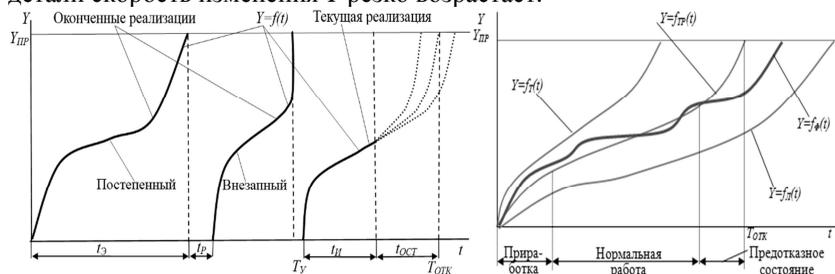
Учитывая причину существования системы ТОиР, выполнение ремонтного воздействия при достижении деталью $Y_{ПР}$, ее первичным компонентом можно считать прогнозную модель, используемую для определения даты отказа детали $T_{ОТК}$ при достижении ею $Y_{ПР}$. Толкование термина «техническое состояние» имеет отличие в различных стандартах [6,8]. Общим признаком этого термина для эксплуатируемого оборудования можно считать предельное значение $Y_{ПР}$, при достижении которого необходимо выполнять ремонтное воздействие. На изменение Y детали оказывают влияние внешние факторы C_v , действие которых приводит к ухудшению Y и свойств детали C_s , которые обеспечивают ее противостояние внешним факторам. Соотношение C_v и C_s определяют скорость и характер изменения ТС при эксплуатации детали.

Первым случаем использования оценки Y можно считать ее применение для отдельной детали. Характерным признаком изменения $Y=f(t)$ в этом случае является постоянный знак скорости (за время эксплуатации Y только ухудшается) (рисунок 3). В истории реализаций конкретной детали можно выделить три их вида (рисунок 3а):

1. Оконченная реализация постепенного отказа, где деталь имела свойства C_s и эксплуатировались в условиях C_v , заложенных

конструктором. Скорость изменения Y соответствовала заложенной конструктором.

2. Оконченная реализация внезапного отказа, когда свойства детали C_S или условия ее эксплуатации C_V значительно отличались от заложенных конструктором. В этом случае после некоторого периода эксплуатации детали скорость изменения Y резко возрастает.



а. Виды реализаций функции

б. Функции постепенного отказа

Рисунок 3. Функция изменения ТС

3. Текущая реализация соответствует детали, находящейся в оборудовании в текущее время. Для нее необходимо спрогнозировать дату отказа $T_{ОТК}$, наступающего при достижении ею $Y_{ПР}$. В этом случае на периоде эксплуатации текущей реализации детали выделяют детерминированную оценку использованной части ресурса t_H и стохастическую прогнозную оценку остаточного ресурса t_{OCT} на периоде упреждения прогноза. Результатом использования оценок t_H и t_{OCT} в рамках прогнозной модели является стохастическая прогнозная дата $T_{ОТК}$ достижения $Y_{ПР}$ и отказа детали

$$T_{ОТК} = T_H + t_H + t_{OCT},$$

где T_H – дата начала текущей реализации детали, равная дате начала упреждения прогноза T_Y .

Каждой закрытой реализации детали можно поставить в соответствие период t_3 , когда она использовалась по назначению, и период t_P , когда выполнялось ремонтное воздействие по восстановлению ее работоспособного состояния. Эти периоды из совокупности окончанных реализаций используются при определении коэффициента готовности оборудования

$$K_T = \sum t_3 / (\sum t_3 + \sum t_P).$$

Анализ окончанных реализаций в случае постепенного отказа, выполненный с учетом стохастического характера изменения ТС детали, позволяет определить характерные функции, показанные на рисунке 3б, которые соответствуют условиям эксплуатации:

- средним (математическому ожиданию), тренд (тр), $Y = f_{ТР}(t)$;

- наиболее тяжелым, тяжелая (т), $Y = f_T(t)$;
- наиболее легким, легкая (л), $Y = f_L(t)$;
- для конкретной реализации детали, фактическая (ф), $Y = f_\Phi(t)$.

При решении задач системы ТОиР используются различные функции. Функция $Y = f_T(t)$ используются при прогнозировании $T_{ОТК}$ и даты ремонта $T_{РЕМ}$, $Y = f_{ТР}(t)$ - при определении годовой потребности в запчастях. Эти функции используются при решении и других задач ТОиР.

Второй случай использования оценки ТС применяется для характеристики комплекса из двух и более деталей. В этом случае функция $Y=f(t)$ включает как участки ее ухудшения при эксплуатации, так и участки частичного или полного улучшения после выполнения ремонтных воздействий по восстановлению исправного состояния отдельных деталей. Оценка Y комплекса деталей используется для обоснования остановки машины на ремонт с определением содержания ремонта после ее разборки. С другой стороны, такая оценка Y , полученная по машине в целом, может быть основанием к выполнению диагностирования ее отдельных элементов и определению перечня деталей, требующих ремонта.

Факторы, влияющие на скорость изменения Y детали, могут как изменяться за время эксплуатации детали, так и быть неизменными. Эта особенность учитывается при определении скорости изменения Y детали на периоде упреждения прогноза. К внутренним факторам C_S можно отнести предел прочности материала детали, который не изменяется в процессе эксплуатации детали, и геометрию ее поверхности, которая изменяется, что может приводить как к увеличению скорости изменения Y . так и ее снижению. Среди внешних факторов C_V следует выделить нагрузки приложенные к детали, значения и продолжительность действия которых определяются видом и объемами выпускаемой продукции, приведенными в производственной программе. Анализ влияния производственной программы на нагрузки, прилагаемые к оборудованию, позволили разделить технологические процессы в металлургии на три вида, таблица 1.

В случае вариативного технологического процесса изменение вида продукции приводит к изменению нагрузки на деталь. Значения минимальной P_L и максимальной P_T нагрузок определяются видом продукции и позволяют определить размах нагрузки $R = P_T/P_L$. Как видно из таблицы 1, к вариативным относятся технологические процессы прокатного передела и разливки стали на машинах непрерывного литья заготовок.

Стационарные технологические процессы соответствуют доменному и сталеплавильному переделам, где изменение вида выпускаемой продукции не приводит к изменению нагрузки.

Таблица 1

Виды технологических процессов

№ п/п	Машина	Вид продукции		Нагрузка, кН		Размах R	Вид процесса
		Легкий	Тяжелый	P_L	P_T		
Листопрокатный стан 2300							
1	Дисковые ножницы	ВСтЗсп, (5x1800) мм	Сталь 65, (20x1100) мм	24,69	313,01	12,68	Вариативный
2	Гильотинные ножницы	ВСтЗсп, (5x1100) мм	Сталь 65Г, (20x1800) мм	24,8	410	16,2	Вариативный
МНЛЗ сортовая							
3	Кристаллизатор	(100x100) мм	(180x180) мм	28,47	51,25	1,8	Вариативный
Доменная печь 1033 м²							
4	Пушка для забивки чугуновой летки	Любой чугун		2400	2400	1	Стационарный
5	Воздушно разгрузочный клапан	Любой чугун		1,3	1,3	1	Стационарный

Случайные процессы характерны для вспомогательного оборудования, в случае которых содержание производственной программы не влияет на его работу.

Для оценки Y текущей реализации детали в заданный момент времени T_y , от которого выполняется прогнозирование t_{OCT} , применяются теоретические или экспериментальные подходы. В основе теоретического подхода лежит прочностной расчет, используемый при проектировании оборудования. Исходными данными в этом подходе приняты прочностные и геометрические характеристики детали, а также производственная программа, выполненная от начала текущей реализации до T_y . Экспериментальный подход к оценке текущего Y предполагает использование результата диагностирования D , полученного в момент времени T_y . Анализ результата D обеспечивает получение значения Y текущей реализации. Частным случаем анализа является использование значения D в качестве оценки Y , в этом случае $Y=D$.

Для получения результата диагностирования D используются методы технической диагностики или неразрушающего контроля. Методы технической диагностики базируются на оценке изменения поверхности детали. В случае неразрушающего контроля оцениваются повреждения в теле детали, например, трещины, раковины и т.д.

Использование данных о текущем Y обеспечивает определение параметров частного случая прогнозной модели

$$T_{OТК} = T_y + t_{OCT} = T_y + f(Z, PM, PF, ВБР) \quad .$$

где Z - вид закона распределения остаточного ресурса;

PM - параметр масштаба, обеспечивающий получение оценки математического ожидания остаточного ресурса;

PF - параметр формы, обеспечивающий получение оценки коэффициента вариации остаточного ресурса;

ВБР - заданная вероятность безотказной работы.

Близкими к прогнозным моделям являются модели отказов, приведенные в ГОСТе [4]. Однако среди них отсутствуют модели, использующие данные о свойствах деталей C_S и условиях их работы C_V , данные о текущем Y , которые применяются в системе ТОиР металлургического предприятия. В зависимости от характера исходных данных, используемых для параметризации, можно выделить четыре вида базовых прогнозных моделей.

Ресурсные – используют статистику ремонтов, представленную датами и другими характеристиками выполненных ремонтов, описываемыми в агрегатном журнале. На основе этих данных формируется матрица ресурсов детали и дата начала ее текущей реализации, принимаемая датой T_Y начала упреждения прогноза. На основе матрицы ресурсов, используя типовой аппарат математической статистики, определяется вид закона Z распределения ресурса и его параметры PM, PF .

Экспертные – используют экспертные оценки, формируемые из опроса ремонтного персонала в случае отсутствия документальных данных о датах выполненных ремонтов. Экспертные оценки представлены минимальным ресурсом детали t_{MIN} и максимальным t_{MAX} , датой начала текущей реализации T_Y . На основе этих данных, используя упрощенный аппарат математической статистики, для нормального закона Z определяется параметры PM, PF .

Прочностные - используют стохастические оценки C_S прочностных и геометрических характеристик детали, нагрузок C_V , действовавших на нее в рамках текущей реализации и определяемых производственной программой, выполненной к моменту T_Y . Используя стохастическую версию прочностного конструкторского расчета определяется расчетное значение Y детали на момент времени T_Y . Далее, используя данные о планируемой производственной программе на периоде упреждения прогноза, определяется вид закона распределения Z остаточного ресурса и его параметры PM, PF .

Диагностические - используют данные о изменении Y детали по ее закрытым реализациям и по текущей. При этом на основе данных по закрытым реализациям формируется стохастическая модель изменения Y детали, представленная видом закона распределения Z остаточного ресурса и его параметры $PM(Y), PF$. Затем, используя данные о Y текущей

реализации детали и дате ее оценки T_y , определяется текущее значение параметра PM .

Сравнение результатов использования приведенных элементарных прогнозных моделей показывает, что наименее точная экспертная модель является наиболее простой в использовании и наименее затратной. Наиболее дорогой в использовании является диагностическая прогнозная модель, обеспечивающая наивысшую точность прогноза.

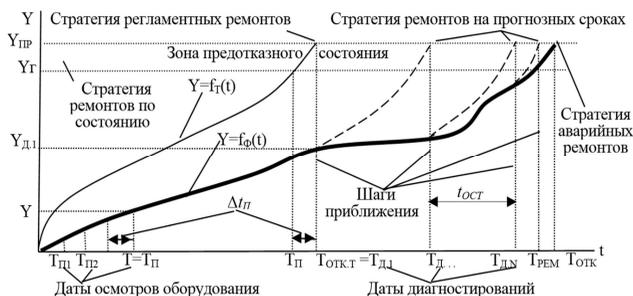


Рисунок 4. Графическая интерпретация стратегий ремонтов

Анализ использования прогнозных моделей для определения даты $T_{РЕМ}$, показывает, что общий случай прогнозирования базируется на диагностической прогнозной модели, предполагающей последовательное приближение к этой дате, рисунок 4. В рамках этого случая на каждом K -м шаге приближения в момент времени $T_{Д.К}$ выполняется диагностирование и оценивается текущее значение $Y_{Д.К}$. На основе этих данных выполняется корректировка параметров прогнозной модели $T_{У.К} = T_{Д.К}$, $PM_K = f(Y_{Д.К})$. Затем, задавшись необходимым значением $ВБР$, определяется прогнозное значение остаточного ресурса детали $t_{ОСТ.К} = f(Z, PM_K, PF, ВБР)$ и сравнивается с его минимальным допустимым значением t_{MIN} .

При выполнении условия $t_{ОСТ.К} < t_{MIN}$ прогнозная дата отказа $T_{ОТК.К} = T_{У.К} + t_{ОСТ.К}$ принимается датой ремонта $T_{РЕМ} = T_{ОТК.К}$. Иначе очередная $K+1$ оценка Y выполняется в расчетную дату отказа $T_{Д.К+1} = T_{ОТК.К}$, что соответствует очередному шагу приближения к прогнозной дате ремонта.

Важным фактором, определяющим принципы построения системы ТОиР и обеспечения ее ресурсами, являются используемые стратегии ремонтов (обслуживания оборудования). В различных публикациях [6,7], приведены четыре стратегии обслуживания оборудования (maintenance), однако не указан классификационный признак, что затрудняет их выделение в практике работы системы ТОиР. Для устранения этого недостатка предлагается в качестве классификационного признака

использовать подход к прогнозированию даты T_{PEM} оборудования. Используя традиционную терминологию и термины, приведенные в стандарте [6], выделены стратегии ремонтов (рисунок 4).

1) Стратегия аварийных ремонтов (корректирующее обслуживание, *corrective*)- базируется на фактической функции $Y = f_{\phi}(t)$ и не предусматривает прогнозирования T_{PEM} . При ее использовании датой T_{PEM} принимается фактическая дата достижения $Y_{ПР}$ детали и ее отказа. Эта стратегия предполагает, что ремонт выполняется после не запланированной (аварийной) остановки оборудования в результате разрушения детали.

2) Стратегия регламентных ремонтов (профилактическое обслуживание, *preventive*) базируется на кривой, соответствующей тяжелым условиям эксплуатации $Y = f_T(t)$. В основе прогноза T_{PEM} лежит нормативный ресурс t_{PEC} , определяемый как значение ресурса, соответствующего заданной $ВБР$ по группе подобных элементов оборудования. При этой стратегии замена деталей выполняется через промежутки времени t_{PEC} , что приводит к частичному использованию фактического ресурса, но снижает количество аварийных отказов.

3) Стратегия ремонтов по состоянию (обслуживание по состоянию, *condition based*) предполагает, что с заданной периодичностью $\Delta t_{П}$ оценивается текущее Y детали, соответствующее фактической кривой $Y = f_{\phi}(t)$. В случае, если полученная оценка Y превышает граничное значение Y_G и оказывается в зоне предотказного состояния $Y > Y_G$, в ближайший ремонт назначается замена детали. Такая стратегия обеспечивает максимальное использование ресурса детали при заданном значении $ВБР$, однако требует большого количества диагностирований.

4) Стратегия ремонтов на прогнозных сроках (обслуживание ориентированное на безотказность, *reliability centered*) предполагает определение стохастической оценки t_{OCT} детали на основе текущих данных Y, T , соответствующих фактической кривой $Y = f_{\phi}(t)$. Далее, используя общий случай прогнозирования T_{PEM} , принимается решение на выполнение ремонта либо проведение очередного диагностирования и получение оценки Y . Эта стратегия включает использование сложного математического аппарата, обеспечивает максимальное использование ресурса детали при заданном значении $ВБР$ и требует малого количества диагностирований.

Все стратегии, кроме аварийного обслуживания, являются предупредительными, что определяет предпочтение к их использованию в практике работы системы ТОиР промышленного предприятия. Сравнение этих стратегий показывает, что стратегии, базирующиеся на данных о текущем Y , являются более эффективными, как обеспечивающие практически полное использование ресурса элемента

оборудование. Однако высокая трудоемкость решения задачи определения $T_{РЕМ}$, в основе которой лежит использование оценки текущего $У$ элемента оборудования на основе данных диагностирования, сдерживает применение этой стратегии в практике работы системы ТОиР.

Отталкиваясь от стандарта [8] и учитывая характер использования материальных ресурсов при обслуживании оборудования, ремонтные воздействия можно объединить в три группы.

Техническое обслуживание – выполняется без использования запасных частей, используемых для замены элементов кинематической цепи машины. В рамках технического обслуживания выполняется регулировка, обтяжка крепежа, замена смазки, рабочих жидкостей и рабочих органов машины, планом для которых является карта технического обслуживания. При разработке содержания этой карты, определении сроков и объемов использования материальных ресурсов применяется стратегия регламентного обслуживания.

Текущий ремонт – включает замену элементов кинематической цепи машины с использованием запасных частей. В его рамках также выполняются работы технического обслуживания. План текущего ремонта разрабатывается за несколько дней до его выполнения и представлен ремонтной ведомостью. Она включает ремонтные воздействия, для выполнения которых на складе цеха имеются необходимые материальные ресурсы. Как правило, при определении содержания текущего ремонта используется стратегия обслуживания по состоянию. В то же время упреждающая поставка запасных частей на склад предполагает их заявку, когда содержание текущего ремонта еще неизвестно. Сроки и объемы заявки запчастей определяются на основе прогнозных сроков отказа деталей в рамках стратегии ремонтов на прогнозных сроках.

Капитальный ремонт – включает замену базовых элементов машины (рамы, корпуса, станины) и выполнение работ текущего ремонта. Минимальная продолжительность капитального ремонта определяется продолжительностью замены базовой детали. Подготовка капитального ремонта включает разработку его содержания, представленного ведомостью дефектов, с последующим обеспечением необходимыми ресурсами. Как правило, при определении содержания капитального ремонта используется стратегия обслуживания по состоянию.

Предложенная трактовка сущностей технического менеджмента системы ТОиР обеспечит упрощение общения специалистов в описании и решении ее задач.

Библиографический список

1. Кикель П.В., Сороко Э.М. Краткий энциклопедический словарь философских терминов – Минск: БГПУ, 2006.– 266с.
2. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно – технического назначения ГОСТ Р 53791-2010. [Действует с 2011-01-01.] – М.: Стандартиформ, 2011. – 12 с.
3. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - Донецк: Юго-Восток, 2007. - 379 с.
4. Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник- /Под редакцией д-ра техн.наук, проф. В.Я.Седуша. – Донецк: Норд-Прес-Унитех, 2007.-258с.
5. ГОСТ Р 27.004-2009. Надежность в технике. Модели отказов. [Действует с 2010-09-01.] – М.: Стандартиформ, 2010. – 16с. (Национальный стандарт Российской Федерации)
6. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ Р 53480-2009 [Действует с 2009-12-09] – М.: Стандартиформ, 2009. – 31с..
7. Антоненко И.Н., Крюков И.Э. Информационные системы и практики ТОИР: Этапы развития / Главный энергетик. - 2011. - № 10. – С. 37-44.
8. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. ГОСТ 18322-78. [Действует с 1980-01-01] – М.: Издательство стандартов, 1991. – 12 с.

УДК 621.771.06+621.771.01

А.М. Кривенцов, С.В. Родинков

ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. академика Целикова»

г. Москва, Россия

E-mail: ops-m@rambler.ru

Дата поступления 01.04.2014

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЯ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ РУЧЬЁВ КАЛИБРА ВАЛКОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ И ОСЕВОЙ ЖЕСТКОСТЕЙ СОРТОПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Аннотация

Разработана методика регламентирования упругих перемещений ручьев калибра при прокатке сортовых профилей путем обеспечения рационального соотношения радиальной и осевой жесткости рабочей клетки, гарантирующего производство круглого проката повышенного качества по геометрическим размерам.

Ключевые слова: сортовая прокатка; осевая жесткость; радиальная жесткость; рабочая клеть; сила прокатки; точность.

Жесткость является одним из наиболее важных конструктивных параметров рабочей клетки, так как она регламентирует упругие перемещения ручьев калибра и определяет, тем самым, геометрическую точность прокатываемого профиля. При нахождении величины жесткости должна учитываться специфика сортовой прокатки, которая характеризуется несколькими принципиальными отличиями от листовой прокатки. Так, при прокатке сортовых профилей имеют место осевые усилия, которые оказывают значительное влияние на точность проката. При прокатке симметричных профилей, например, круглой, квадратной и шестигранной сталей, причинами появления осевых усилий являются неточности настройки и изготовления валков и привалковой арматуры. Исследованиями установлено, что осевые усилия в рассматриваемом случае могут достигать 10%, а в отдельных случаях даже 15% от радиальных сил прокатки. Переменные осевые силы приводят к взаимному смещению ручьев калибра и снижению точности прокатываемого сортового профиля.

Кроме того, процесс сортовой прокатки характеризуется развитым уширением, при котором колебания размеров по ширине значительно больше, чем по высоте. Эта разница может достигать 3-х кратной и более величин и приводит к тому, что точность при сортовой прокатке и соответственно параметры оборудования и технологии определяют изменения по ширине профиля, а не по высоте как при листовой прокатке [1].

Важной отличительной особенностью сортовой прокатки является также периодическое изменение на 90° направление деформации, что, в целом, предъявляет более высокие требования к прокатному оборудованию. Из изложенного выше следует, что при сортовой прокатке упругие перемещения ручьев калибра по высоте и ширине должны быть регламентированы.

Известно два способа регламентирования упругих перемещений ручьев калибров валков сортопрокатных клеток [2, 3]. В работе [2] за базу регламентирования принято положение: «что для получения одинаковых отклонений размеров проката изменения деформаций клетки в осевом и радиальном направлениях должны быть равны». Как показала эксплуатация клеток с таким регламентированием равенство деформаций клетки в осевом и радиальном направлениях сокращает диапазон регулирования режима деформаций и снижает выход годного проката. В работе [3] за основу регламентирования приняты положения «равенство потерь допуска по причинам радиальной и осевой деформаций клетки» и

«деформации клетки определяются через усилия и жесткости», что является недостатком рассматриваемого способа, т.к. изменения размеров прокатываемого профиля являются следствием колебаний сил прокатки, а не абсолютными их значениями. В принципе, оба известных способа регламентирования базируются на одном условии

$$\delta x = \delta y, \quad (1)$$

где δx и δy - упругие относительные смещения ручьев валков соответственно по осям X и Y .

При сортовой прокатке в результате изменения параметров деформации происходит смещение ручьев валков как по ширине, так и по высоте калибров (рисунок 1), что приводит к соответствующим изменениям размеров профиля, а так как изменения размеров профиля должны находиться в пределах действующих стандартов, то упругие перемещения ручьев по этим направлениям должны быть соответствующим образом регламентированы.

Влияние перемещений ручьев на размеры калибра и, соответственно прокатываемого в нём профиля, рассмотрено на примере изменения положения ручьев круглого калибра диаметром D и описанного диагонального квадрата стороной D . Так как рассматриваемый процесс симметричный, то рассмотрены перемещения только верхнего ручья. Перемещения по оси Y , как следует из равнобедренного и прямоугольного ΔABC , изменяют стороны на одинаковую величину, равную

$$\delta D = \delta y / \sqrt{2}. \quad (2)$$

Перемещение δx , если рассматривать равнобедренный и прямоугольный ΔCFE , один диаметр круга увеличивает, а другой уменьшает на величину

$$\delta D = \delta x / \sqrt{2}. \quad (3)$$

А так как

$$D_{\max} = D + \delta D, \quad a \quad (4)$$

$$D_{\min} = D - \delta D, \quad (5)$$

то, следовательно, овальность

$$D_{\max} - D_{\min} = 2 \delta D. \quad (6)$$

Стандартами точность круглых профилей регламентируется предельными отклонениями диаметра круга и овальностью, которая не должна превышать 50% предельных отклонений по диаметру круга, что отражает зависимость

$$2\delta D = \delta y / 2 \quad (7)$$

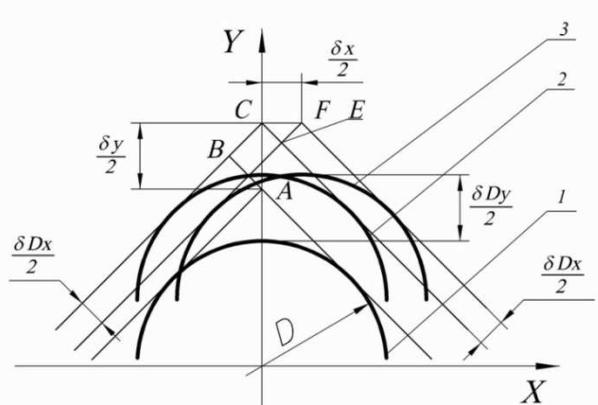


Рисунок 1. Схема к определению влияние упругих перемещений ручьёв δx и δy на изменение размеров круглого калибра.

1 – исходное положение ручья, 2 – радиальное упругое перемещение ручья, 3 – радиальное и осевое упругое перемещение ручья.

Из уравнения (7) следует, что предельная овальность круга имеет место только при предельном отклонении диаметра круга, а в остальных случаях она меньше этой величины, что способствует улучшению геометрических параметров круга. Из совместного решения выражений (3) и (7) найдено соотношение между упругими перемещениями по осям X и Y которое обеспечивает выполнение условия (7).

$$\delta x / \delta y = \sqrt{2} / 4. \quad (8)$$

Зависимость овальности $2\delta D$ от δy при условии (1) находится из уравнения (3) путем умножения обеих частей уравнения на 2 и замены δx на равно δy , т.е.

$$2\delta D = 2\delta y / \sqrt{2}. \quad (9)$$

После элементарных преобразований получено, что при условии $\delta x = \delta y$ овальность $2\delta D$ в функции упругих перемещений δy определяется зависимостью

$$2\delta D = \sqrt{2} \delta y. \quad (10)$$

Сравнение зависимости овальности в функции радиальных перемещений δy по уравнению (10) при известном условии (1) с зависимостью (7) при условии регламентирования перемещений по уравнению (8) приведено в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	δy , мм	Овальность ($2\delta D$) и максимальное отклонение по диаметру (δD_{\max}) при условиях I и II, мм				
		I. $\delta x = \delta y$		II. $\delta x / \delta y = \sqrt{2} / 4$		
		$2\delta D = \sqrt{2} \delta y$,	$\delta D_{\max} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$	$2\delta D = \delta y / 2$	δx	$\delta D_{\max} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$
1	0,1	0,14	0,14	0,05	0,035	0,11
2	0,2	0,28	0,28	0,10	0,07	0,21
3	0,284	0,4	0,4	0,142	0,1	0,3
4	0,3	0,42	0,42	0,15	0,105	0,32
5	0,4	0,57	0,57	0,20	0,14	0,42
6	0,5	0,71	0,71	0,25	0,175	0,53
7	0,6	0,85	0,85	0,30	0,21	0,64
8	0,7	0,99	0,99	0,35	0,245	0,74
9	0,75	1,06	1,06	0,375	0,264	0,8
10	0,8	1,13	1,13	0,4	0,28	0,85

В качестве исходных данных принят ГОСТ 2590-88, в котором прокат стальной горячекатаный круглый $\emptyset 5 \dots \emptyset 19$ мм обычной точности имеет предельные отклонения по диаметрам - 0,8 мм и по овальности - 0,4 мм.

В табл. 1 жирным курсивом выделены отклонения размеров по диаметру и овальности профиля, выходящие за пределы поля допуска ГОСТа. Таким образом, распространенное условие равенства перемещений по осям X и Y (1) сокращает диапазон регулирования режимов деформации и способствует снижению выхода годного по овальности. Кроме того, сокращенный диапазон регулирования требует более частых остановок стана для подстроек режима деформации, что, в свою очередь, уменьшает производительность.

Перемещения δx и δy , определяются изменениями сил прокатки δP_x и δP_y , а также жёсткостями M_x и M_y по уравнениям

$$\delta x = \delta P_x / M_x, \quad (11)$$

$$\delta y = \delta P_y / M_y. \quad (12)$$

Вследствие неточностей изготовления ручьёв калибров и их взаимного смещения, а также погрешностей настройки привалковой арматуры относительно ручьёв калибра сила прокатки P отклоняется от вертикали на угол α , причём отклонения равновероятны как в одну, так и в другую стороны от вертикали.

Взаимосвязь между силами P_x и P_y определяется очевидным соотношением (рисунок 2)

$$P_x/P_y = \operatorname{tg} \alpha . \quad (13)$$

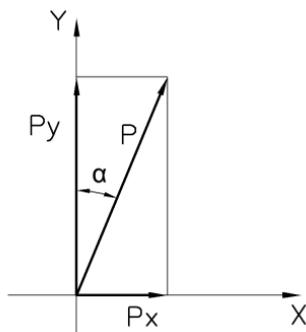


Рисунок 2. Пояснительная схема к определению взаимосвязи между силами P_x и P_y .

Так как колебания δP_x и δP_y являются малыми величинами более высокого порядка, то

$$(P_x + \delta P_x) / (P_y + \delta P_y) \cong P_x / P_y, \quad (14)$$

из которого следует, что

$$\delta P_x / \delta P_y = P_x / P_y = \operatorname{tg} \alpha . \quad (15)$$

Из соотношений (14), (15) и (8) получено, что

$$(\delta P_x / M_x) / (\delta P_y / M_y) = \sqrt{2} / 4, \quad (16)$$

а из выражений (15) и (16) найдено, что

$$M_x / M_y = (4 \operatorname{tg} \alpha) / \sqrt{2}. \quad (17)$$

На современных мелкосортных станах стремятся, чтобы угол α не превышал $2^\circ \dots 4^\circ$, поэтому

$$M_x = (0,1 \dots 0,2) \cdot M_y. \quad (18)$$

Полученную зависимость (17) рекомендуется использовать при создании рабочих клеток сортовых станов с точки зрения обеспечения требуемых стандартных допусков на готовый прокат.

На способ регламентирования упругих перемещений ручьёв калибра валков сортопрокатной клетки, рассмотренный выше получен патент РФ [4], который реализован при создании клеток 560, 450, 380 и 280 стана «280» [5] (рисунок 3) и прокатного комплекса ПНК380/280 [6] (рисунок 3) конструкции АХК ВНИИМЕТМАШ им. акад. Целикова, которые в настоящее время успешно эксплуатируются в промышленности.



Рисунок 3. 18-ти клетевой непрерывный мелкосортный стан «280»
ГУП ЛПЗ г. Ярецво.



Рисунок 4. Прокатный комплекс ПНК380/280 ФГУП НПП
газотурбостроения «САЛЮТ»

Библиографический список

1. Пасечник Н.В., Родинков С.В., Кривенцов А.М. и др. Влияние конструктивных параметров оборудования и технологии прокатки на точность сортовых профилей. Тяжелое машиностроение. 2008. №5. С. 25-29.
2. Сапожников А.Я. Предварительно напряжённые клетки повышенной нагрузочной способности для точной прокатки сортового металла. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. 1968. С. 167.
3. Бурлачков Ю.П. Создание, исследование и внедрение клеток новой конструкции для прокатки сортовых профилей повышенной точности. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. 1975. С. 44.
4. Патент №2408444 (РФ), В21В 1/16 Способ регламентирования упругих перемещений ручьёв калибра валков сортопрокатной клетки / А.М. Кривенцов, В.В. Аксенов, Р.В. Семенцул, Н.В. Соломичев, С.В. Родинков, В.В. Вакаренко, М.А. Сарафанов, А.А. Горлова // Б.И. 2011. № 1.

5. Родинков С.В.. Разработка, исследование и промышленное внедрение рабочих клетей повой конструкции в составе мелкосортного стана. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М., 2011.
6. Родинков С.В., Аксенов В.В., Кривенцов А.М., Мельников Б.Ф., Голубев А.К. Создание и освоение прокатного мини комплекса для производства широкого размерного сортамента сортовых профилей из высоколегированных сталей, титановых и никелевых сплавов //Высокотехнологичное оборудование для металлургической промышленности. Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения акад. А.И. Целикова. М.: ВНИИМЕТМАШ им. акад. А.И. Целикова. 2004. С. 199-208.

УДК 621.771.25/26: 004.94

С.Ю. Саранча, А.Б. Моллер

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Россия

Email: elenyaharyon@gmail.com

Дата поступления 17.06.2014

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ММК» ПУТЕМ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ

Аннотация

В металлургическом производстве точность межвалкового зазора необходима для получения стабильного качества геометрии металлопродукции согласно требованиям заказчика. Основываясь на практическом опыте, можно заключить, что повышение точности регулировки межвалкового зазора, а именно, снижение минимального шага варьирования зазора до 0,01 мм повышает коэффициент выхода годного в сортопрокатном переделе.

Ключевые слова: незаказная длина; раскрой; варьирование площади поперечного сечения готовой продукции; сокращение потерь металла; повышение эффективности сортопрокатного производства; варьирование межвалкового зазора; ИТ; оптимизация технологии раскроя; сортопрокатное производство; межвалковый зазор; точность выставления межвалкового зазора; шаг выставления межвалкового зазора.

На металлургическом производстве существует мнение, что высокая точность оборудования и производства необходимы только для металлопродукции высшего класса - например, на сортопрокатных станах, ориентированных на выпуск арматуры или профилей с низким классом точности, нет необходимости в использовании высокоточного оборудования. Практический опыт, полученный на ОАО «ММК» в рамках НИОКР «Снижение выпуска продукции незаказной длины» [1], позволяет заключить, что при производстве арматуры и профилей низкого класса точности также необходима высокая точность выставления межвалкового зазора, как и на продукции с высоким классом точности. В рамках научно-исследовательской работы было разработано программное обеспечение, предназначенное для моделирования и прогнозирования количества незаказной длины на сортовом стане [2]. Данное ПО позволяет найти оптимальную величину межвалкового зазора для конкретной заготовки, профиля и заказной длины, при которой незаказная длина будет минимальной.

В начале 2000-х годов ОАО «ММК» обновила сортопрокатный передел, установив три сортопрокатных стана фирмы Danieli: 170, 370, 450 [3]. Минимальный шаг выставления зазора на стане 370 равняется 0,05 мм, что по данным НИОКР и ПО «Раскрой продукции сортопрокатных станов» [4] недостаточно для получения максимального эффекта от метода варьирования межвалкового зазора для сокращения немерной продукции на сортопрокатных станах.

Снижение минимального шага выставления зазора в последней клетки с 0,05 мм до 0,01 не только позволяет снизить незаказную длину в сортопрокатном переделе, но и зачастую является единственным способом ее сокращения - данная особенность характерна для крупносортовой продукции.

Проведем сравнение минимального шага варьирования зазора - 0,05 и 0,01 мм.

Как можно заметить, на крупном профиле шаг 0,05 мм не позволяет сократить немерный остаток в рамках метода варьирования площади поперечного сечения готовой продукции в пределах допустимых значений. В тоже время, повышение точности установки межвалкового зазора до 0,01 мм позволит значительно сократить немерный остаток - на профиле круг 48 длина немерного остатка сокращается на 95%. Таким образом, на крупных профилях повышение точности установки межвалкового зазора позволяет сократить количество брака в сортопрокатном переделе, тогда как обычной точности выставления зазора не хватает.

Таблица 1

Результаты прокатки профиля круг 48 на стане 370 ОАО "ММК"

	Прокатка		
	По умолчанию	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,05мм	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,01мм
Масса заготовки, кг	2000		
Профиль	Круг		
Заказной диаметр, мм	48		
Зазор в последней клетки, мм	2	Нет решения	1,63
Немерный остаток, м	11,33	Нет решения	0,52
Количество прутков, шт	11	Нет решения	12

Таблица 2

Результаты прокатки профиля круг 20 на стане 370 ОАО «ММК»

	Прокатка		
	По умолчанию	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,05мм	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,01мм
Масса заготовки, кг	2000		
Профиль	Круг		
Заказной диаметр, мм	20		
Зазор в последней клетки, мм	1	0,8	0,82
Немерный остаток, м	2,6	1,6	0,5
Количество прутков, шт	69	70	70

Таблица 3

Результаты прокатки профиля круг 30 на стане 370 ОАО «ММК»

	Прокатка		
	По умолчанию	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,05мм	Оптимизированная с шагом выставления зазора 0,01мм
Масса заготовки, кг	2000		
Профиль	Круг		
Заказной диаметр, мм	30		
Зазор в последней клети, мм	1,5	1,2	1,23
Немерный остаток, м	8	1,1	0,6
Количество прутков, шт	30	31	31

Как можно заметить, обычная точность выставления зазора, в принципе, позволяет значительно снизить количество нетоварной продукции на мелко-средне-сортовой металлопродукции, но повышение точности выставления зазора позволяет сократить количество брака до минимума.

Несмотря на то, что количество прутков остается, как правило, одинаковым, немерный остаток сокращается, а это значит, что меньше металла уходит в брак - а, следовательно, масса готовой продукции увеличивается. Поскольку сдача металлопродукции происходит, как правило, по массе, а не по количеству прутков, то снижение немерного остатка - другими словами, перевод металла из брака в готовую продукцию - позволяет повысить рентабельность сортового цеха.

Обобщая, повышение точности работы металлургических механизмов сортовых станов совместно с использованием метода варьирования площади поперечного сечения готовой продукции в пределах допустимых значений является одним из резервов повышения эффективности и рентабельности сортопрокатного передела.

Библиографический список

1. Моллер А.Б., Тулупов О.Н., Левандовский С.А., Кинзин Д.И., Ручинская Н.А., Саранча С.Ю., Гушина М.С., Найденова А.В., Елесина В.В., Кулакова А.Е. Отчет о НИР/НИОКР, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Финансирующая организация: ОАО «ММК», 2013г. Номер государственной регистрации: 01201366941, УДК: 621.771.25/26.
2. Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Новицкий Р.В. Немерная длина в сортопрокатном производстве и способы ее устранения.: Калибровочное бюро. 2013. №2. С.48-55.
3. Тулупов О.Н, Моллер А.Б., Нигрис Д, Чукин М.В, Кинзин Д.И. Гибкие решения в технологии и подготовке кадров: позитивный опыт сотрудничества с компанией DANIELI - Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 81-85.
4. Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Кинзин Д.И., Новицкий Р.В.. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Раскрой продукции сортопрокатных станов».: ОБПБТ. 2013 №2013619897 (№4, С.470)

УДК 621.785.5:669-2

Я.А. Чейлях
ПАО «МК «Азовсталь» группы МЕТИНВЕСТ
г. Мариуполь, Украина
E-mail: yan.cheilyakh@gmail.com
Дата поступления 04.05.2014

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАПЛАВКОЙ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, САМОУПРОЧНЯЮЩИХСЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация

Приведены результаты сравнительных комплексных испытаний наплавленного износостойкого Fe-Cr-Mn металла, содержащего метастабильный аустенит в структуре, благодаря чему способному к самоупрочнению в процессе изнашивания в условиях испытаний и эксплуатации. Он обладает в 1,5...2 раза более высокими показателями износостойкости в разных условиях изнашивания в сравнении с широко применяющимся дорогим и дефицитным Св-08Х20Н10Г7СТ.

Ключевые слова: наплавленный металл, легирование, метастабильный аустенит, мартенсит, мартенситное превращение, износостойкость.

Многие наплавочные материалы, применяющиеся для восстановления наплавкой металлургического оборудования содержат остродефицитные легирующие элементы (никель, молибден, ванадий, ниобий), что увеличивает ремонтно-эксплуатационные затраты и не всегда экономически оправдано. Разработка новых экономнолегированных наплавочных материалов, не содержащих этих компонентов и одновременное повышение износостойкости многих быстроизнашивающихся деталей и инструмента остается актуальной научной и прикладной задачей [1, 2].

Для восстановления электродуговой наплавкой валков пилгримовых прокатных станов, роликов рольгангов и др. деталей металлургического оборудования широко применяется дорогая и дефицитная проволока Св-08Х21Н10Г7СТ, содержащими 9,5...10,5 % никеля, ~ 20 % хрома [2]. С целью экономии остродефицитных компонентов и замены дефицитных материалов, была разработана наплавочная порошковая проволока, обеспечивающая наплавку метастабильного Fe-Cr-Mn наплавленного металла (НМ) [3], способного к самоупрочнению при трении-изнашивании непосредственно в процессе эксплуатации.

Целью настоящей работы является изучение технических возможностей нового наплавочного материала и наплавленного ею экономнолегированного Fe-Cr-Mn метастабильного металла для замены известных дефицитных и дорогих материалов и одновременного повышения износостойкости деталей.

Электродуговая наплавка новой порошковой проволокой производилась на основу – Ст.3 под флюсом АН-348, а для сравнения - известной проволокой Св-08Х21Н10Г7СТ (производства Российской Федерации, Германии), на аналогичную основу под флюсом АН-20 по технологическим параметрам, приведенным в таблице 1.

Из НМ анодно-дуговой резкой были вырезаны образцы размером 10x10x27 мм. Проведены испытания износостойкости наплавленных образцов разработанного (Fe-Cr-Mn) и применяющегося (Fe-Cr-Ni-Mn) НМ в одинаковых условиях изнашивания по различным схемам: сухого трения скольжения металл по металлу на машине МИ-1М; абразивного изнашивания (в среде корунда) на установке Бринелля-Хоурта; ударно-абразивного изнашивания в среде чугунной литой дроби на установке описанной в работе [4]. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Как показали сравнительные испытаний, относительная

износостойкость Fe-Cr-Mn НМ в условиях сухого трения (ϵ) в 1,6...2 раза выше, а в условиях абразивного (ϵ_a) и ударно – абразивного изнашивания ($\epsilon_{y.a.}$) в 1,5...1,7 раза выше, чем стали 08X20H10Г7СТ. При наплавке разработанной порошковой проволокой в 3-м...4-м слоях формируется аустенитно-мартенситная структура с деформационно-метастабильным аустенитом, а при наплавке проволокой Св-08X20H10Г7СТ – аустенитная достаточно деформационно-стабильная структура, не претерпевающая деформационных фазовых превращений. Важной особенностью и преимуществом Fe-Cr-Mn НМ является метастабильность аустенита, который претерпевает деформационное мартенситное $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращение при изнашивании (ДМПИ) непосредственно в процессе испытаний или эксплуатации. В результате в тонком поверхностном слое образцов Fe-Cr-Mn НМ происходит значительное самоупрочнение и повышение износостойкости поскольку образующийся мартенсит деформации имеет повышенную дисперсность и плотность дислокаций, отличается более высокой твердостью и износостойкостью по сравнению с мартенситом закалки. Кроме того, на ДМПИ затрачивается значительная часть механической энергии изнашивания и, соответственно меньшая ее часть остается на разрушение поверхности трения.

Таблица 1

Режимы электродуговой наплавки под слоем флюса

Марка проволоки	I, A	U, B	$V_{напл.},$ м/ч	N	Марка флюса
ПП-Нп-Fe-Cr-Mn	380...500	28...40	23...33	0,24...0,77	АН- 348
СВ- 08X20H10Г7СТ	480...500	30...32	28	0,3...0,4	АН- 24М

Таблица 2

Износостойкость и фазовый состав наплавленного Fe-Cr-Mn и известного 08X20H10Г7СТ металла

Марка	HRC	A, %	ϵ	$\Delta M, \%$	$\epsilon_{y.a.}$	$\Delta M_{y.a.}, \%$
Fe-Cr-Mn-1	33	95	2,53	20	5,5	36
Fe-Cr-Mn-2	24	100	2,4	16	4,8	26
08X20H10Г7СТ	19	100	1,24	0	3,2	8

Более высокий уровень износостойкости разработанного Fe-Cr-Mn металла объясняется большей склонностью к деформационному упрочнению хромомарганцевого аустенита по сравнению с хромоникелевым [5], а активной кинетикой и большим объемом реализации $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ в поверхностном рабочем слое образцов. Это

обуславливает более высокую степень деформационного самоупрочнения в процессе испытаний и, одновременно, релаксационную и адаптационную способность разработанного метастабильного Fe-Cr-Mn НМ к условиям эксплуатации.

Учитывая термоциклические условия эксплуатации валков пилигримовых станов (чередование циклов разогрева поверхности до температур ~450...550 °С и охлаждения до температур выше комнатной) было целесообразно изучить влияние низкотемпературной термоциклической обработки (НТЦО) [6] на изменение структуры и свойства НМ. НТЦО проводили по схеме нагрев↔охлаждение в температурном интервале 600↔20 °С. После оптимальных режимов НТЦО относительная износостойкость разработанного Fe-Cr-Mn НМ более чем в 2 раза выше износостойкости применяющегося металла 08Х20Н10Г7СТ (рисунок 1).

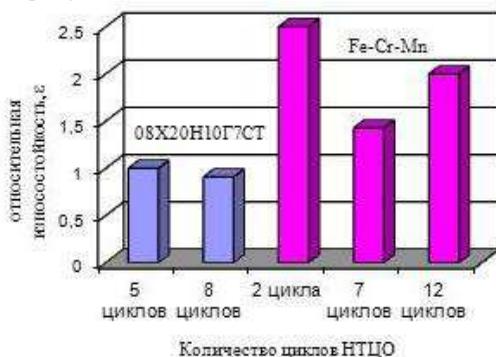


Рисунок 1. Сравнительные показатели относительной износостойкости применяющегося НМ 08Х20Н10Г7СТ и разработанного Fe-Cr-Mn после НТЦО 600↔20 °С.

Проведенные испытания свидетельствуют, что может быть достигнут более высокий уровень эксплуатационной стойкости разработанной наплавленной безникелевой стали по сравнению с хромоникелевой (Св-08Х20Н10Г7СТ). Экономическая эффективность замены дорогостоящей проволоки Св-08Х20Н10Г7СТ на разработанную Fe-Cr-Mn составляет ~\$3100 на 1 т НМ за счет меньшей стоимости и недифицитности благодаря исключению из состава 100...110 кг/т никеля, меньшем на 8...9 % содержанием хрома и значительно большей в 1,6...2 раза износостойкостью.

Рабочие органы шаровых мельниц (стальные закаленные шары диаметром от 40 до 120 мм широко применяются в странах СНГ и изготавливаются поперечно-винтовой прокаткой на станках типа СПШ-80 (шары диаметром 40, 60, 80 мм) и СПШ-125 (шары диаметром 80, 100,

120 мм). Для предотвращения движения стальной заготовки в вертикальной плоскости используются проводки (2 шт.).

Проводки представляют собой стальную плиту размерами 40x165x410 мм (для стана СПШ-80). На длинном торце проводки приваривается стальное «перо», толщина которого в зависимости от диаметра заготовки варьируется от 7...8 до 25...30 мм. На комбинате «Азовсталь» «перья» проводок изготавливают из стали 60С2 ковкой из прутков соответствующего диаметра, после чего приваривают к «телу» проводки (сталь 45). После приваривания термическая обработка проводок не производится.

Проводки относятся к сменному валковому инструменту, необходимость их периодической замены объясняется интенсивным горячим износом, нарушающим геометрию инструмента и влияющим на качество (правильность геометрии) шаров. Основными причинами износа валков и проводок являются:

- интенсивное трение поверхности валков и проводок о разогретый до 950-1100 °С металл заготовки, что вызывает их адгезионное изнашивание, стимулированное размягчением металла инструмента при нагреве (развиваются явления схватывания 1-го и 2-го рода);

- явление термической усталости, обусловленное наличием многократных циклов «нагрев-охлаждение»;

- явление адсорбционно-коррозионного растрескивания, связанное присутствием воды и водяных паров в зоне прокатки.

Для проводок характерен интенсивный и ускоренный износ, вследствие меньшей площади контакта с заготовкой, чем валки. При этом разрушение не доходит до стадии образования трещин разгара. Как правило, пара проводок заменяется 1...2 раза в смену на стане СПШ-80 и 0,5-1 раз - на стане СПШ-125 (т.е. 3...6 раз и 1,5...3 раза в сутки соответственно). Каждая такая замена сопряжена с переналадкой стана и занимает 20...30 мин, в течение которых стан простаивает, не производя продукцию. Таким образом, в связи с заменой проводок ежесуточно наблюдаются потери, которые снижают экономические показатели работы.

С целью изучения возможности восстановления и повышения срока службы изношенных проводок была произведена электродуговая наплавка разработанной экономнолегированной порошковой проволокой ПП-Fe-Cr-Mn перьев проводок в 3 слоя, толщиной ~12...14 мм на сталь 45 под флюсом АН-348. После наплавки производилась механическая обработка заготовок. Внешний вид наплавленных проводок показан на рисунок 2. Проведены производственные испытания опытно-промышленной партии проводок в условиях шаропрокатного отделения цеха рельсовых скреплений ПАО «МК «Азовсталь». Испытания

показали, что срок службы проволок, наплавленных указанной порошковой проволокой возрос в 1,5...2,0 раза по сравнению с проволоками текущего производства, рабочая часть которых изготавливается из стали 60С2.



Рисунок 2. Внешний вид наплавленных проволок шаропрокатного стана

Таким образом, разработанная порошковая проволока, технология наплавки и обработки может быть рекомендована для замены дефицитных наплавочных материалов при восстановлении различных быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования, работающих в разнообразных условиях интенсивного изнашивания.

Выводы

1. Сравнительные комплексные испытания показали повышенную износостойкость в разных условиях изнашивания разработанного Fe-Cr-Mn метастабильного металла в сравнении с известной остродефицитной и дорогой наплавленной сталью 08X20H10Г7СТ.

2. Промышленные испытания проволок шаропрокатного стана, наплавленных разработанной порошковой проволокой ПП-Нп-Fe-Cr-Mn, в условиях ПАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» показали увеличение срока службы в 1,5...2 раза в сравнении с серийными.

Библиографический список

1. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов / И.А. Рябцев. – К. : Екотехнологія, 2004. – 160 с.
2. Малинов Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Мариуполь: изд-во «Рената», 2009. – 568 с.
3. Чейлях Я.А. Структура и свойства наплавленной износостойкой Fe-Cr-Mn стали с регулируемым содержанием метастабильного

- аустенита / Я.А. Чейлях, В. В. Чигарев //Автоматическая сварка. – 2011. – №8. – С. 20-24.
4. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
 5. Филиппов М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский. – М. : Металлургия, 1988.– 256 с.
 6. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л. : Машиностроение, 1989.– 225 с.

УДК 621.771

А.К. Белан, К.А. Оганина, О.А. Белан
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: momz@magtu.ru
Дата поступления 02.06.2014

ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ БЛОКА КЛЕТЕЙ С ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация

В статье представлена методика расчёта рациональных режимов прокатки в блоках клеток с групповым приводом, обеспечивающая повышение стабильности его работы. Методика основана на расчёте межклетевых натяжений. Для стабильного течения процесса прокатки и компенсации износа валков необходимо, чтобы во всех клетях блока отсутствовал подпор, и натяжения имели значение не превышающие предела текучести прокатываемого металла при данных условиях.

Повышение стабильности работы чистового блока клеток с групповым приводом может быть достигнуто за счёт разработки рациональной калибровки валков. Главной задачей калибровки является получение профиля заданных размеров и качества, высокой точности и требуемых физико-механических свойств. В то же время рациональная калибровка валков должна обеспечить максимальную производительность прокатного стана, равномерную энергосиловую загрузку оборудования, минимальный расход энергии, наименьший износ валков и т.п.

В чистовых блоках современных проволочных станов в основном применяется калибровка овал-круг. Для построения овальных и круглых калибров необходимо определять следующие размеры (рисунок 1): высоту H_1 и ширину B_K калибра; глубину $H_{вр}$ и ширину $B_{вр}$ вреза ручьёв калибра; радиус закругления по буртам r_1 ; радиус ручьёв R ; угол развала калибра γ . При расчёте калибровок валков требуется определить также периметр калибра Π .

Указанные размеры связаны геометрическими соотношениями: Для овальных калибров:

$$R = H_1(1 + a_k^2)/4; \quad B_{вр} = (H_1 - Z)\sqrt{\frac{4R}{H_1 - S} - 1}; \quad r_1 = (0,10 \div 0,40)H_1;$$

$$\Pi \cong 2\sqrt{B_1^2 + \frac{4}{3}H_1^2}; \quad a_k = 1,5 \div 4,5.$$

Для круглых калибров:

$$B_K = d/\cos\gamma; \quad B_{вр} = B_K - Ztg\gamma; \quad r_1 = (0,08 \div 0,10)d; \quad \Pi = \pi d.$$

Для обоих калибров:

$$H_{вр} = (H_1 - Z)/2,$$

где Z – величина зазора.

Степень заполнения калибров металлом характеризуют величиной $\delta_1 = B_1/B_K$. Предельное значение $\delta_1 = 1$. Однако для большинства калибров переполнение начинается при $B_1 > B_{вр}$ (для круглых и ребровых овальных калибров благодаря кривизне боковой поверхности полосы B_1 может быть равна B_K). Поэтому допустимое на практике максимальное значение $\delta_{1max} = B_{вр}/B_K < 1$. Рекомендуются следующие значения степени заполнения калибров: овальных 0,8-0,9; круглых 0,9-1,0.

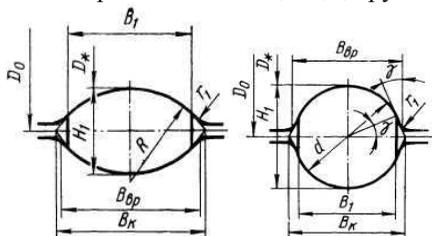


Рисунок 1. Однорядусный овальный и круглый калибры

Площадь поперечного сечения полосы A_1 зависит от размеров калибров и степени их заполнения. Формулы для определения A_1 получены из геометрических соотношений и приведены ниже:

$$\text{овальный калибр} \quad \frac{A_1}{H_1^2} = 0,6(2,07 - \delta_1)(a_k\delta_1 + 0,66\delta_1 - 0,43),$$

$$\text{круглый калибр} \quad \frac{A_1}{H_1^2} = 0,785 - 0,667(1 - \delta_1)\sqrt{1 - \delta_1^2}.$$

Следует иметь в виду, что если при расчёте по указанным

формулам подкоренное выражение получается отрицательным, то это означает, что калибр переполнен: $\delta_1 > 1$.

Для расчета рациональной калибровки валков чистового блока с групповым приводом необходима следующая исходная информация:

1. Число клеток $n_{кл}$ и порядок расположения их в блоке; технические параметры каждой клетки (начальный диаметр валков D_0 , тип подшипников, материал валков, допустимые усилия на шейки валков $P_{доп}$, допустимые крутящие моменты прокатки $M_{доп}$); мощность электродвигателя $N_{дв}$; передаточные числа редуктора i_p ; расстояние между рабочими клетями L_k .

2. Начальные параметры калибровки: форма, размеры и площади поперечного сечения конечного профиля и подката. Кроме того, могут быть заданы или выбраны из сортамента стана профила размеры, которые целесообразно получать из промежуточных клетей стана.

3. Исходные технологические данные: марки прокатываемых сталей, температура нагрева подката t_0 , требования к точности прокатываемых профилей (обычная, повышенная).

Ориентировочный скоростной режим прокатки рассчитывают исходя из среднего коэффициента вытяжки и максимально допустимой конечной скорости прокатки. Расчеты проводят в следующем порядке:

1. Определяют суммарный и средний коэффициенты вытяжки по блоку

$$\lambda_{\Sigma\delta} = \frac{A_0}{A_n}, \quad \ln \lambda_{cp} = \frac{\ln \lambda_{\Sigma\delta}}{n_{пр}}$$

где $n_{пр}$ – число проходов для прокатки заданного профиля.

2. Определяют приближённые значения катающих диаметров валков по клетям стана:

$$D_{ki} = D_{0i} - \sqrt{A_i} = D_{0i} - \sqrt{A_{i+1} \lambda_{cp.(i+1)}}$$

где $\lambda_{cp.i}$ – средний коэффициент вытяжки в i -й клетке ($i = n_{пр}, n_{пр}-1, n_{пр}-2, \dots, 2, 1$).

3. Коэффициенты вытяжки для клеток с групповым приводом определяют по формуле, полученной из условия постоянства секундных объёмов металла, проходящих через каждую клетку:

$$\lambda_i = \frac{D_{ki} n_i}{k_n D_{k(i-1)} n_{i-1}} = \frac{D_{ki}}{D_{k(i-1)}} \frac{i_{i-1}}{i_i k_n}$$

где i_i и i_{i-1} – передаточные числа для i - и $(i-1)$ -ой клетей, k_n – коэффициент, учитывающий влияние межклетевого натяжения полосы и принимающий значения от 1,005 до 1,02. При прокатке без натяжения $k_n = 0$.

4. Скорости прокатки в каждой клетке с групповым приводом определяют как

$$V_{i-1} = \frac{V_i}{\lambda_i}$$

Таким образом, в результате расчетов на данном этапе получают для каждой клетки ориентировочные значения среднего коэффициента вытяжки, площади поперечного сечения полосы и скорости прокатки.

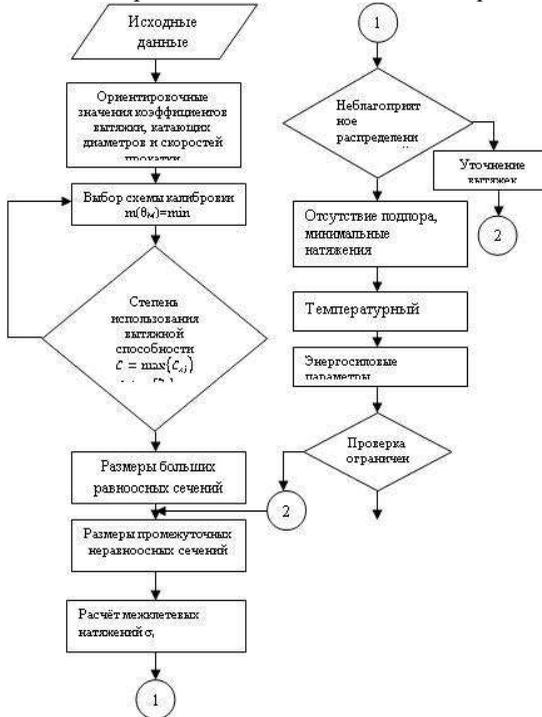


Рисунок 2. Блок-схема расчёта рациональных режимов прокатки

В основу предложенного алгоритма положено требование получения заданного профиля при минимально возможном расходе энергии и рациональной степени использования вытяжной способности калибров.

Для анализа действующей калибровки и разработки новой необходимо знать значения межклетевых натяжений. Для этого используем выражение, полученное в работах [1-3]:

$$\frac{D_{i+1}}{D_{i+1} i_i} [(1 + S_{0i})(\lambda_{0(i+1)} + k_{\lambda_{i+1}}^n \sigma_{(i+1)-(i+2)} + k_{\lambda_{i+1}}^3 \sigma_{i-(i+1)}) + \lambda_{0(i+1)}(k_{S_i}^n \sigma_{i-(i+1)} + k_{S_i}^3 \sigma_{(i-1)-i})] = 1 + S_{0(i+1)} + k_{S_{i+1}}^n \sigma_{(i+1)-(i+2)} + k_{S_{i+1}}^3 \sigma_{i-(i+1)}, \quad (1)$$

где i , и i_{i+1} – передаточное число от электродвигателя к валкам в клетях i

и $i+1$; σ – удельное межклетевое натяжение; S_0 и λ_0 – значения опережения и вытяжки при свободной прокатке, рассчитанные с учётом массовых сил; k_S^n , k_S^z и k_λ^n , k_λ^z – технологические коэффициенты, определяющие влияние переднего и заднего удельного натяжений на опережение и на коэффициент вытяжки.

Составив уравнения типа (1) для каждой пары клеток, получим систему уравнений, решаемую относительно натяжений в каждом межклетевом промежутке блока.

Осуществлять регулировку величины межклетевых усилий за счёт изменения площади сечения подката, задаваемого в блок, целесообразно только в случае, когда во всех межклетевых промежутках действуют усилия одного знака. В процессе износа валков межклетевые натяжения увеличиваются, ширина полосы уменьшается как за счёт уменьшения обжатия, так и за счёт уменьшения натяжений. Для стабильного течения процесса прокатки и компенсации износа валков необходимо, чтобы во всех клетях блока отсутствовал подпор, и натяжения имели минимальное значение. Стабильный процесс может продолжаться до тех пор, пока катанка прокатывается в допуске по геометрии, соответствующего качества поверхности, пока межклетевые натяжения не достигнут максимального значения, которое должно быть меньше предела текучести металла при данных условиях, а также нагрузка на узлы клетки не превышает допустимую. Блок-схема предложенного алгоритма расчёта рациональных режимов прокатки в блоках клеток с групповым приводом представлена на рисунке 2 [4].

Библиографический список

1. Межклетевые усилия при прокатке в чистовых блоках клеток проволочных станов / А.А. Горбанев // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 1998. - N4. - С. 25-28.
2. Тимошпольский В.И., Андрианов Н.В., Жучков С.М. Производство высокоуглеродистой катанки на металлургических агрегатах высшего технического уровня. Минск.: Бел. наука, 2004. 238 с.
3. Моторыгин М.Е., Белан А.К. Методика расчёта натяжения при непрерывной прокатке в чистовом блоке с групповым приводом // Процессы и оборудование металлургического производства. Сборник научных трудов - Магнитогорск: МГТУ. - 2006. - С. 186-191.
4. Белан А.К., Моторыгин М.Е., Белан О.А. Прикладная механика устойчивости при обработке металлов давлением. Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 218 с.

**А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов,
М.Г. Слободянский, В.А. Русанов**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: antsupov.vp@gmail.ru
Дата поступления 05.09.2014

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В УСЛОВИЯХ МНОГО- И МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Аннотация

Разработана модель параметрических отказов деталей машин, работающих в условиях стационарного циклического нагружения для всего практически возможного диапазона напряжений и рабочих температур.

Ключевые слова: долговечность, ресурс, прогнозирование, критерий, кинетическая прочность.

При разработке общей концепции прогнозирования параметрической надежности деталей машин, работающих в стационарных условиях объемного статического и циклического нагружения [1-9], для оценки показателей их долговечности формулируется краевая задача в виде следующей системы определяющих уравнений:

уравнение эволюции нагруженного элемента:

$$\bar{u}_{et} = \bar{u}_{e0} + \bar{u}_e(\sigma, T) \cdot t; \quad (1)$$

уравнение перехода его в предельное состояние:

$$\bar{u}_{et} = \bar{u}_{e0} + \bar{u}_e(\sigma, T) \cdot \bar{t}_* = u_{e*}; \quad (2)$$

уравнение для оценки среднего ресурса:

$$\bar{t}_* = (u_{e*} - \bar{u}_{e0}) / \bar{u}_e(\sigma, T), \quad (3)$$

где \bar{u}_{et} , \bar{u}_{e0} и u_{e*} - среднее значение плотности скрытой энергии материала в произвольный момент времени t , в исходном состоянии (при $t = 0$) и ее критическое значение;

При решении краевой задачи (1)-(3) в квазистационарном

приближении для оценки средней скорости $\bar{u}_e(\sigma, T)$ деградации нагруженных деталей предложено использовать общую зависимость В.В. Федорова вида $\bar{u}_e(\sigma, T) \approx sh(f(\sigma, T))$, [10, ф (3.37)]. В связи с математическими трудностями ее реализации (по мнению автора в 1985г.), он ограничился двумя частными случаями ее практического применения:

- "линеаризованным" вариантом вида $\bar{u}_e(\sigma, T) \approx k \cdot f(\sigma, T)$ для описания средней скорости деградации нагруженных деталей в условиях многоциклового усталости;

- "экспоненциальным" - вида $\bar{u}_e(\sigma, T) \approx (\exp(f(\sigma, T)))/2$, для описания средней скорости деградации нагруженных деталей в условиях малоциклового усталости.

В наших исследованиях [1-9 и др.] практически был реализован первый вариант с введением ряда дополнительных упрощений, что несомненно снижает точность прогнозирования показателей надежности исследуемых объектов на стадии их проектно-конструкторской разработки при решении системы уравнений (1)-(3).

В данной работе, в связи с расширением возможностей современного компьютерного моделирования, сделана попытка применения общей универсальной зависимости В.В. Федорова в авторском варианте:

$$\dot{u}_e = \frac{2 \cdot R \cdot T \cdot U(\sigma_0, T)}{h \cdot N_0} \exp\left[-\frac{U(\sigma_0, T)}{R \cdot T}\right] \cdot sh\left[\frac{\nu}{2 \cdot R \cdot T} \left(\frac{k_\sigma^2 \cdot M_R^2 \cdot \sigma_i^2}{6 \cdot G(T)} - \bar{u}_e\right)\right], \quad (4)$$

для проектной оценки долговечности нагруженных элементов, работающих как в области многоциклового, так и малоциклового усталости в стационарных условиях объемного нагружения.

В уравнении (4) автор определяет следующие параметры [10]:

\dot{u}_e - средняя скорость изменения (накопления) плотности скрытой энергии дефектов структуры в локальных объемах материала исследуемого элемента;

$\sigma_i = M_R \cdot \sigma_{\max}$ или $\sigma_0 = M_R \cdot \sigma_{\max} / 3$ - девиаторная и шаровая часть тензора напряжений; σ_{\max} - максимальное напряжение цикла;

M_R - коэффициент эквивалентности напряженного состояния (перевода нестационарного напряженного состояния с коэффициентом

асимметрии $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ в эквивалентное стационарное состояние с номинальным напряжением $\sigma = \sigma_{\max}$; σ_{\min} - минимальное напряжение цикла:

$$M_R^2 = \left((1+r)^2 + (1-r)^2 \right) / 4; \quad (4.a)$$

k_σ – коэффициент перенапряжения межатомных связей:

$$k_\sigma = 1 / \left(6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV + 0,12 \cdot 10^{-2} \right)^2; \quad (4.б)$$

HV – среднее значение твердости по Виккерсу;

$U(\sigma, T)$ - энергия активации процесса разрушения межатомных связей при данном напряжении σ и температуре T :

$$U(\sigma, T) = U_0 - \Delta U(T) - \left(M_R^2 \cdot k_\sigma^2 / (18 \cdot \nu \cdot K(T)) \right) \cdot \sigma^2; \quad (4.в)$$

U_0 и ν – свободная энергия активации процесса при $T = 0$, $\sigma = 0$ и коэффициент неравномерности распределения внутренней энергии по объему нагруженной детали, значения которых выбираются по рекомендациям [10];

$\Delta U(T)$ - доля энергии активации, определяемая температурой:

$$\Delta U(T) = 3 \cdot \alpha_0(T) \cdot K(T) \cdot T; \quad (4.г)$$

$K(T)$ - модуль объемной упругости материала при температуре T :

$$K(T) = E(T) / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu(T))); \quad (4.д)$$

$\alpha_0(T)$, $E(T)$, $\mu(T)$ и $G(T)$ - коэффициент линейного теплового расширения, модуль упругости, коэффициент Пуассона и модуль сдвига материала при температуре T ;

\bar{u}_e - среднее значение плотности скрытой энергии дефектов структуры материала элемента для заданных условий нагружения (σ, T) :

$$\bar{u}_e = (u_{e^*} + u_{e0}) / 2; \quad (4.е)$$

u_{e^*} , u_{e0} - критическое и начальное значение плотности скрытой энергии:

$$u_{e^*} = \Delta H_S - \Delta u_T \quad \text{и} \quad u_{e0} = k_\sigma \cdot (0,071 \cdot HV)^{2,4} / (6 \cdot G), \quad (4.ж)$$

ΔH_S - энтальпия материала в жидком состоянии при температуре

плавления T_S ; $\Delta u_T = \rho \cdot c \cdot T$ - тепловая составляющая плотности внутренней энергии материала нагруженного элемента при температуре T ; ρ , c - плотность и теплоемкость материала при рассматриваемой температуре T . (Рабочую температуру элемента при циклическом нагружении можно оценить по экспериментально-аналитической зависимости [10]);

h - постоянная Планка; N_0 - число Авогадро; R - универсальная газовая постоянная.

Анализ уравнения (4) позволяет сделать, на наш взгляд, весьма существенные выводы, которые позволяют прогнозировать надежность деталей машин, работающих во всем диапазоне изменения напряжений и рабочих температур.

Во-первых, из условия равенства нулю аргумента под гиперболическим синусом может быть оценено среднее значение предела выносливости в функции температуры T по выражению:

$$\sigma_r(T) \approx \left((3 \cdot G \cdot (u_{e*} + u_{e0})) / (k_\sigma^2 \cdot M_R^2) \right)^{0,5}. \quad (5)$$

Во-вторых, при значениях напряжений $0 < \sigma < \sigma_r$, когда работа внешних сил практически полностью преобразуется в тепловой эффект [10] (или, согласно [11], происходит практически полное восстановление разрушенных межатомных связей), с некоторым приближением в уравнении (4) можно принять $\bar{u}_e \approx 0$.

В-третьих, из условия, при котором в выражении (4) аргумент под гиперболическим синусом равен $\approx 1,6$ [10], может быть оценено среднее значение напряжения $\sigma = \sigma_{zp}$, определяющего правую (предельную) границу областей мало- и многоциклового усталости в функции температуры T по выражению:

$$\sigma_{zp}(T) \approx \left(\frac{(6,4 \cdot R \cdot T + v \cdot (u_{e*} + u_{e0})) \cdot 6 \cdot G(T)}{2 \cdot v \cdot k_\sigma^2 \cdot M_R^2} \right)^{0,5}. \quad (6)$$

На рисунке показано графическое решение уравнения (3) с учетом (4)-(6) в виде типовой номограммы. Номограмма позволяет оперативно оценить средний ресурс деталей из стали 45(о) в условиях стационарного циклического нагружения для всего возможного диапазона значений напряжений σ и температур T . Подобного вида номограммы построены для различных конструкционных материалов.

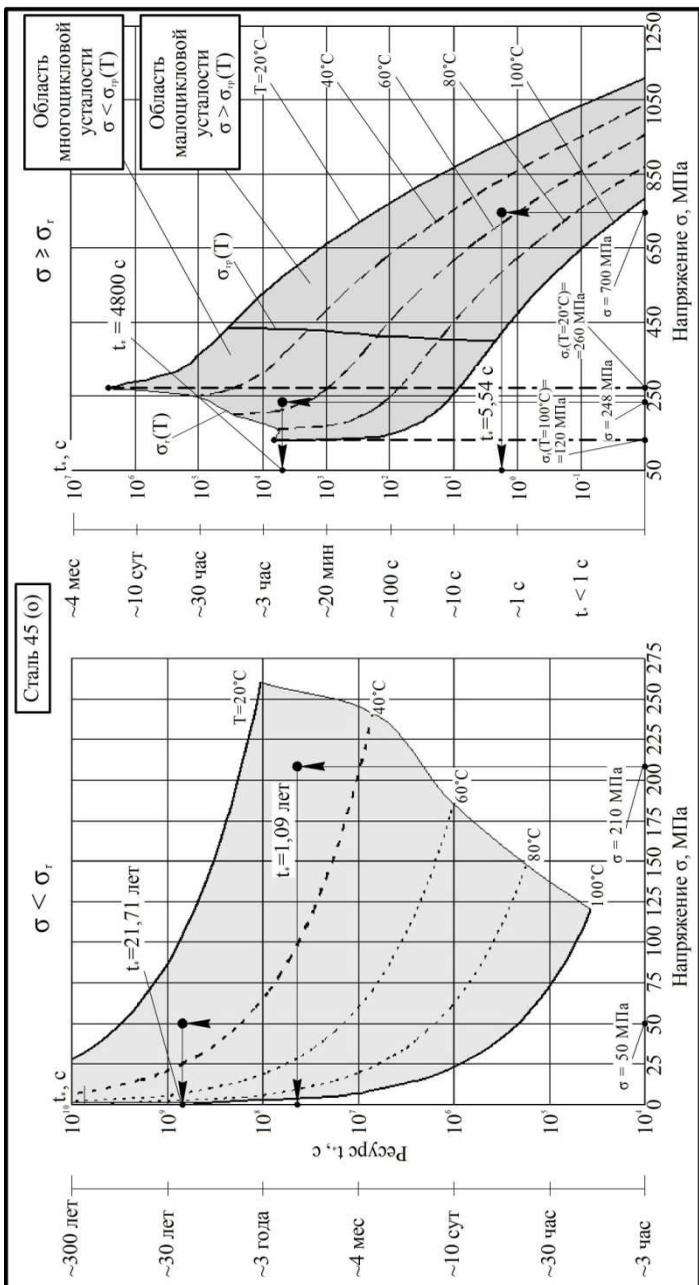


Рисунок Номограмма для определения среднего ресурса для деталей из стали 45(o), работающих в области мало- и многоциклового усталости

Анализ представленной на рисунке информации показывает:

- долговечность деталей, работающих в области напряжений $\sigma < \sigma_r$, например, при $\sigma = (50 \div 210) \text{ МПа}$ и $T = 27^\circ \text{C} = \text{const}$ изменяется в пределах $t_* = (21,71 \div 1,09)$ лет (см. выделенные точки на поле левой части номограммы) и существенно зависит от значений рабочей температуры;

- предел выносливости отожженной стали 45(о) в диапазоне рабочих температур $T = (20 \div 100)^\circ \text{C}$ изменяется в диапазоне $\sigma_r(T) = (260 \div 120) \text{ МПа}$. Эти данные хорошо коррелируют с экспериментальными результатами испытаний образцов при симметричном цикле "растяжения-сжатия" [10, табл.1], где при $T \approx (53 - 62)^\circ \text{C}$ диапазон значений σ_{-1} составляет $\sigma_{-1}(T) \approx (248 - 239,5) \text{ МПа}$. Этот же результат отражает номограмма;

- долговечность деталей, работающих в области напряжений $\sigma \geq \sigma_r$, например, при $\sigma = (248 \div 700) \text{ МПа}$ и $T = 53^\circ \text{C} = \text{const}$ изменяется в пределах $t_* = 4,8 \cdot 10^3 \text{ c} \div 5,54 \cdot 10^0 \text{ c}$ (см. выделенные точки на поле правой части номограммы). Эти данные практически совпадают с экспериментальными результатами В.В. Федорова [10]. Например, при $\sigma = 248 \text{ МПа}$ и $T = 53^\circ \text{C}$, средний экспериментальный ресурс образцов до разрушения составляет $t_{*эксп} \approx 6 \cdot 10^4$ циклов нагружения (см. [9, рисунок 6]). При частоте нагружения равной $f = 12,5 \text{ c}^{-1}$, ресурс равен расчетному значению;

- диапазон значений напряжений, определяющих условную границу областей много- и малоциклового усталости для стали 45(о) при $T = (20 - 100)^\circ \text{C}$ составляет $\sigma_{sp}(T) \approx (435 \div 400) \text{ МПа}$. При рабочих температурах $T = (25 - 30)^\circ \text{C}$, соответствующих стандартным лабораторным испытаниям образцов на усталость, их средний ресурс при $f = (1 - 10) \text{ c}^{-1}$ находится в диапазоне $\sim (10^4 - 10^5)$ циклов (см. правую часть номограммы), что подтверждено многочисленными справочными данными.

Заключение.

Разработана универсальная математическая модель процесса формирования отказов деталей машин по кинетическим критериям

прочности, работающих в условиях стационарного статического или циклического нагружения.

Модель позволяет прогнозировать долговечность элементов механических систем во всем в практически возможном диапазоне значений напряжений и температур.

Получены зависимости для расчета предела выносливости материалов, а также величин напряжений, определяющих условную границу областей много- и малоциклового усталости, в функции рабочих температур.

Библиографический список

1. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Надежность, 2013. – №3 (46). – С. 5-14.
2. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
3. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1. С. 141-146.
4. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.
5. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. С. 28-34.
6. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
7. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г.

- Слободянский, А.М. Овсов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
8. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №4. С. 56-61.
 9. Анцупов А.В. (мл.). Проектное обоснование реконструкции привода обжиговой печи агрегата для производства клинкера / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Сталь. 2014. №1. С.26-32.
 10. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1985. 165с.
 11. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974. 560с.

УДК 621.926.7

**Н.П. Максимов, Р.Н. Максимов,
К.К. Байматов, А.А. Максимов**
ФГБОУ ВПО «Северо-кавказский
горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия
E-mail: info@skgmi-gtu.ru
Дата поступления 24.06.2014

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ЧЕТЫРЕХКАМЕРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Аннотация

В статье рассмотрена конструкция и принципы работы четырехкамерной роторно-вибрационной мельницы. Определены скорость движения твердых частиц в зоне разгрузки при различных параметрах вибрационного воздействия, что позволило рассчитать производительность по готовому продукту.

Ключевые слова: мельница, ротор, вибрация, производительность.

Эксплуатация традиционных промышленных установок для измельчения твердых материалов горно-металлургического

производства, теоретические и патентные исследования, послужили основанием для разработки предлагаемого ниже полупромышленного агрегата для измельчения твердых материалов.

Совмещение в одном устройстве операций дробления и измельчения, с использованием вибрации, значительно повышает эффективность процесса разрушения твердых материалов. Применение четырех камер разрушения с использованием инерционных вибраторов позволило упростить конструкцию и получить тонкоизмельченный продукт [1].

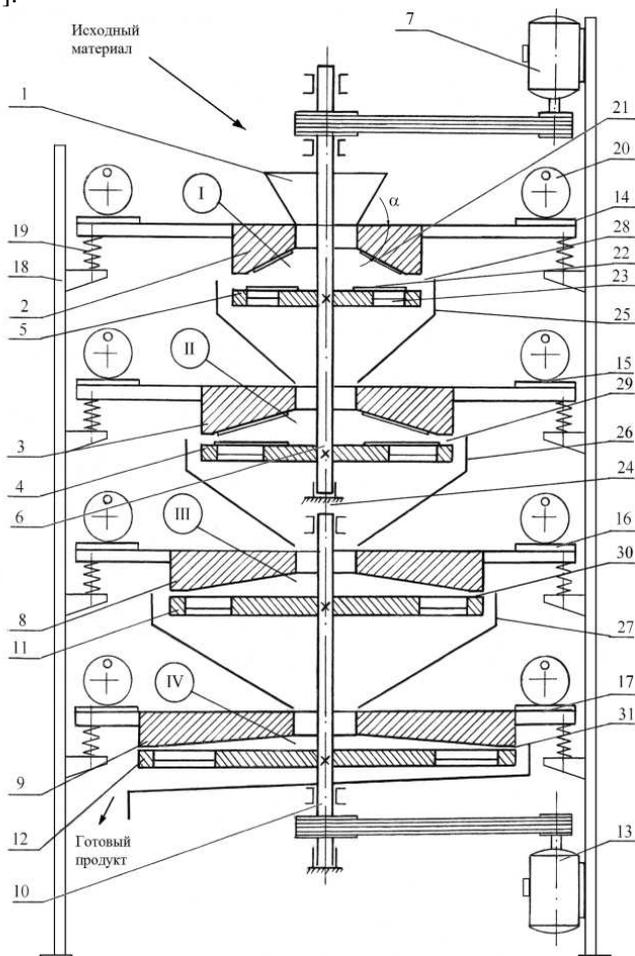


Рисунок 1.Схема вибрационной мельницы

Мельница состоит из загрузочной воронки 1, вибрирующих чаш 2, 3, первого вала 4 с вращающимися дисками 5, 6, приводящимися в движение от электродвигателя 7. Вибрирующих чаш 8, 9 и второго вала 10 с вращающимися дисками 11, 12 установленного соосно и приводящимися во вращение от электродвигателя 13. Вибрирующие чаши 2, 3, 8, 9 выполнены в виде полых усеченных конусов и жестко закреплены на опорных рамах 14, 15, 16, 17 которые установлены на станине 18 посредством пружин 19. Инерционные вибраторы 20 расположены на концах опорных рам 14, 15, 16, 17. Вибрирующие чаши 2, 3 и вращающиеся диски 5, 6 снабжены съемными ребрами 21, 22 прямоугольного сечения. Во вращающихся дисках 5, 6, 11, 12 расположены колосниковые решетки 23. Совместно установленные вибрирующие чаши 2, 3, 8, 9 и вращающиеся диски 5, 6, 11, 12 образуют разгрузочные щели 28, 29, 30, 31. Мельница также содержит разъемный шарнир 24 и конические перегрузочные кожухи 25, 26, 27.

Вибрационная мельница работает следующим образом: исходный материал через загрузочную воронку 1 поступает в зону измельчения I, где на него действует центробежная сила вращающегося диска 5 и периодическая сила удара вибрирующей чаши 2, создаваемая инерционными вибраторами 20. Измельчение происходит за счет соударения материала с ребрами 21 и 22 и ударной нагрузки вибрирующей чаши 2. Измельченный материал через колосниковые решетки 23 и разгрузочную щель 28 поступает в конический перегрузочный кожух 25, попадая в зону измельчения II, где происходит дальнейшее измельчение материала. Измельченный материал выгружается через колосниковую решетку 23 и разгрузочную щель 29 в перегрузочный кожух 26, откуда попадает в зону измельчения III, где осуществляется измельчение материала за счет сил трения о поверхность дисков под действием периодического удара вибрирующей чаши 8. Через колосниковую решетку 23 и разгрузочную щель 30 измельченный материал поступает в перегрузочный кожух 27, откуда поступает в зону измельчения IV, в которой происходит окончательное измельчение материала до необходимой крупности. Проходя зону измельчения IV, готовый продукт разгружается через колосниковую решетку 23 и разгрузочную щель 31.

Поскольку, на производительность роторно-вибрационной мельницы, основное влияние оказывает количество материала перемещаемого в параллельной зоне (зазор между вращающимся диском и вибрирующей чашей), то и процессы движения твердой частицы и определение скорости ее движения будем рассматривать на выходе твердого материала из мельницы.

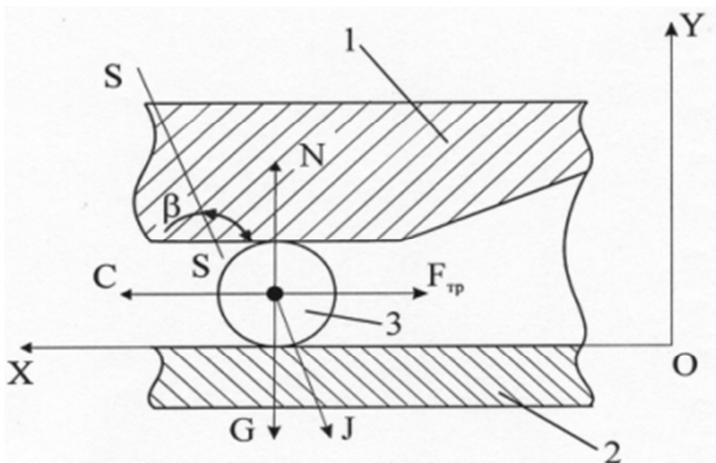


Рисунок 2. Схема сил действующих на частицу в параллельной зоне 1 – вибрирующая чаша; 2 – вращающийся ротор; 3 – частица твердого материала.

На рисунке 2 обозначено: J – сила инерции; G – сила веса; F – сила трения; C – центробежная сила; N – нормальная реакция; β – угол между направлением прямолинейных гармонических колебаний и рабочей поверхностью параллельной зоны; $S-S$ – направление колебательного движения; XOY – система координат, жестко связанная с ротором мельницы.

Дифференциальные уравнения движения твердой частицы, составленные с учетом действующих на нее сил, имеют вид [2]

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -mA\omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t + C - F_{mp} \\ m\ddot{y} = -mA\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t - G + N \end{cases} \quad (1)$$

В данном случае рассматриваем движение твердой частицы только по поверхности ротора, тогда $y = 0 = const$. Сила приграничного трения в этом случае $F_{тр} = fN$ при $\dot{x} > 0$ и $F_{тр} = -fN$ при $\dot{x} < 0$, где f – коэффициент приграничного трения.

Нормальная реакция $N = N(t)$ может быть определена из второго уравнения (3) при $\ddot{y} = 0$ (поскольку $y = 0 = const$)

$$N = +mA\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t + G. \quad (2)$$

С учетом этого первое уравнение из (4) примет вид

$$m \ddot{x} = -mA\omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t + C \pm f(+mA\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t + G) \quad (3)$$

Знак плюс перед f соответствует случаю $x < 0$, знак минус - случаю $x > 0$. Преобразуем уравнение (3)

$$\ddot{x} = -A\omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t + \frac{C}{m} \pm \frac{f}{m} (+mA\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t + G), \quad (4)$$

обозначим:

$$\frac{C}{m} = L \text{ и } \frac{f}{m} (+mA\omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t + G) = M. \quad (5)$$

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t + L \pm M \quad (6)$$

Знак перед M определяется относительной скоростью частицы слоя: при $x > 0$ - плюс, при $x < 0$ - минус.

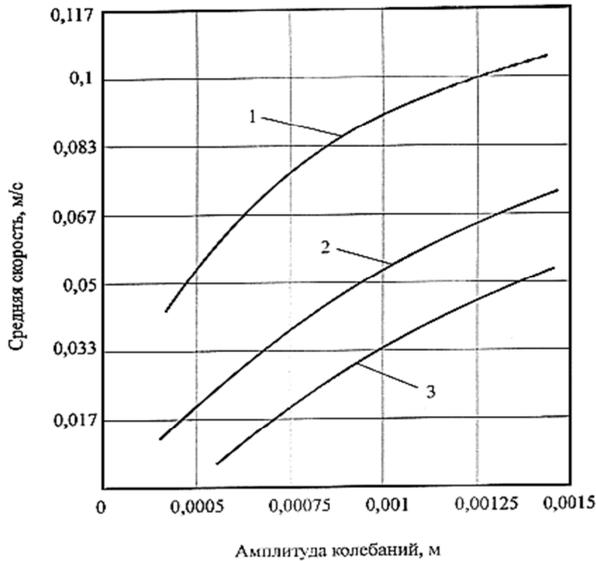


Рисунок 3. Зависимость средней скорости движения частицы от амплитуды колебаний

Интегрирование уравнения (6) позволяет получить при начальных условиях $\dot{x}(t^*) = 0$; $x(t^*) = x^*$ формулы для скорости и перемещения

частицы при ее дальнейшем движении:

$$\dot{x}(t) = \pm M(t-t^*) - A\omega(\cos \omega t - \cos \omega t^*) + L(t-t^*) + x^* \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x(t) = \pm M \frac{(t-t^*)^2}{2} - A\omega(t-t^*) \cos \omega t - A(\sin \omega t - \sin \omega t^*) + \\ + L \frac{(t-t^*)^2}{2} + x^*(t-t^*), \end{aligned} \quad (8)$$

которые описывают движение частицы до момента его остановки. Момент остановки ($t = t^{**}$) определится, как ближайший к t^* и больший t^* корень уравнения

$$x(t^{**}) = \pm M(t^{**} - t^*) - A\omega(\cos \omega t^{**} - \cos \omega t^*) + L(t^{**} - t^*) + x^* = 0 \quad (9)$$

получающийся в результате приравнивания к нулю правой части выражения (7).

После остановки возможны: мгновенно начинающееся скольжение при ($x > 0$), мгновенно начинающееся скольжение при ($x < 0$), отсутствие скольжения ($x \equiv 0$).

Данные о фазовых углах перехода к состояниям относительного покоя и скольжения позволяют рассчитывать относительные перемещения частицы за время скольжения. В соответствии со сказанным выше будем иметь:

$$\begin{aligned} S_{\pm}^0 = -\sin \delta_{\pm} A \frac{(\omega t - \omega t^*)^2}{2} - A(\sin \omega t - \sin \omega t^*) + \\ + A(\omega t - \omega t^*) \cos \omega t^* \end{aligned} \quad (10)$$

или

$$\begin{aligned} S_{\pm}^0 = A[-\sin \delta_{\pm} \frac{(\varphi_{\pm} - \delta_{\pm}^*)^2}{2} - (\sin \varphi_{\pm} - \sin \delta_{\pm}^*) + \\ + (\varphi_{\pm} - \delta_{\pm}^*) \cos \delta_{\pm}^*] \end{aligned} \quad (11)$$

Последнее выражение можно представить в виде:

$$S_{\pm}^0 = 2AF(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*), \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} F(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*) = \frac{1}{4} \{ -[f(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*) - \delta_{\pm}^*] \sin \delta_{\pm} - 2[\sin f(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*) - \\ - \sin \delta_{\pm}^*] + 2[f(\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*) - \delta_{\pm}^*] \cos \delta_{\pm}^* \}; \end{aligned}$$

При $\omega = 315 \text{ с}^{-1}$: 1 - $n = 250$ об/мин, $f = 0,3$; 2 - $n = 200$ об/мин, $f = 0,02$; 3 - $n = 150$ об/мин, $f = 0,04$; где n - частота вращения ротора, об/мин.

$F(\delta, \delta)$ - функция, конкретные значения которой для любых практически возможных $\delta_{\pm}, \delta_{\pm}^*$ могут быть определены по опубликованным графикам.

Перемещение частицы за один этап определяется так:

$$S^0 = |S_+^0| - |S_-^0|, \quad (13)$$

а средняя скорость перемещения

$$v_{\text{ср}} = S^0 30 \omega / \pi, \text{ м/мин.} \quad (14)$$

При определении производительности роторно-вибрационной мельницы, несмотря на большое количество влияющих на этот показатель факторов (прочность, крупность, влажность руды и т.д.), основополагающими будут конструктивные особенности машины и скорость выхода готового продукта из разгрузочной щели. Определив скорость движения частиц в разгрузочной щели мельницы (без учета возможного заклинивания и проскальзывания частиц) пропускная способность мельницы по готовому продукту любой камеры измельчения выразится формулой

$$Q = 3600 K \pi D V B \gamma \varphi, \text{ т/ч} \quad (15)$$

где: K – коэффициент неравномерности, учитывающий неравномерность выхода материала из кольцевого зазора; D – диаметр диска, м; B – переменная высота разгрузочной щели, м; V – скорость выхода готового продукта, м/с; γ – плотность материала, т/м³; φ – поправочный коэффициент, учитывающий крупность исходного и конечного продукта, прочность руды, влажность и т.д.

Полученные результаты при расчетно-теоретическом исследовании процесса измельчения твердых материалов при действии линейных гармонических колебаний в вертикальной плоскости показывают, что при увеличении частоты с 25 до 50 Гц и амплитуды колебаний с 0,1 до 1,5 мм средняя скорость перемещения частицы увеличивается, что является основополагающим при определении производительности по готовому продукту.

Библиографический список

1. Патент №2470711 (Российская Федерация), Вибрационная мельница, Максимов Р.Н., Максимов Н.П., Бюллетень № , 27.12.2012г.
2. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964 г.

**В.А. Русанов, А.С. Губин,
И.А. Анцупова, С.А. Камадина**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: antsupov.vp@gmail.ru
Дата поступления 01.10.2014

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИДРОЦИЛИНДРОВ СИСТЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ГОРЯЧЕКАТАННЫХ ПОЛОС

Аннотация

Предложен способ повышения долговечности системы экранирования раската на основе теоретических исследований долговечности управляющих гидроцилиндров по критерию кинетической прочности материала направляющих гильз.

Ключевые слова: долговечность, прогнозирование, ресурс, скорость повреждаемости, гидроцилиндр.

Гидроцилиндр системы экранирования горячего раската (СЭГР), рисунок 1, предназначен для открытия и закрытия экранов типа "энкопанель". Эта система позволяет поддерживать оптимальный температурный баланс полосы между черновой и чистовой группами клетей станов горячей листовой прокатки.

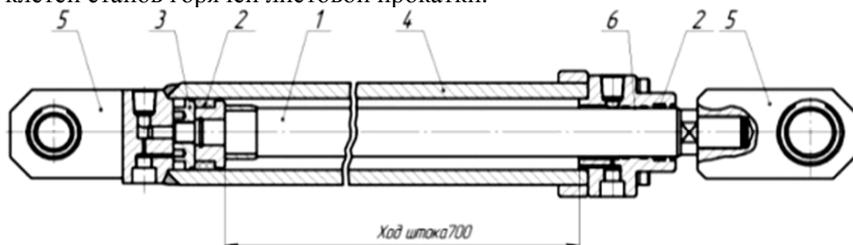


Рисунок 1. Схема гидроцилиндра в сжатом состоянии
(1 – шток; 2 – уплотнения; 3 – поршень; 4 – гильза; 5 – проушина,
6 – направляющие втулки)

Техническое диагностирование СЭГР проведенное на стане 2000 г/п ОАО «ММК» показало, что одной из причин её отказов, возникающих через 4 – 6 месяцев является недопустимая остаточная деформация гильзы в средней ее части (потеря цилиндричности). При

этом возникает зазор в сопряжении поршень 3 - гильза 4, рисунок 1, что сопровождается снижением давления в рабочей полости гидроцилиндра и либо самопроизвольным закрытием верхней «энкопанели», либо не происходит открывания этой же панели, когда этого требует технологический процесс.

В связи с тем, что технологическая инструкция определяет непрерывную работу СЭГР в течение одного года, возникает настоятельная необходимость повышения ресурса СЭГР по критерию работоспособности гильзы.

Однако, моделирование напряженного состояния гильзы гидроцилиндра с использованием программного продукта "Autodesk Inventor", не подтверждает потери работоспособности гильзы по критериям статической прочности материалов. Коэффициент запаса надежности по максимальным напряжениям $n_{\sigma} = \sigma_T / \sigma_{\max} \approx 2$, рисунок 2 (здесь $\sigma_T = 230 \text{ МПа}$ - предел текучести для материала сталь 20).

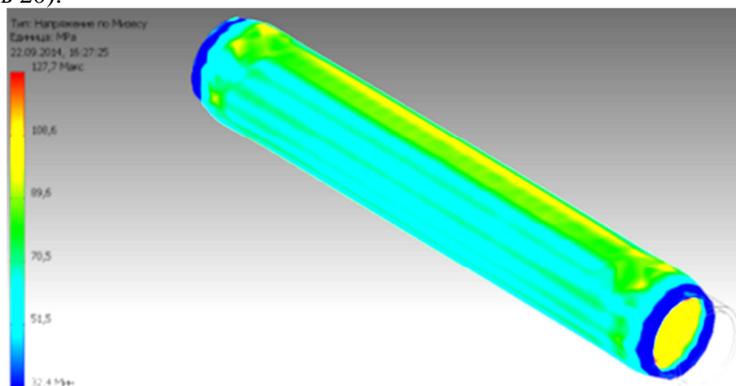


Рисунок 2. Напряженное состояние гильзы гидроцилиндра в исходной конструкции

Поэтому для доказательства объективности возникновения отказов СЭГР и теоретического обоснования полугодового ресурса её безотказной работы использован современный кинетический подход к расчету долговечности элементов механических систем на основе структурно-энергетической теории прочности материалов [1 - 11].

С позиции кинетического подхода ресурс нагруженных деталей машин рассчитывается на основе математического моделирования процесса повреждаемости структуры их материала для заданных условий нагружения (заданных напряжений σ_{\max} и температуры тела T) [1 - 11].

Параметром технического состояния нагруженного элемента является текущая плотность скрытой энергии дефектов $u_e(\sigma_{\max}, T, t)$, которая накапливается в наиболее нагруженных локальных объемах материала расположенных в зоне действия σ_{\max} с течением времени эксплуатации t . Момент отказа детали (её ресурс) определяется моментом достижения плотностью $u_e(\sigma_{\max}, T, t)$ критического значения u_{e*} , значение которой коррелирует с энтальпией плавления материала детали в твердом состоянии ΔH_{TB}

Средний ресурс гильзы рассчитанный по методике кинетического подхода [1 - 11] составляет приблизительно $\bar{t} \approx 0,5 \text{ лет}$, рисунок 3 (см. ординату выделенной точки), что подтверждает, как отмечено выше, практика их эксплуатации.

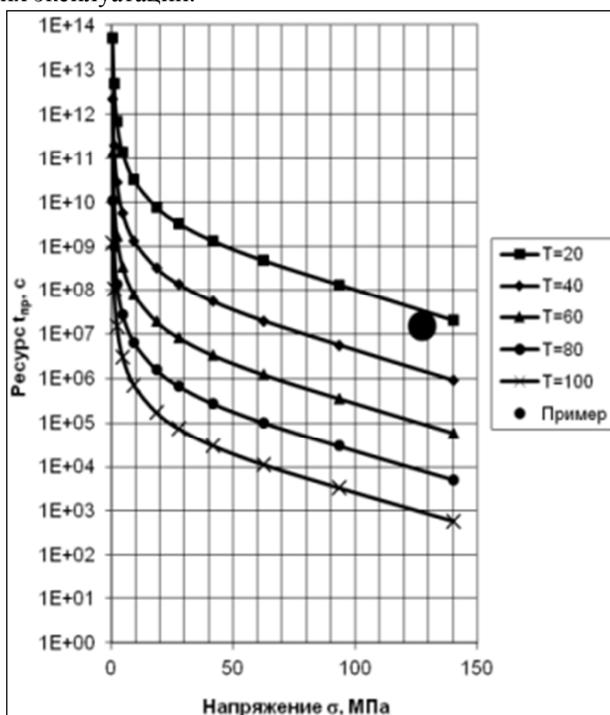


Рисунок 3. Номограмма оценки ресурса гильзы гидроцилиндра СЭГР

Для повышения ресурса СЭГР проведено теоретическое исследование влияния толщины стенки гильзы гидроцилиндра и,

следовательно, возникающего в ней максимального изгибного напряжения σ_{\max} . Графическая интерпретация результатов представлена на рисунке 4. Анализ зависимости $\bar{t}(\sigma_{\max})$ показывает, что для обеспечения требуемого ресурса, равного 3- 5 лет рисунок 4, толщина стенки гильзы цилиндра должна находиться в диапазоне $h = 10 \div 12$ мм.

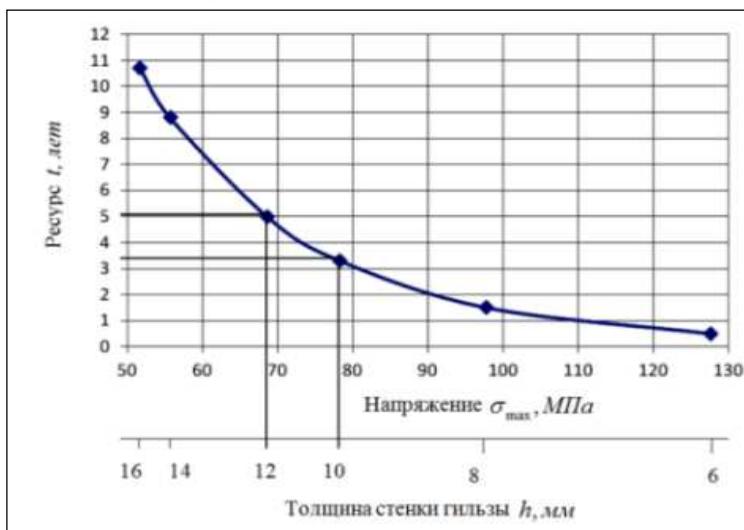


Рисунок 4. График ресурса гидроцилиндра при увеличении стенки гильзы

В настоящее время конструкции гидроцилиндров с толщиной стенки гильзы $h = 12$ мм проходят промышленные испытания на стане 2000 ОАО ММК. Их ресурс на данный момент составляет более 2-х лет и они по – прежнему находятся в эксплуатации.

Библиографический список

1. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2014. №1. С. 141-146.
2. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.

3. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. С. 28-34.
4. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Надежность, 2013. – №3 (46).– С. 5-14.
5. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.
6. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
7. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», 2011. №4. С. 56-61.
8. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
9. Модель процесса изнашивания трибосопряжений на основе термодинамического анализа их состояния / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Материалы 68-й научно-технической конференции: сб. докл.– Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. - С.264-268.
10. Прогнозирование показателей надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов(мл.), А.С. Губин и др. // Материалы 68-й научно-технической конференции: сб. докл.– Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010.- С.262-264.
11. Анцупов А.В. (мл.). Проектное обоснование реконструкции привода обжиговой печи агрегата для производства клинкера / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Сталь. 2014. №1. С.26-32.

А.А. Китанов, А.В. Нефедов
Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»
г. Новотроицк, Россия
E-mail: cosnovotr@rambler.ru
Дата поступления 25.06.2014

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОБОРУДОВАНИЯ КЛЕТИ «КВАРТО» ЛПЦ-1 ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Аннотация

Обоснована возможность модернизации гидрооборудования уравновешивания верхнего опорного валка клетки «Кварто» ЛПЦ – 1 ОАО «Уральская Сталь» путем замены гидроцилиндра привода с целью повышения надёжности.

Ключевые слова: клеть «Кварто», нажимное устройство, гидроцилиндр, штоковые манжеты.

Система уравновешивания опорного вала клетки «Кварто» – это система, удерживающая верхний опорный вал клетки «Кварто» в постоянно прижатом состоянии к нажимным винтам и выбирающая все возможные зазоры сопряжения деталей в соединениях устройства с целью создания точного позиционирования рабочих валков клетки «Кварто» (рисунок 1). Чистовая клеть производит прокатку металла с максимальным усилием обжатия 6 МН, в результате выхода металла из раствора валков происходит мгновенное снижение усилия прокатки до нуля, а система уравновешивания опорного вала создает усилие подъема опорного вала превышающее на 10 % веса валка.

Оптимальная работа системы уравновешивания опорного вала позволяет выпускать качественную продукцию не создавая ударных нагрузок в нажимных стаканах и нажимных винтах. [1].

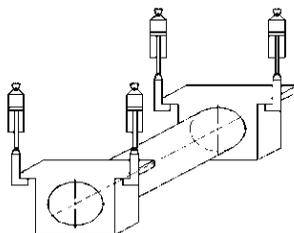


Рисунок 1. Схема работы гидроцилиндров уравновешивания опорного вала

Согласно проекта SMS «Demag» в системе уравнивания опорного вала установлены гидроцилиндры (рисунок 2, п.1) у которых в штоковой полости цилиндра установлена одна манжета с направляющими лентами. Выход из строя этого элемента потребует остановки стана на внеплановый ремонт продолжительностью 48 часов с потерей производства.

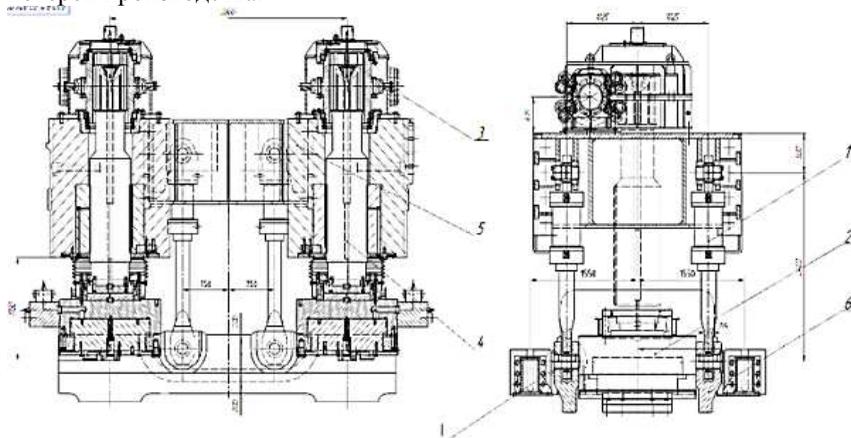


Рисунок 2. Уравнивающее устройство верхнего опорного вала

В листопрокатном цехе №1 ОАО «Уральская Сталь» в августе 2010 в результате выхода из строя штоковой манжеты гидроцилиндра уравнивания опорного вала стан «2800» остановился на капитальный ремонт раньше запланированного срока. В результате была не выполнена производственная программа цеха. В работе предлагаем произвести модернизацию гидроцилиндра уравнивания опорного вала, которая позволит произвести замену уплотнения штока цилиндра без демонтажа и монтажа гидроцилиндра способом установки разрезных манжет шевронного типа.

Время замены уплотнений в случае их выхода из строя составит около 3 часов. С разрезными манжетами можно будет работать до капитального ремонта, в который произведет установку целых манжет.

Целью модернизации гидроцилиндра уравнивания опорного вала является сокращение продолжительности аварийного простоя стана «2800» ОАО «Уральская Сталь» по причине выхода из строя штоковых уплотнений, а также диагностика работы гидроцилиндров во время прокатки с указанием процента износа гидравлических цилиндров на компьютере управления станом «2800» с выводом сообщения о предупреждении разгерметизации первого каскада уплотнений.

Во время работы клетки «Кварто» в гидроцилиндр уравнивания

опорного вала всегда подается давление 140 бар пропорциональным регулирующим клапаном, 3-х лин. /2-х ходовой RD29218 3FERE32C3X/450A1AV10Z31M. Все четыре цилиндра соединены параллельно, тем самым достигается одинаковое усилие подъема по четырем точкам захвата опорного вала, который в свою очередь поджимает нажимные стаканы, гидроцилиндры ГНУ и нажимные винты (рисунок 1). Это условие прокатки - создание предварительного напряжения узлов и механизмов [2].

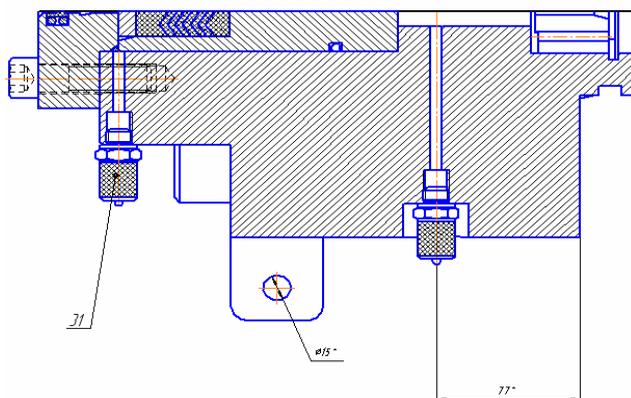


Рисунок 3. Место установки клапана

Описываемый гидроцилиндр находится в труднодоступном месте и соединен с конструкциями клетки «Кварто». В случае необходимости проведения замены гидроцилиндра нужно провести подготовительные работы по демонтажу опорного вала и траверс уравнивания верхнего опорного вала. Не запланированный простой оборудования стана «2800» отрицательно отразится на производственной программе комбината.

Установив клапан минимес п. 31 (рисунок 3) между грязесъемником двойного действия п.23 и комплектом уплотнений п.30, с помощью уплотнения п.29 (рисунок 4) мы можем продолжать эксплуатировать гидроцилиндр, даже в случае выхода из строя штоковых манжет [3].

Подсоединив датчик давления на клапан минимес п.31 и выведя этот сигнал в систему управления станом можно производить диагностику цилиндра в любой момент времени. Если датчик подал сигнал о наличии давления - это сигнал о том, что манжеты выработали свой ресурс и в ближайший ППР стана необходимо заменить манжеты штока. В условиях круглосуточной работы стана «2800» это важный фактор.

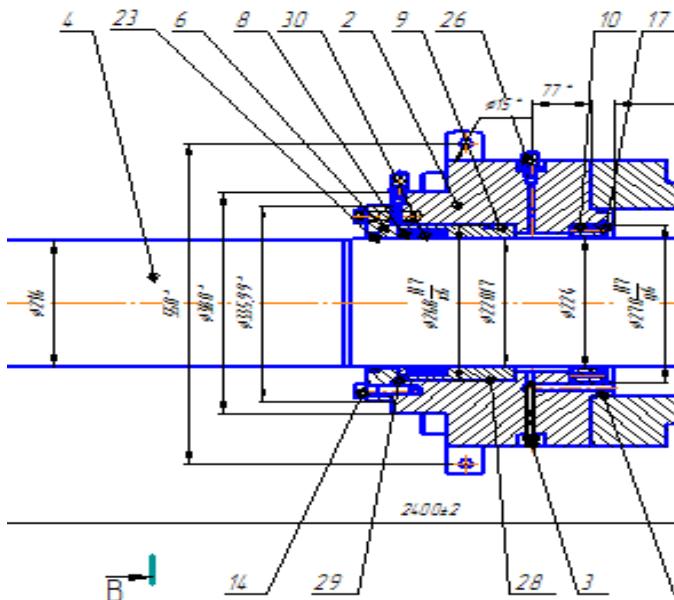


Рисунок 4. Узел уплотнений гидроцилиндра

Процесс, происходящий в гидравлическом цилиндре уравнивания опорного вала указан на графике (рисунок 5). Замер давления произведен с помощью прибора HMGWIN 3000 Hydac. На графике видно, что манжета испытывает пиковые нагрузки где изменение давления от 90 бар до 190 бар происходит в короткие промежутки времени (06,-0,7с). Все это неблагоприятно влияет на надежность манжеты и приводит к ее разрушению. На сегодняшний день произведена замена двух гидравлических цилиндров из четырех с новым сочетанием уплотнений и датчиками тестирования. Гидроцилиндры отработали 12 месяцев без замечаний. Датчики, контролирующие герметичность сигнализируют о 100% герметичности уплотнений штока.

Таким образом, в данной работе проведен анализ по поиску узких мест и пути совершенствования конструкции с целью минимизации незапланированных простоев. Рассмотрены предложения о модернизации механизма уравнивания опорного вала клетки «Кварто», а именно модернизация гидравлического цилиндра способом изменения его конструкции с целью уменьшения аварийного простоя стана «2800», его диагностики. Цилиндр после модернизации не требует его демонтажа и монтажа для замены уплотнений, так как все работы можно произвести открутив нажимную грядбуксу и установить разрезные манжеты

шеvronного типа до проведения капитального ремонта стана и установки не разрезных манжет.

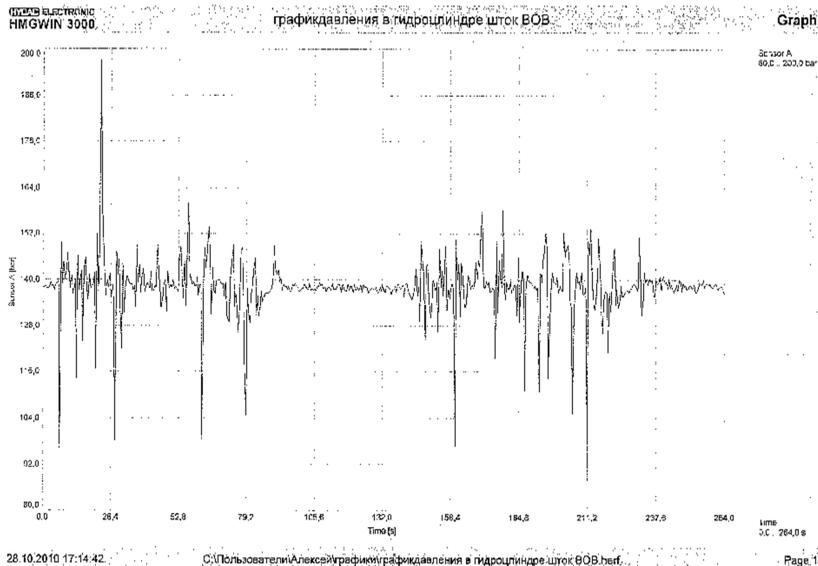


Рисунок 5. График нагрузок гидроцилиндра

Для сравнения замена гидроцилиндра по причине выхода из строя уплотнения на штоке гидроцилиндра составит 48 часов, а замена уплотнения модернизированного гидроцилиндра составит 3 часа. Следовательно, существует необходимость реализовать данное мероприятие на производстве.

Библиографический список

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребенник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов, в 3-х томах, т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
3. Иванов, С.А. Проектирование и оптимизация конструкций машин и оборудования: учебник для вузов / С.А. Иванов, А. В. Нефедов, Н. А. Чиченев, – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2014. – 200с.

А.А. Мальцев
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана»
г. Москва, Россия
E-mail: a.a.mal@mail.ru
Дата поступления 29.06.2014

РАСЧЕТ В СРЕДЕ MATHCAD ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПАСНОМ СЕЧЕНИИ ВАЛА ШПИНДЕЛЯ СТАНА ДУО-160

Аннотация

Для электропривода стана дуо-160 выполнены все основные этапы динамического расчета: составлена 5-массовая разветвленная расчетная схема, определены ее инерционные, жесткостные и другие параметры; записаны и решены дифференциальные уравнения движения масс, с учетом характера внешних нагрузок, приложенных со стороны электродвигателя и рабочих валков; построены графики напряжений, возникающих в опасном сечении наиболее нагруженного шпинделя.

Ключевые слова: электропривод, динамика, прокатный стан, MathCAD, математическое моделирование, крутильные колебания.

В электроприводе прокатного стана дуо-160 при прокатке заготовок с большими обжатиями возникают крутильные колебания с достаточно высокими амплитудами. Такие колебания могут вызвать усталостное разрушение валов шпинделей, приводных концов рабочих валков и других деталей в их опасных сечениях. Крутильные колебания особенно опасны, если ставится задача предельного уменьшения металлоемкости оборудования.

Для расчета на ЭВМ амплитуд и частот крутильных колебаний, возникающих в процессе прокатки, построена в среде MathCAD динамическая модель электропривода стана дуо-160. Тензометрическая аппаратура, установленная на этом стане, позволила получить осциллограммы крутящих моментов на шпинделях [1] и скорректировать теоретический расчет.

Согласно ГОСТу Р 50369-92, исполнительные органы (рабочие валки прокатного стана) в состав электропривода не входят. Однако, авторы ряда изданий по основам электропривода, например, Ильинский Н. Ф. [2], включают исполнительный орган в состав электропривода, поскольку при проектировании электропривода необходимо учитывать величину и характер изменения механической нагрузки на валу

электродвигателя, которые определяются параметрами исполнительного органа.

В случае со станом дуо-160, рабочие валки, обладающие собственными инерционными и жесткостными характеристиками, было целесообразно включить в структуру его электропривода (рисунок 1).

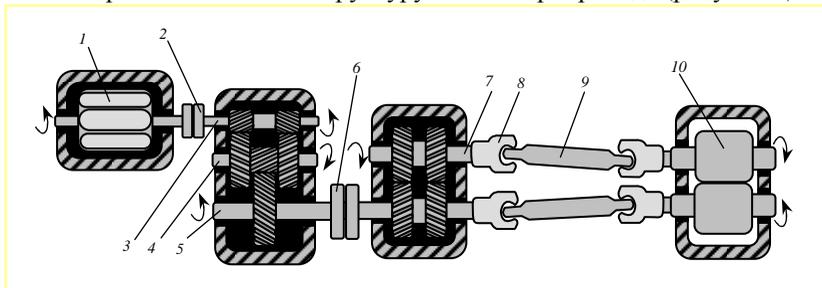


Рисунок 1. Вращающиеся части электропривода: 1 — ротор электродвигателя; 2 — муфта моторная; 3, 4, 5 — валы редуктора; 6 — муфта коренная; 7 — шестеренный валок; 8 — вилка шпинделя; 9 — вал шпинделя; 10 — рабочий валок

Для моделирования крутильных колебаний была составлена дискретная расчетная схема, поскольку вращающиеся части электропривода наделены свойствами инерции, упругости и демпфирования в неравной степени. Разветвленная структура расчетной схемы (рисунок 2) позволила учесть люфтовую ($\Delta_3 \neq \Delta_4$) и жесткостную ($c_3 \neq c_4$) асимметрии нагружения [3] верхнего и нижнего шпинделей прокатного стана, а также асимметрию нагружения внешними моментами прокатки ($M_2 \neq M_3$).

Дифференциальные уравнения движения массивных дисков во времени t составляются на основании уравнений Лагранжа II рода:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + m_1 = M_1 \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} - m_1 + m_2 = 0 \\ J_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} - m_2 + m_3 + m_4 = 0 \\ J_4 \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} - m_3 = -M_2 \\ J_5 \frac{d^2 \varphi_5}{dt^2} - m_4 = -M_3 \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = \frac{M_1 - m_1}{J_1} \\ \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = \frac{m_1 - m_2}{J_2} \\ \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} \\ \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} = \frac{m_3 - M_2}{J_4} \\ \frac{d^2 \varphi_5}{dt^2} = \frac{m_4 - M_3}{J_5} \end{array} \right. \quad (1)$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 — внутренние моменты, возникающие при скручивании упругих связей

$$\begin{aligned} m_1 &= c_1(\varphi_1 - \varphi_2) \\ m_2 &= c_2(\varphi_2 - \varphi_3) \\ m_3 &= c_3(\varphi_3 - \varphi_4) \\ m_4 &= c_4(\varphi_3 - \varphi_5) \end{aligned}$$

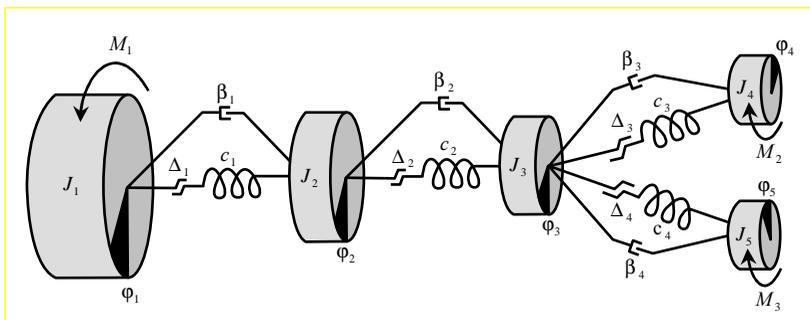


Рисунок 2. Расчетная схема: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ — текущие угловые координаты; J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 — моменты инерции; c_1, c_2, c_3, c_4 — жесткости; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ — демпферы; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ — люфты; M_1, M_2, M_3 — внешние моменты

Для учета люфтов в упругих связях [4], дифференциальные уравнения движения (1) попарно вычитались друг из друга, в результате чего записана следующая система, состоящая из четырех уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d^2\psi_1}{dt^2} = \frac{M_1 - m_1}{J_1} - \frac{m_1 - m_2}{J_2} \\ \frac{d^2\psi_2}{dt^2} = \frac{m_1 - m_2}{J_2} - \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} \\ \frac{d^2\psi_3}{dt^2} = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} - \frac{m_3 - M_2}{J_4} \\ \frac{d^2\psi_4}{dt^2} = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} - \frac{m_4 - M_3}{J_5} \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} m_1 &= c_1\psi_1; & \psi_1 &= (\varphi_1 - \varphi_2) \\ m_2 &= c_2\psi_2; & \psi_2 &= (\varphi_2 - \varphi_3) \\ m_3 &= c_3\psi_3; & \psi_3 &= (\varphi_3 - \varphi_4) \\ m_4 &= c_4\psi_4; & \psi_4 &= (\varphi_3 - \varphi_5) \end{aligned}$$

Для удобства программирования в среде MathCAD система из четырех дифференциальных уравнений второго порядка (2) преобразована в систему из восьми дифференциальных уравнений первого порядка

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi_1}{dt} = \Psi_5 \\ \frac{d\Psi_2}{dt} = \Psi_6 \\ \frac{d\Psi_3}{dt} = \Psi_7 \\ \frac{d\Psi_4}{dt} = \Psi_8 \\ \frac{d\Psi_5}{dt} = \frac{M_1 - m_1}{J_1} - \frac{m_1 - m_2}{J_2} \\ \frac{d\Psi_6}{dt} = \frac{m_1 - m_2}{J_2} - \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} \\ \frac{d\Psi_7}{dt} = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} - \frac{m_3 - M_2}{J_4} \\ \frac{d\Psi_8}{dt} = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{J_3} - \frac{m_4 - M_3}{J_5} \end{array} \right. \quad (3)$$

Моменты сил упругости с учетом демпфирования и люфтов имеют вид (рисунок 3)

$$m_1 = \begin{cases} c_1(\Psi_1 - \Delta_1) + \beta_1\Psi_5, & \Psi_1 > \Delta_1 \\ 0, & -\Delta_1 \leq \Psi_1 \leq \Delta_1 \\ c_1(\Psi_1 + \Delta_1) + \beta_1\Psi_5, & \Psi_1 < -\Delta_1 \end{cases}$$

$$m_2 = \begin{cases} c_2(\Psi_2 - \Delta_2) + \beta_2\Psi_6, & \Psi_2 > \Delta_2 \\ 0, & -\Delta_2 \leq \Psi_2 \leq \Delta_2 \\ c_2(\Psi_2 + \Delta_2) + \beta_2\Psi_6, & \Psi_2 < -\Delta_2 \end{cases}$$

$$m_3 = \begin{cases} c_3(\Psi_3 - \Delta_3) + \beta_3\Psi_7, & \Psi_3 > \Delta_3 \\ 0, & -\Delta_3 \leq \Psi_3 \leq \Delta_3 \\ c_3(\Psi_3 + \Delta_3) + \beta_3\Psi_7, & \Psi_3 < -\Delta_3 \end{cases}$$

$$m_4 = \begin{cases} c_4(\Psi_4 - \Delta_4) + \beta_4\Psi_8, & \Psi_4 > \Delta_4 \\ 0, & -\Delta_4 \leq \Psi_4 \leq \Delta_4 \\ c_4(\Psi_4 + \Delta_4) + \beta_4\Psi_8, & \Psi_4 < -\Delta_4 \end{cases}$$

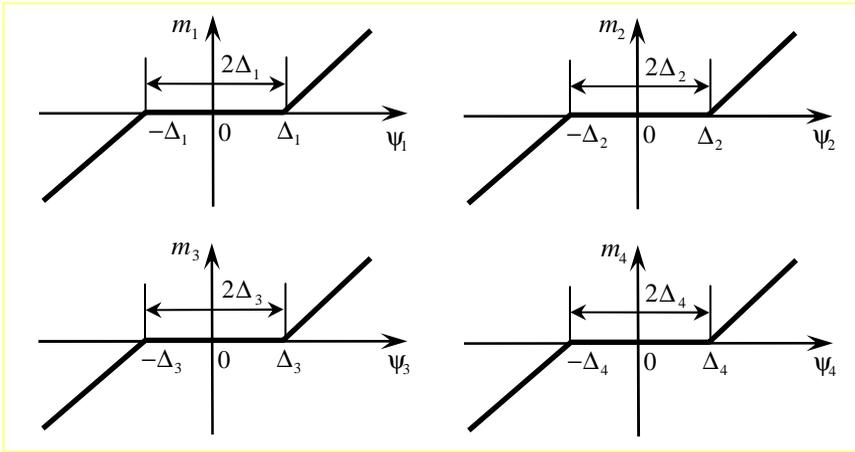


Рисунок 3. Кусочно-линейные функции моментов сил упругости

Угловые координаты $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ являются искомыми величинами, изменяющимися во времени, причем интерес представляют не сами угловые координаты, а моменты сил упругости M_1, M_2, M_3, M_4 .

Все остальные параметры динамической модели (1) — моменты инерции J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 ; жесткости c_1, c_2, c_3, c_4 ; демпферы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$; люфты $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$; внешние моменты M_1, M_2, M_3 — задаются в компьютерную программу как константы.

Асинхронный электродвигатель листопркатного стана дуо-160 слабо реагирует на механические колебания в линии привода, поскольку момент инерции ротора электродвигателя на порядок больше моментов инерции других вращающихся масс. Внешний момент, действующий на первую массу со стороны электродвигателя, если электропривод разогнан, определен по формуле

$$M_1 = (M_2 + M_3) / i_p \eta, \quad (4)$$

где i_p — передаточное число редуктора; η — КПД электропривода;

$$\eta = \eta_{м.м} \cdot \eta_p \cdot \eta_{м.к} \cdot \eta_{ш.к} \cdot \eta_{шп}^2,$$

где $\eta_{м.м}$ — КПД моторной муфты; η_p — КПД редуктора; $\eta_{м.к}$ — КПД моторной коренной муфты; $\eta_{ш.к}$ — КПД шестеренной клетки; $\eta_{шп}$ — КПД шпинделя.

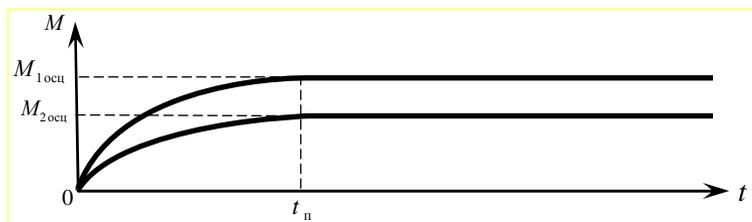


Рисунок 4. Экспоненциально-линейные функции моментов прокатки

Внешние моменты M_2 , M_3 , действующие на четвертую и пятую массы со стороны рабочих валков, заданы как экспоненциально-линейные функции времени (рисунок 4)

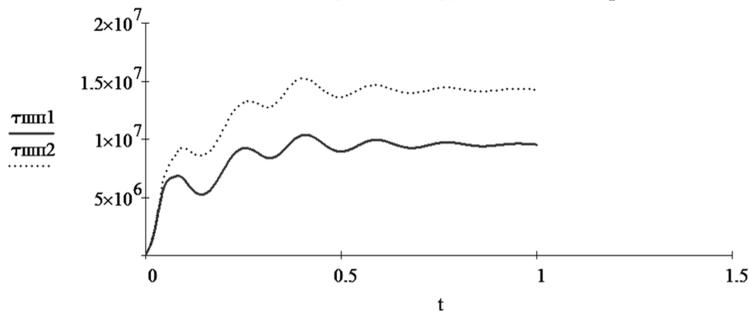
$$M_2(t) = \begin{cases} M_{1осц} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta}} \right), & t < t_{п} \\ M_{1осц}, & t \geq t_{п} \end{cases} \quad (5)$$

$$M_3(t) = \begin{cases} M_{2осц} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta}} \right), & t < t_{п} \\ M_{2осц}, & t \geq t_{п} \end{cases}$$

где $M_{1осц}$, $M_{2осц}$ — найденные по осциллограммам установившиеся моменты прокатки, приходящиеся на верхний и нижний рабочие валки;
 $\zeta = (0,4 \dots 0,5)t_{п}$ — показатель экспоненты нарастания моментов прокатки;

$t_{п}$ — время захвата заготовки рабочими валками.

Система уравнений (3), с учетом (4) и (5) решена методом Рунге-Кутты, для чего использована встроенная функция *Rkadapt* [5].



В результате построены графики касательных напряжений $\tau_{шп1}$ и $\tau_{шп2}$, возникающих в опасных сечениях валов верхнего и нижнего шпинделей при прокатке (рисунок 5):

$$\tau_{\text{шп1}} = m_3/W_p = c_3\psi_3/(0,2 \cdot d_{\text{шп}}^3);$$

$$\tau_{\text{шп2}} = m_4/W_p = c_4\psi_4/(0,2 \cdot d_{\text{шп}}^3),$$

где W_p — полярный момент сопротивления круглого поперечного сечения вала шпинделя кручению; $d_{\text{шп}}$ — диаметр вала шпинделя.

Переходный процесс, связанный с захватом заготовки рабочими валками, продолжается менее секунды. Крутильные колебания на двух участках происходят со стабильным значением частоты, которая практически не зависит от величины момента прокатки.

Библиографический список

1. Смирнов В.В., Яковлев Р.А. Механика приводов прокатных станов М.: Металлургия, 1977. 216с.
2. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2003. — 224 с.
3. Яковлев Р.А. Асимметричное нагружение прокатных станов. Учебное пособие. М.: МГТУ, 2001. 84с.
4. Вердеревский В.А., Глейберг А.З., Никитин А.С. Трубопрокатные станы М.: Металлургия, 1983. 240с.
5. Мальцев А.А. Прогнозирование циклической выносливости деталей прокатных станов. Германия. Lambert Academic Publishing. 2013. 64с.

УДК 531.43/46

**А.В. Анцупов (мл), М.Г. Слободянский,
А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, А.М. Овсов**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: antsupov.vp@gmail.ru
Дата поступления 05.09.2014

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВАЛКОВЫХ СИСТЕМ КВАРТО

Аннотация

Разработана модель параметрических отказов валковых систем "кварто" станов тонколистовой прокатки на стадии их проектно-конструкторской разработки (модернизации) по различным критериям

работоспособности, определяемым на основе кинетической теории прочности материалов.

Ключевые слова: валковая система, долговечность, кинетическая прочность, краевая задача, эволюция системы, деградация (старение) объекта, контролируемый параметр, условие работоспособности, критическая энергоемкость, предельное состояние, условие параметрического отказа, ресурс.

Проектный ресурс (срок службы) опорных и рабочих валков клетей непрерывных широкополосных станов (валковых систем «кварто» - ВСК) для известных условий прокатки может быть определен решением краевой задачи теории параметрической надежности технических объектов по критериям кинетической прочности материалов [1-11].

С этой целью в качестве контролируемых параметров X_{it} состояния ВСК (здесь $i = 1 \dots N$, N - номер и число параметров) можно принять такие физические величины, изменение которых в процессе будущей эксплуатации адекватно отражает процесс деградации (старения) системы. Достижение каждым из них предельных значений моделирует отказ ВСК по одной из возможных причин: поломке опорных валков по бочке или шейке, появлению выкрашивания поверхностных слоев, недопустимому искажению профилей валков от износа и нарушению поперечной разнотолщинности прокатываемых полос.

В данной работе в соответствии с базовыми положениями структурно-энергетической теории повреждаемости и разрушения твердых тел [1-9] и энерго-механической концепцией изнашивания трибосопряжений [10-19], приняты следующие параметры состояния ВСК, которые при прогнозировании можно считать распределенными по нормальному закону:

X_{1t} - текущая плотность скрытой энергии (энергоемкость) локальных объемов материала опорного валка в зоне действия максимальных эквивалентных (от изгиба с кручением) циклических напряжений, накопление которой во времени моделирует процесс повреждаемости его структуры, а условие $X_{1t} = x_{1np}$, отражает момент $t = t_{y1}$ появления усталостной трещины критического размера с последующей поломкой валка и отказ валковой системы по этой причине;

X_{2t} и X_{3t} - текущая энергоемкость локальных объемов материала поверхностного слоя опорного и рабочего валков в зоне действия

максимальных контактных напряжений, накопление которой во времени моделирует процесс повреждаемости их структуры, а условия $X_{2t} = x_{2np}$ или $X_{3t} = x_{3np}$ отражают моменты $t = t_{\gamma 2}$ и $t = t_{\gamma 3}$ появления усталостного поверхностного выкрашивания опорного или рабочего вала соответственно и отказ валковой системы по этим причинам;

X_{4t} - текущая величина активной образующей опорного вала, изменение которой в процессе изнашивания при прокатке моделирует эволюцию ВСК по критерию точности его профиля, а условие $X_{4t} = x_{4np}$ определяет момент $t = t_{\gamma 4}$ ее перехода в неработоспособное состояние и отказ валковой системы по этой причине.

X_{5t} - текущее значение поперечного профиля прокатываемой полосы, определяемого профилями активных образующих рабочих валков по ее ширине, изменение которых в процессе изнашивания при прокатке моделирует деградацию (старение) ВСК по критерию поперечной разнотолщинности проката, а условие $X_{5t} = x_{5np}$ определяет момент $t = t_{\gamma 5}$ ее перехода в неработоспособное состояние и отказ валковой системы по этой причине.

Здесь $x_{i np}$ - предельные значения выбранных параметров состояния ВСК, задаваемые в нормативно-технической документации (НТД) или из опыта эксплуатации.

Для выбранных параметров состояния валковых систем "кварто" станов листовой прокатки краевая задача теории параметрической надежности при проектной оценке их долговечности (ресурса или срока службы) может быть представлена в общей постановке следующей системой определяющих уравнений:

$$\left. \begin{array}{l}
 I - \text{уравнения (операторы) эволюции ВСК по выбранным} \\
 \text{параметрам } X_{it}, \text{ ее состояния: } X_{it} = X_{i0} \pm \int_0^t \dot{X}_{it} \cdot dt; \quad (I) \\
 II - \text{кинетические уравнения деградации ВСК по } X_{it}: \\
 \dot{X}_{it} = dX_{it} / dt = f(\text{условий эксплуатации ВСК}) \quad (II) \\
 III - \text{уравнения предельных состояний ВСК для оценки ее} \\
 \text{гамма - процентного ресурса } t_{\gamma i} \text{ по параметрам } X_{it}: \\
 X_{it} = X_{i0} \pm \int_0^{t_{\gamma i}} \dot{X}_{it} \cdot dt = x_{i np}, \Rightarrow t_{\gamma i} = t_{\gamma i}(X_{i0}, \dot{X}_{it}, x_{i np}). \quad (III)
 \end{array} \right\} (1)$$

Здесь $\dot{X}_{it} = dX_{it} / dt$ - скорость деградации (старения) валковой системы по каждому выбранному параметру.

Для того, чтобы система уравнений (1) оказалась замкнутой (статически определимой) необходимо:

- сформулировать в явном виде кинетические уравнения (II) деградации ВСК для оценки скорости изменения $\dot{X}_{1t} \dots \dot{X}_{5t}$ каждого i -того параметра, предполагая для упрощения модели стационарными условия прокатки каждой полосы, а также оперируя средними величинами определяемых параметров для значения вероятности безотказной работы $P(t) = \gamma = 50\%$;

- с использованием полученных зависимостей для \bar{x}_{it} , вывести уравнения (III) для оценки среднего ресурса $t_{\gamma=50\% i} = \bar{t}_i$ ВСК по каждому i -тому параметру.

Для оценки скоростей $\bar{x}_{it=1,2,2}$ деградации (старения) ВСК по первым трем параметрам можно использовать зависимости вида [1-7]:

$$\bar{x}_{it} = \bar{u}_{eit}(\sigma_i, T_i), \quad (2)$$

которые моделируют процесс повреждаемости структуры наиболее нагруженных локальных объемов материала опорного и рабочего валков, расположенных в зонах действия соответственно максимальных эквивалентных (от изгиба с кручением) $\sigma_{i=1} = \sigma_{экр}$ и контактных $\sigma_{i=2,3} = \sigma_k$ циклических напряжений при температуре T_i , в соответствии с термодинамической теорией прочности твердых тел [9].

Подробный анализ кинетического уравнения повреждаемости (2) в общем виде представлен в предыдущей статье авторов в данном сборнике. Применительно к ВСК для $i = 1, 2, 3$, это уравнение для оценки средней скорости $\bar{u}_{eit}(\sigma_i, T_i)$ изменения (накопления) плотности скрытой энергии дефектов структуры в указанных локальных объемах материалов опорного и рабочего валков в процессе последовательной прокатки j -тых партий полос одного типоразмера ($j = 1, 2, 3, \dots$), примет вид [9]:

$$\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_{i,j}) = \frac{2 \cdot R \cdot T \cdot U(\sigma_{i,j}, T_{i,j})}{h \cdot N_0} \exp \left[-\frac{U(\sigma_{i,j}, T_{i,j})}{R \cdot T_{i,j}} \right] \times \quad (3)$$

$$\times sh \left[\frac{\nu}{2 \cdot R \cdot T_{i,j}} \left(\frac{k_\sigma^2 \cdot M_R^2 \cdot \sigma_{i,j}^2}{6 \cdot G(T_{i,j})} - \frac{u_{e*i} - \bar{u}_{e0i}}{2} \right) \right].$$

С учетом (3) уравнения (III) системы (1) для оценки среднего ресурса валковой системы по параметрам $X_{i=1,2,3}$, примут вид:

$$\bar{t}_{i=1,2,3,j} = k_{II} \cdot (u_{e*i} - \bar{u}_{e0i} - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_{i,j}) \cdot t_j) / \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_{i,j}), \quad (4)$$

где $u_{e*i} \approx \Delta H_{TBi}$ и \bar{u}_{e0} - критическое значение плотности скрытой энергии материала, которое коррелирует с величиной энтальпии в твердом состоянии при температуре плавления [9], и ее среднее значение в исходном состоянии (при $t = 0$);

k_{II} - коэффициент, учитывающий увеличение времени прокатки из-за пауз между полосами;

$t_j = G_j / (\rho_j \cdot b_j \cdot h_j \cdot V_j)$ - время прокатки j -ой партии полос массой G_j с поперечным сечением $b_j \cdot h_j$, плотностью материала ρ_j , со скоростью прокатки V_j .

Решение полученной системы уравнений (3) и (4) для оценки долговечности $\bar{t}_{i=1,2,3,j}$ валковых систем кварто по критериям изгибной и контактной прочности материалов, описание и определение входящих в эти выражения параметров для заданных условий прокатки, представлены в следующей статье авторов в данном сборнике.

Для оценки скоростей $\bar{X}_{i=4,5}$ деградации (старения) ВСК по двум последним параметрам, изменение которых моделирует процесс искажения профилировок опорного и рабочего валков при их изнашивании в межвалковом контакте и очаге деформации, следует использовать зависимости вида [20, 21]:

- для $i = 4$:

$$\bar{X}_4 = \bar{\Delta}_{onj} = \dot{R}_{on}(0, t_j) - \dot{R}_{on}(L, t_j); \quad (5)$$

- для $i = 5$:

$$\begin{aligned} \bar{X}_5 &= \bar{\delta}_{hj} = \bar{\Delta}_{pj}^e + \bar{\Delta}_{pj}^h = \\ &= \left(\dot{R}_p^e(0, t_j) - \dot{R}_p^e(B_j, t_j) \right) + \left(\dot{R}_p^h(0, t_j) - \dot{R}_p^h(B_j, t_j) \right) \end{aligned} \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6):

$\bar{\Delta}_{onj}$ - скорость изменения профиля опорного валка в период t_j прокатки j -той партии полос одного типоразмера ($j = 1, 2, 3, \dots$);

$\dot{R}_{on}(0, t)$ и $\dot{R}_{on}(L, t)$ - скорость радиального изнашивания валка в поперечном сечении на середине его длины (с координатой $x = 0$) и на краю бочки (с координатой $x = L$) соответственно в период t_j прокатки j -той партии полос одного типоразмера [20];

$\bar{\delta}_{hj}$ - средняя скорость изменения поперечной разнотолщинности прокатываемой полосы в период прокатки j -ой партии полос;

$\bar{\Delta}_{pj}^e$ и $\bar{\Delta}_{pj}^h$ - средняя скорость изменения профиля активной образующей верхнего и нижнего рабочего валка соответственно по ширине прокатываемой j -ой партии полос одного профилеразмера;

$\dot{R}_p^e(0, t_j)$, $\dot{R}_p^e(B_j, t_j)$, $\dot{R}_p^h(0, t_j)$, $\dot{R}_p^h(B_j, t_j)$ - скорости изнашивания верхнего и нижнего рабочего валка в процессе прокатки j -той партии полос одного типоразмера над (под) серединой ($x = 0$) и кромкой $x = B_j$ j -ой полосы соответственно.

С учетом кинетических уравнений (5) и (6) уравнения (III) системы (1) для оценки среднего ресурса валковой системы по параметрам $X_{i=4,5}$ примут вид соответственно:

для $i = 4$:

$$\bar{t}_{i=4, j^*} = k_{II} \cdot (\Delta_{on0} - \Delta_{np4} - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{onj} \cdot t_j) / \bar{\Delta}_{onj}; \quad (7)$$

для $i = 5$:

$$\bar{t}_{i=5, j^*} = \frac{\delta_{hnpj} - \Delta_{p0}^e - \Delta_{p0}^h - \left(\sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{pj}^e + \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{pj}^h \right) \cdot t_j}{\bar{\Delta}_{pj}^e + \bar{\Delta}_{pj}^h}, \quad (8)$$

где Δ_{np4} и Δ_{on0} - предельная и начальная значения профиля опорного вала;

δ_{hnpj} - предельно-допустимое значение поперечной разнотолщинности j -ой партии полос;

Δ_{p0}^s и Δ_{p0}^n - величина исходной профилировки верхнего и нижнего рабочего вала.

Решение полученных систем уравнений (5)-(7) и (6)-(8) для оценки ресурса $\bar{t}_{i=4,j^*}$ и $\bar{t}_{i=5,j^*}$ валковых систем кварто по критериям износостойкости материалов, описание и определение входящих в эти выражения параметров для заданных условий прокатки, представлены в четвертой статье авторов в данном сборнике.

Библиографический список

1. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1. С. 141-146.
2. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
3. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. С. 28-34.
4. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Надежность, 2013. – №3 (46).– С. 5-14.
5. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.

6. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
7. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
8. Анцупов А.В. (мл.). Проектное обоснование реконструкции привода обжиговой печи агрегата для производства клинкера / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Сталь. 2014. №1. С.26-32.
9. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1985. 165с.
10. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №4. С. 56-61.
11. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский, А.С. Губин, В.А. Русанов, И.Ю. Чекалин, В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2010. №3. С. 54-60.
12. Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, И.Ю. Чекалин, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С. 38-45.
13. Методология вероятностного прогнозирования безотказности и ресурса трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, В.А. Русанов, В.П. Анцупов // Известия Самарского научного центра РАН. 2011, т. 13, № 4(3) (Приложение). С. 19-22.
14. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. №2. С.3-9.

15. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: Монография / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013.- 293с.
16. Анцупов А.В., Губин А.С., Русанов В.А. Чекалин И.Ю. Методика прогнозирования надежности плунжерных гидроцилиндров по критерию износостойкости уплотнений // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 141 – 143.
17. Модель процесса изнашивания трибосопряжений на основе термодинамического анализа их состояния / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский, В.А. Русанов, А.С. Губин, И.Ю. Чекалин, В.П. Анцупов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.264-268.
18. Прогнозирование показателей надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов, И.Ю. Чекалин, В.П. Анцупов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.262-264.
19. Анцупов А.В. Научные и методологические основы прогнозирования параметрической надежности трибосопряжений на стадии проектирования // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: Международный сб. науч. тр. / под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. С. 36-39.
20. Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г. Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №3. С. 74-79.
21. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Слободянский М.Г. Моделирование повышения надежности опорных валков НШСГП // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 138 – 140.

П.В. Гавриш
Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»
г. Новотроицк, Россия
E-mail: Gavrishr@yandex.ru
Дата поступления 25.06.2014

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИВОДА ТЯНУЩЕ-ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ЭСПЦ ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНЫХ СРОКОВ

Аннотация

Обоснована возможность модернизации ТПМ ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь» путем изменения конструкции привода с целью повышения надёжности и экономичности.

Ключевые слова: привод ТПМ (тянущая правильная машина), коническо-цилиндрический редуктор, быстроходная ступень, вал электродвигателя.

Повышение технико-экономических показателей работы тянущей правильной машины (ТПМ), увеличение временного промежутка между ремонтами и снижение стоимости обслуживания всегда являются актуальными [1]. Рассмотрев современные технологии проектирования предлагается, изменить конструкцию быстроходного вала и крепление электродвигателя.

Предложение изменения конструкции привода тянущей-правильной машины, с изменением конструкции редуктора связано с возникающими необходимыми ремонтами и регулировками с заменой быстроходного вала (рисунок 1). Данная рассчитанная конструкция редуктора может быть упрощена за счет установки ведущей конической шестерни непосредственно на валу электродвигателя - 1 на рисунке 2.

В креплении электродвигателя убирается промежуточное опорное кольцо (рубашка) между корпусом редуктора и электродвигателем, а на место его устанавливается опорная плита (шайба) - 4 опоры кожуха водяного охлаждения электродвигателя. Сам электродвигатель будет закреплен к корпусу редуктора четырьмя болтами.

На место крепления быстроходного вала и стакана с подшипниками, с соединительной муфтой, устанавливается втулка шестерня - 3 исполняющая роль быстроходного вала, которая закрепляется непосредственно на валу электродвигателя - 1 с помощью шпонки - 2 и стопорного винта - 5.

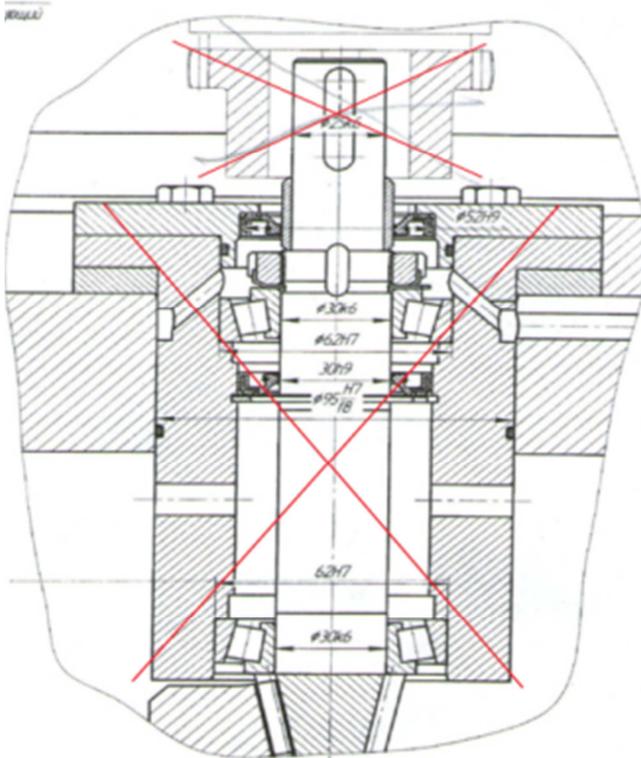


Рисунок 1. Быстроходный вал

Таким образом, привод ТПМ доводится практически до схемы мотор-редуктора, которая хорошо себя зарекомендовала на машине непрерывного литья заготовок № 1 привода роликов передвижного рольганга.

Уже имеющийся опыт по ремонту и эксплуатации подобных приводов и ниже приведенные расчеты подтверждают достаточную работоспособность предлагаемой нашей конструкции [2].

Крутящие моменты на быстроходном T_B , валу редуктора :

$$T_B = 9550 \cdot P_B / \eta_B = 9550 \cdot 7,5 / 1455 = 49,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Диаметры выходных участков $d_{БВ}$ валов и определяем из расчета только на кручение [2]:

$$d_{БВ} = (7 \dots 8) \cdot \sqrt[3]{T_B} = (7 \dots 8) \cdot \sqrt[3]{49,23} = 25,65 \dots 29,23 \text{ мм};$$

Принимаем стандартные по ГОСТ6636-69 значения:

$d_{BB} = 38$ мм, длины выходных участков принимаем по ГОСТ 12080-66:

$\ell_{BB} = 110$ мм и $\ell_{TB} = 140$ мм.

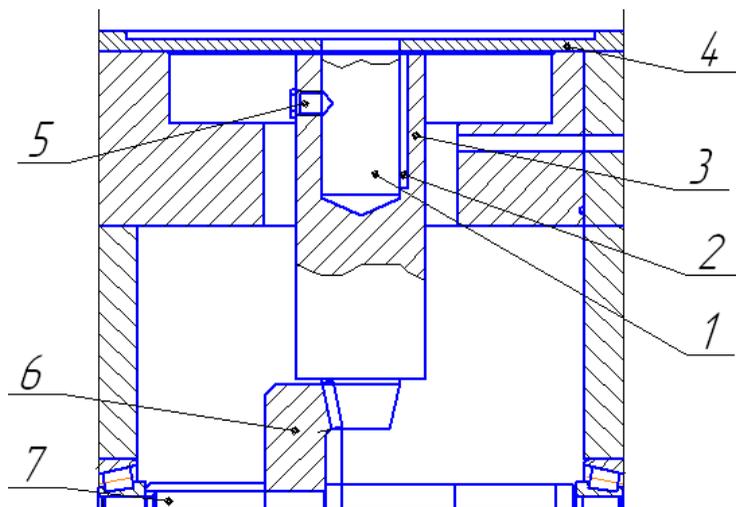


Рисунок 2. Измененная конструкция быстроходного вала

Диаметры и длины остальных участков валов выбираем из конструктивных соображений, не снижая прочностных характеристик.

Экономически учитывая удаление подшипникового узла и промежуточной опоры, регулировочных приспособлений и соединительной муфты, а в сумме сократив более 10-ти позиций заменяя их 5-ю более компактно расположенными. Можно даже в процентном соотношении ожидать не менее 40% экономии на этой части привода ТПМ.

Библиографический список

1. Нефедов А.В., Машины и агрегаты непрерывного литья заготовок: учебник для вузов / А. В. Нефедов, Н. А. Чиченев, И.А. Шур, – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2014. – 115 с.
2. Гавриш П.В. Учебное пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Детали машин» для студентов, обучающихся по направлениям: 151000 «Технологические машины и оборудование», 150400 «Металлургия» НФ МИСиС, 2014. – 68 с.

**Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков,
Н.Л. Султанов, М.А. Шленкина**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: girkin@yandex.ru
Дата поступления 25.06.2014

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТЯНУЩИХ РОЛИКОВ СТАНА 2000 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Аннотация

Опыт эксплуатации стана 2000 холодной прокатки выявил снижение работоспособности подшипников качения опор тянущих роликов при работе со скоростью прокатки, превышающей 1000 об/мин. Для повышения эксплуатационной надежности подшипниковых опор появилась необходимость в оценке общего теплового состояния подшипниковых опор, с использованием методики расчета теплового состояния подшипниковой опоры при циклическом нагружении роликов подшипника качения и периодической подачи смазочного материала для станов холодной прокатки.

Ключевые слова: подшипник качения, смазочный материал, тепловое состояние, тянущий ролик, надежность.

Из работы [4] известно, что при скорости прокатки свыше 1000 м/мин на стане 2000 холодной прокатки ОАО «ММК» возникает перегрев подшипниковых опор тянущих роликов и соответственно, связанные с этим внеплановые простои. Поэтому необходима оценка теплового состояния подшипниковых узлов блока тянущих роликов.

Для оценки общего теплового состояния подшипниковой опоры рассматривалась модель теплового состояния подшипника качения при циклическом нагружении его роликов и периодической подаче смазочного материала. Для этого случая наиболее рационально использовать тепловую модель, состоящую из трех тел: *первое* соответствует роликам подшипника качения, *второе* – смазочный материал, как источник теплового потока, выделяемого в зоне контакта подшипника качения, *третье* включает в себя остальные элементы конструкции подшипникового узла, за исключением роликов подшипника [5]. Эквивалентная схема замещения для этого случая представлена на рисунке 1:

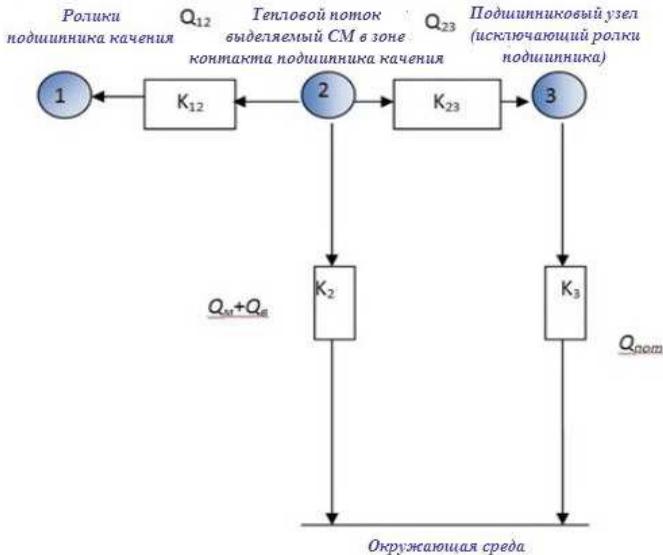


Рисунок 1. Эквивалентная схема замещения тепловой модели подшипниковой опоры, состоящей из трех тел

Система дифференциальных уравнений, описывающая тепловое состояние подшипниковой опоры в соответствии с приведенной схемой замещения, имеет вид [3]:

$$C_1 \frac{d\vartheta_1}{d\tau} = \Delta P_1 + K_{12} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1), \quad (1)$$

$$C_2 \frac{d\vartheta_2}{d\tau} = \Delta P_2 - K_2 \cdot \vartheta_2 - K_{12} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) - K_{23} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_3), \quad (2)$$

$$C_3 \frac{d\vartheta_3}{d\tau} = \Delta P_3 - K_3 \cdot \vartheta_3 + K_{23} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_3), \quad (3)$$

Для решения данной системы дифференциальных уравнений, необходимо, добавить к ней начальные условия, определяющие температуры рассматриваемых тел в начальный момент времени:

$$\vartheta_1^i(0) = 0; \quad \vartheta_2^i(0) = 0; \quad \vartheta_3^i(0) = 0. \quad (4)$$

Как было уже сказано при скорости прокатки свыше 1000 м/мин., возникает нагрев подшипниковых опор тянущих роликов до температуры выше 50°C .

Опыт эксплуатации стана 2000 холодной прокатки показал, что это связано с тем, что из-за увеличения скорости и натяжения полосы, наматываемой на моталку, смазочный материал не доходит до 2-го ряда роликов подшипника (рисунок 2), что ведет к нарушению теплового баланса (рисунок 3) [4].

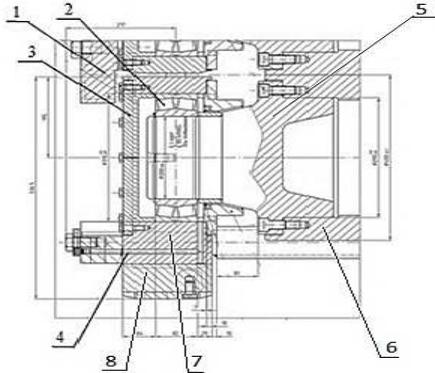


Рисунок 2. Подушка тянущего ролика до реконструкции:
 1 – подушка; 2 - подшипник качения; 3 – крышка; 4 – масловоздушный подвод; 5- опорная шейка; 6-кожух ролика; 7- направляющая;
 8- опорная плита

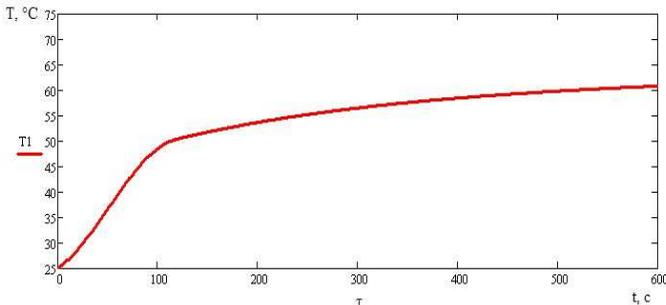


Рисунок 3. График изменения температуры подшипниковой опоры с течением времени тянущих роликов

Анализ теплового состояния подшипниковой опоры показал, что внутреннее кольцо и ролик нагреваются не существенно и в этих зонах не происходит перегрева. А вот на внешнее кольцо в зоне нагружения воздействует тепловой поток, приводящий к интенсивному разогреву, что требует необходимого теплоотвода для восстановления теплового баланса подшипниковой опоры. Одним из решений является увеличение подачи смазочного материала за счет снижения цикла подачи со 164 до 27 с. Это привело к снижению температуры подшипниковой опоры до 40 °C, и перегрев роликов на некоторое время прекратился. Но при дальнейшей эксплуатации отказы возобновились (2 отказа через 528 и 504 ч).

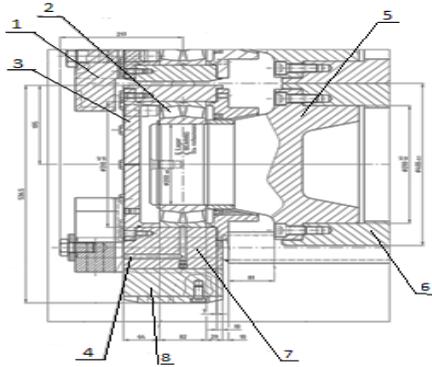


Рисунок 4. Подушка тянущего ролика после реконструкции:
 1 – подушка; 2 - подшипник качения; 3 – крышка; 4 – масловоздушный подвод; 5- опорная шейка; 6-кожух ролика; 7- направляющая; 8- опорная плита

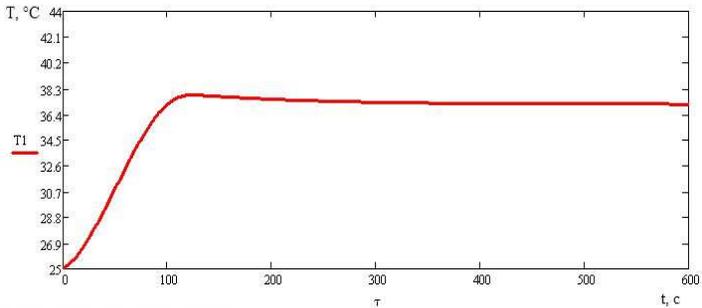


Рисунок 5. График изменения температуры подшипниковой опоры с течением времени после проведения реконструкции

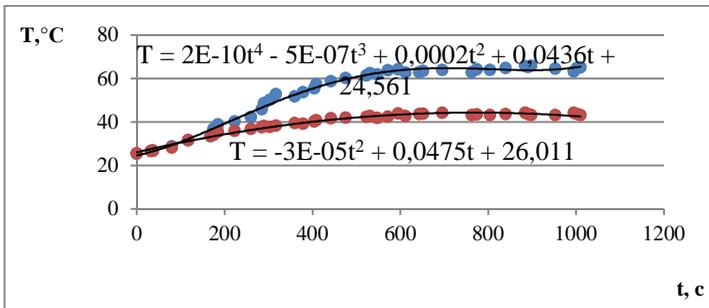


Рисунок 6. График изменения температуры подшипниковой опоры с течением времени подшипниковой опоры тянущих роликов

Вскрытие подшипникового узла показало, что ролики внутренней дорожки изнашиваются меньше, чем внешней. Следствием этого явилось неравномерное распределение смазочного материала по беговым дорожкам из-за недостатков конструктивного исполнения места подвода смазочного материала в подшипники качения. Для приближения зоны подачи смазочного материала было внедрено конструктивное изменение (рисунок 4), заключающиеся в том, что старое отверстие было заглушено и просверлено новое, которое позволяет подавать смазочный материал между роликами, непосредственно в зону контакта и распределять его равномерно по всем роликам. Проведенная реконструкция подушек тянущих роликов позволила восстановить тепловой баланс (рисунок 5), исключить аварийные отказы подшипниковых опор и повысить ресурс [5].

Вышеприведенные изменения подтверждаются результатами замеров подшипниковых опор тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК» (рисунок 6) и актом промышленных испытаний подушек тянущих роликов.

Заключение

Таким образом, по результатам оценки теплового состояния подшипниковых опор тянущих роликов стана 2000 ОАО «ММК» внедрена новая конструкция подушек, позволяющая подавать смазочный материал между роликами, непосредственно в зону контакта и распределять его равномерно по всем роликам, тем самым восстановить тепловое состояние подшипниковой опоры при смазывании АССМ-В с одновременным повышением ресурса подшипников качения на 20 %.

Библиографический список

1. Общий каталог по подшипникам качения: справочное пособие SKF. – М., 2009. -1129 с
2. Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.Н. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие. – М: Машиностроение, 2008. – 206 с.: ил.
3. Султанов, Н.Л. Математическое моделирование теплового состояния подшипникового узла тянущих роликов стана 2000 ОАО «ММК» холодной прокатки / Н.Л. Султанов, Ю.В. Жиркин, И.М. Ячиков, и др. // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальных сферах. - Магнитогорск, 2013. - № 1. - С. 29-37
4. Султанов, Н.Л. Повышение эффективности подачи смазочного материала в подшипники качения тянущих роликов стана 2000 х/п

- ОАО «ММК» / Н.Л. Султанов, Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков и др.
// Актуальные проблемы современной науки, техники и образования:
материалы 71 межрегион. науч.-техн. конф.- Магнитогорск: Изд-во
Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013.- С. 367-370
5. Султанов, Н.Л. Управление тепловым состоянием подшипниковых
опор, смазываемых системой «масло-воздух» на стане 2000 холодной
прокатки ОАО «ММК» / Н.Л. Султанов, Ю.В. Жиркин, Е.И.
Мироненков // Сталь. 2014.-№4.- С. 71-73

УДК 669.02/09

В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская, Н.А. Ченцов
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
г. Донецк, Украина
E-mail: mozchm@ukr.net
Дата поступления 27.06.2014

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА ЛИТЕЙНЫХ КРАНОВ

Аннотация

Приведено описание вариантов конструкций механизма подъёма главной тележки литейного крана. Представлены результаты их сравнительного анализа по критериям энергозатрат и безотказности.

Ключевые слова: кран литейный; механизм подъёма; конструктивная схема; КПД; вероятность безотказной работы.

В технологической линии сталеплавильных цехов литейные краны (миксерные, заливочные, разливные) занимают особое место, т.к. выполняют широкий комплекс операций. Работоспособность литейных кранов и, в частности, механизма подъёма главной тележки, обуславливает эффективную работу всего цеха, поэтому обеспечение безотказной работы механизма подъёма является актуальной задачей, определяющей технологическую безопасность производства.

Типовая конструкция главного механизма подъёма [1, 2] разливного крана приведена на рисунке 1. Механизм состоит из двух одинаковых механизмов, связанных между собой зубчатыми венцами 9 барабанов 7, что обеспечивает их равные угловые скорости вращения. Каждый механизм приводится во вращение электродвигателем 1 и состоит из двухступенчатого редуктора 4 и зубчатой пары 8-9, имеет два колодочных тормоза 2, 5, установленных с двух сторон редуктора 4. Вал двигателя соединен с быстроходным валом редуктора с помощью

зубчатой муфты 3. В состав механизма входит силовой полиспагт 6. Барабан имеет левую и правую нарезку. Для синхронной работы барабанов и обеспечения безопасной работы при поломке одного из двигателей в зубчатом колесе второй передачи редуктора предусмотрена установка храпового устройства.

В современных условиях работы электросталеплавильных цехов функции литейных кранов расширяются, они используются для завалки металлолома и для транспортирования ковшей с расплавленным металлом. Кроме того из-за уменьшения времени плавки до 40...50 мин. благодаря последовательной работе электродуговой печи, установки печь-ковш и машины непрерывного литья заготовки интенсивность эксплуатации механизмов литейных кранов, в частности, механизма подъёма, значительно повышается. Также отмечены тенденции в увеличении высотных и габаритных размеров цехов, что влияет на скоростные режимы работы крановых механизмов. Данные факторы явились основанием для разработки новых конструкций механизмов подъёма, отвечающих указанным требованиям.

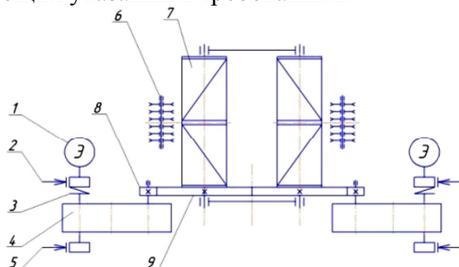


Рисунок 1. Типовая конструкция механизма подъёма (схема №1)

В статье представлен сопоставительный анализ типовой и ряда современных конструкций механизма подъёма главной тележки литейных кранов, по критериям энергозатрат и безотказности.

На рисунках 2-8 приведены двухбарабанные схемы механизмов подъёма современных литейных кранов.

Механизм подъёма, схема которого приведена на рисунке 2, имеет симметричную конструкцию и также состоит из двух одинаковых частей, связанных редуктором 4. Редуктор имеет два быстроходных и два тихоходных вала. Каждый быстроходный вал редуктора 4 соединен с электродвигателем 1 с помощью муфты 2. На быстроходном валу установлены рабочий колодочный тормоз 2, а с обратной стороны редуктора – аварийный тормоз 5. Тихоходный вал редуктора через встроенную зубчатую муфту соединён с барабаном 6. В состав механизма входит силовой полиспагт 7.

В конструкции механизма главного подъёма с «двойным»

редуктором (рисунок 3) используются два одинаковых редуктора 7. Два привода располагаются симметрично и состоят из электродвигателя 1, муфт 2 и 4, промежуточного вала 5, основного колодочного тормоза 3. Тихоходные валы редукторов 7 соединены с валами барабанов 9, которые расположены на одной оси перпендикулярно главной балке крана. Тихоходные валы также соединены между собой при помощи муфт 8 и вала-вставки, что позволяет синхронизировать вращение барабанов и обеспечивает работу механизма при поломке одного из двигателей. В состав редуктора также может входить храповое устройство, как и в типовой конструкции механизма. Для аварийной остановки предусмотрен тормоз 6. Выигрыш в силе на барабане обеспечивает применение полиспаста 10. Такой тип конструкции рассчитан на невысокую грузоподъёмность и меньший подъездной путь тележки как слева, так и справа.

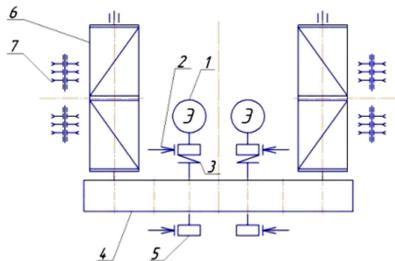


Рисунок 2. Конструкция с центральным приводом (схема №2)

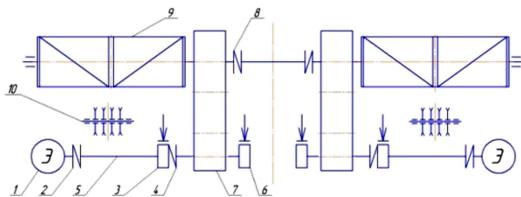


Рисунок 3. Конструкция с «двойным» редуктором и линейным расположением барабанов (схема №3)

В состав механизма подъёма, приведенного на рисунке 4, входят два электродвигателя 1, соединенные с помощью муфт 3 с быстроходными валами шестеренчатого редуктора 5. Тихоходные валы редуктора одновременно передают вращение барабанам 6. Два барабана 6 располагаются параллельно главной балке крана. Внутри шестеренчатого редуктора две части механизма подъёма соединены при помощи валов, работающих на низкой скорости, которые в свою очередь соединяются с холостыми шестернями. В случае отказа одного двигателя перемещение груза обеспечивается вторым, используя холостые

шестерни редуктора. Механизм снабжен четырьмя тормозами 2 и 4. Данный вариант конструктивного исполнения механизма обеспечивает высокую степень безопасности и надёжности в эксплуатации, является удобным в плане технического обслуживания и рассчитан на меньший подъездной путь крановой тележки.

В конструкции механизма подъема компании Урал-Шталь (рисунок 5) используется тройной планетарный шестеренчатый редуктор 4. Механизм приводится в движение четырьмя электродвигателями 1, вращение от которых через муфты 3 передается планетарному редуктору 4, а далее через муфты 5 к редукторам 6 с эвольвентными цилиндрическими передачами и двум барабанам 7, располагающимся параллельно главной балке. Оба привода располагаются симметрично по отношению друг к другу. Планетарный редуктор имеет два передаточных числа. При выходе из строя одного из двигателей, срабатывает соответствующий ему быстродействующий тормоз 2, поэтому второй двигатель перемещает груз при уменьшении скорости на 50%, чтобы соответствовать требованиям производимой операции. Для обеспечения безопасного режима работы также предусмотрен аварийный тормоз барабана. В состав механизма входит силовой полиспагат 8. Такой тип конструкции отвечает всем эксплуатационным требованиям безопасности, но требует использования системы охлаждения в редукторе из-за повышенного тепловыделения.

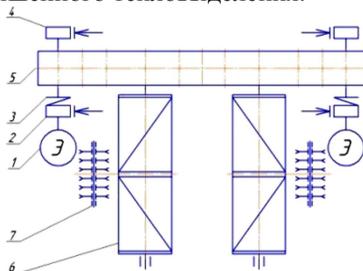


Рисунок 4. Конструкция с шестеренчатым редуктором (схема №4)

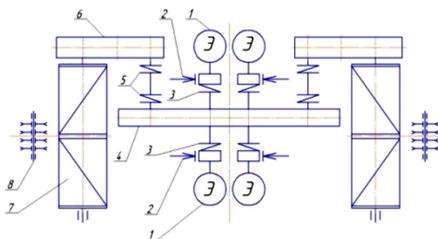


Рисунок 5. Конструкция с тройным планетарным шестеренчатым редуктором (компания Урал-Шталь) (схема №5)

На рисунке 6 приведен механизм подъёма груза с планетарным шестеренчатым редуктором 4, который передает вращение от двух двигателей 1 через муфты 3 с тормозными шкивами к двум барабанам 5. Барабаны 5 располагаются параллельно главной балке. Синхронизация двух точек подъёма обеспечивается при помощи вторичной шестерни редуктора. Для обеспечения более высокого уровня безопасности предусмотрен основной и аварийный тормоз 2. Когда один из двигателей, соединенный с ведущим валом планетарного шестеренчатого редуктора, выходит из строя, срабатывает аварийный тормоз этого вала и другой двигатель может осуществлять транспортировку груза при 50%-снижении скорости для соответствия требованиям производимой операции. В состав механизма входит силовой полиспаг 6. Данный тип конструкции обладает высокой степенью надёжности и безопасности при эксплуатации. Редуктор не нуждается в дополнительном охлаждающем устройстве. Крановая тележка менее приближена к крюку и является более удобной в плане технического обслуживания персоналом.

В схеме механизма подъёма с «тройным» редуктором (рисунок 7) три редуктора расположены в форме треугольника. Два электродвигателя 1 располагаются симметрично, два барабана 7 располагаются параллельно главной балке. Вращение от двигателей 1 передается с помощью муфт 4 синхронизирующему редуктору 5, в состав которого может входить храповый механизм. Выходные валы редуктора соединяются с помощью муфт с валами двух вторичных редукторов 6, которые приводят в движение два барабана 7. При отказе одного двигателя, второй будет обеспечивать движение во время выполнения операции. Такой вариант механизма характеризуется легкой заменой редуктора, большими наружными габаритами, но меньшей эксплуатационной надёжностью. Для достижения высокого уровня безопасности в эксплуатации крана, механизм снабжен основными 3 и аварийными 2 тормозами.

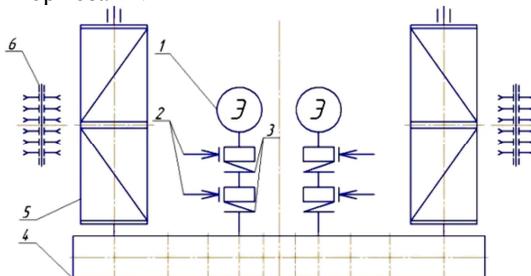


Рисунок 6. Конструкция с планетарным шестеренчатым редуктором (схема №6)

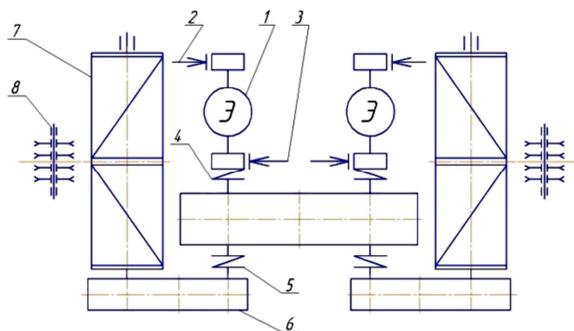


Рисунок 7. Конструкция с «тройным» редуктором (схема №7)

На рисунке 8 представлена схема механизма подъёма с одним редуктором. Конструкция состоит из редуктора 7, двух двигателей 1 и двух канатных барабанов 8, рабочего тормоза 2, аварийного тормоза 6 барабана, которые расположены симметрично относительно трансмиссионного вала 4 с муфтами 3 и 5. Валы размещены перпендикулярно к главной балке моста крана. При поломке одного двигателя подъёмный механизм будет управляться в течение операции вторым.

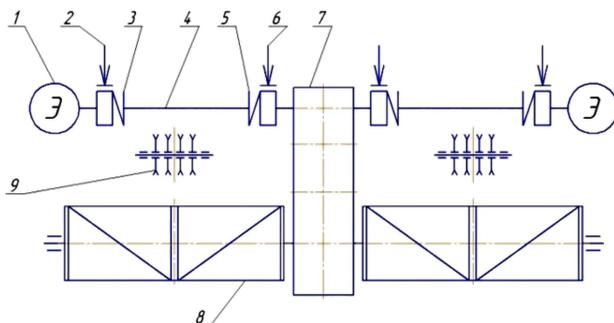


Рисунок 8. Конструкция с одним редуктором (схема №8)

Среди представленных исполнений механизма выделяются две группы схем со структурным подобием (по расположению элементов в пространстве) – №3 и 8; №1, 2, 4, 5, 6, 7. Для сравнения представленных конструктивных вариантов были выбраны два параметра – коэффициент полезного действия $\eta_{\text{мех}}$ (КПД), отражающий энергоэффективность конструкции, и вероятность безотказной работы P , характеризующий работоспособность механизма. При оценке были приняты следующие допущения: 1) грузоподъемность механизма подъёма одинакова; 2) кратность полиспаста одинакова; 3) барабан соединяется с редуктором с помощью встроенной зубчатой муфты; 4) вероятности безотказной

работы всех элементов механизма одинаковы и равны 0,99.

С учетом известных значений КПД отдельных элементов конструкции (зубчатых передач, муфт, подшипников, полиспада) [3] определены значения КПД механизма в целом для каждой из схем (таблица 1). Максимальное значение $\eta_{\text{мех}}$ характерно для типовой конструкции механизма подъема (схема №1), относительно этого значения рассчитано отклонение КПД Δ_{η} для остальных схем (таблица 1). Анализ полученных результатов позволил выделить три группы конструкций с близкими значениями КПД: 1) схемы №8 и 2; 2) схемы № 4, 7 и 3; 3) схемы №6 и 5. Таким образом, наиболее эффективными с позиции энергозатрат являются: типовая конструкция механизма подъема (№1), конструкция с одним редуктором (№8) и конструкция с центральным приводом (№2).

Таблица 1

Значения $\eta_{\text{мех}}$ при разных конструктивных исполнениях

№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8
$\eta_{\text{мех}}$	0,717	0,706	0,661	0,671	0,583	0,645	0,664	0,713
Δ_{η} , %	–	1,5	7,8	6,4	18,7	10,0	7,4	0,6

Основываясь на структурно-логических формулах для каждого конструктивного варианта исполнения механизма подъема, рассчитана вероятность безотказной работы P (таблица 2). Минимальное значение вероятности безотказной работы характерно для схемы №8 (схема с одним редуктором). Максимальное значение вероятности безотказной работы отмечено для механизма подъема, выполненного по схеме №1. Отклонение вероятности ΔP для других схем относительно данного значения представлено в таблице 2. Здесь можно выделить три подобные группы схем: 1) №3, 2, 4, 6; 2) №7 и 5; 3) №8. Следует отметить, что только типовая схема механизма подъема обеспечивает вероятность безотказной работы выше значения 0,95, которое является базовым уровнем для литейных кранов. Схемы, отнесенные к первой группе, также практически отвечают данному уровню.

Таблица 2

Значения вероятности безотказной работы P механизма подъема груза при разных конструктивных исполнениях

№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8
P	0,967	0,947	0,948	0,947	0,920	0,944	0,928	0,799
ΔP , %	–	1,5	1,4	1,5	4,3	1,8	3,4	16,9

Так как выбранные для анализа схем параметры отражают разные свойства конструкций, то для дальнейшего сравнения было выполнено ранжирование конструктивных схем по убыванию значений КПД и вероятности безотказной работы (таблица 3). Схеме с максимальным

значением параметра присваивался первый ранг, с минимальным – последний. Ранги, предоставленные по значениям КПД (R_{η}) и вероятности безотказной работы (R_p), позволили определить средний ранг схемы:

$$R_{cp} = (R_{\eta} + R_p) / 2 .$$

Таблица 3

Ранжирование конструктивных схем

№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8
R_{η}	1	3	6	4	8	7	5	2
R_p	1	3	2	3	6	4	5	7
R_{cp}	1	3	4	3	7	5	5	4

На основании полученных значений среднего ранга можно отметить, что типовая схема механизма подъема (№1) обладает наилучшими показателями энергоэффективности и безотказности, далее следуют схемы №2 и №4. Это объясняется тем, что данные конструктивные варианты по своей структуре являются развитием типовой схемы путем объединения двух редукторов и открытых зубчатых пар (см. схему №1) в один раздаточный редуктор, с введением в его состав синхронизирующих шестерен. Схемы №3, 8, 6 и 7 составляют третью группу ранжирования, а схема №5 является наименее эффективной как по энергозатратам, так и с позиции безотказности, что связано с наличием в ее конструкции трех редукторов.

Таким образом, при необходимости модернизации двухбарабанного механизма подъема в современных производственных условиях следует отдавать предпочтение конструкции с центральным приводом (схема №2) и конструкции с шестерёнчатый редуктором (схема №4).

Данное исследование будет продолжено после уточнения показателей безотказности элементов конструкции механизма подъема и рассмотрения схем с одним барабаном.

Библиографический список

1. Виноли И.И. Механическое и транспортное оборудование сталеплавильных цехов. – М.: Металлургия, 1972. – 368 с.
2. Петухов П.З., Ксюнин Г.П., Серлин Л.Г. Специальные краны. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
3. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин/Под ред. Иванченко Ф.К. – К., 1978. – 576 с.

**Р.Н. Амиров, С.П. Нефедьев,
С.А. Халина, В.В. Митрофанова**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: sergeyefedeyff@gmail.com
Дата поступления 06.06.2014

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ И УДАРНО-АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЕРДЫХ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация

Самыми распространёнными способами реновации деталей является ручная дуговая наплавка покрытыми электродами. Однако ограниченность составов получаемых покрытий не позволяет использовать этот способ для упрочнения ряда ответственных деталей, например, деталей горной техники. В статье описан способ плазменного упрочнения деталей, позволяющий наносить покрытия в широком интервале химических составов, и с высокими показателями ударно-абразивной износостойкости.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, ударно-абразивная износостойкость, скорость охлаждения, термическая история, азот, легирование азотом, микроструктура.

Многие механизмы машин горного и металлургического оборудования испытывающие абразивное изнашивание при эксплуатации преждевременно выходят из строя. Износ их рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении восстановления, что приводит к удорожанию механизмов [1]. Поэтому разработка материалов и технологий значительно повышающих износостойкость таких деталей без их значительного удорожания является важной задачей.

Наиболее распространёнными способами упрочнения являются различные виды дуговой наплавки. Среди них наиболее перспективным является плазменно-порошковая наплавка [2]. Особенностью этого способа является возможность применения большого числа различных упрочняющих фаз в различных композициях с металлическими матрицами на железной, никелевой или кобальтовой основах. Для обеспечения высокой долговечности наплавленный металл должен иметь высокую твёрдость и одновременно высокую ударную вязкость. Также, необходимо учитывать конкретные условия изнашивания. Для обеспечения прочностных свойств и способности удерживать частицы

упрочняющей фазы в структуре металлическая основа не должна в процессе изнашивания претерпевать мартенситное превращение и деформации.

Исследования проводили на наплавленных образцах размером 100×30×20 изготовленных из Ст. 3. Наплавку производили порошковым плазмотроном двудугового действия в один слой толщиной не менее 4 мм. Покрытие наносилось на токах 80А, 120А, 180А с охлаждением наплавленных образцов на спокойном воздухе и душированием водой.

Таблица 1

Химический состав базового порошка, присадки и порошковой композиции

№ п/п	Химический состав композиций							
	Fe	C	Cr	Mn	Si	N	Al	Ti
250X15Г20С	60.95	2.50	15.10	20.30	1.15			
(FeCr)N	4.47	0.15	65	19.34	1	10	0.02	0.02
240X17Г19АС	59.17	2.39	17.48	19.33	1.14	0.48	0.01	

В качестве базового легирующего комплекса использовали порошок типа 250X15Г20С. К базовому составу подмешивался азотированный феррохром (FeCr)N в различных соотношениях (табл. 1). Наплавленные образцы подвергали испытанию на абразивную и ударно-абразивную износостойкость по ГОСТ 23.208-79 и 23.207-79 соответственно. В результате, наилучшим сочетанием абразивной и ударно-абразивной износостойкости обладает порошковая композиция типа 240X17Г19АС.

Соотношение твердости и износостойкости покрытия типа 240X17Г19АС в зависимости от величины силы тока наплавки показаны на рисунке 1.

Исследования показали, что величина силы тока оказывает значительное влияние на формирование структуры и свойств наплавленного металла [2], поэтому изменяя тепловложение и скорость охлаждения наплавленного металла возможно в значительных пределах изменять его твердость и износостойкость. В первую очередь повышение абразивной износостойкости связано с образованием заэвтектической структуры наплавленного металла и равномерным распределением дисперсных нитридов хрома. Повышенная сила тока, и как следствие сниженная скорость охлаждения покрытия при кристаллизации приводит к образованию доэвтектической структуры на аустенитной основы. С этим связана повышенная ударно-абразивная износостойкость покрытия. Таким образом способность покрытия одного и того же химического состава иметь повышенную абразивную или ударно-абразивную износостойкость определяется скоростью охлаждения при кристаллизации. Скорости охлаждения образцов, в зависимости от

режима наплавки представлены на рисунок 2.

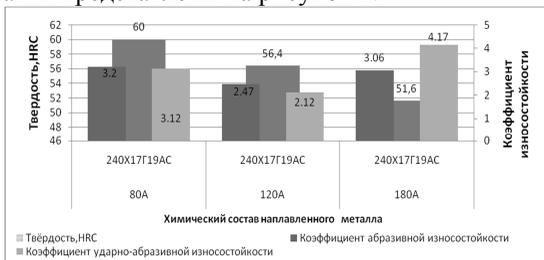


Рисунок 1. Зависимость твёрдости и износостойкости покрытия от силы тока наплавки

Покрытие нанесенное на токе 80А обладает большей твёрдостью в сравнении с покрытием наплавленным на 120А и 180А (см. рисунок 1). Повышение силы тока приводит к значительному проплавлению металла основы и большому подмешиванию его в покрытие. Наплавленный металл представляет собой белый износостойкий азотсодержащий высокохромистый чугун, а относительно низкая скорость его кристаллизации при высокой степени перегрева сварочной ванны приводит к образованию большего количества аустенита, что и обуславливает его пониженную твёрдость.

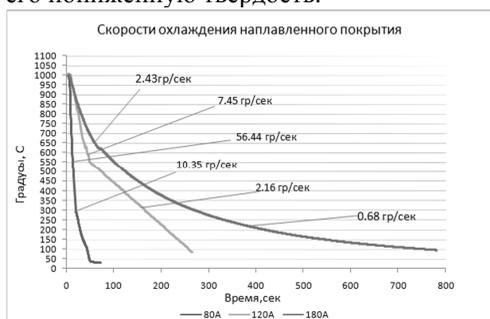


Рисунок 2. Термограмма скоростей охлаждения наплавленного металла в зависимости от режима наплавки

Из исследованных режимов наплавки лучшими показателями износостойкости (см. рисунок 1) обладает покрытие, нанесенное при силе тока 80 А, в связи с большим количеством карбидной фазы M_7C_3 . Повышение силы тока сначала приводит к снижению, а затем к повторному повышению износостойкости. Такое изменение износостойкости при разной силе тока можно объяснить микроструктурными изменениями, количественным соотношением матричной (дендриты аустенита) и упрочняющей фазы (первичные и эвтектические карбиды) [4, 5].

Покрытие нанесённое на токе 180А обладает наивысшей ударно-абразивная износостойкостью [3]. В связи с большой величиной перегрева сварочной ванны и невысокими скоростями кристаллизации наплавленного покрытия типа 240Х17Г19АС происходит формирование структуры с преобладанием аустенита, который хорошо упрочняется при ударных нагрузках.

Выводы:

1. Наилучшей абразивной износостойкостью обладает покрытие типа 240Х17Г19АС, обладающее заэвтектической структурой полученной на токе 80А, в связи с большим количеством карбидной фазы M_7C_3 .

2. Наилучшей ударно-абразивной износостойкостью обладает метало-наплавка типа 240Х17Г19АС, обладающая доэвтектической структурой полученной на токе 180А, в связи с тем, что высоколегированный аустенит в процессе износа претерпевает полидеформационное превращение.

Библиографический список

1. Методы испытания на трение и износ: справ. изд. Куксенова Л.И., Лантева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.И. – М.: «Интермет инжиниринг», 2001 г. 153 с.
2. Емелюшин А.Н., Нефедьев С.П., Гусева Е.Н. Повышение эксплуатационной стойкости деталей подшипниковых узлов клетей прокатных станов // Механическое оборудование металлургических заводов, 2012. № 1. С. 109-113.
3. Vdovin K.N., Gorlenko D.A., Zavalischin A.N. STRUCTURE CHANGES OF CHROMIUM-NICKEL INDEFINITE CAST IRONS IN HEATING // «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2013. № 5 (45). С. 9-11.
4. Тютеряков Н.Ш., Оншин Н.В., Кандауров Л.Е. Влияние высоких температур на изнашивание материалов при абразивном износе // «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», 2006. № 1. С. 50-53.
5. Емелюшин А.Н., Нефедьев С.П., Гусева Е.Н. Повышение эксплуатационной стойкости деталей подшипниковых узлов клетей прокатных станов // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. С. 109-113.

УДК 621.746.047:621.86

Е.А. Мананников, О.Н. Чиченева
Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»
г. Новотроицк, Россия

Вас. В. Точилкин
ФБГОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: toch56@mail.ru
Дата поступления 25.06.2014

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПЕЧЕЙ ЭСПЦ

Аннотация

Рассмотрена возможность модернизации пневматического привода печей ЭСПЦ. Разработаны пневматические схемы манипуляторов и представлены расчетные зависимости для определения основных параметров пневматических цилиндров.

Ключевые слова: Сталеплавильное производство; пневмопривод; пневматические системы

Модернизация дуговых (рисунок 1) сталеплавильных (ДСП) и других печей электросталеплавильного цеха играет огромную роль в развитии металлургических технологий.

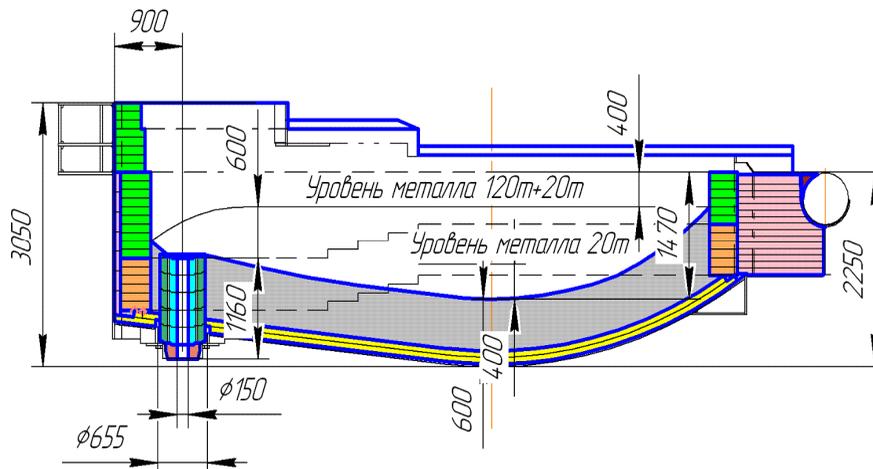


Рисунок 1 - Дуговая сталеплавильная печь – ДСП 120

В настоящее время на предприятиях металлургического профиля функционируют ряд ДСП, но их производительность снижают непредвиденные простои. В частности, эти простои вызваны неполадками в пневмосистемах, например, манипулятора эркера. Наиболее ответственным узлом этой конструкции является пневмоцилиндр. Для того что бы сделать их надежнее в данной разработке предлагается усовершенствованная конструкции пневматического цилиндра.

На рисунке 1 представлена компоновка дуговой сталеплавильной печи - ДСП 120 в момент выпуска стали. Данные ДСП работают в электросталеплавильных цехах (ЭСЦ). Пневмопривод предназначен для открывания и закрывания эркерного шибера затвора электропечи [1].

Затвор закрывает отверстие для выпуска жидкого металла из печи.. При этом используется пневматический цилиндр (рисунок 2).

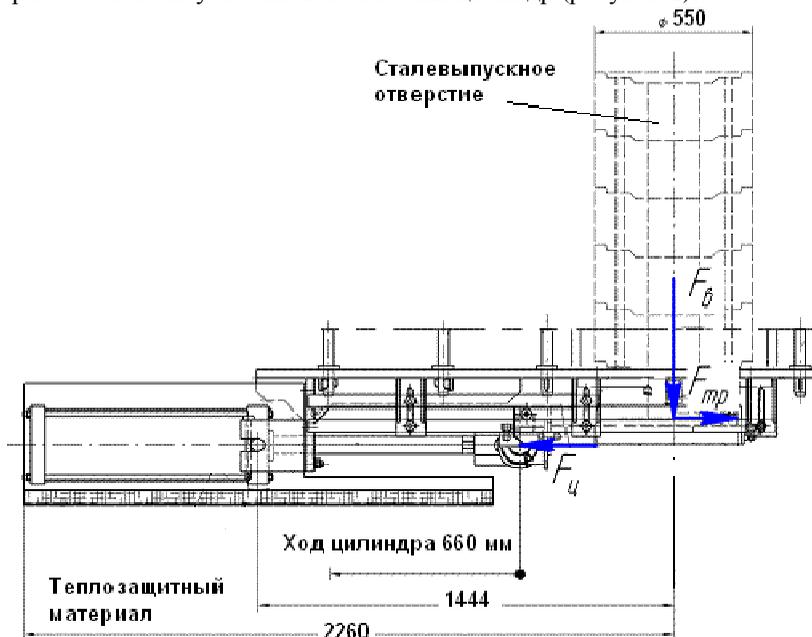


Рисунок 2. Пнемоцилиндр для отсечки

Отверстие футеровано огнеупорами в виде стаканчиков, сердцевина выпускного отверстия заделывается смесью на основе кварцевого песка, что предохраняет затвор от прожига. При выпуске (при

открытом затворе) сердцевина выдавливается жидким металлом, производится выпуск. Затвор движется поступательно по расположенным горизонтально направляющим с помощью роликов. В движение приводится пневмоцилиндром. Воздействие высокой температуры отрицательно сказывается на прочностных характеристиках установленных резиновых изделиях, следовательно, происходит повышение скорости износа взаимодействующих между собой деталей вызывающих задиры внутренней полости гильзы пневмоцилиндра. Влияние данных недостатков на технологический процесс, и экономическую составляющую включает в себя снижение производительности ЭСПЦ от простоя ДСП, увеличение аварийных простоев связанных с заменой цилиндра, увеличение затрат на ремонт.

На рисунке 2 представлена расчетная схема пневматического цилиндра [2]. Усилие, необходимое для открытия шиберного затвора печи, прилагаемое к пневмоцилиндру, должно быть больше сопротивлений, действующих на затвор:

$$F_{ц} > F_{сопр},$$

где

$$F_{сопр} = F_{тр} + F_{случ}.$$

Здесь $F_{тр}$ – сила трения от жидкого металла, находящегося в печи; $F_{случ}$ – случайные сопротивления (трение в направляющих и т.п.).

$$F_{тр} = Nf,$$

где f – коэффициент трения; $N = F_{в}$ – реакция в затворе от жидкого металла, находящегося в печи.

Вывод: Определены основные параметры для оценки характеристик пневматического цилиндра, что позволит обеспечить рациональную работу эркера ДСП, а также других печей ЭСПЦ при модернизации.

Библиографический список

1. Точилкин В.В. Пневматические манипуляторы для отсечки конвертерного шлака // Вестник машиностроения. - 2007. - № 10. С. 42 – 44.
2. Точилкин, В.В. Пневмопривод металлургических манипуляторов: Монография / В.В. Точилкин, А.М. Филатов - Магнитогорск: МГТУ, 2005. - 211 с.

И.А. Салов, Ю.А. Пожидаев
 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
 технический университет им. Г.И. Носова»
 г. Магнитогорск, Россия
 E-mail: Yoran74@rambler.ru
 Дата поступления 30.08.2014

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДРОБЛЕНИИ

Аннотация

Исследование в первую очередь направлено на снижение динамических нагрузок в узлах дробилок за счет изменения режима и технологии обработки с учётом демпфирующих свойств сыпучего материала.

Оборудованием для измельчения сыпучих материалов являются дробилки: роторно-ножевые, щековые, конусные, валковые, молотковые и др.

Перечисленное выше оборудование испытывает вибрацию в процессе дробления. На сегодняшний день нет единой методики расчета динамики дробилок, которые учитывают силовые изменения в процессе дробления [1 - 5].

Порцию сыпучего материала в рабочем пространстве можно представить, например, как куб, параллелепипед или цилиндр, сжимаемый центрально или внецентренно (Рисунок 1).

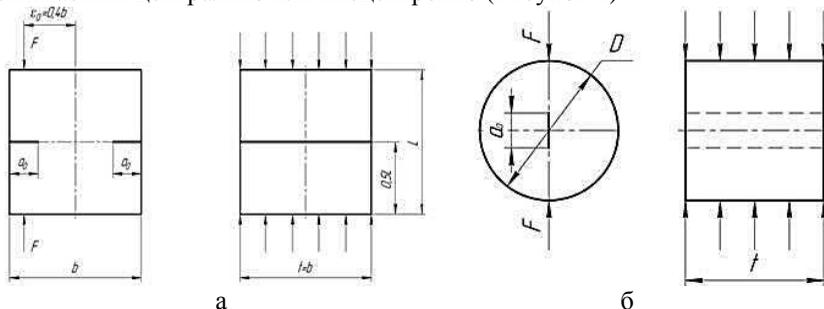


Рисунок 1. Варианты упрощённого представления порции сыпучего материала в рабочем пространстве дробилки; а – куб; б – цилиндр

Поврежденность кусков сыпучего материала отражает трещиностойкость. Трещиностойкость образцов K_{lc} определяется по

усилию F_c , которому соответствует динамическое начало движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях. Критический коэффициент интенсивности напряжений для образцов кубической формы определяется по формуле [6]:

$$K_{Ic} = \frac{F_c}{b^{1/2} \cdot t} \cdot (1,83\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 3445\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 12967\lambda^{9/2}), \quad (1)$$

где b – ширина образца, мм;

t – длина образца, мм;

F_c – усилие,

$\lambda = (a_0 + a_{01})/b$ – относительная длина начального надреза.

Для образцов цилиндрической формы коэффициент интенсивности напряжений определяется по формуле [6]:

$$K_{Ic} = \frac{F_c}{D^{1/2} \cdot t} \sqrt{\frac{2(a_0/D)}{\pi[1-(a_0/D)]}}, \quad (2)$$

где b – ширина образца, мм;

t – длина образца, мм;

D – диаметр, мм.

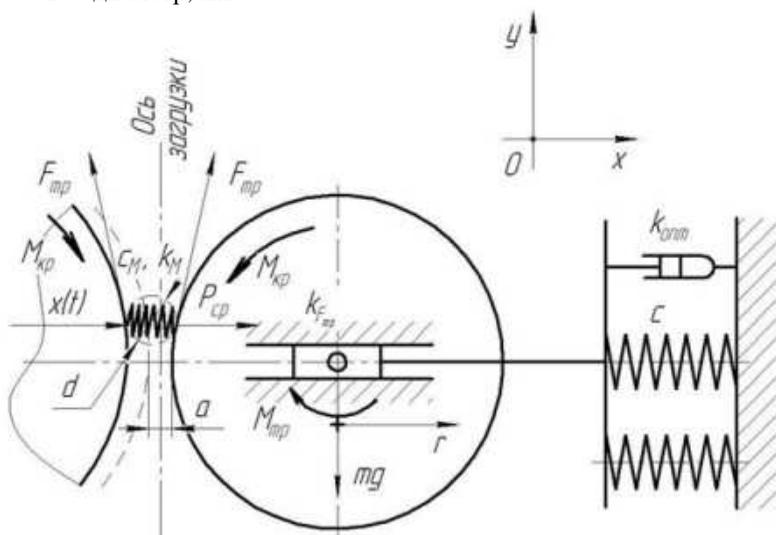


Рисунок 2. Схема поясняющая моделирование процесса развития колебаний при дроблении

Объектом исследования были выбраны четырёхвалковые дробилки Д4Г 900×700, установленные в отделении подготовки топлива аглоцеха ОАО «ММК». Метод измельчения сыпучего материала в валковых дробилках – это раздавливание и истирание. В ходе исследований было установлено, что первая причина возникновения вибрации заключается в периодическом изменении баланса между раздавливанием и истиранием.

Вторая причина заключается в периодическом изменении размера фракции и попадании кусков имеющих разные механические свойства. Всё это влияет на изменение усилия сжатия в процессе дробления (Рисунок 2).

Была взята проба кокса и проведен статистический анализ геометрических и физических параметров, в результате получены следующие данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки пробы кокса

Интервал значений, мм	15	5–20	0–25	5–30	0–35	5–40	0–45	5–50	0–55	5–60	0<	Σ	m	D	σ
Кол-во, шт.	3	12	17	31	47	51	37	21	11	8	5	243	38,9	108,2	10,4
Кол-во, %	1,23	4,94	7,00	12,75	19,34	20,99	15,23	8,64	4,53	3,29	2,06	100			
Масса, кг	0,110	0,460	0,680	1,250	1,910	2,080	1,530	0,880	0,480	0,370	0,250	10			
Пористость, %	44	41	39	38	38	38	37	36	34	29	25		39	–	–

По эмпирическим данным построена кривая характеризующая распределение вероятностей размера куска кокса в отобранной пробе материала (рисунок 3).

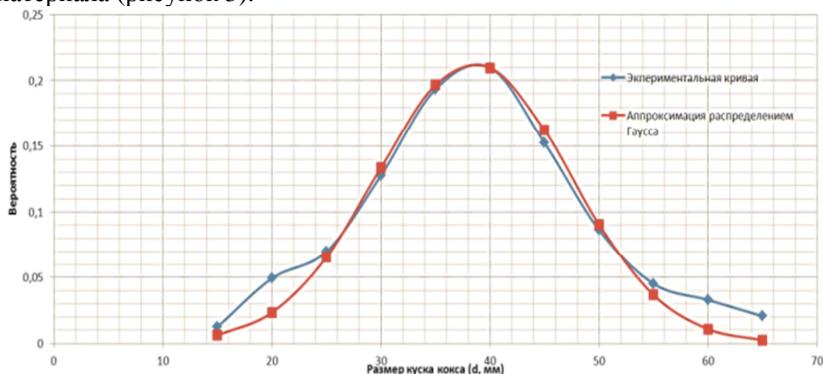


Рисунок 3. Кривая характеризующая распределение вероятностей размера куска кокса и аппроксимирующая распределением Гаусса

Принимая во внимание сложности при обрабатывании резанием кокса, выбрана наиболее подходящая форма образцов – куб. Комплект образцов для испытаний включал в себя 20 образцов по 5 штук каждого типоразмера. Были изготовлены образцы следующих типоразмеров размер ребра куба 50,40,30,25.

По итогам экспериментальных исследований по определению механических и физических свойств кокса, определены численные значения трещиностойкости и предела прочности кокса, которые

составили $1,567 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$ и $12,99 \text{ МПа}$. Эти данные были заложены в параметрические выражения, что позволило охарактеризовать реальный процесс дробления аналитически. По итогам моделирования колебательного процесса подвижного элемента валковой дробилки разработана методика расчёта тел качения [7] и система демпферов для рекуперации энергии [8].

Библиографический список

1. Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Блондинская Е.Б. Модернизация системы демпферов четырехвалковой дробилки с использованием электромеханических модулей для повышения КПД // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. №4. С.24-27.
2. Пожидаев Ю. А., Кадошников В.И. Проектирование демпфирующих систем на электромеханических модулях // Вестник машиностроения. 2012. №5. С. 72-75.
3. Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Шаповалова Е.О. Исследование эффективности системы демпферов, рекуперирующих энергию колебаний // Автоматизация и современные технологии, 2012. №12. С.9-15.
4. Pozhidaev Yu.A., Kadoshnikov V.I. Damping-System Design on the Basis of Electrochemical Modules // Russian Engineering research. 2012. Vol.32. No. 5-6. P.478-481.
5. Джекко Д.А., Пожидаев Ю.А. Определение демпфирующих свойств конструкционных сталей // Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Вып. 2. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2013. С. 120-123.
6. ГОСТ 29167–91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.– М., Издательство стандартов, 1992.–18 с.
7. Платов С.И., Железков О.С., Пожидаев Ю.А., Мироненков Е.И. Расчёт тел качения подшипников на контактную усталостную прочность с использованием метода конечных элементов// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 4. С. 73-77.
8. Пат. 111222 РФ, F16F15/03, B60G13/04 МПКз B25J 1/2. Система демпферов для рекуперации энергии / В.И. Кадошников, Ю.А. Пожидаев, Е.В. Шестопалов, Е.В. Куликова, М.В. Аксёнова, И.Д. Кадошникова, С.Ю. Зайцев, А.М. Чуников. Заявка 5025141/08; Заявлено 08.07.2011; Опубл. в БИПМ №34 10.12.2011.

Ю.Л. Бобарикин, С.В. Авсейков, Ю.В. Мартьянов

УО «Гомельский государственный технический

университет имени П.О. Сухого»

г. Гомель, Республика Беларусь

E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

Дата поступления 22.07.2014

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ МЕТАЛЛОКОРДА ОСЕВЫМ РАСТЯЖЕНИЕМ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ

Аннотация

Установлено, что воздействие на проволоку осевым растягивающим напряжением в диапазоне 65..75% от ее предела прочности является эффективным способом повышения прямолинейности металлокорда, свитого из этой проволоки. Растяжение проволоки способствует снижению остаточных напряжений и сохранению прямолинейности металлокорда при хранении на катушке.

Ключевые слова: металлокорд, проволока, прямолинейность, неравномерность деформации, остаточные напряжения, осевое растяжение проволоки.

Современное шинное производство ужесточает требование по качественному показателю металлокорда – отклонение от прямолинейности в размотанном состоянии. Это требование в значительной степени связано с автоматизацией современного производства шин. В процессе обрешивания корда в шинном производстве при нарушении требований к прямолинейности металлокорда происходит недопустимое изменение формы резинового полотна.

Хранение металлокорда на катушке с момента от намотки готового корда после свивки до размотки на шинном производстве проходит от нескольких недель до месяца. При этом прямолинейность корда, хранившегося в намотанном состоянии на катушке, после размотки может значительно отличаться от прямолинейности до намотки на катушку. Поэтому производство металлокорда с минимальным изменением прямолинейности во времени является актуальной задачей в сфере производства металлокорда. В связи с этим требуется определить наиболее эффективные способы повышения прямолинейности металлокорда.

Цель исследования: определение эффективного способа повышения прямолинейности металлокорда.

Основная причина изменения прямолинейности металлокорда заключается в появлении остаточных деформаций в структуре металлокорда, возникающих вследствие релаксации остаточных напряжений. Остаточные напряжения сконцентрированы в проволоке, из которой свит металлокорд. Также остаточные напряжения могут быть сконцентрированы между проволоками в структуре металлокорда. Основная причина появления остаточных напряжений в проволоке – неравномерность деформации металла по поперечному сечению проволоки в процессе волочения.

Одним из способов снижения остаточных напряжений проволоки является роликовая рихтовка (рисунок 1) [1]. Принцип ее работы заключается в воздействии на проволоку знакопеременных изгибающих нагрузок. Дополнительная знакопеременная пластическая деформация снижает уровень остаточных напряжений.

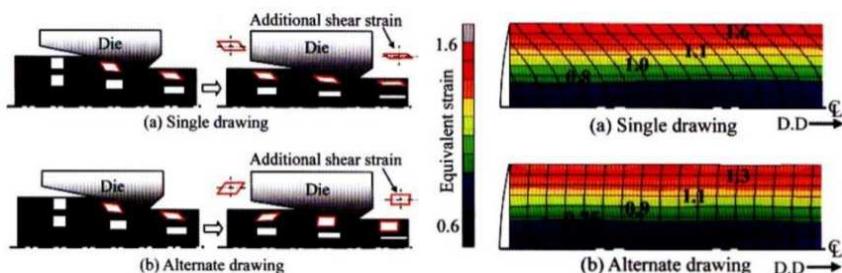


Рисунок 1. Общий вид роликовой рихтовки

Основным преимуществом является простота конструкции и удобство размещения в потоке проволочного стана. Недостатком является незначительное снижение остаточных напряжений в проволоке, частый выход из строя подшипников роликов в рихтовке из-за больших нагрузок и скоростей волочения, снижение сопротивления пластической деформации металла проволоки.

Следующим способом снижения остаточных напряжений в проволоке является волочение с изменением направления волочения [2] (рисунок 2). Примерно к середине маршрута волочения осевые слои

проволоки уже растянуты в значительной степени по сравнению с контактными слоями проволоки (рисунок 2а). Это связано с геометрией волоки и действием контактных сил трения. После этого проволоку наматывают на катушку. Затем катушку устанавливают на следующий этап волочения, в котором проволока протягивается в обратном направлении (рисунок 2б). Это обеспечивает выравнивание осевых напряжений в поверхностном слое проволоки, что влечет за собой хорошие показатели прямолинейности. Такой способ волочения является эффективным для алюминиевой и медной проволоки, т.е. для проволоки с высокими показателями пластичности.



а) в одном направлении; б) с изменением направления.

Рисунок 2. Схема волочения проволоки с изменением направления волочения

Основные преимущества заключаются в хороших показателях по прямолинейности и распределению остаточных напряжений по сечению проволоки. Главным недостатком является низкая производительность процесса вследствие дополнительных затрат времени на изменение направления волочения.

С учетом имеющихся способов повышения прямолинейности проволоки [1-3] и на основе собственных исследований предложено использовать растяжение проволоки в потоке волочильного стана.

Волочение тонкой проволоки для металлокорда приводит к различной степени ее деформирования в поперечном сечении. Это способствует формированию остаточных напряжений в проволоке. В зоне деформации поверхностные слои проволоки испытывают сжимающие напряжения и деформации, осевые слои испытывают растягивающие напряжения и деформации.

После волочения в свободной зоне происходит перераспределение напряжений. Это обусловлено упругой деформацией слоев проволоки. Однако часть напряжений остаётся в металле в виде остаточных.

Если после волочения оказывать на проволоку растягивающее воздействие, то напряжения в осевом направлении можно частично

выровнять [3].

На рисунке 3 представлены эпюры осевых напряжений и деформаций в поперечном сечении проволоки в процессе волочения в деформирующей зоне волюки (ось 0), для свободной зоны после волочения (ось 0'), а также результирующие эпюры после воздействия на образец осевым растягивающим напряжением $\sigma=0,7\sigma_B$ (ось 0'').

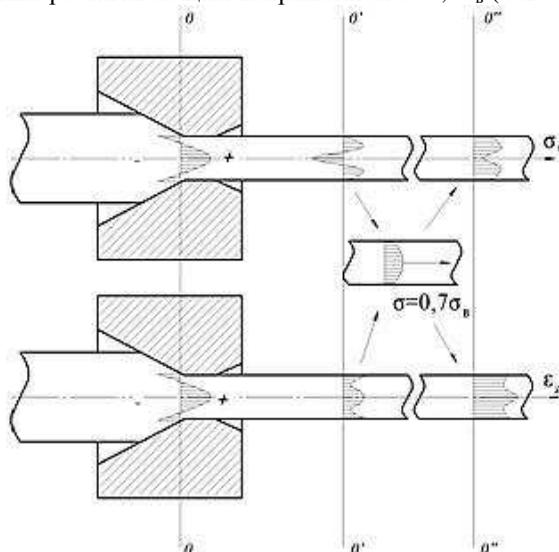


Рисунок 3. Схема осевых напряжений и деформаций в проволоке

Анализ рисунка 3 показывает, что за счёт осевого растяжения происходит перераспределение в сторону уменьшения остаточных напряжений и деформации.

Для подтверждения теоретического обоснования воздействия осевого растяжения на прямолинейность металлокорда проведены лабораторные исследования. В лабораторных условиях проволока диаметром 0,35 мм из стали 80, полученная волочением, растянута с различными усилиями в диапазоне 0-0,98 σ_B на разрывной машине INSTRON 5969. Из растянутой проволоки на установке для свивки металлокорда (рисунок 4а) изготавливались образцы металлокорда 2x0,35НТ. Полученные образцы длиной 300мм выдерживались на катушке диаметром 80мм (рисунок 4б) в течение 24 часов и 72 часов.

Для оценки изменения прямолинейности металлокорда после выдержки на катушке измерялся радиус дуги прогиба металлокорда. Определив численное значение радиуса дуги прогиба вычислялось величина отклонения от прямолинейности в течении 72 часов в

зависимости от различной степени осевого растяжения проволок (рисунок 5).



а) Лабораторное устройство для свивки металлокорда; б) катушка.

Рисунок 4. Оборудование для испытаний металлокорда:

Анализ рисунка 5 показывает, что опытным путём определён диапазон ($\sigma=0,65..0,75 \sigma_b$) растяжения проволоки. Металлокord, свитый из такой проволоки имеет минимальным отклонением от прямолинейности в течение всего времени хранения на катушке.

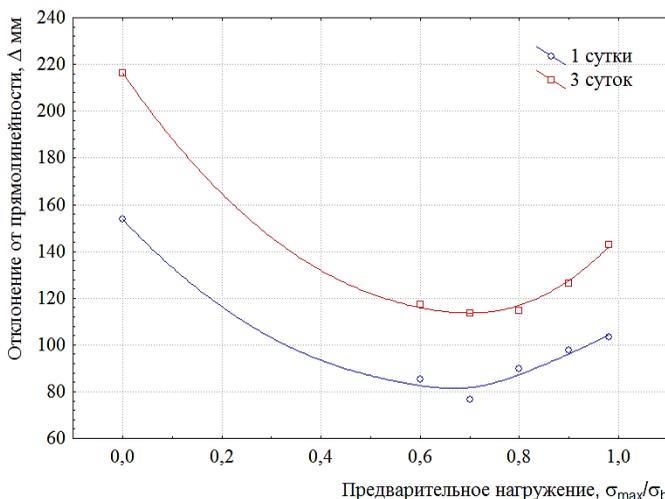
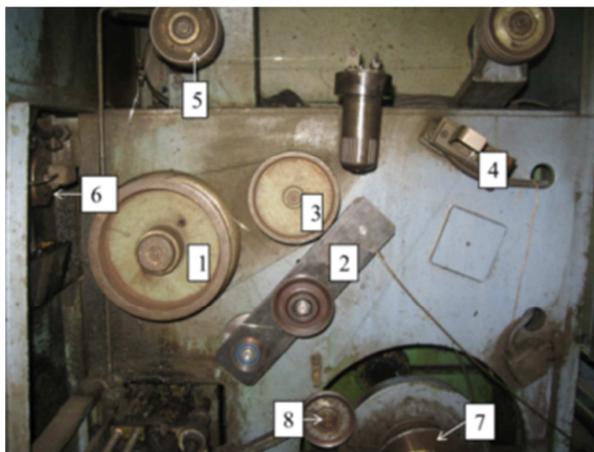


Рисунок 5. Изменение прямолинейности металлокорда 2x0,35НТ в зависимости от степени предварительного растяжения проволоки.

Практическая реализация предложенного способа осевого растяжения проволоки осуществлена в потоке волочильного стана

мокрого волочения с использованием разработанного растягивающего устройства (рисунок 6). Перед намоткой на катушку проволоку растягивают рычажным устройством. Усилие растяжения регулируется грузом, расположенным на плече рычага.



- 1 – тяговый шкив, 2 – рычаг, 3 – счётчик, 4 – рамка (датчик),
5 – устройство натяжения при намотке, 6 – чистовая волока,
7 – приемная катушка, 8 – укладчик.

Рисунок 6. Растяжение проволоки с помощью рычага:

Таким образом, доказано, что эффективным способом повышения прямолинейности металлокорда в течение хранения на катушке является воздействие на проволоку осевым растягивающим напряжением в диапазоне $0,65..0,75 \sigma_b$ с использованием рычажного механизма.

Библиографический список

1. Kazunari Y. Правка тонкой проволоки растяжением и роликовая правка // ОАО «Черметинформация», Новости черной металлургии за рубежом. – 2010. – №4. – С.64-66.
2. Kazunari Y. Improvement of mechanical properties of drawn aluminium wire for wiring harnesses // Wire journal international. – 2011. – №8. – С. 76-80.
3. Способ производства нитей для изготовления стального корда и устройство для их производства; пат. 2007-118067 Япония / Сасакура Нобухико; заявитель Канаи Хироаки Преф. Хёго, Асияси-си, Яманотэ-мати. - № 2005-317120; заявл. 31.10.2005 ; опубл. 17.05.2007.

А.Е. Гулин, М.А. Полякова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: walter_chel@mail.ru
Дата поступления 08.09.2014

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРОВОЛОКИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-3D

Аннотация

На основе моделирования комбинирования волочения с кручением и изгибом разработан метод, позволяющий формировать ультрамелкозернистую структуру в углеродистой проволоке. Метод комбинированной деформационной обработки основан на волочении с кручением проволоки путем приложения крутящего момента на петлю образованную на расположенных между волокнами роликах, за счет чего происходит наложение знакопеременной деформации изгиба. Предложена формула расчета накопленной деформации в ходе комбинированной деформационной обработки.

Ключевые слова: моделирование, комбинирование, волочение, кручение, накопленная деформация.

В настоящее время высокую актуальность приобрели работы, связанные с получением металлоизделий в одной непрерывной линии путем комбинирования и совмещения операций, что ведет к повышению конкурентоспособности за счет снижения количества промежуточных операций. Для разработки таких технологических схем существует необходимость изучения напряженно-деформированного состояния при сложном нагружении, которое возникает при комбинировании нескольких видов деформации в одном очаге деформации. Существующие технологические процессы производства проволоки на основе комбинирования волочения с другими методами обработки требуют создания сложного оборудования, обеспечивающего, прежде всего согласование скоростей обработки. С этой точки зрения актуальной является задача разработки такого метода комбинированной обработки проволоки, который, с одной стороны, обеспечивал повышение механических свойств проволоки, с другой – не требовал создания специального сложного оборудования и инструмента. Используя

комбинирование различных простых видов деформирования (кручение, растяжение, сжатие, изгиб), можно увеличить коэффициент полезного действия процесса волочения, уменьшить материалоемкость оборудования, изменить схему напряженно-деформированного состояния на более благоприятную, при которой металл проявляет большую пластичность, а так же получить высокий комплекс механических свойств.

Для осуществления кручения проволоки при волочении было предложено образовать петлю, к которой будет прилагаться крутящий момент. Технически это может быть осуществлено с помощью роликов, вращающихся вокруг оси волочения. Для снижения обрывности проволоки она должна входить и выходить из волок по оси волочения, т.е. при соосном расположении волочильного инструмента минимальное количество роликов должно быть равно 3. Но такая конструкция является разбалансированной, т.к. центр ее массы будет находиться на расстоянии от оси волочения, что приведет к появлению вибраций при ее эксплуатации. Для устранения этого недостатка может быть использована конструкция из 4-х роликов, расположенных симметрично оси волочения. В итоге предложена четырехроликовая схема изгиба проволоки между двумя волоками, которые будут являться своего рода жесткой заделкой и препятствовать распространению кручения на бунт с заготовкой или барабан волочильного стана. При такой схеме на проволоку наряду с волочением и кручением будет дополнительно накладываться деформация изгиба.

Данный вид комбинированной деформационной обработки был смоделирован в конечно-элементном комплексе Deform-3D. В качестве исходной заготовки использовали проволоку диаметром 3,0 мм из высокоуглеродистой стали 70. Профиль ролика, используемый при моделировании, соответствовал обрабатываемому диаметру проволоки для большего контакта с заготовкой. Диаметр ролика приняли равным 90 мм, т.к. такой размер роликов используется при преформировании проволоки диаметром 3,0 мм в канатовьюющем производстве. Взаимное расположение роликов соответствует минимальному их разнесу от оси волочения для снижения инерционных сил.

Скорость волочения составляла 0,06 м/с, что соответствует заправочной скорости волочильного стана. Скорость скручивания приняли 100 об/мин. Расстояния между первой по ходу движения проволоки волокой и входом на первый ролик скручивающего устройства, а также между выходом с последнего ролика и второй волокой уменьшили для сокращения расчетного времени. В качестве материала обрабатываемой заготовки из имеющейся базы программного комплекса была выбрана сталь DIN C60, как наиболее близкий аналог

стали 70. Схема моделируемого процесса представлена на рисунке 1.

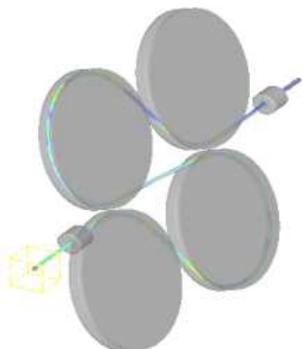


Рисунок 1. Схема моделируемого процесса

На рисунке 2, *а* изображено векторное поле скоростей узлов сетки обрабатываемой заготовки. Контактные условия (рисунок 2, *б*) аналогичны процессу волочения во вращающейся волоке и радиально-сдвиговой протяжке.

При этом вращении не только уменьшается величина проекции сил трения на ось волочения F_{mp} , что само по себе способствует снижению усилия волочения, но также происходит изменение напряженного состояния заготовки под действием силы F_{mp}^m , что неизбежно оказывает влияние на усилие волочения.

Так как снижение усилия волочения может быть обеспечено только в случае снижения осевых напряжений, то, исходя из условия пластичности при волочении ($\sigma_l + \sigma_r = \sigma_T$), это может произойти либо за счет увеличения радиального давления σ_r , либо за счет снижения напряжения пластичности σ_T . При вращении волок за счет воздействия на заготовку крутящего момента в ней возникают дополнительные касательные напряжения, что приводит к снижению величины радиальных напряжений [1].

Результаты моделирования могут быть использованы для расчета деформации обрабатываемой заготовки. Для этой цели на продольное сечение заготовки была нанесена координатная сетка. Угол ее скручивания будет определять вклад кручения в суммарную деформацию.

Угол скручивания составил 50° на участке длиной $l_M = 60$ мм. Величину линейной деформации на поверхности при кручении можно рассчитать по условию

$$e = \ln(l_1/l_0) = \ln\left(\sqrt{l_0^2 + (\varphi l/2)^2}/l_0\right), \quad (1)$$

где l_1 – длина образующей после кручения (гипотенуза треугольника, катетами которого служат исходная длина l_0 и длина дуги при закручивании диаметра d_0 на угол φ).

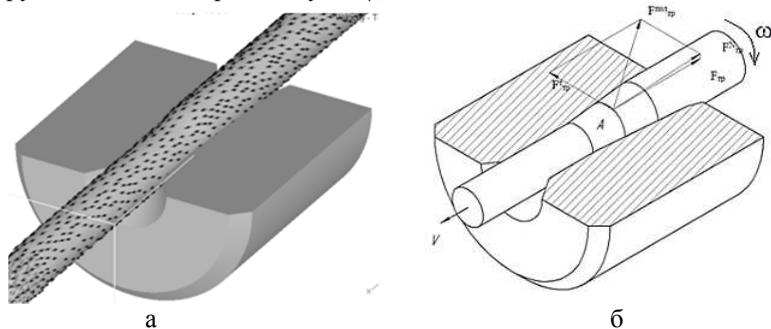


Рисунок 2. Влияние вращения проволоки на распределение контактных сил трения при волочении проволоки при комбинировании волочения с изгибом и кручением:
 а – векторное поле скоростей узлов сетки;
 б – распределение проекций силы трения при вращении заготовки в волоке

Деформацию изгиба на роликах можно определить по формуле для вычисления относительного удлинения поверхностного слоя катанки в роликовых окалиноломателях

$$\delta = \frac{(R+d) \cdot \alpha - (R+d/2) \cdot \alpha}{(R+d/2) \cdot \alpha}, \quad (2)$$

где R – радиус ролика; d – диаметр заготовки; α – угол охвата ролика.

Учитывая все вышеизложенные виды деформирования, суммарная степень деформации может быть вычислена по следующей общей формуле

$$e = \ln \frac{F_0}{F_1} + \ln \frac{l_1}{l_0} + \sum_{i=1}^n \ln \frac{1}{1 - \delta_i} + \ln \frac{F_{n+2}}{F_{n+3}}. \quad (3)$$

Подставив выражения (1) и (2) в формулу (3) и после ряда упрощений, получили следующую формулу, которая учитывает изменение диаметра проволоки при комбинировании волочения с кручением и знакопеременном изгибом

$$e = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2} + \ln \frac{\sqrt{l_0^2 + (\varphi d_1/2)^2}}{l_0} + \sum_{i=1}^n \ln \frac{D_i + d_{i+1}}{D_i} + \ln \frac{d_{n+2}^2}{d_{n+3}^3}. \quad (4)$$

Делая допущение, что при кручении и знакопеременном изгибе на роликах одинакового диаметра диаметр проволоки не меняется,

выражение для расчета суммарной деформации упрощается до следующего вида

$$e = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2} + \ln \frac{\sqrt{l_0^2 + (\varphi d_1/2)^2}}{l_0} + n \cdot \ln \frac{D + d_1}{D} + \ln \frac{d_1^2}{d_2^2}, \quad (5)$$

где n – количество роликов; l_0 – расстояние от волоки до скручивающего блока; φ – угол закручивания проволоки.

Таким образом, накопленная деформация для моделируемого процесса составляет 0,7385. Утяшев Ф.З. в своей работе [2] отмечает, что процесс измельчения зерен (фрагментация) при холодной деформации начинается в металлах при степенях деформации $e \geq 0,2 - 0,3$. При $e \approx 0,6 - 0,7$ достигается высокая плотность дислокаций, что приводит к формированию фрагментов минимальных размеров.

На основе данного комбинирования был разработан способ получения ультрамелкозернистых (УМЗ) полуфабрикатов волочением с кручением, на который был получен патент РФ № 2467816. Принципиальная схема непрерывного метода представлена на рисунке 3. Для реализации непрерывного метода было разработано устройство для изготовления проволоки с УМЗ структурой, на которое был получен патент РФ на полезную модель № 130525.

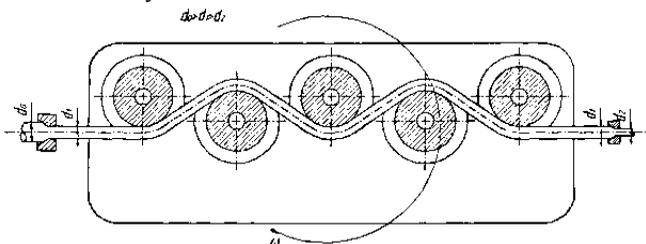


Рисунок 3 - Схема изготовления проволоки комбинированной деформационной обработкой волочением со знакопеременным изгибом с кручением (патент РФ № 2467816)

Для проведения экспериментов была выбрана углеродистая проволока с различным содержанием углерода из стали марок Ст3, 50 и 70, исходный диаметр которой составлял 3,0 мм. Величину суммарного обжатия и скорость вращения преформатора выбирали, исходя из результатов предварительных испытаний. Проволока трех марок стали Ст3, 50 и 70 была обработана по маршруту $3,0 \xrightarrow{15,97} 2,75 \xrightarrow{10,61} 2,6$ с суммарным обжатием 24,89 % со скоростями вращения преформатора 70 и 180 об/мин.

Как показывают полученные данные зависимости величины зерна

от скорости вращения преформатора, изображенные на рисунке 4, увеличение содержания углерода в проволоке ведет к интенсификации процесса измельчения величины зерна, а в случае высокоуглеродистой стали величины перлитных колоний (рисунок 4). Таким образом, наложение деформации кручения на проволоку из стали марки Ст3 приводит к уменьшению величины зерна на 9,48 % при обработке со скоростью вращения преформатора 70 об/мин и на 12,65 % при 180 об/мин относительно исходного состояния. Те же режимы обработки проволоки из стали марки 50 способствовали уменьшению величины зерна на 2,73 % и 13,66 %, соответственно.

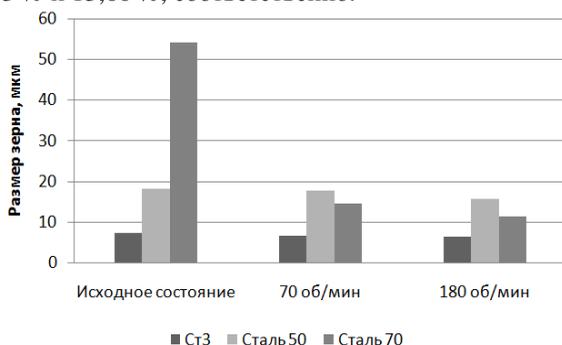


Рисунок 4. Изменение размера зерна различных марок стали после комбинированной деформационной обработки волочением со знакопеременным изгибом и кручением

Перлитные колонии высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 в наибольшей степени подвержены изменению при изменении режима обработки. Так, при 70 об/мин изменение средней величины по всему сечению проволоки перлитных колоний составило 72,82%, а при 180 об/мин – 78,71 %.

Вывод. На основании анализа напряженно-деформированного состояния при волочении, изгибе и скручивании показана возможность обеспечения деформаций сдвига в обрабатываемом металле при комбинировании деформаций растяжения, кручения и изгиба. Для реализации данных схем может быть применен используемый в метизном производстве инструмент – волюты и преформатор. Таким образом, результаты исследования подтвердили, что в ходе разработанного комбинированного метода в высокоуглеродистой проволоке формируется однородная по диаметру УМЗ структура.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием Министерства образования и науки Российской Федерации Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова по теме

«Разработка технологии получения высокопрочных длинномерных профилей из материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях комбинирования процессов интенсивного пластического деформирования».

Библиографический список

1. Харитонов, В.А. Модель формирования наноструктуры в высокоуглеродистой проволоке в процессе радиально-сдвиговой протяжки / В. А. Харитонов, М. Ю. Усанов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. – № 4. – С 309 – 313.
2. Утяшев, Ф.З. Связь между деформированным и структурным состоянием металла при интенсивной пластической деформации / Ф.З. Утяшев // Кузнечно-штамповочное производство. – 2011. – № 5. – С. 33-39.

УДК 621.746.047:621.86

В.В. Богатов, Т.В. Степыко

Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»

г. Новотроицк, Россия

E-mail: Bai_tanya1972@mail.ru

Дата поступления 25.06.2014

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЯНУЩЕ-ПРАВИЛЬНОЙ КЛЕТИ СОРТОВОЙ МНЛЗ

Аннотация

Рассмотрена возможность модернизации тянущеправильной клетки сортовой МНЛЗ. Разработаны отдельные конструкции элементов клетки.

Ключевые слова: МНЛЗ; тянуще-правильная клеть.

Непрерывная разливка стали является наиболее прогрессивным и эффективным способом получения заготовок непосредственно на специальной установке МНЛЗ - машина непрерывного литья заготовок.

Преимущества непрерывной разливки стали по сравнению с разливкой в обычные изложницы заключаются в сокращении числа технологических операций, увеличении выхода годного металла, улучшении качества металла, в первую очередь вследствие снижения химической неоднородности из-за более быстрого затвердевания малых по сечению отливаемых слитков, возможности широкой автоматизации

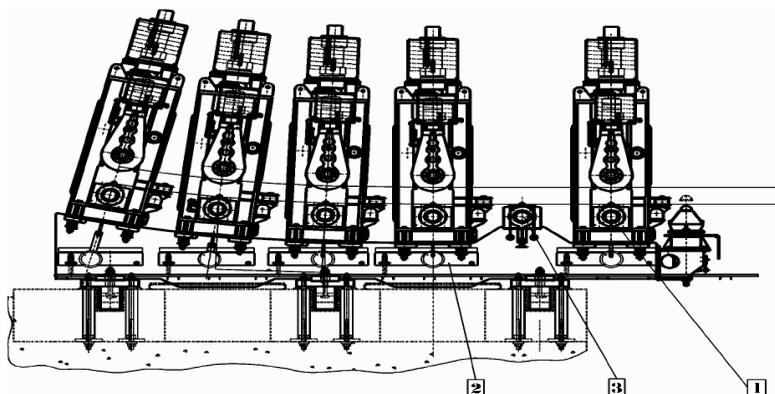
процесса, улучшении условий труда при разливке, отказе от блюмингов, слябингов, дворов изложниц, стрипперных отделений и сокращении территории предприятия. Непрерывная разливка стали дала возможность организовать непрерывный, высокопроизводительный процесс производства непрерывно-литых заготовок, по профилю и размерам пригодных для непосредственного использования на сортовых и листовых станах.

Одним из важнейшем элементом МНЛЗ является тянуще - правильная машина (рисунок 1), находящаяся в конце радиального участка. Эта машина служит для вытягивания и правки заготовки перед газорезкой, а также для ввода и вывода затравки из кристаллизатора.

Узел тянуще - правильной машины состоит из следующих частей (см. таблицу 1):

- горизонтальных приводных роликов;
- ролика противоизгиба;
- опорная рама;
- устройство расщепления затравки;
- механизма централизованной смазки;
- электрооборудования.

В процессе эксплуатации существующей конструкции установлено, что данная конструкция обладает существенным недостатком – недостаточно точный процесс управления правки заготовки.



- 1 - тянуще – правильная машина, 2 – опорная рама,
3 – ролик противоизгиба

Рисунок 1. Существующая конструкция тянуще – правильной установки

Модернизация конструкции заключается в установлении клинового механизма для передвижения ролика противоизгиба по

вертикальной оси, что позволит более точно управлять процессом правки за счет регулирования хода ролика. Ролик противоизгиба получит ход ± 10 мм по вертикальной оси.

В качестве привода принимаем мотор-редуктор NMPV 150, который с помощью муфты МЗП-7 соединяется с передачей винт – гайка. В свою очередь передача винт – гайка обеспечивает перемещение клинового механизма по горизонтальной оси. Предлагаемая конструктивная схема клинового механизма тянуще-правильной машины представлена на рисунке 2.

Расчет клинового механизма (см. рисунок 2) показал, что при угле клина $\lambda=9^\circ$, величине угла трения скольжения на поверхности клина $\beta=6^\circ$ и значении угол трения скольжения на основании $\mu=6^\circ$, для компенсации усилий подъема Q необходимо создание усилий на оба клина $W = 525,3$ кН. При этом усиле на один клин составит 262,65 кН.

Таблица 1

Технические характеристики узла тянуще - правильной машины

Наименование	Кол-во	Примечание
Количество роликов с приводом, шт	5	Верхние
Количество роликов без привода, шт	6	Нижние
Мощность привода, кВт	7,5	
Количество гидравлических цилиндров, шт	5	
Ход цилиндра, мм	500	
Количество роликов противоизгиба, шт	5	
Диаметр ролика, мм	450	
Длина бочки, мм	530	
Общая длина ролика, мм	1030	

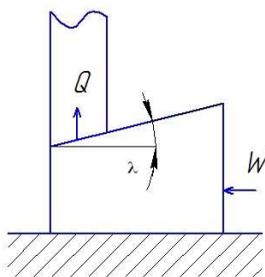


Рисунок 2. Схема клинового механизма

Таким образом, сделав подвижным по вертикальной оси ролик противоизгиба узла тянуще – правильной машины добились более точного процесса корректировки и правки заготовки, что положительно скажется на качестве непрерывнолитой заготовки.

Библиографический список

1. Березовский Ю. Н., Чернилевский Д. В., Петров М. С.; Под редакцией Бородина Н. А. Детали машин: Учебник для машиностроительных техникумов. – М.:»Машиностроение», 1983. 384 с.
2. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: «Металлургия». 1985. 376 с.
3. Третьяков А. В., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. – 2-е изд. М., «Металлургия», 1973. 224 с.

УДК 621.727.55:620.178.16

**А.Н. Емелюшин, С.П. Нефедьев,
А.А. Абдрахманова**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: sergeynefedeyff@gmail.com
Дата поступления 06.06.2014

БЕЗДЕФОРМАЦИОННАЯ ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА ШТОКОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Аннотация

Многие предприятия, эксплуатирующие гидравлическую технику, самостоятельно восстанавливают изношенные гидроцилиндры, используя сложные технологии, требующие специального оборудования и инструмента, экологически вредных участков и т.п. В связи с чем, актуальным является разработка технологии восстановления изношенных гидроцилиндров плазменно-порошковой наплавкой, с приданием им новых эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: восстановление штоков гидроцилиндров, плазменно-порошковая наплавка, хромованадиевое покрытие, микроструктура хромованадиевого покрытия, упрочняющая наплавка.

Основной причиной выхода из строя гидроцилиндров при эксплуатации является изменение линейных размеров штоков вследствие наличия абразивных частиц в рабочей зоне. Допустимый износ штоков 20...50 мкм на диаметр; больший износ вызывает понижение компрессии

или даже полный выход гидроцилиндра из строя. Эксплуатация штоков в условиях сильной запылённости приводит к формированию на поверхности полос износа в виде крупных царапин и задигов.

Штоки малого диаметра – 50 мм и менее невозможно восстановить традиционными методами дуговой наплавки в связи с их короблением и деформацией, а также сложностью формирования правильных валиков на столь малых диаметрах. Поэтому плазменно-порошковая наплавка является единственно возможным способом их восстановления. Помимо абразивного изнашивания штоки испытывают и коррозионное воздействие рабочей среды, что вызывает необходимость применения коррозионно-стойких материалов.

В данной работе исследовалась возможность восстановления изношенных штоков гидроцилиндров упрочняющей плазменно-порошковой наплавкой покрытия системы Fe-C-Cr-V.

Химический состав присадочного порошка приведён в таблице. При плазменной наплавке происходит угар легирующих элементов, в связи с чем, химический состав наплавленного покрытия может значительно отличаться от химического состава присадочного порошка. При наплавке дуготроном происходит относительно незначительный перегрев сварочной ванны, а частицы присадочного порошка не подвержены длительному нагреву непосредственно в дуге, а прогреваются плазменной струёй, работающей от дуги косвенного действия, имеющей максимальную силу тока равную 30 % от общего тока. В результате наблюдаются высокие коэффициенты перехода всех легирующих элементов из присадочного порошка в наплавленный металл (таблица).

Таблица

Химический состав, коэффициенты перехода легирующих элементов и степень эвтектичности покрытий

Режим наплавки	%	Содержание элементов, %						S_0
	$K_{пер}$	Fe	C	Cr	V	Si	Mn	
Присадочный порошок	%	72,8	3,15	19,3	3,15	0,6	1,0	0,99
Покрытие	%	73,33	3,03	17,60	3,05	1,35	1,64	1,36
	$K_{пер}$	1,007	0,962	0,912	0,968	2,25	1,64	

Химический состав штока гидроцилиндра соответствует отечественной марки стали 45, в связи с чем, исследование режимов наплавки производили на образцах из этой марки стали.

Штоки малого диаметра в процессе наплавки испытывают существенный неравномерный нагрев, который вызывает их значительную деформацию и коробление [1, 2]. Традиционные схемы

наплавки с наложениями валиков на 30...50 % ширины не способны обеспечить бездеформационную наплавку, поэтому применили схему наплавки, при которой валики накладывались по винтовой линии с шагом равным их четырёхкратной ширине (рисунок 2). Такая схема наплавки позволяет равномерно распределить теплоту сварочной ванны по всему телу штока, не допуская местного сосредоточения теплоты и чрезмерного перегрева штока.

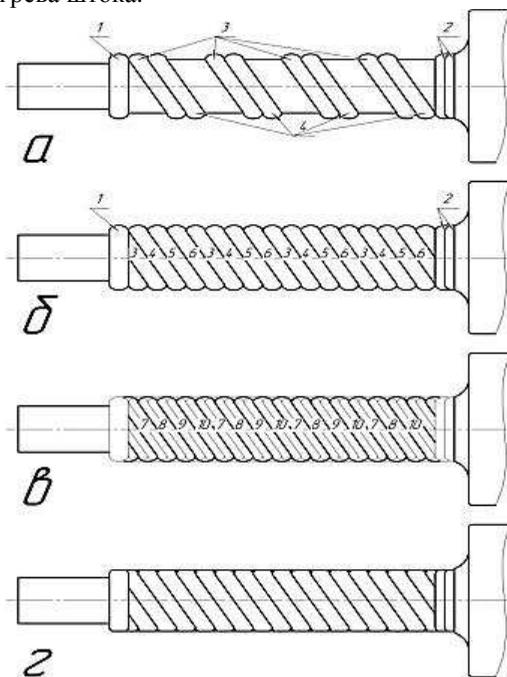


Рисунок 1. Схема наложения валиков на шток: а – схема наложения первых четырёх валиков; б – схема наложения валиков первого слоя; в – схема наложения валиков второго слоя; г – после механической обработки

Валики накладывались по винтовой линии в направлении от первого ко второму. После наложения валика 3, в стык к нему накладывался валик 4 (рисунок 1а), и далее валики 5 и 6 (рисунок 1б). После наложения первого слоя валиков между ними остались впадины, поэтому поверх первого слоя накладывался второй слой валиков, по аналогичной схеме (рисунок 1в).

Плазменно-порошковую наплавку производили на токе 180 А с дополнительным обдувом тела штока холодным сухим воздухом.

Структура наплавленных покрытий, напоминает структуру литого металла, но имеющую свои особенности, вызванные, прежде всего, спецификой технологии плазменной наплавки [3]. Следствием наличия металлургического сцепления покрытия с подложкой является непостоянство химического состава, структуры и свойств покрытия по толщине, а также наличие внутренних напряжений, вызванных усадочными явлениями при кристаллизации сварочной ванны.

При наплавке покрытия 315X19Ф3 на общем токе 180 А с обдувом тела штока воздухом 0,2 МПа, формируется структура покрытия эвтектического типа (рисунок 2а). Металлографически выявляется незначительное количество первичных карбидов M_7C_3 в количестве 3,2 % (рисунок 2б), со средним размером в поперечнике 16,4 мкм. Наличие этих карбидов обусловлено некоторым смещением степени эвтектичности в сторону заэвтектических составов ($S_0 = 1,3606$). Столь малое количество металлографически выявимых карбидов хрома, имеющих шестигранную форму не приводит к изменению в целом эвтектической структуры.

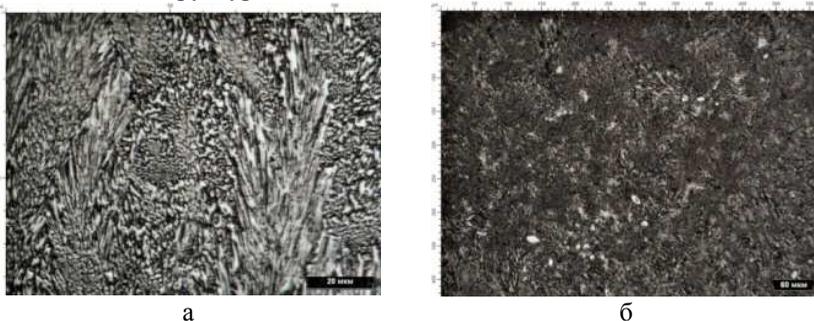


Рисунок 2. Микроструктура покрытия наплавленного на токе 180 А с обдувом воздухом 0,2 МПа: а – морфология эвтектики, $\times 1000$; б – общий вид, $\times 200$

Анализ данных рентгеноструктурного анализа показал наличие пяти линий совпадающими с табличными значениями линий для легированного аустенита с межплоскостным расстоянием, $a = 0,35285$ нм. Аустенит полностью находится в эвтектических колониях пластинчатого и розеточного строения. Микротвёрдость эвтектики и пластинчатого и розеточного строения одинакова и составляет 6800 МПа. Межпластинчатое расстояние карбидных частиц в эвтектике составляет 1,2 мкм, а ориентация главного направления роста их колоний перпендикулярна к металлу подложки, что и предопределяет высокую микротвёрдость такой эвтектики и износостойкость покрытия в целом.

Наличие на дифрактограмме, снятой с поверхности наплавленного

покрытия, линий (111) и (400) с межплоскостными расстояниями соответственно 0,24378 нм и 0,10369 нм, не накладывающихся на линии других фаз позволяет однозначно судить о наличии карбида ванадия VC. Однако, размеры карбидных частиц, вычисленные по уравнению Селякова-Шелера составляют 0,09...0,18 мкм, что не позволяет наблюдать их в оптическом микроскопе.

Данные металлографического анализа свидетельствуют о наличии светлых частиц скруглённой формы располагающихся в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия (рисунок 4а). Частицы, обладающие схожим строением, обнаруживаются и в металле подложки, расположенные вдоль линии сплавления (рисунок 4б). Микротвёрдость частиц расположенных в наплавленном металле составляет 13000 МПа, а расположенных в металле подложки 12200 МПа. Данные рентгеноструктурного анализа, измерения микротвёрдости и металлографические исследования позволяют предположить, что светлыми частицами округлой формы в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия является цементит.

Очевидно, что при проплавлении подложки дугой сварочная ванна образуется за счёт частиц присадочного порошка, а также ферритных и перлитных зёрен металла подложки, находящихся вдоль линии сплавления. При этом цементитные пластинки перлита не успевают раствориться в жидкой фазе сварочной ванны, а только лишь коагулируют и всплывают на некоторую высоту, оставаясь в наплавленном металле. Отсутствие металлографически различных коагулированных частиц цементита в средней зоне наплавленного металла подтверждает предположение о попадании цементита в покрытие из металла подложки, так как высвободившийся из оплавленных перлитных зёрен цементит по мере перемешивания в средней части покрытия растворяется и становится металлографически неразличимым. К тому же, хромованадиевые чугуны при содержании хрома 18,61 % и ванадия 3,25 % обладают полностью инвертированной структурой, в которой цементит образовываться при кристаллизации не должен [4,5].

Наличие цементита в покрытии негативно сказывается на его износостойкости и эксплуатационных свойствах в целом, поэтому необходимо обеспечить режимы наплавки, при которых подмешивание металла подложки будет минимальным.

Наплавка на токе 180 А с введением принудительного охлаждения наплавленного металла, позволяет производить бездеформационную наплавку штоков малого диаметра, а в зоне сплавления сформировать структуру с плавным переходом свойств от подложки к наплавленному металлу, благодаря формированию кристаллизационной прослойки

высоколегированного аустенита, и избеганию образования мартенсита в зоне сплавления.

Выводы

1. Металлографическим и фазовым рентгеноструктурным анализом установлено, что в покрытии типа 315X19Ф3 при наплавке на режимах с минимальным перегревом выше температуры ликвидуса ванадий может образовывать собственные карбиды VC или V₂C.

2. Введение принудительного охлаждения приводит к формированию структуры эвтектического типа максимальной твёрдости и износостойкости, что связано с высоки коэффициентом перехода ванадия в металлическую основу и карбидную фазу.

3. Высокоуглеродистые хромованадиевые покрытия могут применяться для упрочняющей наплавки штоков гидроцилиндров малого диаметра.

Библиографический список

1. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытие, упрочнение. М.: Машиностроение, 2008. 406 с.
2. Нефедьев С.П. Особенности структуры и свойства поверхностных слоёв углеродистых сталей с плазменным упрочнением и наплавкой комплексно-легированным белым чугуном // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012 г. 136 с.
3. Емелюшин А.Н., Нефедьев С.П. и др. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов // Литейные процессы, 2012. №11. С.141-145.
4. Гнусов С.Ф., Дегтерёв А.С. Влияние режимов плазменной наплавки на микроструктуру карбида ванадия в покрытиях на основе порошка PR-X18ФНМ // Известия Томского политехнического университета, 2014. Т.324. № 2. С. 63-71.
5. Емелюшин А.Н., Нефедьев С.П., Гусева Е.Н. Повышение эксплуатационной стойкости деталей подшипниковых узлов клетей прокатных станов // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. С. 109-113.

**В.И. Кадошников, И.А. Катерина,
Е.В. Куликова, М.В. Андросенко,
И.Д.Кадошникова**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: kvi-51@mail.ru
Дата поступления 04.07.2014

ОСОБЕННОСТИ ПРАВКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ В ЛИСТОПРАВИЛЬНЫХ МАШИНАХ

Аннотация

В статье рассмотрены схемы листопривильных машин, обоснован выбор схемы для правки толстых листов и обоснованы особенности их правки.

Ключевые слова: правка, ЛПМ, толстый лист

Прокатка является основным видом обработки металлов давлением. Около 3/4 стали, выплавляемой на металлургических заводах, обрабатывается на прокатных станах и выпускается в виде готового проката: листов, сортовых профилей, труб. В отличие от других видов обработки металлов давлением (ковки, штамповки, прессования), деформация металла при прокатке осуществляется непрерывно-вращающимися валками, поэтому процесс прокатки является наиболее высокопроизводительным [1].

Основная принципиальная схема ЛПМ показана на рисунке 1 (здесь и на других рисунках цифрами 1, 2, 3 обозначены соответственно рабочие, опорные и направляющие ролики). Машина колонного закрытого типа имеет стационарные нижние ролики. Верхние ролики смонтированы в подвижной траверсе, причем крайние ролики могут индивидуально смещаться относительно неё, обеспечивая захват и выправление листа. Рабочие ролики, кроме крайних, опираются по длине на 2, 3, реже 4 опорных ролика. Привод обычно групповой, а приводные ролики – рабочие [2,3] .

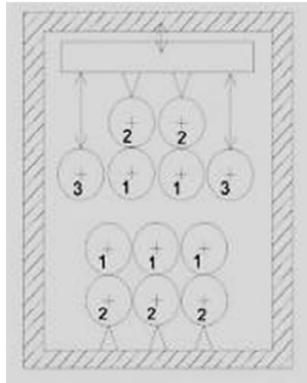


Рисунок 1. Основная принципиальная схема ЛПМ Уралмашзавода

На рисунке 2 показаны некоторые другие известные принципиальные схемы расположения роликов в ЛПМ, которые применяются различными другими машиностроительными компаниями [4].

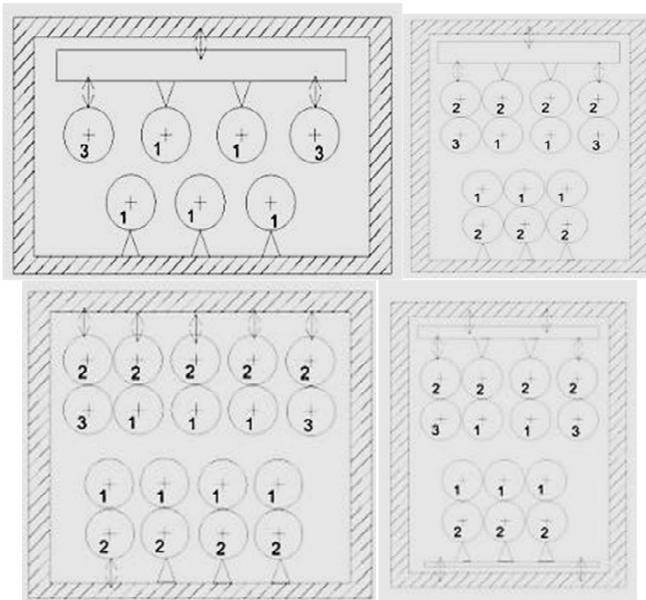


Рисунок 2. Принципиальные схемы расположения роликов в листопрямительной машине

Листопрямительные машины отличаются не только схемой расположения рабочих роликов вдоль направления правки, их

регулируемостью, но и схемой валковой узла. В разных машинах применяются различные схемы валковых систем, которые должны обеспечивать достаточную жесткость рабочего вала и за счет этого равномерную деформацию листа по его ширине во время правки. Для этой цели рабочие ролики стараются опирать на опорные. Не имеют опорных роликов либо наиболее простые машины, либо первый/последний рабочие ролики.

Наиболее эффективной является правка в машинах с индивидуальной настройкой роликов, так как позволяет достигнуть наилучших условий для захвата листа и получить оптимальное распределение деформаций между роликами с точки зрения качества правки и минимизации остаточных напряжений. Однако создание такого типа машин сопряжено с большими конструктивными трудностями.

Применяют несколько способов правки: многократным знакопеременным изгибом, растяжением, сочетание изгиба с растяжением, сочетание изгиба и прокатки. Каждую из приведенных схем иллюстрирует рисунок 3.

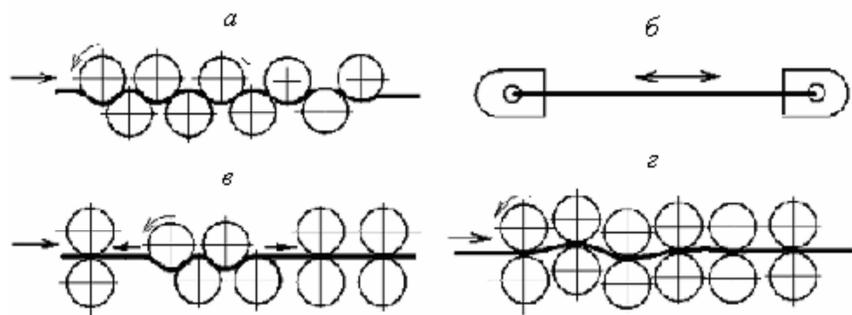


Рисунок 3. Способы правки: а- изгибом; б- растяжением; в- изгиб с растяжением; г- прокатка с изгибом и растяжением.

В металлургической промышленности главным образом реализуются первые две схемы. Правку растяжением подвергают в основном цветные металлы (например, дюралюминий), которые трудно править на роликовых машинах.

На машине с параллельным расположением роликов лист прогибается одинаково под всеми роликами. В машине с наклонными роликами лист получает наибольший прогиб между первыми роликами; дальше по мере продвижения листа прогиб его уменьшается и у последних роликов кривизна полностью выправляется - в этом состоит преимущество правки листов (полосы) на этих машинах по сравнению с правкой на машинах с параллельным расположением роликов.

Основными параметрами листопрямильных много роликовых машин (ЛПМ) являются: диаметр роликов D ; шаг роликов t ; число роликов n ; длина бочки роликов L ; и толщина листов h , подвергаемых правке на данной машине.

Диаметр и шаг роликов обуславливают качество правки и усилия на ролики правильной машины. Слишком большие шаг и диаметр роликов не обеспечивают требуемой точности правки, а при уменьшении их увеличивается давление на ролики и усложняется конструкция машины.

Качество правки зависит также от качества поверхности рабочих роликов и степени их износа. Так как при холодной правке износ роликов зависит от контактных напряжений, то эти напряжения не должны быть слишком большими. Ориентировочно их можно определить по формуле Герца: предполагая, что упруго-деформируемый ролик (цилиндр) радиусом R и длиной бочки L лежит на несжимаемой плоскости (лист) и нагружен силой P [5]:

$$\sigma_{\text{конт}} = 0,58\sqrt{PE/(bR)} \leq 2\sigma_T, \quad (1)$$

где b - ширина листа;

R - радиус ролика;

E - модуль упругости материала ролика;

σ_0 —предел текучести материала;

P - максимальное усилие на ролик.

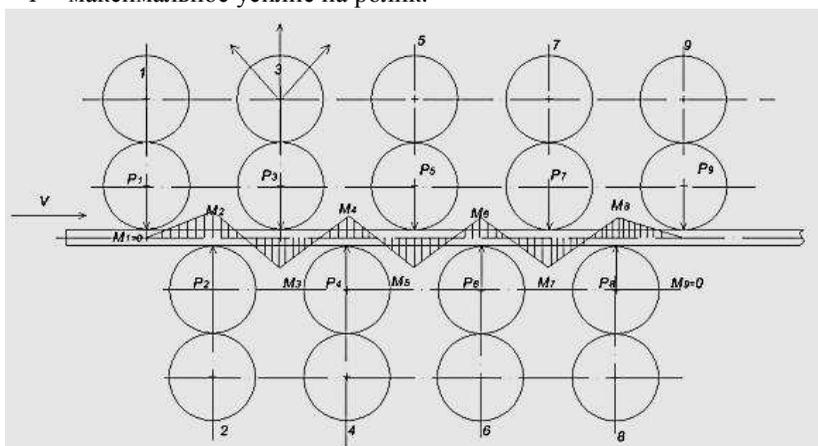


Рисунок 4. К определению усилий на ролики и моментов изгиба полосы

Для получения прямолинейной (гладкой) полосы, имевшей до правки волнистость и местную коробоватость на поверхности,

знакопеременный поперечный изгиб ее между роликами должен уменьшаться от второго ролика к предпоследнему.

Определения усилий на ролики при правке полосы (рисунок 4). Составляя уравнения моментов последовательно для сечений 2,3,4...(n-1), (n—2) и n_i получим (смотря налево и учитывая знаки эпюры моментов).

$$P_1 \frac{t}{2} = +M_2; \quad P_1 = \frac{2}{t} M_2;$$

$$P_1 t - P_2 \frac{t}{2} = -M_3; \quad P_2 = \frac{2}{t} (M_3 + 2M_2);$$

$$P_1 \frac{3}{2} t - P_2 t + P_3 \frac{t}{2} = +M_4; \quad P_3 = \frac{2}{t} (M_4 + 2M_3 + M_2);$$

$$P_1 2t - P_2 \frac{3}{2} t - P_3 t + P_4 \frac{t}{2} = -M_5; \quad P_4 = \frac{2}{t} (M_5 + 2M_4 + M_3);$$

и т.д.

$$P_5 = \frac{2}{t} (M_6 + 2M_5 + M_4);$$

$$P_i = \frac{2}{t} (M_{i+1} + 2M_i + M_{i-1});$$

$$P_{n-1} = \frac{2}{t} (0 + 2M_{n-1} + M_{n-2});$$

$$P_n = \frac{2}{t} (0 + 0 + M_{n-1}).$$

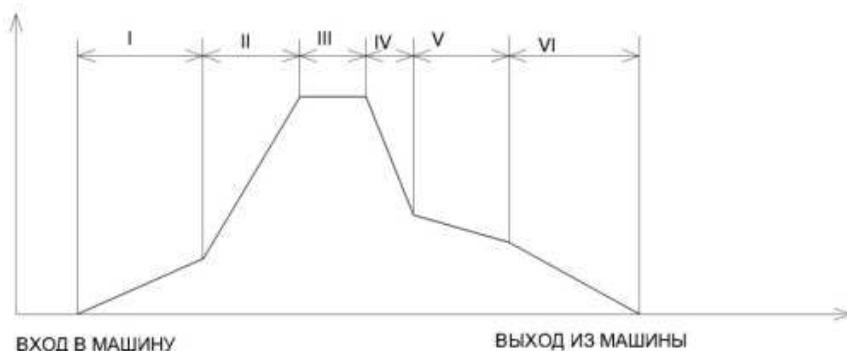


Рисунок 5. Рекомендуемое изменение кривизны изгиба проката вдоль ЛПМ при «идеальном» способе правки

Моменты M_1 и M_n равны нулю, так как под первым и последним роликами нет деформации полосы.

Суммарное давление на все верхние и нижние ролики

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = \frac{8}{t} (M_2 + M_3 + M_4 + \dots + M_{n-2} + M_{n-1}) \quad (2)$$

где $M_2..M_{n-1}$ — моменты упруго-пластического изгиба i -тым роликом.

Усилие на ролики при правке пропорционально квадрату толщины полосы и обратно пропорционально шагу между роликами.

Таким образом, при увеличении толщины полосы вдвое усилие на ролики возрастает в четыре раза; уменьшение шага между роликами, желательное с точки зрения качества правки, также вызывает увеличение давления на ролики, что влечет за собой необходимость усложнения конструкции подшипниковых опор и применения дополнительных рядов опорных роликов.

Для достижения высокого качества правки листов, с точки зрения оптимального распределения кривизны изгиба проката по рабочим роликам машины, реализуют 6-ти зонную правку. Для каждой из этих зон характерны свои технологические функции: зона захода (I) – переходная зона (II) – зона наибольших деформаций (III) – переходная зона (IV) – зона стабилизации (V) – зона выправления и выдачи (VI). В каждой зоне необходимо иметь не менее одного изгиба, а в III зоне – не менее двух. Обычно на практике многие зоны на разделяются по роликам, а плавно переходят друг в друга [6].

Библиографический список

1. <http://www.kazedu.kz/referat/137605> (дата обращения 5.03.2014)
2. Недорезов И.В. Моделирование процессов правки проката на роликовых машинах. - Екатеринбург: «АКВА-ПРЕСС», 2003. – 256. с.
3. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов/ Целиков А.И., Полухин П.И., Гребник В.М. и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. - 680. с.
4. Слоним А.З., Сонин А.Л. правка листового и сортового металла. – М.: Металлургия, 1981.- 232с.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вызов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 376. с.
6. Недорезов И.В. Стрижов Ю.А., Попиченко А.М. новые разработки Уралмаша в технологии и оборудовании для правки толстых листов/ Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2002. – Вып. 1 (1225). – с. 34-37.

Е.С. Решетникова, Т.В. Усатая
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: Usatayatv@gmail.com
Дата поступления 05.06.2014

ТЕХНОЛОГИИ САПР ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Аннотация

Проектирование технологических процессов с применением САПР позволяет более точно прогнозировать дефекты различного рода связанные с недоработкой технологии, тем самым уменьшить сроки подготовки производства, отладки технологии, что и рассматривается в процессе обучения студентов технического университета проектированию в рамках концепции развития проектного образования.

Ключевые слова: технологии САПР в процессе обучения, концепция развития проектного образования, проектная деятельность, 3Д моделирование

Система управления педагогическим процессом в высшей школе базируется на ряде принципов, современные исследователи выделяют следующие наиболее важные принципы: демократизации, гуманизации, дифференциации и индивидуализации, преемственности, стимулирования потребностей и мотивов к профессиональной подготовке студентов [1].

На кафедре проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования обучение студентов по дисциплинам проектно-графического цикла осуществляется в рамках концепции проектного образования. Концепция проектного образования студентов вуза основана на принципах целостности, комплексного подхода и взаимосвязи педагогической теории и практики учебной проектной деятельности студентов, непрерывности проектного образования студента; общественно-ценной целевой направленности проектной деятельности студентов [2]. К дисциплинам проектно-графического цикла относятся: «Детали машин и основы конструирования», «Прикладная механика», «Инженерная и компьютерная графика», «Основы художественного проектирования и промышленной графики», «Технологии компьютерного моделирования», «Конструирование и дизайн».

Следует отметить, что в последнее время наблюдаются определенные преобразования и в сфере проектной деятельности, включающей в себя и художественно-проектную (дизайн), связанные как с активной интеграцией информационных технологий в сложившуюся структуру профессиональной деятельности проектировщика, так и с появлением новых видов проектирования, обусловленных современным уровнем развития технологий и производства. Изменения в структуре профессиональной деятельности проектировщиков влекут за собой новые требования к системе профессионального образования в области проектирования в целом и графической подготовке в частности.

Технологии компьютерного моделирования и САПР в профессиональной подготовке проектировщиков выходят на первый план. 3D моделирование, визуализация и анимация, наравне с выполнением чертежей стали стандартом подачи демонстрационных материалов проектов в области проектирования и дизайна. В силу своей фотореалистичности и детализации, визуализация проекта дает наиболее полное представление об объекте проектирования. Компьютерная графика сегодня располагает средствами, которые позволяют создать практически любой объект, придать предметам и сооружениям самые невероятные очертания, а проектировщикам позволяет в полной мере раскрыть свои творческие способности.

Для работы с трехмерными объектами необходимо знать геометрию, математику, физику, основы дизайнерского проектирования, фотографии и информатики. Студентам, приступающим к освоению трехмерного моделирования, необходимы знания в рамках школьной программы. Основные программы трехмерного моделирования (используемые в ФГБОУ ВПО «Магнитогорском государственном техническом университете», на кафедре проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования), необходимые при создании проектов - это такие САПР как: Autocad, 3DsMax, Autodesk Revit, Arhcad, Компас 3D, SolidWorks, Autodesk Inventor. Данные программные продукты представляют собой САПР для моделирования, визуализации, анимации, оформления проектов и позволяют ускорить и наглядно продемонстрировать весь процесс проектирования.

Основные этапы получения трехмерного объекта: 1) моделирование, 2) текстурирование (придание свойств поверхности), 3) освещение, 4) анимация, 5) визуализация проекта. В процессе создания проекта трехмерной сцены студенты изучают различные виды моделирования: моделирование на основе программных примитивов, на основе сечений - с последующим «натягиванием» поверхности на сечения, на основе математических булевых операций, поверхностное моделирование (поверхность делится на части и определяются

координаты, положение каждой из частей – граней, ребер, вершин), моделирование на основе кривых пространственных линий – это усложненный вид моделирования.

Среди задач освоения проектных дисциплин можно выделить: формирование основных компонентов проектной культуры студентов и приобщение их к проектной деятельности посредством изучения основ трехмерного моделирования и анимации (для создания и визуализации проектов); приобретение и развитие студентами практических умений и навыков создания и построения различных трехмерных моделей, сцен, анимации, видов композиций для разработки макетов буклетов, рекламных материалов; архитектурных форм, ландшафта и дизайна, выполнения технических проектов, связанных с разработкой и конструированием различных механизмов и машин.

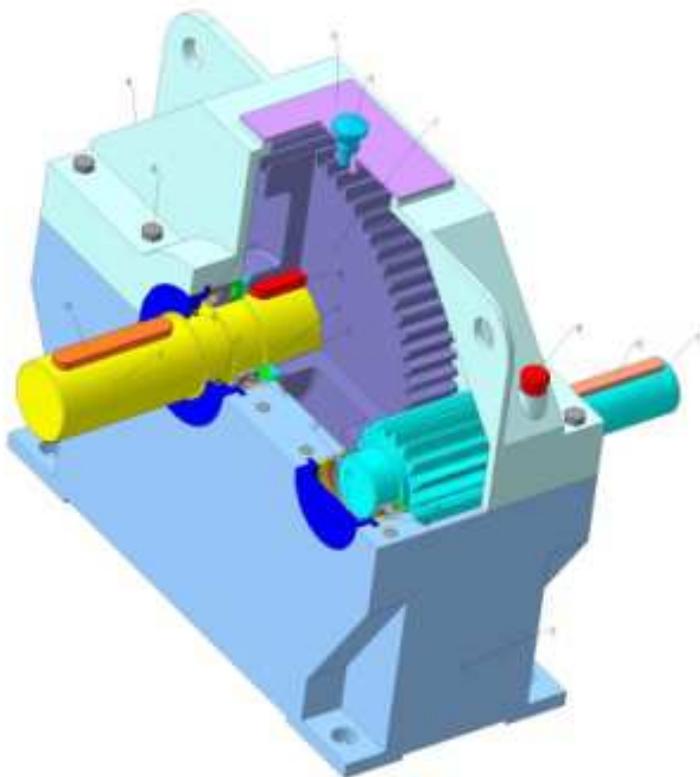


Рисунок 1. Редуктор одноступенчатый цилиндрический

Перед преподавателями высшей школы встают вопросы оптимальной и эффективной организации процесса обучения студентов, воспитания профессиональных и личностных качеств будущих специалистов, бакалавров и магистров, с применением САПР. Самостоятельная учебная работа – это такой вид учебной деятельности, при котором предполагается определенный уровень самостоятельности студента во всех ее структурных компонентах – от постановки проблемы, до осуществления контроля, самоконтроля и коррекции, с переходом от выполнения простейших видов работы к более сложным, носящим поисковый характер. Организуя самостоятельную работу студентов по дисциплинам проектно-графического цикла, преподаватель должен обеспечить разнообразие ее видов, позволяющих формировать общекультурные и профессиональные компетенции, навыки исследовательской и творческой деятельности. Самостоятельная работа с применением САПР выполняет сразу несколько функций: развитие интереса к дисциплине, осуществление самоконтроля и самообразования студентов, адаптацию студентов к системе учебного процесса в вузе [3].

В настоящее время на кафедре ПиЭММО с помощью таких САПР как Autocad, 3DsMax, Autodesk Revit, Arhcad, Компас 3D, SolidWorks, Autodesk Inventor выполняется графическая часть курсовых и дипломных проектов, лабораторные и практические работы по инженерной и компьютерной графике, начертательной геометрии, прикладной механике, архитектуре, дизайну. Библиотеки и приложения к системе КОМПАС-3D Autocad, Autodesk Inventor формируют у студентов машиностроительных специальностей представление о стандартах для конструктивных элементов изделий в машиностроении, позволяют проводить прочностные расчеты. Специализированные приложения знакомят студентов архитектурно-строительных специальностей с основными технологическими разделами проектирования в промышленном и гражданском строительстве.

Например, занятия по дисциплине прикладная механика предусматривают выполнение курсового проекта, графическая часть которого заключается в разработке сборочного чертежа редуктора (одноступенчатого цилиндрического, конического, червячного или двухступенчатого) и рабочих чертежей его типовых деталей. На начальном этапе проектирования по учебной литературе студенты выполняют расчеты и определяют геометрические параметры зубчатых колес. Построение моделей колес редуктора производится с помощью библиотеки КОМПАС- Shaft 3D, в которой кроме геометрического расчета предусмотрены расчеты колес на прочность и долговечность. Выполнение расчетов геометрии колес по учебной литературе и с помощью КОМПАС- Shaft 3D позволяет закрепить методику расчетов и

знания об основных параметрах зубчатых колес.

Опыт использования САПР на занятиях показал, что студенты значительно качественнее усваивают материал при работе с трехмерными изображениями деталей. Особенно стоит отметить процесс сборки редукторов с использованием созданных моделей деталей и стандартных изделий, таких как подшипники, шпонки, крепежные соединения, уплотнения и др. Создание сборок в 3D наглядно показывает, как правильно должны быть сконструированы подшипниковые узлы, а именно какие поверхности подшипника, вала, крышки и иных деталей должны контактировать между собой; как правильно поставить в сквозные крышки подшипников уплотнения, например манжеты; как установить зубчатые колеса на вал, используя шпоночное или шлицевое соединения; как соединить крышку корпуса редуктора и картер резьбовыми соединениями и т.д. Вследствие того, что в состав любого редуктора входит значительное количество стандартных элементов наличие в системе библиотек стандартных изделий делает применение КОМПАС-3D для изучения прикладной механике незаменимым.

В КОМПАС-3D интегрирован инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки) - система APM FEM, которая позволяет провести следующие виды расчетов: статический расчет; расчет на устойчивость; расчет собственных частот и форм колебаний; тепловой расчет. Все эти виды расчетов производятся при выполнении курсового проектирования редуктора. Для визуализации процесса работы редуктора с помощью библиотеки анимации КОМПАС-3D создаются и записываются видеоролики.

Современные САПР имеют широкую практическую реализацию в производстве за счет возможности импортирования моделей между собой для решения комплексных задач. Например, для исследования процесса многопереходной холодной штамповки фланцевых болтов [4] использованы два программных продукта: DEFORM-3D - для конечно-элементного моделирования процесса штамповки, и SolidWorks – для создания моделей штампового инструмента и заготовки. Штамповый инструмент для каждого перехода состоит из двух частей: верхний инструмент – пуансон, нижний – матрица. Технология включает в себя четыре перехода: а) редуцирование стержня; б) высадка цилиндрической головки; в) редуцирование шестигранной головки; г) высадка фланца болта. Модели пуансонов и матриц в соответствии с переходом импортированы в препроцессор DEFORM-3D. Заготовке назначен материал, произведено разбиение сетки, задан коэффициент трения с инструментом, после чего произведено моделирование каждого перехода

с учетом накопленной деформации заготовки. По результатам моделирования определены рекомендации по выбору формы инструмента и запатентована технология [5] изготовления фланцевых болтов. Совместное использование DEFORM-3D и SolidWorks позволило сократить время и расходы на проведение эксперимента и дать качественную оценку процессу холодной штамповки болтов на каждом переходе.

Проектирование технологических процессов современными специализированными программными продуктами позволяет более точно прогнозировать дефекты различного рода связанные с недоработкой технологии, тем самым уменьшить сроки подготовки производства, отладки технологии, а так же минимизировать финансовые затраты. Применение современных САПР при обучении проектированию обеспечивает подготовку квалифицированных конкурентоспособных специалистов, что станет залогом конкурентоспособности продукции и эффективного развития предприятий.

Библиографический список

1. Усатая Т.В. Развитие художественно-проектной деятельности в процессе профессиональной подготовки студентов университета. Дис. канд. пед. наук – Магнитогорск, 2004. -164 с.
2. Теоретические аспекты развития проектного образования студентов технического университета в процессе профессиональной подготовки //Архитектура и дизайн. Теория и практика. Вестник ОГУ, № 76. – Оренбург: ГОУ ВПО «ОГУ», 2007. – С. 126 – 130.
3. Веремей О.М., Свистунова Е.А. Актуальность самостоятельной работы студентов при изучении графических дисциплин в процессе введения ФГОС третьего поколения // Архитектура. Строительство. Образование: материалы междунар. науч.-практ. конф / под общ. Ред. Пермякова М.Б., Чепнышовой Э.П. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. - С. 214-218.
4. Решетникова Е.С. Совершенствование технологии и конструкции инструмента для изготовления болтов с фланцем холодной штамповкой: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.03.05 «Технологии и машины обработки давлением»/ Решетникова Е.С. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 166с.
5. Пат. РФ на изобретение №2385200, 2010, Бюл. №9. Способ изготовления болтов с фланцем Решетникова Е.С., Носов А.Д., Носков Е.П.

А.П. Чейлях¹, Я.А. Чейлях², Г.В. Шейченко³

¹ Приазовский государственный технический университет

² ПАО "Металлургический комбинат «Азовсталь»"

³ ПАО «Мариупольский металлургический

комбинат имени Ильича»

г. Мариуполь, Украина

E-mail: cheylyakh_o_p@pstu.edu

Дата поступления 27.05.2014

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ С ЭФФЕКТОМ САМОУПРОЧНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация

Обобщены перспективные материалы и технологии упрочнения для ряда деталей механического оборудования, которые основаны на использовании метастабильных состояний, что обеспечивает реализацию деформационных фазовых превращений при испытаниях (эксплуатации) (ДФПИ) обуславливающих эффекты их самоадаптации и самоупрочнения в процессе срока службы.

Ключевые слова: метастабильность, аустенит, мартенсит, самоупрочнение, износостойкость, механические свойства.

Быстроизнашивающиеся детали различного оборудования многих предприятий Украины и России изготавливают из дефицитных и дорогостоящих материалов, к тому же требуют существенного повышения эксплуатационной стойкости. Задача создания новых экономнолегированных материалов и способов повышения их свойств, надежности и долговечности эксплуатации деталей остается весьма актуальной задачей современного материаловедения.

Целью настоящей работы является обобщение опыта Приазовского государственного технического университета (ПГТУ) по разработке самоадаптирующихся экономнолегированных материалов, способов и технологий упрочнения, основанных на использовании деформационных фазовых превращений при испытаниях и эксплуатации (ДФПИ), что обеспечивает эффект эксплуатационного самоупрочнения.

Для изготовления ряда быстроизнашивающихся деталей механического оборудования обычно применяются износостойкие чугуны, многие из которых, например "нихард" (ЧХ9Н5), ИЧХ12М, ЧХ16М2, ЧХ28Н2, "клаймэкс эллой – 42", комплексно легированный износостойкий чугун (КЛИЧ) марки ЧХ15Г2НМФТ и др., содержат дорогие и остродефицитные компоненты (Ni, Mo, V, W, Nb и др.) [1], что

сдерживает их широкое использование. Для замены этих материалов экономнолегированными, не содержащими этих элементов, разработаны износостойкие чугуны на Fe-Cr-Mn и Fe-Mn основах [2]. Главной их особенностью и неоспоримым преимуществом является метастабильность аустенитной составляющей структуры, что обеспечивает эффект деформационного самоупрочнения в процессе эксплуатации благодаря развитию в рабочем поверхностном слое деталей наклепа, затем деформационного мартенситного превращения при изнашивании (ДМПИ) непосредственно под воздействием эксплуатационной абразивной среды (кокса, агломерата, известняка и пр.). Это превращение вызывает образование мартенсита деформации (аналогично тому как образуется мартенсит при закалке), однако более дисперсного, более твердого и износостойкого. Параллельно протекают процессы динамического деформационного старения мартенсита и аустенита (ДДС), обуславливающего дополнительное дисперсионное самоупрочнение выделяющимися высокодисперсными частицами карбидов и карбонитридов. Кроме того, эти ДФПИ сопровождаются процессами релаксации напряжений, перераспределением и поглощением энергии воздействующей эксплуатационной среды, в связи с чем меньшая ее часть остается на разрушение поверхности деталей [2]. Все это в совокупности обеспечивает дополнительное и весьма существенное повышение износостойкости и долговечности деталей, изготовленных из этих чугунов.

Разработанные износостойкие чугуны рекомендуются для отливки защитных плит разгрузочной части агломашин аглофабрик (рисунок 1), тракта шихтоподачи в доменных цехах (защитные плиты перекидного лотка, скипов и др.), лопаток, импеллеров и защитных плит дробеметных машин, ковшей пескометных аппаратов, сопел дробеструйных установок. Их применение позволяет экономить остродефицитные легирующие компоненты (никель, молибден, ванадий), снизить себестоимость при одновременном повышении долговечности деталей в 1,5...2,5 раза, сократить ремонтно-эксплуатационные затраты, повысить производительность оборудования.

В целях экономии никеля и замены дорогих жаростойких сталей типа 35X23N7СЛ, 40X24N12СЛ (содержат 7...13 % Ni), применяющихся для деталей печной арматуры (рисунок 2), нами разработаны безникелевые жаростойкие стали на Fe-Cr-Mn основе [3]. Стали содержат 21...23,5 % хрома, марганец, кремний, никель исключен из состава. Для изготовления колосников спекательных тележек агломерационных машин металлургическими предприятиями широко используются износостойкие и жаростойкие чугуны типа ЧХ28Н2 и стали 75Х28Н2СЛ, содержащие ~ 2 % никеля и большое количество хрома 27...30 %. С

целью экономии никеля и хрома при сохранении на высоком уровне эксплуатационной долговечности таких материалов, нами разработан состав нового экономнолегированного жаростойкого сплава, который содержит меньше на ~8 % количество хрома, исключено содержание никеля, при дополнительном легировании кремнием и титаном [4]. В условиях циклирования температуры ($\sim 700 \leftrightarrow 20$ °С), что имеет место при эксплуатации колосников, твердость известных применявшихся материалов (ЧХ28Н2, ЧХ24Т, 75Х28Н2СЛ) постепенно снижается на 6...8 HRC, в то время как в разработанном сплаве она повышается на 3...7 HRC. Последнее объясняется эффектом дестабилизации аустенита, постепенным образованием мартенсита закалки и дисперсионным упрочнением. В результате износостойкость известных никельсодержащих материалов в процессе работы постепенно снижается, а разработанного сплава – напротив, повышается. По жаростойкости новый безникелевый сплав соответствует стали 75Х28Н2СЛ, поэтому является серьезной альтернативой дорогостоящим чугунам, сталям и эффективным их заменителем.

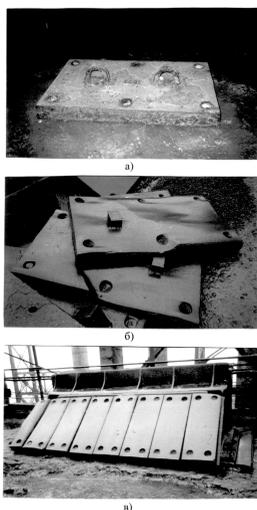


Рисунок 1. Внешний вид футеровочных плит агломашин из разработанного экономнолегированного чугуна до эксплуатации (а), после эксплуатации (б) и ножа скалывания после эксплуатации (в) в течение 1 года.

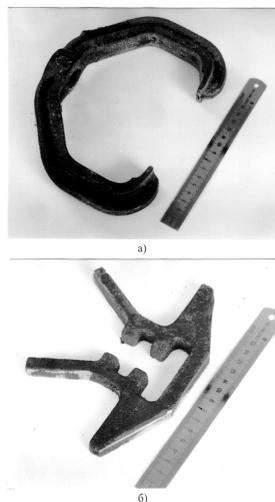


Рисунок 2. Детали печной арматуры из безникелевых жаростойких сталей: а) подвеска; б) скоба.

Для ряда деталей насосного оборудования (рабочие колеса, аппараты направляющие, отводы) используются коррозионно-стойкие стали аустенитного класса 12X18H9Л, 12X18H10ТЛ, аустенитно-ферритного и феррито-аустенитного классов марок 08X22H6Т, 08X18Г8Н2Т, которые содержат от 2 до 11 % остродифицитного никеля, что сдерживает их порой необоснованное использование. В целях экономии никеля и эффективной замены указанных сталей на экономнолегированные при сохранении достаточной коррозионной стойкости, повышения механических и эксплуатационных свойств нами разработаны безникелевые коррозионно-стойкие стали аустенитно-ферритного класса с метастабильной аустенитной фазой [5]. Метастабильность обуславливает протекание $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ, что значительно повышает комплекс механических свойств (табл. 1), который значительно превышает свойства известных дорогих сталей. Новые стали рекомендуются для изготовления и ремонта насосов погружных и центробежных, которые применяются для перекачки воды (речной, водопроводной, технической, морской), сред средней и слабой агрессивности (раствор технического аммиака, моноэтаноламина и др.).

Таблица 1
Механические свойства разработанных безникелевых и хромоникелевых коррозионно-стойких сталей

Марка стали	σ_b , МПа	σ_m , МПа	δ , %	ψ , %	KCV , МДж/м ²	KCU , МДж/м ²
8X18Г6СФ	990...1240	475...490	30...39	20...38	>3,75	-
08X22Г6СФ	700...990	485...510	40...46	50...67	2,5...3,5	-
20X18Г9С2ДЛ	760...810	520...600	28...33	27...35	-	3,7
08X22H6Т [9]	680	410	40	45	-	2,5
10X18H9Л (ГОСТ 977-88)	441	177	25	35	-	0,98

Для восстановления электродуговой наплавкой изношенных цапф стелеразливочных ковшей, ходовых колес мостовых кранов разработаны порошковые наплавочные ленты ПЛ-Нп-20Г14АФ-А-Ф (ПЛН-6) и ПЛН-7 [6], не содержащие дефицитных компонентов. Относительная износостойкость металла, наплавленного лентой ПЛН-7 оптимального состава в 1,5 раза выше, чем лентой ПЛН-6 и в 3,9 раза выше, чем более дорогой лентой ПЛН-4, что объясняется оптимальным и более эффективным развитием $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ. Долговечность ходовых колес тяжелонагруженных мостовых кранов мартеновского цеха, наплавленных лентой ПЛН-7 в 1,5..1,6 раза выше, чем лентой ПЛН-6.

Для ряда деталей оборудования, работающих в условиях ударных нагрузок в сочетании с ударно-абразивным износом, которые изготавливаются из стандартных сталей марок 55С2, 60С2, 6ХС

разработаны режимы изотермической закалки [2]. Они обеспечивают формирование структуры нижнего бейнита с повышенным количеством 27...35 % метастабильного остаточного аустенита ($A_{ост}$), способного к развитию $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ и реализации эффекта самоупрочнения в процессе работы деталей или инструмента. В результате значительно повышается комплекс механических свойств сталей 55С2 и 60С2 ($\sigma_B=1500...1950$ МПа, $\sigma_{0,2}=1290...1500$ МПа, $\delta=13...14$ %, $\psi=20...56$ %, $KCU=0,42...0,7$ МДж/м²) и износостойкость. Долговечность пневмозубил, термически обработанных по новой технологии увеличилась в 2 раза.

Для впускных и сливных клапанов и седел распределительных корпусов гидросистемы прессов, которые изготавливают из нержавеющей сталей 20Х13, 30Х13, разработаны новые режимы закалки ТВЧ (для некоторых клапанов закалки с печным нагревом) при повышенных температурах, обеспечивающих сохранение наряду с высокодисперсным мартенситом закалки повышенного количества метастабильного $A_{ост}$ (25...30 %) [2]. В результате в процессе эксплуатации клапанных пар реализуется эффект деформационного самоупрочнения (самозакалки) благодаря постепенному развитию $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ в рабочем слое контактирующих поверхностей. Эта технология позволила повысить долговечность клапанов в 11 раз и внедрена в ПАО «Азовмаш».

Инструментальные стали Х9Ф, Х10Ф, 9Х4ВФ с пониженным содержанием хрома разработаны для изготовления биметаллических шоршечных дисков горнопроходческих комплексов, которые после разработанных режимов закалки содержали 10...16 % метастабильного $A_{ост}$ наряду с мартенситом закалки. Оработана технология термической обработки, обеспечивающая повышение комплекса механических свойств и износостойкости благодаря оптимальным структуре и кинетике $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ [2]. Промышленные испытания шоршечных дисков горнопроходческих комплексов после обработки по разработанной технологии при проходке Северомуйского тоннеля Байкало-Амурской магистрали (Россия) показали стойкость сталей Х9Ф и Х10Ф на 35...40 % выше, чем стали Х12МФ. Это соответствует долговечности более дорогих дисков производства фирмы «Вирт» (Германия) и других зарубежных аналогов, а диски из стали 9Х4ВФ имеют на 10 % большую стойкость [2].

Стали типа Х12Ф1 и Х12М после разработанных режимов закалки с температур 1100...1150 °С содержат повышенное количество метастабильного $A_{ост}$ (40...70 %) наряду с мартенситом закалки и карбидами Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$. На Большевском комбикормовом заводе (Московская обл., Россия) были проведены испытания опытно-

промышленной партии молотков из стали X12M термообработанных по оптимальному режиму. Они показали повышение их стойкости в 2...2,5 раза в сравнении с серийно выпускавшимися закаленными молотками из стали 30ХГСА, что объясняется развитием $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ.

Предложена замена материала фильера из быстрорежущих сталей типа P18, P6M5 правильно-отрезного автомата ИБ122А, используемого для рихтовки и выравнивания из бунтов стальной арматуры, на менее дорогие стали типа X12Ф1 и X12М. Для этих сталей рекомендуются оптимальные режимы закалки с повышенных температур 1150...1200 °С и среднетемпературного отпуска, обеспечивающих сохранение в структуре 60...65 % метастабильного $A_{ост}$, оптимальное развитие $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ и как результат эффекты самоадаптации и самоупрочнения при эксплуатации. Твердость в местах контакта фильеры с арматурой в процессе эксплуатации повышалась на 2,5...5 НРС. В результате долговечность фильер возросла в 1,5 раза в сравнении со сталью P18 и в 15...30 раз в сравнении с закаленными сталями типа 40Х, 50Х [2].

Проведены исследования по оптимизации состава марганцовистых сталей типа стали Гадфильда [7], а также по разработке режимов обезуглероживающей закалки [2] для дестабилизации аустенита и реализации $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ. Это обеспечило значительное, в 2...2,5 раза, повышение долговечности бил дробилок шихтовых материалов и может быть рекомендовано для многих деталей из марганцовистых износостойких сталей.

Таким образом, разработанные экономнолегированные материалы и науковемкие технологии показали высокую эффективность и перспективу для изготовления и упрочнения ряда деталей механического оборудования металлургических и машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1. Чугун: Справочник / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова.- М.: Металлургия, 1991.- 576 с.
2. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 483 с.
3. Жаростійка сталь: патент № 23183 (Україна) МКВ С22С 38/24; // Л.С. Малінов, О.П. Чейлях, О.Ф. Ткачов та інш.- (Україна) № 96083338; Заявл. 23.08.96; Опубл. 15.09.2000. Бюл. № 4.- 4 с.
4. Литий жаростійкий сплав. патент на винахід № 80498 (Україна), МПК С22С 36/28, 38/38, 38/50, 37/06, 37/10; // О.П. Чейлях, С.В. Прекрасний, В.В. Кліманчук, П.М. Кирильченко та інш. – (Україна), № а 200604628; Заявл. 25.04.2006; Опубл.25.09.2007, Бюл. № 15.
5. Чейлях А.П. Гавриленко Г.В. Структура и механические свойства

- новых безникелевых коррозионностойких сталей аустенитно-ферритного класса // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. научн. тр. – Мариуполь, 1999, Вып. 8.- С. 76-79.
6. Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов/ Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Я. Харланова и др. // Сварочное производство.- 1995.- № 10.- С. 22-25.
7. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2007. – 352 с.

УДК 531.43/46

**А.В. Анцупов (мл), А.М. Овсов,
А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: antsupov.vp@gmail.ru
Дата поступления 05.09.2014

МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ВАЛКОВ КЛЕТЕЙ КВАРТО ПО КРИТЕРИЯМ ИХ ПРОЧНОСТИ

Аннотация

Выведены зависимости для прогнозирования долговечности систем "кварто" станов тонколистовой прокатки на стадии их проектно-конструкторской разработки (модернизации) по критериям кинетической прочности материалов опорного и рабочего валков.

Ключевые слова: валковая система, параметр состояния, критерий прочности, долговечность, критическая энергоёмкость, предельное состояние, момент параметрического отказа, ресурс.

В предыдущей статье авторов в данном сборнике отмечено, что отказ валковой системы кварто (ВСК) может произойти по критериям прочности валковых материалов: поломке опорных валков по бочке (шейке), появлению выкрашивания поверхностного слоя опорного или рабочего валка.

В качестве параметров X_{it} состояния ВСК в этих случаях (для $i = 1, 2, 3$) можно принять текущую плотность $u_{eit}(\sigma_i, T_i)$ скрытой энергии дефектов структуры наиболее нагруженных локальных объемов материала [1], расположенных соответственно в зоне действия:

- максимальных эквивалентных циклических напряжений $\sigma_{i=1} = \sigma_{\text{экр}}$, возникающих от изгиба с кручением в поверхностном слое бочки или шейки опорного валка;

- максимальных контактных циклических напряжений $\sigma_{i=2} = \sigma_{\kappa(\text{он})}$, возникающих в поверхностном слое опорного валка при взаимодействии его с рабочим валком;

- максимальных контактных циклических напряжений $\sigma_{i=3} = \sigma_{\kappa(\text{раб})}$, возникающих в поверхностном слое рабочего валка при взаимодействии его с опорным валком и полосой.

Процесс деградации (старения) валковой системы кварто в этих случаях моделируется изменением (накоплением) плотности скрытой энергии в указанных объемах материала валков в процессе последовательной прокатки j -тых партий полос одного типоразмера ($j = 1, 2, 3 \dots j^*$). Закон накопления плотности энергии во времени t в каждом из указанных локальных объемах материала валков со средней скоростью $\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i)$ для стационарных температурно-силовых условий прокатки можно описать уравнением состояний (оператором эволюции) ВСК [2-8]:

$$\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) = \bar{u}_{ei0} + \sum_{j=1}^j \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) \cdot t_j, \quad (1)$$

где $u_{e0i} = (0,071 \cdot HV_i)^{2,4} / (6 \cdot G(T_i) \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_i + 0,12 \cdot 10^{-2}))^2$ - среднее значение плотности скрытой энергии материала в исходном состоянии: при $t = 0$ и $T_i = T_0$; HV_i - твердость поверхности валков по Виккерсу;

$t_j = G_j / (\rho_j \cdot b_j \cdot h_j \cdot V_j)$ - время прокатки j -той партии полос массой G_j с поперечным сечением $b_j \cdot h_j$, плотностью материала ρ_j , со скоростью прокатки V_j .

Момент отказа валковой системы по соответствующему i -тому параметру, или ее средний ресурс \bar{t}_{i,j^*} , определяется моментом достижения плотностью скрытой энергии (в том или ином указанном локальном объеме материала валков) критического значения u_{e^*i} .

Величина ресурса \bar{t}_{i,j^*} находится решением i -того уравнения предельного состояния [2-8] (см. также вторую статью авторов в данном сборнике, ф.(III) и ф.(4)):

$$\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) = \bar{u}_{ei0} + \sum_{j=1}^{j^*} \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) \cdot t_j = u_{e^*i} \quad (2)$$

относительно $t_j = \bar{t}_{i,j^*}$ (при $j = j^*$) в виде:

$$\bar{t}_{i,j^*} = k_{II} \cdot (u_{e^*i} - \bar{u}_{ei0} - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) \cdot t_j) / \bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i), \quad (3)$$

где $k_{II} = (t_j + t_{паузы}) / t_j$ - коэффициент, учитывающий увеличение времени прокатки из-за пауз между полосами;

$u_{ei\text{кр}} = \Delta H_{TBi} - \bar{u}_{ei0} - u_{Ti}$ - критическое значение плотности скрытой энергии дефектов структуры материала валков для известных условий внешнего нагружения (σ_i, T_i) ;

$\Delta H_{TBi} = \rho_i \cdot c_i \cdot T_{Si}$ - энтальпия материала в твердом состоянии при температуре плавления T_S ;

$u_{Ti} = \rho_i \cdot c_i \cdot T_i$ - тепловая составляющая плотности внутренней энергии материала нагруженного валка стационарной температуре T_i ;
 ρ_i, c_i - плотность и теплоемкость материала при температуре T_i (значения стационарной температуры поверхностного слоя опорного $T_{i=1,2} = T_{on}$ и рабочего $T_{i=3} = T_p$ можно оценить по методикам работ [9, 10]).

Для оценки в условиях (1)-(3) средней скорости изменения (накопления) плотности скрытой энергии дефектов структуры в указанных локальных объемах материалов опорного и рабочего валков - $\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i)$, может быть использовано кинетическое уравнение превреждаемости твердых тел в стационарных условиях нагружения [11]:

$$\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i) = \frac{2 \cdot R \cdot T_i \cdot U(\sigma_{i,j}, T_i)}{h \cdot N_0} \exp\left[-\frac{U(\sigma_{i,j}, T_i)}{R \cdot T_i}\right] \times \quad (4)$$

$$\times sh \left[\frac{v_i}{2 \cdot R \cdot T_i} \left(\frac{k_{\sigma i}^2 \cdot M_{Ri,j}^2 \cdot \sigma_{i,j}^2}{6 \cdot G(T_i)} - \frac{u_{e^*i} - \bar{u}_{ei0}}{2} \right) \right],$$

где $M_{Ri,j}^2 = \left((1 + r_{i,j})^2 + (1 - r_{i,j})^2 \right) / 4$ – коэффициент эквивалентности напряженного состояния ($r_{i,j} = \sigma_{\min i,j} / \sigma_{\max i,j}$, $\sigma_{\max i,j} = \sigma_{i,j}$, $\sigma_{\min i,j}$ – коэффициент асимметрии, максимальное и минимальное напряжение цикла);

$\sigma_{i=1,j} = \sigma_{\text{эки}i=1,j} = \sqrt{(M_{uj} / W_u)^2 + 4 \cdot (M_{kpj} / W_{kp})^2}$ – максимальные эквивалентные (от изгиба с кручением) напряжения в наиболее нагруженных локальных объемах материала опорных валков при прокатке j -ой партии полос, изменяющиеся по симметричному циклу (M_{uj} и M_{kpj} – максимальные изгибающие и крутящие моменты в опасных сечениях бочки или шейки опорного валка; W_u и W_{kp} – соответствующие моменты сопротивления опасных сечений);

$\sigma_{i=2,j} = \sigma_{\kappa(on)}$ – циклические контактные напряжения в поверхностном слое опорного валка, возникающие в зоне взаимодействия его с рабочим при прокатке j -ой партии полос, изменяющиеся по отнулевому циклу и определяемые по известной формуле Герца [12];

$\sigma_{i=3,j} = \sigma_{\kappa(раб)} = \sigma_{\kappa(on)}$ – циклические контактные напряжения в поверхностном слое рабочего валка, возникающие в зоне взаимодействия его с опорным при прокатке j -ой партии полос, изменяющиеся по отнулевому циклу;

$\sigma_{i=3,j} = \bar{p}$ – максимальные контактные напряжения в поверхностном слое рабочего валка, возникающие в очаге деформации при прокатке j -ой партии полос, изменяющиеся по отнулевому циклу; (\bar{p} – среднее давление в очаге деформации [10]);

$k_{\sigma_i} = 1 / (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_i + 0,12 \cdot 10^{-2})$ – коэффициент перенапряжения межзатомных связей материала валков [11];

$G(T_i)$ и HV_i – модуль сдвига материала валков при температуре T_i и среднее значение твердости по Виккерсу;

h – постоянная Планка; N_0 – число Авогадро; R – универсальная газовая постоянная;

$$U(\sigma_i, T_i) = U_{0i} - \Delta U(T_i) - (M_{Ri,j}^2 \cdot k_{\sigma_i}^2 / (18 \cdot \nu_i \cdot K(T_i))) \cdot \sigma_{i,j}^2 \quad -$$

энергия активации процесса разрушения межзатомных связей материалов валков при напряжении $\sigma_{i,j}$ и температуре T_i [11];

U_{0i} и V_i – свободная энергия активации процесса повреждаемости структуры валков при $T = 0$ и $\sigma = 0$ и коэффициент неравномерности распределения внутренней энергии по их объему, значения которых выбираются по рекомендациям [11];

$\Delta U(T_i) = 3 \cdot \alpha_0(T_i) \cdot K(T_i) \cdot T_i$ – доля энергии активации, определяемая температурой [11];

$K(T_i) = E(T_i) / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu(T_i)))$ – модуль объемной упругости материала валков при температуре T_i ;

$\alpha_0(T_i)$, $E(T_i)$ и $\mu(T_i)$ – коэффициент линейного теплового расширения, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала валков при температуре T_i .

Таким образом, уравнения (3) с учетом (4) позволяют последовательно оценить ожидаемый ресурс валковой системы по следующим причинам:

- возможной поломки опорного валка по бочке или шейке (при $i = 1$);
- предполагаемого появления выкрашивания поверхностного слоя опорного (при $i = 2$) или рабочего (при $i = 3$) валков.

Однако при оценке среднего ожидаемого ресурса по уравнению (3) или по номограмме, представленной в первой статье данного сборника, следует учесть следующие обстоятельства.

Во-первых, поскольку ресурс \bar{t}_{i,j^*} по условию (3) для $i = 2, 3$ определен для непрерывно чередующихся циклов напряжений $\sigma_{i,j}$, фактический ресурс может быть скорректирован с учетом реального периода их появления. Поэтому фактический ресурс валков по критерию контактной прочности следует определить по выражению $\bar{t}_{i,j^*(\phi)} = \bar{t}_{i,j^*} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_i / l_{i,j}$, где $l_{i,j}$ – ширина зоны контакта валков или длина очага деформации при прокатке j -ой партии полос; R_i – радиус опорного или рабочего валка.

Во-вторых, при оценке скорости повреждаемости материала поверхностного слоя рабочих валков по условию (4) от действия

циклических напряжений $\sigma'_{i=3,j} = \sigma_{к(раб)}$ и $\sigma''_{i=3,j} = \bar{p}$, возникающих последовательно в зоне контакта с опорным валком и полосой, значение $\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{i,j}, T_i)$ следует определить как сумму значений $\bar{u}_{ei,j}(\sigma_{к(раб)}, T_i)$ и $\bar{u}_{ei,j}(\bar{p}, T_i)$.

Библиографический список

1. Федоров В.В. Основы эргодинамики и синергетики деформируемых тел. Часть 1. Основы физической механики деформируемых тел (состояние проблемы): монография / В.В. Федоров; под ред. С.В. Федорова.- Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2012.-159с.
2. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1. С. 141-146.
3. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
4. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. С. 28-34.
5. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Надежность, 2013. – №3 (46).– С. 5-14.
6. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.
7. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
8. Методология аналитической оценки надежности технических

- объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
9. Модель теплового состояния рабочего валка НШСГП при его охлаждении водовоздушным потоком / А. В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.В. Налимова, И.М. Ячиков, А.М. Овсов // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: Международный сб. научн. тр. / Под ред. Н.Н. Огаркова, Магнитогорск, 2008. С.158-164.
 10. Гарбер Э.А., Хлопотин М.В. Моделирование и совершенствование теплового режима и профилировок валков широкополосных станов горячей прокатки: Моногр. – Череповец: ЧГУ; М.: Теплотехник, 2013. – 113 с.
 11. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1985. 165с.
 12. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология).- М.: ОАО "Черметинформация"; Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2004.-416с.

УДК 664.014.002.35

М.В. Андросенко, Д.А. Харлов, И.Д. Кадошникова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: malckin17@yandex.ru
Дата поступления 09.06.2014

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И КОМПЛЕКСОВ

Аннотация

Технико-экономическое обоснование, это неотъемлемая часть рабочей документации, которая необходима для строительства любого объекта. Главное при написании этого обоснования, правильно его составить. Задание для проектирования, входит в технико-экономическое обоснование, и имеет тоже перечень требований, которые необходимо соблюдать.

Ключевые слова: Техничко-экономическое обоснование, задание на проектирование, техническое задание, заказчик, проектировщик, проект.

Техничко-экономическое обоснование – это документом, на основе которого производится подготовка рабочих документации. На основании для разработки техничко-экономического обоснования служит уже утвержденное Заказчиком обоснование инвестиций, а так же утвержденное местной администрацией решение о согласовании места размещения данного объекта.

В составе техничко-экономического обоснования должна быть четко определена форма собственности предприятия.

На практике ТЭО состоит из следующих разделов:

1. Документы, которые определяют месторасположения земельного участка и его размеры.

2. Техническое задание на объект проектирования (включает используемые площади, предполагаемая этажность строения объекта, количество выпускаемой продукции и прочее).

3. Затраты, которые пойдут на реализацию поставленной цели.

4. Затраты эксплуатационные, которые направлены на реализацию всего проекта.

5. Сроки реализации проекта.

6. Приложения: схема ген. плана, схема ситуационного плана, габаритные схемы по наиболее сложным и крупным сооружениям; расчет стоимости строительства; сводка затрат [1].

Для задания на выполнения техничко-экономического обоснования должны быть предоставлены данные по каждому из производств. Задание на проектирование – это перечень требований (задач, условий или целей), которые поставлены заказчиком в письменном виде, а также документально оформлены и выданы Исполнителю работ проектно-исследовательского характера. Задание предшествует разработке конструкторских, строительных проектов, и обычно, направляет проектировщика на создание проекта, которое будет удовлетворять требованиям Заказчика и соответствовать условиям использования и применения разрабатываемого проекта. Используют термин «техническое задание» [2].

Перечень требований:

1. Основание для проектирования.

2. Вид строительства.

3. Очередность и этапы строительства.

4. Источник финансирования.

5. Стадии проектирования.

6. Назначение и основные показатели объекта.

7. Архитектурно-планировочные решения, внутренние и наружные отделки здания.

8. Конструктивные решения, материалы несущих и ограждающих конструкций.

9. Технологические решения и оборудования.

10. Решения для подключения объекта к сетям инженерно-технического обеспечения, подключения к сетям связи, а также технологическому и инженерному оборудованию.

11. Проект организации строительства.

12. Разработка раздела: «Мероприятия по охране окружающей среды».

13. Сметная документация с методом определения стоимости строительства и порядка пересчета в текущий уровень цен.

14. Разработка технологического регламента для утилизации строительных отходов.

15. Состав и содержание всей документации.

16. Порядок предоставления документации для государственной экспертизы.

При экономической оценке различных вариантов проектных решений есть необходимость для сопоставления показателей себестоимости и капитальных вложений для определения срока окупаемости [3].

Самый эффективный вариант выбирается путем сравнения, полученного в расчете экономической оценки с заданными нормативами. Например, если срок окупаемости будет меньше нормативного срока, то экономически эффективным будет являться вариант с более низкой себестоимостью; если же срок будет больше нормативного, то будет лучший вариант с более низкими капитальными вложениями [4].

Сравнение проектных вариантов может выполняться, например, путем сопоставления таких показателей, как приведенных затрат, которые определяются по формуле:

$$П = С + ЕНК,$$

где П – приведенные затраты; С – себестоимость продукции; К – капитальные вложения; Ен – нормативный коэффициент эффективности) [5].

Таким образом, подводя черту, можно сделать вывод, что затратив небольшие средства (порядка 2 – 2,5 % от всей стоимости СМР), инвестор может более точно определиться с объемом, графиком финансирования, а также получить более точные данные по результатам выполнения бедующего проекта, и самое главное – это определить срок окупаемости данного проекта.

Библиографический список

1. Старушко А.А., Аксёнова М.В., Кадошников В.И., Белан А.К. Система организации проектирования технологических комплексов, Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова, 2012. - 148 с.
2. Инструкция по определению годового экономического эффекта, получаемого в результате внедрения новой техники в строительстве (ГН 248—63), М., 1963;
3. Аксёнова М.В., Кадошникова И.Д., Кадошников В.И., Куликова Е.В., Белан А.К. Проектирование технологических линий и комплексов металлургических цехов, Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова, 2011. — 143 с.
4. В. А. Авдеев, В. М. Друян, Б. И. Кудрин, Основы проектирования металлургических заводов, М., 2002
5. Вайнштейн Б. С., Методы определения экономической эффективности новой техники в строительстве, М., 1963

УДК 621.7.014.2:669.017.11

**А.С. Савинов, О.Е. Селезнёв,
И.В. Поляруш, И.В. Радомская, Е.С. Савинов**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: olegseleznyov@mail.ru
Дата поступления 16.06.2014

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УДЕЛЬНЫХ РАБОТ ВНУТРЕННИХ СИЛ ПРИ РАСЧЕТЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Аннотация

В работе рассматривается вопрос моделирования сопротивления деформации сплавов, в различных температурных условиях, кусочно-непрерывным линейными функциями. Дано количественное подтверждение использования математического аппарата данного вида.

Ключевые слова: сопротивление деформации, растяжение, линейные функции, удельная работа, интегрирование.

Качественное прогнозирование динамики изменения напряженно-деформированного состояния в системе «отливка-форма» невозможно

без применения моделей сопротивления деформации материала отливки. В работе [1] показано выражение определяющее напряжение в материале в зависимости от его деформации.

$$\sigma = \frac{\left(1 - \frac{e^{\frac{25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]} - e^{\frac{-25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]}}{e^{\frac{25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]} + e^{\frac{-25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]}} \right) \varepsilon E_{\text{упр}}}{2} + \quad (1)$$

$$+ \frac{\left(1 + \frac{e^{\frac{25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]} - e^{\frac{-25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]}}{e^{\frac{25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]} + e^{\frac{-25}{\varepsilon_T}[\varepsilon - \varepsilon_T]}} \right) \left[\frac{(\sigma_B - \sigma_T)(\varepsilon - \varepsilon_T)}{\delta_{\text{пласт}}} + \varepsilon_T E_{\text{упр}} \right]}{2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_B = \varepsilon_{0,2} + \delta_{\text{пласт}}$$

где σ_B , $\sigma_{0,2}$ – предел прочности, условный предел текучести материала соответственно;

ε – величина деформации материала;

$\varepsilon_{0,2}$, ε_B – деформации соответствующие условному пределу текучести и пределу прочности соответственно;

E – модуль продольной упругости;

$\delta_{\text{пласт}}$ – величина зоны пластической деформации.

Следует отметить, что данное выражение описывает упругую и пластичную область деформации прямыми с точкой перегиба ε_T при пределе текучести материала σ_T рисунок 1.

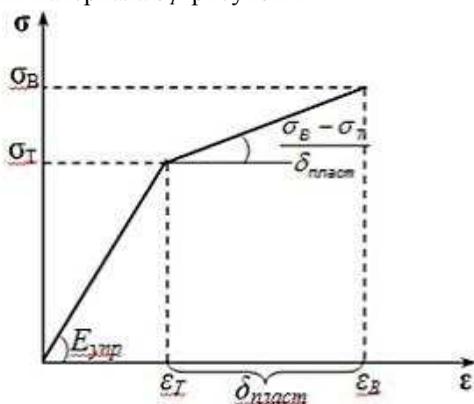


Рисунок 1. Диаграмма растяжения по выражению (1)

Таблица

Экспериментальные и расчетные значения удельных работ внутренних сил

Марка	Температура тура, °С	$A_{уд}^{расч} \cdot 10^6$, Дж/кг	$A_{уд}^{исп} \cdot 10^6$, Дж/кг	Относит ел. отклонен ие %	Марка	Температура ра, °С	$A_{уд}^{расч} \cdot 10^6$, Дж/кг	$A_{уд}^{исп} \cdot 10^6$, Дж/кг	Относит ел. отклонен ие %
БЖ38	20	179,1	207,3	13,6	10Х16Н2СА М6	20	117,1	126,3	7,3
	800	57,5	65,6	12,4		700	31,2	32,7	4,6
	900	13,4	16,8	20,2		800	11,6	12,7	8,6
10Х11Н20ТЗ Р	20	150,7	176,4	14,6	ЭИ766	20	3,0	3,5	14,1
	300	105,7	116,9	9,6		700	2,4	3,0	20,6
	700	60,6	66,2	8,6		800	2,2	2,7	19,1
ЭИ767	20	49,4	52,0	5,0	62383	1100	15,1	18,4	18,2
	700	41,6	42,4	1,9		1300	8,2	10,0	17,9
	800	37,6	43,6	13,8		1100-0,1	20,1	24,8	19,0
ЭИ734	20	187,1	216,3	13,5	62408	1100	12,2	16,6	26,8
	300	85,1	94,8	10,3		1200	9,2	10,9	15,7
	700	24,3	26,4	8,2		20	50,4	54,0	6,5
ХН70ВМТЮ Ф	20	154,8	167,2	7,4	ХН77ТЮ	900	12,2	13,9	12,2
	900	8,2	8,5	3,6		20	288,6	329,8	12,5
	1000	3,4	3,7	8,1		500	257,8	301,1	14,4
18ХЕНА	20	54,0	56,5	4,4	ХН70МВТЮ Б	20	167,4	180,8	7,4
	300	40,2	42,2	4,7		700	117,1	126,8	7,7
	900	18,4	19,4	5,5		900	43,0	50,7	15,3
30Х2Н2ВФА	20	47,3	49,4	4,3	ХН70ВМТЮ	20	125,3	138,7	9,7
	450	18,0	19,1	5,7		700	41,0	45,8	10,6
	550	10,7	11,5	7,1		900	31,5	36,8	14,6
14Х07Н2	20	65,3	68,8	5,1	ХН73МВТЮ	20	204,0	232,7	12,4
	300	18,2	19,5	6,4		400	183,7	213,2	13,8
	600	8,6	9,9	13,7		800	38,1	44,7	14,7
Среднее значение ϵ_{11}				Среднее значение ϵ_{11}					12%

Между тем в реальных металлах и сплавах прямолинейный характер имеет лишь зона упругой деформации. Зона упрочнения же криволинейна. Однако качественный анализ при описании зоны упрочнения прямой, показывает, что отклонение расчетных и экспериментальных данных невелико. Для определения возможности применения, в расчетах напряженно деформированного состояния материала выражения (1) было проведено сравнение работ внутренних сил $A_{уд}$, полученных при использовании выражения (1), и анализе диаграмм растяжения сталей различных температурных условиях (см. таблицу), представленных в источнике [2]

Работу сопротивления деформации вычислили по следующему выражению

$$A_{уд} = \int_0^{\varepsilon_T} \sigma d\varepsilon + \int_{\varepsilon_T}^{\varepsilon_B} \sigma d\varepsilon \quad (3)$$

Результаты значений работ полученных по выражению (1) и при постановке пассивного эксперимента представим в таблице.

Относит отклонение ε , представленное в таблице, вычислялось по следующей формуле

$$\varepsilon = \left| \left(A_{уд}^{эксп} - A_{уд}^{расч} \right) / A_{уд}^{эксп} \right| \cdot 100\% \quad (4)$$

где $A_{уд}^{эксп}$ – удельная работа внутренних сил полученная при анализе диаграмм растяжения;

$A_{уд}^{расч}$ – удельная работа внутренних сил полученная при анализе выражения (1).

Как видно из таблицы среднее значение отклонения ε не превышает 12%, а, следовательно, выражение (1) может быть использовано в инженерных расчетах при определении напряженного состояния материалов под воздействием растягивающих деформаций

Библиографический список

1. Савинов А.С. , Тубольцева А.С. Расчет напряжений в углеродистых сталях при высоких температурах/ Современные технологии в машиностроении: сб. XV Международной научно-технической конференции.- Пенза 2011: Приволжский дом знаний, 2011. С. 38-40.
2. Атлас диаграмм растяжения при высоких температурах, кривых ползучести и длительной прочности сталей и сплавов для двигателей/ И.П. Булыгин, П.Т. Власова, А.Т. Горбадей и др. - М: ОБОРОНГИЗ, 1957. - 175 с.

С.Н. Рыженко, Ю.П. Шинкаревич, Д.А. Емельянов
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана»
г. Москва, Россия
E-mail: emelyanoff.denis@gmail.com
Дата поступления 11.06.2014

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЭНДВИЧ – ПАНЕЛЕЙ¹

Аннотация

В данной статье представлен обзор оборудования для производства сэндвич – панелей на разных методах производства.

Ключевые слова: сэндвич – панели, линия для производства сэндвич – панелей, непрерывная линия для производства сэндвич – панелей, профилированные листы.

За последние годы особо актуальным стало строительство быстровозводимых сооружений из легких металлических конструкций. К зданиям такого типа относятся здания торговых центров, супермаркетов, парковок, складских помещений, здания автосалонов и. т. д. Проблема реконструкции и утепления уже построенных сооружений стоит не менее остро, чем возведение новых домов по современным теплосберегающим технологиям. Одним из наиболее удачных и недорогих примеров решения этой задачи является применение новых строительных материалов, таких как сэндвич – панели, представляющие собой трехслойную конструкцию из двух профилированных металлических листов и находящегося между ними утеплителя. Обычно такие панели изготавливают из оцинкованной стали с полимерным покрытием. Листы профилируют для придания металлу и конструкции в целом жесткости, а также для формирования замкового соединения.

В качестве утеплителя в панели используют минеральную вату, пенополистирол, а также пенополиуретан. Специальным клеем на основе полиуретана верхний и нижний лист соединяется утеплителем. К достоинствам сэндвич – панелей относятся надежная тепло и

¹ Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки Р.Ф. «Проведение научно-исследовательских работ», код проекта 1272 «Разработка методов прогнозирования расчетной точности деталей мелких серий, получаемых эластичным рабочим инструментом».

звукоизоляция, сравнительно малый вес панели, простота и высокая скорость монтажа. Оборудование для производства сэндвич - панелей должно гарантировать максимальную надежность и одновременно быть достаточно простым в эксплуатации. Поэтому в процессе его создания уделяется большое внимание наладке и испытанию перед поставкой заказчику. Первые попытки создания такого оборудования были предприняты более 30-ти лет тому назад, когда были созданы технологии и оборудование для обработки тонколистового металла. Особо удачными следует признать конструкции станов с эластичным инструментом [1,2,3]. Однако эти конструкции обладали существенными недостатками: низкой производительностью и ограничением по длине изделия (не более 2-х метров) и поэтому не получили широкого внедрения[4,5]. Более поздние конструкции не имеют этих недостатков, но позволяют получить лишь металлические заготовки для последующей ручной сборки [6,7]. Позже в России и за рубежом были созданы специализированные линии по производству сэндвич – панелей.

На рисунке 1 представлена схема линии по производству сэндвич – панелей стенового типа. Она предназначена для производства трехслойных сэндвич панелей с наполнителем из минеральной ваты, или пенополистерола длиной от 2000 мм до 9000 мм, шириной от 600 до 1200 мм и толщиной по утеплителю от 50 до 250 мм. Толщина листа с лакокрасочным покрытием от 0,55 до 0,8 мм. Управление линией полуавтоматическое. Производительность до 950 кв.м/смену. Необходимая площадь для работы данной линии составляет 650 кв. м.

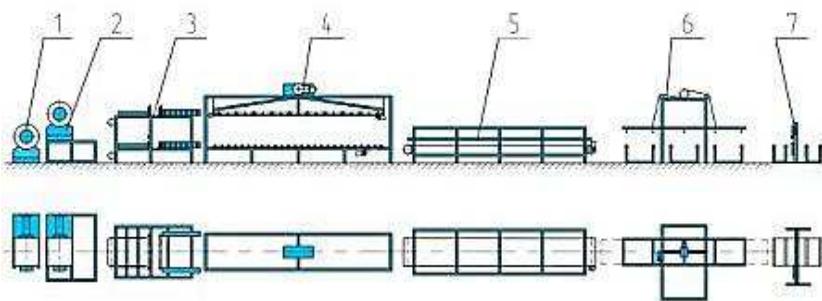


Рисунок 1 Схема линии по производству сэндвич панелей

Линия состоит из приводных размотчиков - нижнего 1 и верхнего 2, (расположенных соответственно на 1-ом и 2-ом ярусах) на которых закреплены рулоны листовой стали. Рулонный металл, с размотчиков, задается в 2-х ярусный профилегибочный стан 3, где на каждом ярусе происходит профилирование обкладок будущей панели,

нанесение клея и резка профилирование металла летучими ножницами на мерные длины. Летучие ножницы расположены перед профилирующими роликами профилигибочного стана 3. После нанесения клея и резки, профилированный металл подается на стенд ручной сборки панелей 4. Сначала на нижний лист с нанесенным клеем рабочие специальным образом укладывают ламели минеральной ваты, соблюдая направления волокон. Затем верхний лист с клеем, переворачивают механизмом горизонтального поворота и укладывают поверх минеральной ваты, при этом обкладка удерживается вакуумными захватами. Необходимого взаимного расположения профилированных листов добиваются, прижимая листы панели к специальным линейкам. После сборки панель попадает в термогидропресс 5, где происходит склейка панели. Время склейки 6-7 минут. Затем готовая панель выдается на укладчик панелей 6. Для резки панелей на требуемые мерные длины в линии предусмотренная дисковая пила 7

Одним из главных недостатков данной линии является ее малая производительность т.к. линия стендового типа. В связи с этим встала задача для разработки автоматизированной линии позволяющей изготавливать продукцию по системе полного цикла с использованием непрерывного метода производства, которая смогла бы обеспечить более крупную производительность сэндвич – панелей.

Непрерывная линия для производства сэндвич – панелей предназначена для изготовления трехслойных сэндвич - панелей, непрерывным методом. Данная линия способна производить панели длиной от 1000 до 15000 мм, шириной от 600 до 1200 мм и толщиной от 50 до 250 мм. Толщина стального листа с лакокрасочным покрытием варьируется 0,55 до 0,8 мм. Производительность линии до 2000 кв.м/смену, что в 2 раза больше по сравнению со стендовой линией производства сэндвич – панелей. Необходимая производственная площадь для размещения линии составляет 870 кв.м.

Схема и фотография непрерывной линии для производства сэндвич – панелей представлены на рисунках 2 и 3.

При производстве стеновых панелей, рулоны стали устанавливаются на разматыватели нижнего 1 и верхнего 2 ярусов краном. Оператор заправляет рулонный материал, управляя приводами узла профилирования 3. В линию задается минеральная вата с помощью толкателя 4. Толкатель ваты 4 управляется оператором вручную с автоматическим возвратом в исходную позицию во всех режимах работы линии. Оператор, управляя пневмоцилиндром, опускает прижимной ролик и включает фрезеровку ваты. Фрезеровка ваты необходима для получения ровных кромок минеральной ваты при заданной ширине панели. Затем оператор настраивает ширину хода клеевой головки,

изменяя время включения пневмораспределителя. При выходе склеенного полотна сэндвич панели из пресса 5 оператор, руководствуясь качеством склейки запускает цикл реза летучей пилы 6, представленной на рисунке 4. После обрезки переднего конца начинается отсчет длины. Отрезанный конец вручную удаляется с линии. Затем линия запускается в автоматическом режиме.

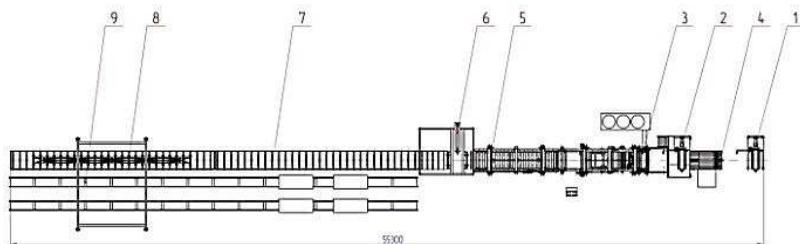


Рисунок 2 Схема непрерывной линии по производству сэндвич – панелей



Рисунок 3 Непрерывная линия для производства сэндвич – панелей

После отсчета нужной длины происходит следующий цикл реза летучей пилы. Отрезанная панель по рольгангу 7 перемещается в зону укладчика панелей 8. Оператор, управляя укладчиком панелей 8, вручную укладывает панели на одну из тележек 9.



Рисунок 4 Пила летучая

Выводы:

В данной статье были рассмотрены современные виды оборудования для производства сэндвич – панелей основанных различных подходах к организации производства. Сравнительный анализ показал, что непрерывная линия для производства сэндвич – панелей имеет более высокую производственную эффективность по сравнению с стандовой линией для производства сэндвич - панелей (производительность увеличилась более чем в 2 раза)

Библиографический список:

1. Пат. 2197354. Российская Федерация. МКП В21 D 22/10. Стан локальной формовки-гибки для изготовления изделий с рельефной поверхностью из листового металла/ Семенов И.Е.; опубл. 27.01.03. Бюл. №3.
2. Пат. 2246370. Российская Федерация. МКП В21 D 22/10, 5/14. 2005. Эластичный инструмент с регулируемой жесткостью для локальной формовки листового металла/ Семенов И.Е.; опубл. 20.02.05. Бюл. №5.
3. Семенов И.Е. , Рыженко С.Н., Крутова М.В. Моделирование процесса деформирования полосы эластичным и жестким рабочим инструментом // Сталь. 2007. №5, С.83-87.
4. Семенов И.Е. , Рыженко С.Н., Поворов С.В. Динамическое моделирование процесса локальной гибки-формовки для технологий производства покрытий для крыш. Заготовительные производства в машиностроении // 2007. №10. .40-43
5. Семенов И.Е. , Рыженко С.Н., Поворов С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния эластичного инструмента локальной гибки-формовки // Сборник трудов седьмой конференции CAD- FEM GmbH. –М.: Полигон-пресс., 2007 С.350-354.
6. Семенов И.Е. , Рыженко С.Н., Поворов С.В. Моделирование процесса формовки на профилегибочном стане с эластичным рабочим инструментом // Вестн. МГТУ. 2010. №4 (79). С. 86-93.
7. Семенов И.Е. , Рыженко С.Н., Поворов С.В. Моделирование процессов последовательной формовки продольных каналов в листе на стане с эластичным и жестким инструментом // Заготовительные производства в машиностроении. Кузнечно-штамповочное производство. 2010, №6, С.29-32.

**А.В. Анцупов (мл), А.М. Овсов,
А.В. Анцупов, В.П. Анцупов,
М.Г. Слободянский, Р.В. Залилов**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: momz-magtu@yandex.ru
Дата поступления 05.09.2014

МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ВАЛКОВ КЛЕТЕЙ КВАРТО ПО КРИТЕРИЯМ НАРУШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЯ ПРОКАТЫВАЕМЫХ ПОЛОС

Аннотация

Выведены зависимости для прогнозирования долговечности систем "кварто" станов тонколистовой прокатки на стадии их конструирования (модернизации) по критериям поперечной разнотолщинности прокатываемых полос, величина которой определяется текущими значениями профилей опорного и рабочего валков, изменяющихся в процессе изнашивания при прокатке.

Ключевые слова: валковая система, параметр состояния, критерий точности профиля, изнашивание, ресурс.

Во второй статье авторов в данном сборнике отмечено, что отказ валковой системы кварто (ВСК) может произойти по критериям нарушения точности профилей опорных или рабочих валков из-за их неравномерного изнашивания при прокатке и выходе поперечной разнотолщинности прокатываемых полос за установленные пределы.

Для прогнозирования долговечности валковых систем по этим причинам в качестве контролируемых параметров их состояния в этом случае можно принять:

$\bar{\Delta}_{on j}$ - текущую величину активной образующей опорного валка, изменение которой в процессе изнашивания при последовательной прокатке j -тых партий полос одного типоразмера ($j = 1, 2, 3 \dots j^*$) моделирует эволюцию ВСК по критерию точности профиля опорного валка;

$\bar{\delta}_{h j}$ - текущее значение поперечной разнотолщинности j -ой партии полос, изменение которой в процессе изнашивания профилей

верхнего и нижнего рабочих валков при последовательной прокатке j -тых партий полос моделирует деградацию (старение) ВСК по этому параметру.

Сначала выведем уравнение для оценки среднего ресурса $\bar{t}_{on j^*}$ валковой системы по первому критерию ее работоспособности:

$$\bar{\Delta}_{on j} < \Delta_{on^*}, \quad (1)$$

где Δ_{on^*} - предельное значение профиля, устанавливаемое из опыта эксплуатации для предотвращения появления полос с нарушением поперечной разнотолщинности.

Уравнение эволюции ВСК по параметру $\bar{\Delta}_{on j}$, принимая стационарными условия прокатки каждой j -ой партии полос, можно представить на основе общего методологического подхода к прогнозированию надежности деталей машин [1-3] в виде:

$$\bar{\Delta}_{on j} = \bar{\Delta}_{on 0} - \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{on j} \cdot t_j, \quad (2)$$

а уравнение перехода ВСК в предельное состояние по этому параметру - выражением:

$$\bar{\Delta}_{on j} = \bar{\Delta}_{on 0} - \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{on j} \cdot t_j = \Delta_{on^*}, \quad (3)$$

Здесь $\Delta_{on 0}$ - начальная величина исходного выпуклого профиля опорного валка;

$t_j = G_j / (\rho_j \cdot b_j \cdot h_j \cdot V_{nj})$ - время прокатки j -ой партии полос весом G_j с поперечным сечением $b_j \cdot h_j$ и плотностью ρ_j ; V_{nj} - скорость прокатки j -ой партии полос;

Величина среднего ресурса ВСК по параметру $\bar{\Delta}_{on j}$ (по критерию (1)) находится решением уравнения (3) относительно $t_j = \bar{t}_{on, j^*}$ (или $j = j^*$) в виде (см. вторую статью авторов в данном сборнике, ф.(7)):

$$\bar{t}_{on, j^*} = k_{\Pi} \cdot (\Delta_{on 0} - \Delta_{on^*} - \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{on j} \cdot t_j) / \bar{\Delta}_{on j}. \quad (4)$$

Средняя скорость $\bar{\Delta}_{on j}$ изменения профиля опорного валка в

период t_j прокатки j -той партии полос одного типоразмера ($j = 1, 2, 3, \dots$) в условиях (2) - (4) определяется выражением [3]:

$$\bar{\Delta}_{onj} = \dot{R}_{on}(0, t_j) - \dot{R}_{on}(L, t_j), \quad (5)$$

где $\dot{R}_{on}(0, t_j)$ и $\dot{R}_{on}(L, t_j)$ - скорость радиального изнашивания валка в поперечном сечении на середине его длины (с координатой $x = 0$) и на краю бочки (с координатой $x = L$) соответственно в период t_j прокатки j -той партии полос одного типоразмера.

Распределение скоростей изнашивания точек опорного валка по длине бочки $\dot{R}_{on}(x, t_j)$ (по координате x) определяли с использованием модели процесса изнашивания элементов стационарных трибосопряжений, построенной на основе энерго-механического подхода [3-12]:

$$\dot{R}_{on}(x, t_j) = \int_{-a(x, t_j)}^{a(x, t_j)} \frac{v_{on} \cdot N_{mp(mex)}^{y0}(x, y, t_j)}{u_{e on*}} dy, \quad (5.a)$$

где x, y - координаты точки на площадке контакта валков - вдоль оси валка (x) и перпендикулярно ей (y), отсчитываемые от ее центра;

$a(x, t_j)$ - распределение полуширины зоны контакта рабочего и опорного валков по длине бочки в период времени t_j прокатки j -ой партии полос, определяемое по методике [3]:

$$a(x, t_j) = 2 \left(\frac{f_n(x, t_j) \cdot R_p(x, t_{j-1}) \cdot R_{on}(x, t_{j-1}) \cdot (\theta_p + \theta_{on})}{(R_p(x, t_{j-1}) + R_{on}(x, t_{j-1}))} \right)^{0.5}; \quad (5.6)$$

$f_n(x, t_j)$ - распределение погонной нагрузки по длине межвалкового контакта в период времени t_j , определяемое по известной методике В.М. Салганика [13] для расчета нагрузок и деформаций четырехвалковой системы кварто в функции усилия прокатки $P_{np}(t_j)$ и усилия противоизгиба $F(t_j)$. Здесь усилие прокатки $P_{np}(t_j)$ определяется по методике Э.А. Гарбера для упруго-пластической модели очага деформации [3, 14];

$R_p(x, t_{j-1})$ и $R_{on}(x, t_{j-1})$ - распределения радиусов рабочего и

опорного валков по координате x (профили валков) после прокатки $j-1$ -ой партии полос:

$$R_p(x, t_{j-1}) = \dot{R}_p(x, t_{j-1}) \cdot t_{j-1} \text{ и } R_{on}(x, t_{j-1}) = \dot{R}_{on}(x, t_{j-1}) \cdot t_{j-1}; \quad (5.в)$$

(при $j=1$ распределения $R(x, t_{j-1})$ соответствуют исходным профилям $R(x, 0)$ валков; $\dot{R}_p(x, t_{j-1})$ определяется по уравнению (10.а));

$\theta_p = (1 - \mu_p^2(T_p)) / E_p(T_p)$ и $\theta_{on} = (1 - \mu_{on}^2) / E_{on}$ - упругие постоянные материалов рабочего и опорного валков; $\mu_{on}, \mu_p, E_{on}, E_p$ - их коэффициенты Пуассона и модули упругости; T_p - температура поверхностного слоя рабочего валка [15, 16];

V_{on} - коэффициент поглощения внешней энергии материалом поверхностного слоя опорного валка [3-12]:

$$V_{on} = \varepsilon_{on} / (1 + \varepsilon_{on}); \quad (5.г)$$

$$\varepsilon_{on} = (((1 - \mu_{on}^2) / E_{on})^{2/3} \cdot R_{a(on)}^{1/3}) / (((1 - \mu_p^2(T_p)) / E_p(T_p))^{2/3} \cdot R_{a(p)}^{1/3})$$

- коэффициент распределения внешней энергии ($N_{mp(mex)}^{y0}$) между опорным и рабочим валком в зоне контакта;

$R_{a(on)}, R_{a(p)}$ - средняя арифметическая высота микронеровностей профиля поверхности опорного и рабочего валков соответственно;

$N_{mp(mex)}^{y0}(x, y, t_j)$ (в уравнении (5.а)) - распределение значений удельной мощности механической составляющей силы трения в точках поверхности контакта валков с координатами (x, y) в период t_j :

$$N_{mp(mex)}^{y0}(x, y, t_j) = \tau_{a(mex)}(x, y, t_j) \cdot V_{ск}(x, t_j); \quad (5.д)$$

$\tau_{a(mex)}(x, y, t_j)$ - механическая составляющая контактных касательных напряжений:

$$\tau_{a(mex)}(x, y, t_j) = p_a(x, y, t_j) \cdot f_{mex}; \quad (5.е)$$

$p_a(x, y, t_j)$ - распределение нормального межвалкового давления по ширине $2a(x, t_j)$ зоны контакта валков [3]:

$$p_a(x, y, t_j) = p_a(x, 0, t_j) \cdot (1 - y^2 / a^2(x, t_j)); \quad (5.ж)$$

$p_a(x, 0, t_j) = 3 \cdot f_n(x, t_j) / (4 \cdot a(x, t_j))$ - максимальное нормальное давление в точках с $y = 0$;

f_{mex} (в уравнении (5.е)) - механическая составляющая коэффициента трения в точках межвалкового контакта, определяемая по методике Крагельского-Добычина-Комбалова для установившегося режима трения:

$$f_{mex} = \frac{(1 \div 1,5) \cdot (\tau_0 \cdot \theta_{on} \cdot \alpha_{эф}) + \beta \cdot (\tau_0 \cdot \theta_{on} \cdot \alpha_{эф})^{0,5}}{3 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_{on} \cdot \alpha_{эф})^{0,5} + \beta}; \quad (5.3)$$

τ_0 , β и $\alpha_{эф}$ - касательное напряжение межмолекулярного взаимодействия материалов валков, коэффициент упрочнения молекулярной связи и коэффициент гистерезисных потерь материала опорного валка;

$V_{ск}(x, t_j)$ (в уравнении (5.д)) - распределение скоростей проскальзывания точек опорного и рабочего валка по длине контакта, определяемое из условия равновесия опорного валка [3];

$u_{eон*}$ - критическая энергоёмкость материала поверхностного слоя опорного валка в уравнении (5.а):

$$u_{eон*} = \Delta H_{Son} - u_{e0он} - u_{Ton}; \quad (5.и)$$

ΔH_{Son} - энтальпия материала опорного валка в жидком состоянии;

$u_{e0он} = (0,071 \cdot HV_{он})^{2,4} / (6 \cdot G(T_{он}) \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_{он} + 0,12 \cdot 10^{-2})^2)$ - среднее значение плотности скрытой энергии материала в исходном состоянии: при $t_j = 0$ и $T_{он} = T_{окр. среды}$; $HV_{он}$ - твердость поверхности валков по Виккерсу;

$u_{Ton} = \rho_{он} \cdot c_{он} \cdot T_{он}$ - тепловая составляющая плотности внутренней энергии материала опорного валка при стационарной температуре $T_{он} \approx (35...40)^\circ C$; $\rho_{он}$, $c_{он}$ - плотность и теплоемкость материала.

Таким образом, уравнение (4) с учетом (5)-(5, а-и) позволяет прогнозировать ресурс валковой системы по критерию точности активного профиля верхнего или нижнего опорного валков, в течение которого обеспечивается требуемый уровень разнотолщинности

прокатываемых полос.

Теперь покажем вывод уравнения для оценки среднего ресурса валковой системы $\bar{t}_{\delta j^*}$ по второму параметру $\bar{\delta}_{hj}$ - критерию работоспособности ВСК вида:

$$\bar{\delta}_{hj} < \delta_{hj^*}, \quad (6)$$

где δ_{hj^*} - предельно-допустимое (по ГОСТ) значение поперечной разнотолщинности j -ой партии полос.

В этом случае уравнение эволюции ВСК для стационарных условий прокатки по аналогии с (2) можно представить в виде:

$$\bar{\delta}_{hj} = \Delta_{pj}^g + \Delta_{pj}^h = \left(\Delta_{p0}^g + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^g \cdot t_j \right) + \left(\Delta_{p0}^h + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^h \cdot t_j \right), \quad (7)$$

а уравнение перехода ВСК в предельное состояние - выражением:

$$\bar{\delta}_{hj} = \left(\Delta_{p0}^g + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^g \cdot t_j \right) + \left(\Delta_{p0}^h + \sum_{j=1}^j \bar{\Delta}_{pj}^h \cdot t_j \right) = \delta_{hj^*}. \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8):

Δ_{pj}^g и Δ_{pj}^h - величина текущего профиля активной образующей верхнего и нижнего рабочего вала соответственно в процессе прокатки j -той партии полос по их ширине;

Δ_{p0}^g и Δ_{p0}^h - величина исходной профилировки верхнего и нижнего рабочего вала по ширине первой полосы $B_{j=1}$ (при $t_j = 0$);

Средний ресурс валковой системы по критерию работоспособности (6) определяется решением уравнения (8), относительно $t_j = \bar{t}_{\delta j^*}$, записанного в виде (см. вторую статью авторов в данном сборнике, ф.(8)):

$$\bar{t}_{\delta j^*} = \frac{\delta_{hj^*} - \Delta_{p0}^g - \Delta_{p0}^h - \left(\sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{pj}^g + \sum_{j=1}^{j-1} \bar{\Delta}_{pj}^h \right) \cdot t_j}{\bar{\Delta}_{pj}^g + \bar{\Delta}_{pj}^h}. \quad (9)$$

Среднюю скорость деградации ВСК по критерию точности профиля прокатываемой полосы $\bar{\delta}_{hj}$ можно оценить по методике расчета искажения профиля обоих рабочих валков по ширине j -ой полосы при их изнашивании в очаге деформации с использованием

уравнения вида:

$$\begin{aligned} \bar{\delta}_{h,j} &= \bar{\Delta}_{p,j}^e + \bar{\Delta}_{p,j}^u = \\ &= \left(\dot{R}_p^e(0, t_j) - \dot{R}_p^e(B_j, t_j) \right) + \left(\dot{R}_p^u(0, t_j) - \dot{R}_p^u(B_j, t_j) \right), \end{aligned} \quad (10)$$

где $\bar{\Delta}_{p,j}^e$ и $\bar{\Delta}_{p,j}^u$ - скорость изменения профиля активной образующей верхнего и нижнего рабочего вала соответственно по ширине j -ой партии полос;

$\dot{R}_p^e(0, t_j)$, $\dot{R}_p^e(B_j, t_j)$, $\dot{R}_p^u(0, t_j)$, $\dot{R}_p^u(B_j, t_j)$ - скорости изнашивания верхнего и нижнего рабочего вала в процессе прокатки j -той партии полос одного типоразмера над (под) серединой ($x = 0$) и кромкой $x = B_j$ полосы соответственно.

Распределение скоростей изнашивания точек верхнего и нижнего рабочего вала по ширине прокатываемой полосы $\dot{R}_p(x, t_j)$ (по координате x , отсчитываемой от середины бочки) определяли с использованием модели процесса изнашивания стационарных трибосопряжений [3-12]:

$$\dot{R}_p(x, t_j) = \frac{V_p}{u_{ep*}} \cdot \left(\sum_{k=1}^2 N_{mp(mex)k}^{y\delta}(x, t_j) + \sum_{k=4}^5 N_{mp(mex)k}^{y\delta}(x, t_j) \right); \quad (10.a)$$

V_p - коэффициент поглощения внешней энергии материалом поверхностного слоя рабочего вала, определяемый по условиям (5.г) для характеристик рабочего вала и полосы;

u_{ep*} - критическая энергоёмкость материала рабочего вала:

$$u_{ep*} = \Delta H_{Sp} - u_{e0p} - u_{Tp}; \quad (10.б)$$

ΔH_{Sp} - энтальпия материала рабочего вала в жидком состоянии;

u_{e0p} определяется по (5.и) в функции твердости рабочего вала;

$u_{Tp} = \rho_p \cdot c_p \cdot T_p$ - тепловая составляющая плотности внутренней энергии материала рабочего вала при температуре T_p ; ρ_p ,

c_{on} - плотность и теплоемкость материала при температуре T_p ;

$k = 1...5$ - номер участка на длине l_c упруго-пластического очага

деформации [14] (наличие зоны прилипания определяли по известному условию А.А. Королева);

$N_{mp(mex)k}^{y\theta}(x, t_j)$ (в уравнении (10.а)) - распределение по ширине полосы (по координате x) удельной мощности механической составляющей силы трения на каждом k - том участке скольжения в зоне контакта рабочего вала с полосой в период времени t_j прокатки j -той полосы:

$$N_{mp(mex)k}^{y\theta}(x, t_j) = \tau_{mex k}(x, t_j) \cdot V_{ck k}(x, t_j); \quad (10.в)$$

$\tau_{mex k}(x, t_j)$ - распределение по ширине полосы (по координате x) механической составляющей контактных касательных напряжений на k - том участке очага деформации в период времени t_j :

$$\tau_{mex k}(x, t_j) = p_{cp k}(x, t_j) \cdot f_{mex k}(x, t_j); \quad (10.д)$$

$p_{cp k}(x, t_j)$ - распределение по ширине полосы (по координате x) среднего давления на каждом k - том участке в зоне контакта рабочего вала с полосой в период времени t_j , определяемое по методике [14];

$f_{mex k}(x, t_j)$ - распределение по ширине полосы (по координате x) значений механической составляющей коэффициента трения на каждом k - том участке скольжения полосы относительно валков в период времени t_j определяли:

- на участках упругого проскальзывания полосы в зоне отставания и опережения очага деформации (для $k = 1, 5$) - по методике Крагельского-Добычина-Комбалова [3-11]:

$$f_{mex1,5}(x, t_j) = \frac{(1 \div 1,5) \cdot (\tau_{0p} \cdot \theta_p(T_p) \cdot \alpha_{эфp}) + \beta_p \cdot (\tau_{0p} \cdot \theta_p(T_p) \cdot \alpha_{эфp})^{0,5}}{3 \cdot (\tau_{0p} \cdot \theta_p(T_p) \cdot \alpha_{эфp})^{0,5} + \beta_p}; \quad (10.е)$$

τ_{0p} , β_p и $\alpha_{эфp}$ - касательное напряжение межмолекулярного взаимодействия пары трения "валок - полоса", коэффициент упрочнения молекулярной связи и коэффициент гистерезисных потерь материала рабочего вала;

- на участках пластического скольжения полосы в зоне отставания и опережения очага деформации (для $k = 2, 4$) - по [17, 18]:

$$f_{mex2,4}(x, t_j) = m \cdot \sqrt{\xi \cdot R_{\max(p)} / r_{(p)}}, \quad (10.ж)$$

$m = \sigma_{\phi_k} / \sigma_{\phi}$ - коэффициент упрочнения контактного слоя; при горячей прокатке $\sigma_{\phi_k} \approx \sigma_{\phi}$ по методике Л.В. Андреюка [14];

ξ - коэффициент относительного сближения по методике [17];

$R_{\max(p)}$, $r_{(p)}$ - наибольшая высота неровностей профиля и средний радиус кривизны вершин поверхности рабочего валка;

$V_{ск k}(x, t_j)$ - распределение скоростей проскальзывания точек полосы и рабочего валка на каждом k - том участке скольжения в уравнении (10.г) согласно [14].

Таким образом, уравнение (9) с учетом (10)-(10, а-и) позволяет прогнозировать ресурс валковой системы по критерию точности профиля прокатываемых полос, в течение которого обеспечивается требуемый уровень их поперечной разнотолщинности.

Библиографический список

1. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Надежность, 2013. – №3 (46).– С. 5-14.
2. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
3. Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г. Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №3. С. 74-79.
4. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, №4. С. 56-61.
5. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл), М.Г. Слободянский, А.С. Губин, В.А. Русанов, И.Ю. Чекалин, В.П. Анцупов // «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». 2010. №3. С. 54-60.

6. Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, И.Ю. Чекалин, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С. 38-45.
7. Методология вероятностного прогнозирования безотказности и ресурса трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, В.А. Русанов, В.П. Анцупов // Известия Самарского научного центра РАН. 2011, т. 13, № 4(3) (Приложение). С. 19-22.
8. Анцупов А.В. Методология прогнозирования надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. №2. С.3-9.
9. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: Монография / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013.- 293с.
10. Модель процесса изнашивания трибосопряжений на основе термодинамического анализа их состояния / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.264-268.
11. Прогнозирование показателей надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов, И.Ю. Чекалин, В.П. Анцупов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.262-264.
12. Анцупов А.В. Научные и методологические основы прогнозирования параметрической надежности трибосопряжений на стадии проектирования // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: Международный сб. науч. тр. / под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. - С. 36-39.
13. Салганик В.М., Мельцер В.В. Исследование на ЭВМ деформаций и нагрузок валковой системы кварто: учебное пособие – Свердловск: УПИ 1987. – 78 с.
14. Гарбер Э.А., Кожевникова И.А. Теория прокатки: Учеб. для студентов вузов.- Череповец: ЧГУ; М.: Теплотехник, 2013.-305с.
15. Модель теплового состояния рабочего вала НШСГП при его охлаждении водовоздушным потоком / А. В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.В. Налимова, И.М. Ячиков, А.М. Овсов //

- Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: Международный сб. научн. тр. / Под ред. Н.Н. Огаркова, Магнитогорск, 2008. С.158-164.
16. Гарбер Э.А., Хлопотин М.В. Моделирование и совершенствование теплового режима и профилировок валков широкополосных станов горячей прокатки: Моногр. – Череповец: ЧГУ; М.: Теплотехник, 2013. – 113 с.
 17. Горенштейн М.М. Трение и технологические смазки при прокатке.- "Техника", 1972.-192с.
 18. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. Леванов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П. и др. - М., "Металлургия", 1976.-416с.

УДК 621.721

**К.Н. Вдовин, А.А. Зайцева,
Н.А. Феоктистов, М.В. Антонов**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: vdovin@magtu.ru
Дата поступления 18.09.2014

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО СЛОЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО ВАЛКА

Аннотация

Представлена технология изготовления центробежно-литого листового валка для станов горячей прокатки. Определены основные технологические параметры заливки чугуна рабочего слоя и сердцевины валка. Установлена необходимая температура заливки чугуна сердцевины, средняя скорость затвердевания рабочего слоя валка от толщины рабочего слоя и температуры заливки и литейной формы, а также зависимость доли вытекшего флюса от температуры внутренней поверхности рабочего слоя листового валка. Все это способствовало повышению качества производимой продукции.

Ключевые слова: центробежное литье, чугун, форма, валок, температура, сердцевина, кокиль.

На Магнитогорском заводе прокатных валков производят двухслойные листовые прокатные валки марки ЛПХНМд-71 и

центробежным способом литья, которые применяются в чистовых клетях широкополосных станов горячей прокатки. При этом возникают проблемы сваривания рабочего слоя вала с сердцевинной.

Сущность технологии заключается в отливке рабочего слоя толщиной до 100 мм на центробежной машине в окрашенную металлическую изложницу (кокиль). На зеркало жидкого металла подается защитный порошкообразный флюс. После остановки машины кокиль переносится в кессон, где он устанавливается на подготовленные формы нижней и верхней шейки, затем производится заливка чугуна сердцевинной вала.

Большое значение для сваривания двух чугунов (рабочего слоя и сердцевинной) имеет характер изменения температуры внутренней поверхности рабочего слоя с течением времени. Температура внутри вращающегося кокиля измеряется специальным оптическим пирометром (рисунок 1).

Установили, что в процессе изготовления центробежно-литых валков существует начало и конец "колена" – плато на температурной кривой, указывающие на начало и окончание выпадения эвтектики. Окончанию затвердевания металла на внутренней поверхности рабочего слоя соответствует окончание "колена", это одновременно указывает на полное затвердевание всей отливки, поскольку рабочий слой затвердевает в соответствии с принципом направленной кристаллизации от внешней поверхности к внутренней. С этого момента начинается торможение литейной формы.



Рисунок 1. Зависимости температуры внутренней поверхности рабочего слоя листового вала от времени:

- 1 – температура рабочего слоя после остановки вращения;
- 2 – после переноса изложницы краном на плац; 3 – после установки изложницы в кессон

После остановки вращения литейной формы кокиль переносят

краном на плац, переворачивают; из него стекает излишек флюса (иногда его дополнительно счищают) и устанавливают его в кессон в вертикальном положении. На форму сверху устанавливают прибыльную надставку в сборе с заливочной воронкой.

Одновременно с переносом формы с центробежной машины на плац производят выпуск чугуна сердцевины валка из печи в подготовленный ковш. Измеряют температуру этого металла.

Причем резерв времени между этими операциями не превышает 30...60 с. Исследования показали, что температура металла сердцевины валка перед заливкой должна быть выше заливочной на 40...50 °С после выпуска из печи. Через установленную воронку заливают чугун в собранную форму в кессоне. После заливки всего чугуна прибыль засыпают теплоизоляционным материалом.

В процессе вращения кокиля исследовали скорость затвердевания жидкого металла, она была не постоянной, так как коэффициент теплопередачи между отливкой и стенкой кокиля с повышением толщины газо-воздушного зазора между ними снижается, при этом скорость затвердевания металла тоже снижается. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи между отливкой и формой с шириной газо-воздушного зазора между отливкой и формой показана на рисунок 2.

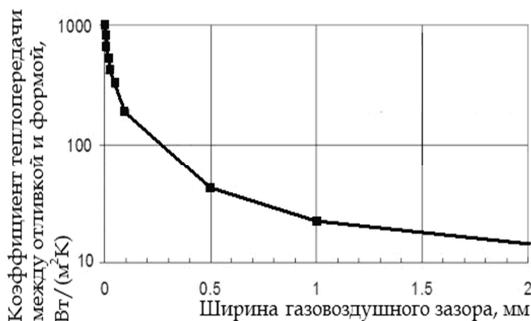


Рисунок 2. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи между отливкой и формой с шириной газо-воздушного зазора

Кроме этого фактора, на скорость затвердевания влияют следующие факторы:

- толщина рабочего слоя;
- скорость и температурный диапазон заливки рабочего слоя;
- температура литейной формы перед заливкой;
- толщина стенки кокиля;
- толщина и теплофизические характеристики антипригарного слоя;

– толщина и теплофизические характеристики слоя флюса.

Толщина рабочего слоя. Существенное воздействие на скорость затвердевания рабочего слоя оказывает его толщина, которую, как правило, задают постоянной для всех отливаемых листопркатных валков определенного типоразмера.

При заливке металла рабочего слоя в кокиль с внутренним диаметром больше требуемого, его толщина корректируется массой заливаемого металла так, чтобы внутренний диаметр отливки совпадал с заданным. Корректировка наружного диаметра рабочего слоя осуществляется в процессе механической обработки.

Провели анализ изменения величины скорости затвердевания рабочего слоя листовых валков размерами 808x2000 мм от его толщины. Варьировалась толщина бандажа от 600 до 1200 мм, а остальные начальные условия, включая толщину стенки кокиля, не меняли. В результате получили экспериментальную и расчётную зависимости, приведенные на рисунке 3.

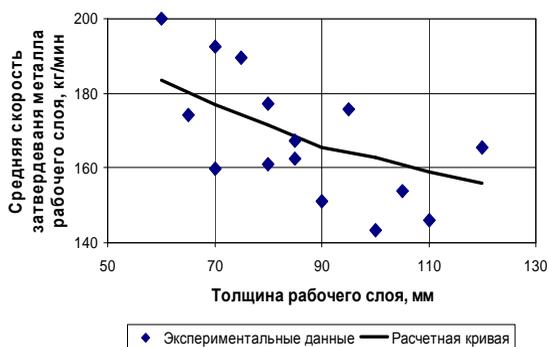


Рисунок 3. Экспериментальная и расчётная зависимости средней скорости затвердевания металла рабочего слоя листового валка размерами 808x2000 мм от толщины рабочего слоя

Скорость и температурный диапазон заливки рабочего слоя.

Провели анализ изменения величин скорости затвердевания рабочего слоя валков от температуры и от скорости его заливки.

Температуру заливки металла рабочего слоя $T_{зал}$ изменяли в зависимости от температуры ликвидуса металла рабочего слоя T_l в диапазоне $T_l + 90 \dots T_l + 180$ °С. Прочие начальные условия литья для всех исследованных валков оставляли одинаковыми. Время завершения затвердевания металла рабочего слоя определяли оптическим пирометром ИМРАС IS-140 [1]. На рисунке 4 показаны полученные зависимости.

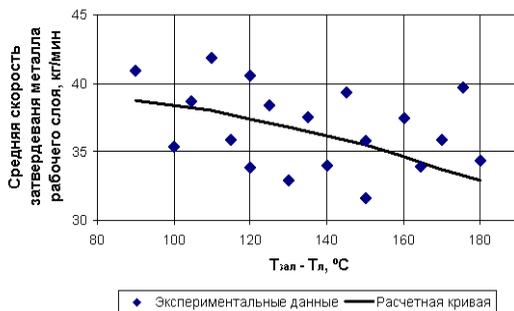


Рисунок 4. Экспериментальная и расчётная зависимости средней скорости затвердевания металла рабочего слоя валька от температуры заливки рабочего слоя

Исследовали зависимость температуры металла рабочего слоя от времени затвердевания. Установили, что начальное переохлаждение металла рабочего слоя $T_{зал}$ ниже $T_{л}+110$ °C ведет к дефектам в виде расслоений в рабочем слое. Причиной является тот факт, что впервые минуты заливки металла в стальную изложницу происходит тепловой удар, который приводит к тому, что наружный поверхностный слой металла практически сразу охлаждается до температуры самой изложницы. При этом последующий металл, при условиях пониженной температуры заливки и слабого напора, не способен выделить необходимое для расплавления уже затвердевших слоев количество теплоты. В результате наблюдается неравномерность скорости затвердевания металла по сечению рабочего слоя, сопровождающееся расслоением и прочими его дефектами.

Установили, что перегрев металла рабочего слоя $T_{зал}$ более $T_{л}+140...T_{л}+150$ °C приводит к повышению времени его затвердевания, а, следовательно, к увеличению времени технологического процесса изготовления валька и затрат на электроэнергию.

Выявили, что для большинства листовых вальков температура заливки металла рабочего слоя валька составляет – $T_{л}+110... T_{л}+120$ °C. При этой температуре заливки не происходит расслоений, «неспаев» и прочих дефектов рабочего слоя листового валька.

При заливке рабочего слоя листового валька скорость должна быть такой, чтобы рабочий слой формировался однородным по всему сечению и антипригарный слой не смывался.

Проведённый анализ показал, что для листовых вальков рациональная скорость заливки металла рабочего слоя должны быть в пределах 40...60 кг/с.

Температура литейной формы перед заливкой. В процессе изготовления вала жидкий металл непосредственно контактирует только с определенной частью литейной формы: в случае сортовых валков – со стальной вставкой, листовых валков – с кокилем. При этом именно кокиль (вставка) оказывают влияние на процесс теплообмена и формирование структуры рабочего слоя вала.

Провели анализ зависимости скорости затвердевания металла рабочего слоя вала от температуры кокиля перед заливкой. Температуру кокиля перед заливкой изменяли в диапазоне 110...210 °С. Прочие начальные условия литья были постоянными [1]. По итогам проведения анализа, получены экспериментальная и расчетная зависимости, показанные на рисунке 5.

Анализ зависимостей показал, что дефекты, возникающие при низких температурах заливки рабочего слоя, могут проявляться и при пониженных температурах кокиля (вставки) в диапазоне 100...120 °С перед заливкой. Компенсация пониженной температуры кокиля путем небольшого повышения температуры заливаемого металла возможна, однако четких зависимостей в данной ситуации не выявлено, так как для различных валков масса заливаемого металла, толщина рабочего слоя и кокиля находятся не на одном уровне.

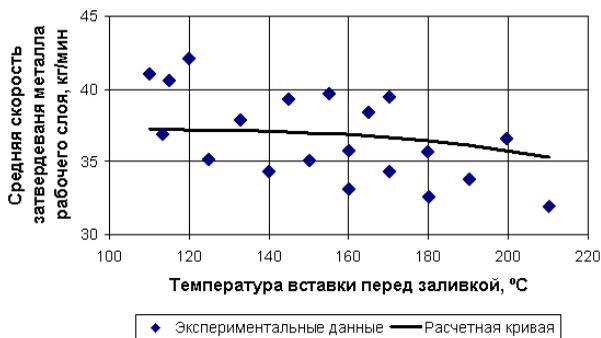


Рисунок 5. Экспериментальная и расчетная зависимости средней скорости затвердевания металла рабочего слоя вала от температуры литейной формы перед заливкой рабочего слоя от температуры кокиля (вставки)

При пониженных (недостаточных) температурах кокиля (вставки) повышается вероятность смыва антипригарного покрытия, поскольку при снижении температуры его прочность понижается. При соприкосновении жидкого металла с недостаточно нагретой поверхностью кокиля (вставки) происходит мощный тепловой удар. Внутренняя поверхность

кокиля (вставки) резко нагревается при этом температура наружной поверхности практически неизменной [1-3]. В результате таких тепловых нагрузок возрастает вероятность механического разрушения кокиля (вставки) в виде горячих продольных трещин и сеток разгара на его (ее) внутренней поверхности.

С другой стороны, при повышенной температуре кокиля (вставки) в диапазоне 180...200 °С перед заливкой процесс теплоотвода снижает скорость, затвердевание металла рабочего слоя происходит медленно. Это можно компенсировать повышением температуры кокиля (вставки) одновременно снижая температуру заливаемого металла.

Установили, что рациональной температурой кокиля (вставки) при литье листовых валков является диапазон 160...170 °С [1-3].

Толщина стенки вставки (кокиля), изложницы. При проектировании машины центробежного литья, как правило, задаются габариты кокиля, изложницы: наружный диаметр, длина и масса, поскольку от этих параметров зависят такие конструктивные и технические характеристики машины как расстояние между приводными и опорными роликами, их диаметр, наличие страховочных роликов и высота их крепления, мощность электродвигателей привода роликов и др. Поэтому корректировка скорости затвердевания металла путем изменения толщины стенки вставки (кокиля), изложницы после ввода в работу центробежной машины практически невозможно.

При расчете толщины стенки кокиля (вставки) при конструировании машины центробежного литья необходимо принять во внимание, что при слишком толстой стенке кокиля, скорость затвердевания металла будет низкой, а при слишком тонкой - во время затвердевания металла кокиль (вставка) будет испытывать сильный нагрев (до 700...900 °С на наружной границе), который может привести к его преждевременному износу. Выбранная толщина стенки должна обеспечивать необходимую скорость затвердевания для получения требуемой микроструктуры. Для расчёта необходимой толщины стенки (для листовых валков) и толщины стенки вставки + изложницы (для сортовых валков) вывели формулу [1]:

$$\Delta h = 3,5 \cdot \delta ,$$

где δ – толщина рабочего слоя валка, мм.

Толщина слоя антипригарного покрытия. Перед заливкой на внутреннюю поверхность вставки (кокиля) наносят антипригарный слой. В процессе затвердевания и охлаждения металла рабочего слоя, между отливкой и кокилем образуется газо-воздушный зазор. Ширина его динамически увеличивается и оказывает существенное влияние на величину коэффициента теплопередачи между отливкой и кокилем (вставкой). Главной функцией покрытия является «смягчение» теплового

удара во время заливки жидкого металла в относительно холодный кокиль и не допущение приваривания металла к стенкам кокиля до тех пор, пока вследствие усадки не образуется газо-воздушный зазор требуемой ширины [2-3].

Экспериментально установили, что рациональная толщина антипригарного слоя, нанесенного с помощью пульверизатора, для различных валков должна составлять 0,5...4 мм [1-3].

Толщина слоя флюса. Применение флюса в изготовлении литых валков необходимо для защиты внутренней поверхности рабочего слоя от окисления и избыточного охлаждения. Толщина слоя флюса, как правило, должна составлять 2...5 % от толщины рабочего слоя центробежно-литого валка. При этом 40...60 % флюса должно вытечь после остановки кокиля (изложницы) и установки его в вертикальное положение. Установили, что в этом случае оставшаяся на поверхности рабочего слоя тонкая корочка флюса, очищенного от вредных примесей, при заливке сердцевины успеет расплавиться и всплыть в прибыльную часть отливки. Интенсивность вытекания флюса зависит от его вязкости, которая, в свою очередь, зависит от температуры. Поэтому важным является вопрос определения температуры рабочего слоя на момент остановки кокиля, чтобы вытекло требуемое количество флюса.

Провели измерения доли вытекшего флюса (D) после остановки кокиля и прослеживания температуры внутренней поверхности рабочего слоя валка (T ; T_l – температура ликвидуса металла рабочего слоя) в момент измерения доли вытекшего флюса. Полученные расчетные зависимости представлены на рисунке 6.

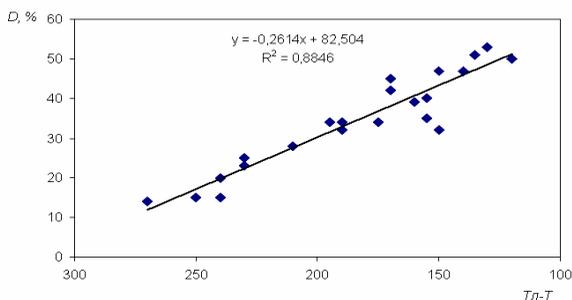


Рисунок 6. Зависимость доли вытекшего флюса от температуры внутренней поверхности рабочего слоя листового валка

В результате проведенных экспериментов установили рациональную температуру рабочего слоя, обеспечивающую вытекание требуемого количества флюса: $T_{opt} = T_l - 120 \dots T_l - 140$ °C [1-3].

Поскольку в промышленных условиях не всегда удается получить

такую температуру на момент остановки формы, чаще всего она на 30...40 °С ниже, поэтому желательно иметь легкоплавкий флюс [4].

Исследовав основные технологические факторы, влияющие на качество производимых валков, добились существенного улучшения их качества и снижения внутрицехового брака.

Библиографический список

1. Вдовин К.Н. Прокатные валки: монография/ - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. Ун-та им. Г.И. Носова, 2013. -443 с.
2. Оптимальные условия сваривания металлов рабочего слоя и сердцевины при центробежном литье прокатных валков / К.Н. Вдовин, И.М. Ячиков, М.В. Антонов и др. // Литейщик России, 2009, № 5. С.18-20.
3. Совершенствование технологии центробежного литья листопркатных валков / К.Н. Вдовин, И.М. Ячиков, М.В. Антонов и др. // Литейное производство, 2009, № 3. С.15-17.
4. Патент № 2479378№ РФ. Флюс для центробежного литья / К.Н. Вдовин, В.В. Сарычев, Л.Г. Сыч и др. Оpubл. 20.04. 2013.

УДК 621.778.1.06

А.Ю. Столяров
ООО «Специальные технологии»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: ays@special-teh.ru
Дата поступления 22.08.2014

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОРДА С ПОВЫШЕННЫМ ПРОНИКНОВЕНИЕМ РЕЗИНЫ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Аннотация

В статье показан опыт освоения технологии производства перспективной конструкции металлокорда 3/5x0,325, разработанной в ООО «Специальные технологии» (г. Магнитогорск) для брекерного слоя грузовых автомобильных шин. Металлокорд 3/5x0,325 отличается от своих аналогов высоким комплексом механических свойств, повышенным проникновением резины и ресурсосберегающей технологией производства.

Одной из наиболее важных задач при продвижении на рынке

такого продукта как металлокорд является своевременная его омологация на шинных заводах при разработке новых конструкций шин или изменений условий эксплуатации шин. Связано это с тем, что шинное производство, как наиболее развивающаяся отрасль промышленности, динамично реагирует на возрастающие потребности автопрома и, соответственно, выдвигает особые требования ко всем своим поставщикам сырья и материалов.

К примеру, в нашей стране давно уже утратили свою актуальность требования отечественных государственных стандартов на армирующие материалы для автомобильных шин. На сегодняшний день металлокорд и бортовая проволока поставляется по согласованным с потребителями особым требованиям в виде спецификаций на каждый типоразмер.

Изменение сортамента выпускаемой продукции для любого предприятия вызывает необходимость мобильной модернизации действующего или приобретения нового технологического оборудования. Причём второй путь помимо того, что более затратный, ещё и не совсем эффективный, поскольку на сегодняшний день в мире далеко не все производители готовы к выпуску морально нового оборудования для производства современных конструкций металлокорда. Всё больше находят применение конструкции металлокорда, имеющие такие «ноу-хау» (металлокорд с волновыми элементами нитей, металлокорд типа «BETRU», металлокорд типа «High Impact» и т.д.), что поставщикам серийного оборудования просто «не угнаться» за быстро развивающимся рынком и разработками новых конструкций.

По этой причине новые конструкции металлокорда, осваиваемые и разрабатываемые в ООО «Специальные технологии», проектируются с учётом последующих минимальных затрат на модернизацию основного технологического оборудования для их производства, поскольку конкурентоспособность готового металлокорда во многом определяется мобильностью адаптации действующих производственных потоков и мощностей к выпуску новых видов продукции.

Наиболее удачной по совокупности выше перечисленных признаков можно считать разработанный в ООО «Специальные технологии» металлокорд типа 8Л33 конструкции 3/5x0,325. Данный тип металлокорда предназначен для использования в брекерных слоях грузовых автомобильных шин и, помимо высокого уровня прочности и жёсткости, отличается повышенным проникновением резины.

Эволюция грузового металлокорда от классического 29Л18А (7x4)x0,175+1x0,15, выпускаемого по ГОСТ 14311-85 «Металлокорд. Технические условия» до современного 3/5x0,325 показана на рисунке 1.

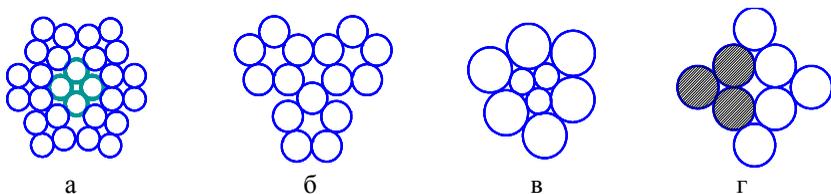


Рисунок 1. Изменение сортамента «грузового металлокорда»:
 а - 29Л18/15А (7х4)х0,175+1х0,15; б-15Л24 (3х5х0,245);
 в - 9Л20/35НТ (3х0,20+6х0,35); г - 8Л33 (3/5х0,325).

Конструктивно металлокорд 3/5х0,325 отличается от аналогов тем, что он состоит из двух элементов: пряди из трёх проволок, показанной на рисунке 1 заштрихованной; пяти проволок внешнего повива святых с прядь так, что по длине витой структуры проволоки пряди выступают между проволоками внешнего повива, чередуясь с ними на длине каждого шага свивки. При этом продольная ось пряди огибает по спирали продольную ось витой структуры, благодаря чему обеспечивается повышенный комплекс механических свойств металлокорда и проникновение резины.

Известно [1], что когда нити пряди и металлокорда имеют один диаметр они склонны к смещению сердечника при раскросе обрезиненного полотна. Конструкция металлокорда 3/5х0,325 лишена этого недостатка за счёт повышенной затекаемости резиновой смеси, которая при проникновении внутрь нитей корда обеспечивает:

- механическое крепление волокон сердечника;
- высокий уровень прочности связи с резиной всей конструкции.

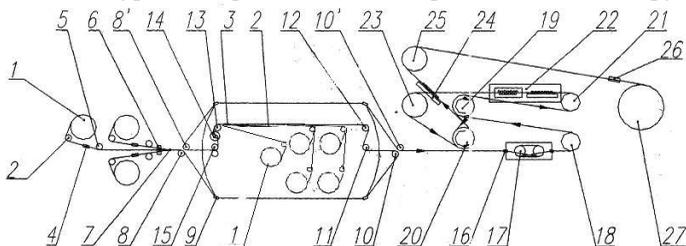


Рисунок 2 - Схема заправки модернизированной канатной машины:

- 1 - питающая катушка; 2 – ролики тормозного устройства;
- 3,4,6 - цилиндрические ролики; 6,7,9 - желобчатые ролики; 5,8, 8', 10, 10', 11, 12, 13, 15, 18,21,23,25 - система обводных роликов;
- 14 - преформирующее устройство; 16 - ниппель; 17 - торсион;
- 19 - верхняя галета (вытяжной механизм); 20 - нижняя галета (вытяжной механизм); 22,24 - рихтовальное устройство; 26 - укладочный механизм (схематично); 27 - приемная катушка.

Конкурентоспособность металлокорда 3/5x0,325 по сравнению с аналогами обеспечивается сокращённой технологической схемой его изготовления за счёт исключения дополнительной операции свивки пряжи, а также эффективной технологией свивки готового изделия методом как одинарной, так и двойной крутки. Оригинальность конструкции металлокорда позволяет использовать три выносные (отдающие) питающие катушки, как на машинах одинарного кручения, так и двойного. При двойном кручении на участке от роликов 8 до 10 (см. рисунок 2) пряжь сначала подкручивается, а затем на участке от роликов 8' до 10' раскручивается, обеспечивая тем самым требуемое положение проволок в конструкции корда.

Таким образом, при изготовлении металлокорда данной конструкции возможна загрузка действующего оборудования - машин роторного типа [2] SRN 2/6x160 и SRK (6+1)x160, имеющегося на вооружении предприятия с 70-ых годов прошлого века, так и использование более прогрессивных методов свивки по типу двойного кручения.

С этой целью в ООО «Специальные технологии» была проведена модернизация морально устаревшего оборудования – канатных машин одинарного кручения типа DV-2 (3+1)x165 немецкой фирмы «Barmag»:

- демонтированы ротора канатной машины с установкой двух крутильных дисков (тазов) с системой проводных фильеров, изменено количество кареток;
- принципиально изменена схема крутки с одинарной на двойную за счёт установки дополнительной проводной системы с изменением схемы заправки машины;
- демонтированы шаговые редукторы и редукторы главного привода с заменой на частотный привод с зубчатыми ремнями;
- установлено устройство подкрутки металлокорда для придания ему нераскручиваемости и нулевой остаточной крутимости (торсион) [3];
- произведена установка роликового преформатора, обеспечивающего за счёт работы в режиме трения-качения пониженный износ инструмента (твёрдосплавных преформирующих роликов).

В результате была получена модернизированная канатная машина двойного кручения типа DVM 2(5+3) по своим техническим характеристикам не уступающая известным машинам конфигурации 3-5xd системы IN-OUT, которые предлагаются сегодня западными производителями.

Загрузка действующего и модернизированного канатного оборудования позволила наладить в ООО «Специальные технологии»

выпуск опытных партий металлокорда 3/5x0,325, успешно омологировать их, а затем выйти на серийное использование металлокорда 3/5x0,325 при производстве грузовых автомобильных шин.

Библиографический список

1. Ильясов Р.С. Шины. Некоторые проблемы эксплуатации и производства / Р.С. Ильясов, В.П. Дорожкин, Г.Я. Власов, А.А. Мухутдинов.- Казань: Издательство Казанского государственного технологического университета.- 2000.- 576 с.
2. Немудрый Б.А. Оборудование для свивки металлокорда / Б.А. Немудрый // Ин-т «Чермет-информация».- сер. 9.- Метизное производство.- вып.2.- М.-1980.-28 с.
3. Бирюков Б.А. Расчёты параметров свивки металлокорда / Б.А. Бирюков, Ю.В. Феоктистов, С.Н. Игнатьев. - Минск: Белоростанкинпромиздат.-1996.-128 с.

УДК 629.113

М.В. Иванов, А.С. Ишеков, Е.А. Бардин
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: boris.borokhovich@mail.ru
Дата поступления 01.07.2014

РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОГО СТЕНДА И ИСПЫТАНИЕ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ПОЛИЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Аннотация

Разработан вибрационный стенд для исследования вертикально направленных колебаний в широком диапазоне изменения виброускорений, виброскоростей и виброперемещений подвижной рамы. Теоретически определены основные параметры линзообразного пневмодемфера и проведены его первоначальные испытания.²

Ключевые слова: колебания, вибрация, виброизоляция, пневмоупругие элементы, газовые амортизаторы высокого и низкого давления, вязкое трение.

² Работа выполнена под руководством к.т.н., доцента кафедры ТМ и СМ МГТУ им. Г.И. Носова Бороховича Б.А.

Высокочастотные колебания механических систем гасятся пневмоупругими связями: пневматические подвески на Ладе Приоре, БЕЛАЗе, троллейбусах, вагонах пассажирских поездов, амортизаторы на тяжелых грузовиках (например, фирмы «МАН»), в стойках самолетов [1], в вибрационных конвейерах и грохотах [2], в подвесках кабин лифтов [3], в конструкциях вибробезопасных ручных машин [4], [5]. Для демпфирования низкочастотных колебаний, изменяющихся по любым законам, служат поглотители колебаний с высоковязкой жидкостью [6]. Все вышеназванные устройства просты по конструкции, в них отсутствует упругий элемент, склонный к усталостным поломкам.

Отличие пневмоупругих связей от других в том, жесткость не является постоянной и может регулироваться в процессе работы, частота собственных колебаний мала, большая грузоподъемность при относительно малой жесткости, нелинейность характеристики, улучшающие амортизационные качества и др.

С целью отработки ряда конструкций демпферов, позволяющих сглаживать высокочастотные колебания, разработан и собран вибрационный стенд, содержащий два вибратора типа 2,5 – 3000, работающие в режиме самосинхронизации (двигатель асинхронный В71 А4 У2, мощность вибратора 0,55 кВт, угловая скорость вращения 1350 об/мин). Стенд позволяет менять массу и эксцентриситет дебалансов вибраторов, массу нижней подвижной рамы, на которой установлены вибраторы и грузы и жесткость ее опорной части в широких пределах. С подвижной рамой через тяги взаимодействует подвижная каретка, направляющие ролики которой опираются на вертикальные проводники вибростенда. На подвижной каретке устанавливается пневмодемпфер, которой второй своей опорной поверхностью взаимодействует с верхней подвижной опорной рамой, обеспечивающей предварительное статическое нагружение демфера. Параметры вибрации фиксируются через вибродатчик, установленный на верхней опорной раме. Расположение тяг позволяет передавать вибрационную нагрузку, создаваемую вибраторами через узловую точку, расположенную в нижней части подвижной каретки. (рисунок 1).

Для определения параметров вибрации использовались виброметр электрический балансировочный ЭВМ – БП2, виброизмерительные приборы ВИП -2, измерители шума и вибраций ВШВ – 003 и электронный виброметр ВЭ – КИСИ – 1.

Первоначально для защиты объекта от воздействия вибрации исследовались пневматические виброизоляторы (амортизаторы), которые обеспечивают снижение динамических нагрузок от вибрации и в которых совмещались функции упругого элемента и демпфера. Пневмоупругие элементы были выполнены линзообразной формы (рисунок 2), жесткость

которых зависит от опорной площади, давления и объема сжатого газа, а также свойств резиновых оболочек. Совмещение пневмодемфера с гидравлическим демпфером позволяет практически гасить любые поличастотные колебания.



Рисунок 1. Общий вид испытательного стенда по замеру параметров вибрации



Рисунок 2. Линзообразные пневмодемферы для гашения колебаний

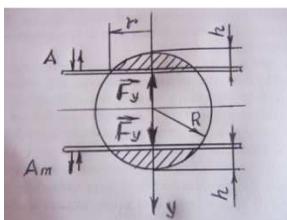


Рисунок 3. Расчетная схема демпфирующего устройства

Для конструкции пневмодемфера, состоящего из двух упруго-эластичных оболочек, соединенных между собой по периметру и образующих двояковыпуклую линзу теоретически определим упругую силу в зависимости от давления сжатого воздуха, площади опорной поверхности и ее объема. Первоначально считаем, что линза под действием внутреннего давления сжатого воздуха без приложения к ней

статической нагрузки принимает форму сферы радиусом R (рисунок 3), начальный объем которой находим по формуле:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (1)$$

Первоначальное (абсолютное) давление воздуха на оболочку равно:

$$p_1 = p_в - p_a, \quad (2)$$

где $p_в$

– внутреннее первоначальное давление в сферической оболочке;

p_a – давление наружного воздуха.

При нагружении демпфера внешней статической силой объем сферы уменьшается на два шаровых сегмента. Запишем отношение давлений в демпфере p_2 к p_1 при изменении объема с V_1 до V_2 :

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n \quad (3)$$

Пренебрегая теплоотдачей в окружающую среду можно принять показатель политропы, равным показателю адиабаты $n = k$ [7], тогда:

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k \quad (4)$$

Объем шарового сегмента:

$$V_c = \pi h^2 \left(R - \frac{1}{3} h \right) \quad (5)$$

или

$$V_c = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3 r^2) \quad (6)$$

Объем демпфера при нагружении внешней силой:

$$V_2 = V_1 - 2 V_c \quad (7)$$

Подставляя в уравнение (7) величины из уравнений (1) и (5) получим:

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi (4 R^3 - 3 R h^2 + h^3) \quad (8)$$

Подставляя в формулу (4) соотношения из уравнений (1) и (8) найдем p_2 :

$$p_2 = p_1 \left[\frac{4R^2}{4R^3 - 3Rh^2 + h^3} \right]^k \quad (9)$$

Упругая сила в функции площади опорной поверхности S (y) и давления p_2 [8]

$$F_y = S(y) p_2 \quad (10)$$

Квадрат радиуса опорной поверхности выразим из соотношений (5) и (6)

$$r^2 = (2R - h) h \quad (11)$$

Тогда площадь опорной поверхности имеет вид:

$$S(y) = \pi(2R - h)h \quad (12)$$

С учетом формул (9) и (12) упругая сила (нагрузка на демпфер) при деформации демпфера на величину $2h$ находится по формуле:

$$F_y = \pi(2R - h)h \left[\frac{4R^2}{4R^3 - 3Rh^2 + h^3} \right]^k p_1 \quad (13)$$

Практически для разных конструкций линзообразных демпферов можно определить коэффициент эквивалентной жесткости демпфера при статическом нагружении его для различных давлений сжатого воздуха, площади его опорной поверхности и величины деформации, так как предварительные теоретические расчеты динамики движения являются довольно громоздкими.

Коэффициент динамического усиления λ , характеризующий отношение амплитуды перемещения виброизолируемого тела к амплитуде вибрации, воздействующей на него системы (коэффициент передачи или степени изоляции) находится из соотношения:

$$\lambda = \frac{A}{A_m} = \frac{1}{\left(\frac{p}{\kappa}\right)^2 - 1} \ll 1, \quad (14)$$

где A – амплитуда перемещений виброизолируемого тела;

A_m – амплитуда вибрации механической системы;

κ – частота собственных колебаний пневматического демпфера;

p – частота возмущающей силы.

При проведении предварительных испытаний одного из вариантов линзообразных демпфирующих устройств с диаметром рабочей поверхности $D = 130$ мм, высотой $H = 60$ мм и давлением сжатого воздуха $p_1 = 0.1$ МПа средний коэффициент динамического усиления $\lambda = 0,142$.

Оценка величины виброизоляции (эффективность амортизации) определялась по разности уровней виброскорости и виброускорения, которые замерялись при помощи ВШВ-003 в исследуемой точке при жесткой и эластичной (через пневмодемпфер) установке верхней опорной рамы [9].

$$VI = A_{ПК} - A_{ВР}, \quad (15)$$

где $A_{ПК}$ - уровень вибрации на подвижной каретке;

$A_{ВР}$ - уровень вибрации на верхней раме.

Библиографический список

1. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, т.1, 1958. - 352 с.
2. Определение жесткости и рассеяния энергии в пневматических буферах вибрационных конвейеров и грохотов. - В.Н.Потураев,

- В.П.Франчук. – «Вопросы рудничного транспорта». – М.: Недра, Сборник статей, Вып.9.1965.– с. 25 -32.
3. А.с.СССР № 1572968 А1 МКИ В 66 В 7/08. А.Б.Неженцев, С.М.Аветисян, Г.А.Бойко.,Подвеска кабины лифта.,БИ №23, 1990 .
 4. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибрации в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990., 272 с.
 5. Заборов В.И., Клячко Л.Н., Росин Г.С. Защита от шума и вибрации в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1988. – 216 с.
 6. Асташев В.К., Бабищев В.И., Шаховский И.И. и др. Вибрации в технике. – М.: Машиностроение, т.6. 1981. - 495 с.
 7. Конструкции и расчет пневматических демпферов для гашения поличастотных колебаний. – Б.А.Борохович, В.В.Олизаренко, И.С.Тойшыбеков, М.А.Токмашев. – «Горноперерабатывающая промышленность и наука: реальность и перспективы сотрудничества». – Рудный: РИИ, Сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 45 – летию РИИ., 2005. – с.176 -181
 8. Вольперт Э.Г. Динамика амортизаторов с нелинейными упругими элементами. – М.: Машиностроение , 1972. – 136 с.
 9. Балтер И.И., Березовский А.М., Будаков Г.В. и др. Способы защиты от шума и вибрации железнодорожного подвижного состава. – М. : Транспорт , 1978. – 232 с.

УДК 004.925

Е.А. Свистунова
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: katerina_sv@inbox.ru
Дата поступления 10.06.2014

СОВРЕМЕННЫЕ САПР В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Аннотация

Описана методика графической подготовки студентов в процессе обучения Инженерной и компьютерной графике, направленная на повышение уровня профессиональной конструкторской подготовки и формирование компетентности самостоятельной учебной деятельности студентов технического университета.

Ключевые слова: САПР системы автоматизированного проектирования, общекультурные и профессиональные компетенции, графическая подготовка студентов.

Современный социальный заказ отражает потребность общества в конкурентно-способных, высококвалифицированных выпускниках технических университетов в условиях нарастающего темпа и развития проектной и производственной деятельности. В новом подходе к образованию делается упор на результаты обучения, которые становятся главным итогом образовательного процесса для студента с точки зрения знаний, понимания и способностей. Основопологающий принцип в высшем образовании студентоцентрированное обучение или образование. Этот принцип предполагает смещение акцентов образовательного процесса с преподавания на обучение. Основная роль профессорско-преподавательского состава смещается с «трансляции» знаний и контроля над их усвоением на активную образовательную деятельность студента. [2]. От современных студентов требуется большая вовлеченность, развитие своих умений, работа с информацией, использование разнообразных форм доступа к информации и ее обработке.

Одним из требований Федеральных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) является формирование общекультурных и профессиональных компетенций в процессе обучения в вузе, и конкретно в процессе освоения каждой учебной дисциплины. Анализ ФГОС ВПО показал, что одними из основных общекультурных компетенций являются способности к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний *с использованием современных образовательных и информационных технологий*; профессиональные компетенции выделяют *освоение методики использования программных средств для решения практических задач*.

Требования к выпускнику технического университета позволяют выделить виды профессиональной деятельности выпускника: научно-исследовательская; производственно-технологическая; организационно-управленческая; проектная деятельность [5]. При выполнении всех видов деятельности выпускник вуза должен знать соответствующие стандарты, директивные и распорядительные документы, методические и нормативные материалы, а также *уметь использовать современные средства вычислительной техники, коммуникаций и связи*.

В структуре обучения студентов в техническом университете к базовым дисциплинам профессионального цикла относятся начертательная геометрия, инженерная графика, компьютерная графика,

инженерная и компьютерная графика. Исследования ученых процесса обучения графическим дисциплинам, анализ литературы, положения компетентностного подхода, анализ ФГОС ВПО позволили выделить компетенции в сфере профессиональной деятельности выпускника технического вуза и графической подготовки студентов [3]:

1. безошибочность двухмерного отражения пространственных форм на плоскости;
2. решение позиционных и метрических задач разной сложности;
3. знание структуры ЕСКД (единой системы конструкторской документации) и соответствие чертежа стандартам ЕСКД;
4. знакомство с изображением разных видов соединений деталей, умение читать чертежи технических устройств, выполнять эти чертежи с учетом требований стандартов;
5. качество выполняемых графических работ и высокая исполнительская графическая культура;
6. знания современной компьютерной графики и умение 2D и 3D моделирования.

Результатом интеграции данных компетенций графической подготовки является умелое использование САПР (систем автоматизированного проектирования) студентом технического университета в своей проектной и производственной деятельности. Комплексная автоматизация конструкторско-технической подготовки производства и управление данными на предприятиях является современной действительностью, без которой невозможно инженерная деятельность в России и за рубежом. Популярность САПР объясняется отличными функциональными возможностями, удобством и надежностью, скоростью освоения и внедрения у заказчиков, набором библиотек и приложений.

В рамках изучения графических дисциплин в Российских технических университетах применяются различные САПР. Среди них мы в исследовании выделяем системы КОМПАС-3D и Autodesk Inventor.

По данным компании-разработчика КОМПАС-3D в настоящее время более 1200 учебных заведений России и других стран используют программное обеспечение АСКОН в обучении и научных исследованиях [1]. Система успешно используется в машиностроительном проектировании, при проектно-строительных работах, составлении различных планов и схем. КОМПАС-3D позволяет реализовать весь процесс проектирования изделий – от идеи к объемной модели, от модели к конструкторской документации. Изделия проектируются любой степени и сложности. Специализированные приложения и библиотеки облегчают решение вспомогательных задач проектирования. Основными компонентами КОМПАС-3D является система трехмерного

моделирования, система автоматизированного 2D-проектирования КОМПАС-График, проектирование спецификаций и инженерный текстовый редактор.

Функционал 3D позволяет наглядно представить изделие, выполнить расчеты и оптимизацию конструкции без натуральных испытаний, изменять и модифицировать изделие в кратчайшие сроки, добавлять в конструкцию 3D модели актуальные стандартные изделия и др. Система 2D позволяет получать ассоциативные чертежи, спецификации, отчеты, схемы, таблицы, текстовые документы; дает возможность простановки размеров и обозначений, поддержку стандартов ГОСТ РФ «ЕСКД», стандарта Unicode. Неоспоримо преимущество средств интеграции КОМПАС с различными CAD/ CAM/ CAE-системами.

Применяя КОМПАС-3D в нашем исследовании процесса обучения дисциплинам графического цикла, студенты и преподаватели отмечают простой и понятный интерфейс, мощную справочную систему и встроенное обучающее руководство «Азбука КОМПАС»[4, 5, 6].

Рассматривая компетенции в сфере графической подготовки необходимо отметить, что безошибочность двухмерного *отражения пространственных форм на плоскости* отходит на второй план, так как получая 3D модель любой конфигурации (от простой поверхности вращения с вырезом или пересечением с другими поверхностями до сложнейшего сборочного узла с множеством различных типов изделий) получение чертежа сводится к работе с инструментами ассоциативных видов, генерации разрезов и сечений, различных типов местных видов, разрезов и выносных элементов. Однако нельзя полностью полагаться на предлагаемые системой изображения, так как оформление любого типа графического документа сводится к *знанию структуры ЕСКД и соответствию чертежа стандартам ЕСКД*. В такой ситуации *качество выполняемых графических работ и высокая исполнительская графическая культура* сводится к решению о правильности выбранных форматов, масштабов и изображений, лаконичности чертежа и простоте его чтения.

Знания современной компьютерной графики, умение 2D и 3D моделирования помогает и при *решении позиционных и метрических задач разной сложности* (пользователям предлагаются инструменты измерения объектов, редактирования и чтения другой информации на базе 3D модели).

Умение читать чертежи технических устройств, знакомство с изображением разных видов соединений деталей, особенностей их изображения на чертеже требует изучения студентами различного рода литературы. Здесь необходимо подчеркнуть, что без понимания свойств

простановка размеров на чертежах. Создание 3D-модели помогает лучше понять конфигурацию детали и рассмотреть ее виды до этапа получения двухмерного изображения (расположение детали на главном виде, целесообразность и наглядность выбранных разрезов и др.). Тема аксонометрические проекции становится менее важной. Получение наглядного изображения сводится к определению самого удачного из нескольких предложенных программой с 3D модели (рисунок 1).

На этапе изучения тем: соединения разъемные и неразъемные, резьба, резьбовые соединения, очень продуктивно является использование библиотек стандартных изделий и соединений. Студенты понимают взаимосвязь между размерами стандартных изделий в соединении, получают составленные условные обозначения на стандартные изделия и соединения. Но чтение изображений невозможно без прочных знаний ГОСТ на изображения и обозначения резьбы и др. видов соединений.

Начиная выполнение работ по темам: основные требования к оформлению рабочих чертежей деталей, эскизы деталей, сборочный чертеж изделия, спецификация, чтение и детализирование чертежей общего вида, применение 3D моделирования становится основной задачей и второстепенной получение на ее основе рабочей документации. При создании сборки необходимо смоделировать каждое изделие, входящее в состав сборочного узла. Компоновка из объемных конструктивных элементов не является искусственным процессом, так же как и на производстве, деталь создается последовательным добавлением материала и удалением его. В дальнейшем в зависимости от взаимодействия детали с другими изделиями, входящими в состав сборочного узла, возможно изменение позиции, ее размеров, модифицировать конструкцию, создавая шаг за шагом требуемый вид. Необходимость смоделировать все возможности решения стоящей перед студентом инженерной задачи.

В состав сборки могут входить различные изделия: подборка (конструктивная пара), деталь, локальная деталь, стандартные изделия и др. (рисунок 2). В зависимости от иерархии создаваемого узла сборки и заданных свойств изделий возможно получение спецификации автоматически. С помощью подключения документации друг к другу (сборка, сборочный чертеж, рабочие чертежи деталей, спецификация и т.д.) появляется возможность ассоциировать все изменения, вносимые в состав сборочного узла и получения текстовой информации на основании свойств изделий (рисунок 3). После полного цикла работы над сборочным узлом чтение и детализирование чертежа общего вида становится более понятным и доступным (рисунок 4).

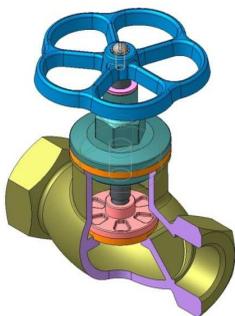


Рисунок 2. Вентиль 3D сборка

№	Обозначение	Количество	Значение
Сборочный перечень			
(Листов: 1 из 1)			
(Итого: 1 шт.)			
Сборочные детали			
1	ПК.26.517.00	1	Вентиль
2	ПК.26.517.00	1	Корпус
3	ПК.26.517.00	1	Ручка
4	ПК.26.517.00	1	Крышка
5	ПК.26.517.00	1	Крышка
6	ПК.26.517.00	1	Крышка
7	ПК.26.517.00	1	Крышка
Сборочные узлы			
8	ПК.26.517.00	1	Вентиль
9	ПК.26.517.00	1	Вентиль

Рисунок 3. Спецификация

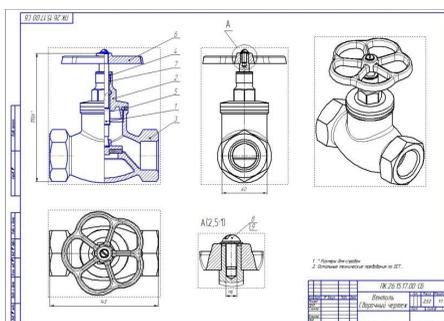


Рисунок 4. Вентиль. Сборочный чертёж

Autodesk Inventor можно отметить как систему трехмерного конструирования промышленных изделий [9]. Эта САПР помогает разработке промышленных изделий и способствует повышению качества продукции. В ней появляется возможность использования двухмерных данных в трехмерных моделях, проектирования сварных конструкций и изделий из листового материала. После создания трехмерных моделей изделия появляется возможность просчитать на прочность и другие характеристики. Для этого в систему Autodesk Inventor входят средства для прочностных расчетов методом конечных элементов, средства для моделирования и анализа поведения модели в динамике. Реализован принцип размерно-управляемого моделирования, который позволяет быстро набросать черновые варианты модели без ее точных размеров. А когда геометрическая форма определилась, можно задать точные размеры различных типов (размеры могут быть параметрическими, т.е. связанными с другими размерами определенными зависимостями, в качестве размеров можно использовать и математические формулы).

Поскольку Autodesk Inventor является высокопроизводительным

приложением для трехмерного моделирования, его функции интенсивно используют вычислительные ресурсы компьютера и требуют от пользователя более глубокого понимания технологии конструирования проектирования изделия. В рамках изучения Инженерной и компьютерной графики мы рекомендуем применять эту САПР не ранее второго курса обучения студентов, когда знания студентов становятся шире и появляются другие дисциплины профессионального цикла.

В результате приобретения перечисленных компетенций графической подготовки мы можем говорить о профессиональной компетенции выпускников вуза. Таким образом, основной задачей преподавания графических дисциплин в техническом университете становится формирование профессионально важных качеств будущего специалиста в процессе обучения графическим дисциплинам (современной инженерной и компьютерной графики).

Библиографический список

1. АСКОН.- электронный ресурс: [режим доступа]: ascon.ru; [kompas.ru/](http://kompas.ru/kompas-spds.ru/) pdmonline.ru
2. Болонский процесс: результаты обучения и компетентностный подход (книга-приложение 1) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. В.И. Байденко. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, Российский Новый Университет, 2009.
3. Веремей О.М. Свистунова Е.А. Актуальность самостоятельной работы студентов при изучении графических дисциплин в процессе введения ФГОС третьего поколения. Архитектура. Строительство. Образование: материалы междунар. науч.-практ. конф / под общ. Ред. Пермякова М.Б., Чепнышовой Э.П. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 239 с. С. 214-218
4. Решетникова Е.С. Совершенствование технологии и конструкций инструмента для изготовления болтов с фланцем холодной штамповкой. Дис...канд. техн. наук - Магнитогорск, 2009. -166 с.
5. Савочкина Л.В. Моделирование учебного процесса на основе применения технических средств. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. №1. С.25-27.
6. Усатая Т.В. Развитие художественно-проектной деятельности в процессе профессиональной подготовки студентов университета. Дис...канд. пед. наук – Магнитогорск, 2004. -164 с.
7. Усатая Т.В. Свистунова Е.А. Формирование потребности в самообразовании студентов в процессе обучения графическим дисциплинам в технических вузах. Современные проблемы

- архитектуры, изобразительного искусства и дизайна: Межвуз. сб. научн. тр./ Отв. ред. О.М. Шенцова. – Магнитогорск: МГТУ, 2007. – Вып. 1. – 167 с. стр. 19-25.
8. Шадриков В.Д. Новая модель специалиста: инновационная подготовка и компетентностный подход./ Высшее образование сегодня, № 8, 2004 г.
 9. Autodesk.- Электронный ресурс: [режим доступа]: Autodesk.ru

УДК 539.4

**А.П. Гопкало, Г.В. Цыбанев,
В.В. Клипачевский, В.И. Калиниченко**
Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины,
г. Киев, Украина
E-mail: apg@ipp.kiev.ua
Дата поступления 19.06.2014

МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Аннотация

Численным моделированием рассмотрено влияние скорости разливки стали и соотношения физико-механических свойств основного металла и металла наплавки на напряженно-деформированное состояние (НДС) роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Ключевые слова: ролик; наплавка; температура; напряжения; численное моделирование

Влияние эксплуатационных и технологических факторов на формирование поля напряжений и ресурс роликов (МНЛЗ) отражены в работах [1, 2]. В данной работе приведены результаты численного моделирования НДС ролика в упругой постановке от влияния таких эксплуатационных факторов как температура на поверхности ролика и скорость его вращения (разливки стали) методом конечных элементов. Для роликов с наплавками сделана попытка численным моделированием оценить влияние отличий физико-механических свойств основного металла и металла наплавки на формирование НДС роликов МНЛЗ.

Численное моделирование НДС монолитного ролика от влияния температуры на поверхности и скорости разливки стали.

Для расчета принят наиболее нагруженный ролик правильного участка МНЛЗ. Расчет НДС ролика с учетом эксплуатационных факторов проводили путем решения задачи нестационарной теплопроводности [3] для получения НДС методом суперпозиции. Для упрощения расчетов рассматривали $\frac{1}{2}$ часть ролика, поскольку относительно плоскости YZ ролик имеет симметрию (рисунок 1). Граничные условия, прикладываемые к конечно-элементной модели, максимально приближенно отвечают нагружению ролика в реальных условиях эксплуатации. Выбранный диапазон температур включает основные возможные эксплуатационные и нештатные ситуации, а также некоторые завышенные температуры для выявления общих тенденций их влияния на НДС ролика.



Рисунок 1. Модель ролика с заданным конвекционным потоком по поверхности с температурой 600, 700, 800, 1000, 1300⁰ С и начальной температурой окружающей среды $T_0=20^0$ С и температурой во внутреннем диаметре ролика $T_v=60^0$ С

Результатом расчетов были температурные поля и НДС ролика в зависимости от варьирования температуры и скорости вращения. Было установлено, что увеличение скорости разливки стали с 0,2 м/мин. до 1,0 м/мин. снижает приблизительно в три раза температуру на поверхности ролика. Наиболее напряженными являются поверхностные слои ролика, в которых во время работы возникают знакопеременные напряжения (рисунок 2), которые приводят к усталостному растрескиванию поверхностных слоев и их отслоение, которое ухудшает качество поверхности сляба. Так для установившихся периодов, когда температурное поле, практически, не меняется с течением времени при скорости разливки стали 0,2 м/мин. напряжения в два раза выше, чем при скорости разливки 1,0 м/мин.

Расчеты показали, что при кратковременной остановке, даже при невысокой температуре (600⁰ С), напряжения на поверхности достигают значений 1657 МПа. Поэтому снижение скорости разливки стали (скорости вращения роликов), или кратковременная остановка процесса разливки стали не желательны. Кратковременная остановка МНЛЗ, вследствие возникновения значительных односторонних напряжений, может привести к формированию остаточного прогиба ролика.

Численное моделирование НДС роликов с наплавками от влияния температуры на его поверхности при термоциклировании.

При определении НДС в ролике с наплавками в условиях термоциклирования для решения задачи используются теплофизические характеристики применяемых материалов. В то же время эти характеристики не остаются постоянными при изменении температуры [4], что необходимо учитывать в решениях. Предварительные расчеты в упругой постановке задачи показывают, что наиболее существенно на изменение НДС при варьировании свойств металлов основы и наплавки в условиях термоциклического нагружения оказывают коэффициент линейного расширения (КЛР), коэффициент теплопроводности (КТ), модуль упругости, коэффициент Пуассона.

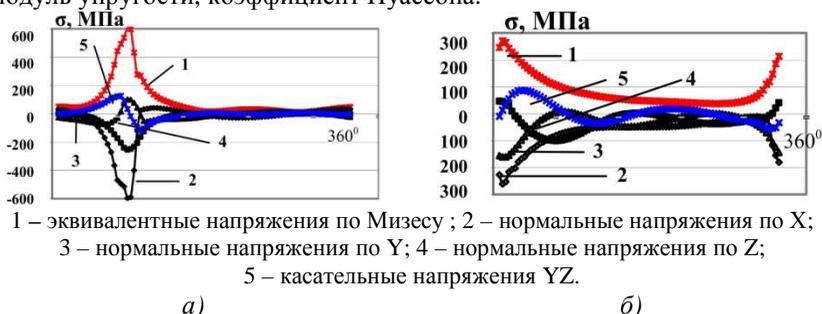


Рисунок 2. Средние значения напряжений в конечных элементах (по длине окружности ролика в градусах от 0 до 360⁰), расположенных по максимальному диаметру при скорости разливки стали 0,2м/мин. а), и 1м/мин. б)

Оценку НДС ролика проводили методом конечных элементов путем решения задачи термоупругости на основе решения задачи теплопроводности. Для условий реального температурного цикла была проведена расчетная оценка НДС монолитного (без наплавки) ролика, а для ролика с наплавкой – влияние соотношений значений КЛР и КТ основного металла и металла наплавки и толщины наплавки на формирование поля термических напряжений на поверхности ролика. В качестве такого цикла принят температурный диапазон резкой смены температуры на поверхности ролика МНЛЗ при его контакте со слябом [5]. Варьирование выбранных теплофизических коэффициентов осуществляли путем выбора соответствующих им сталей с механическими свойствами, которые учитывали при расчетах. Далее будут представлены только результаты оценки НДС ролика, как в упругой, так и упругопластической постановке без представления температурных полей. Влияние физико-механических свойств материала

наплавки и ее толщины оценивали по величине термических напряжений σ_z в поверхностном слое наплавки вдоль его продольной оси, которые являются причиной зарождения и роста трещин термической усталости при эксплуатации.

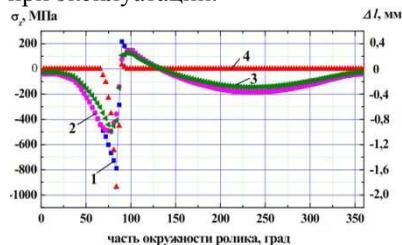


Рисунок 3. Сравнение расчетных термических напряжений (σ_z) по контактирующей со слябом поверхности ролика МНЛЗ из стали 25Х1М1Ф в упругой (1) и упругопластической постановке при температурной зависимости физических характеристик и механических свойств (2) и при их фиксированных ($T=20^0C$) значениях (3). Распределение пластических деформаций (Δl) по окружности ролика (4).

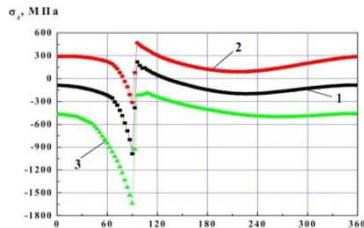


Рисунок 4. Влияние соотношений КЛР основного металла и металла наплавки на формирование поля термических напряжений (σ_z) на поверхности ролика МНЛЗ. \varnothing ролика (мм): внешний $D = 300$, основы – $d1 = 270$; толщина слоя наплавки (мм) $t1 = 15$; КТ: $c1$ – основы; $c2$ – слоя наплавки $t1$; КЛР: $\alpha1$ – основы, $\alpha2$ – слоя наплавки $t1$; $1 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$; $c1 = c2 = 45$; $2 - \alpha1 = 1,8 \cdot 10^{-5}$, $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$, $c1 = 65$, $c2 = 25$; $3 - \alpha1 = 0,9 \cdot 10^{-5}$, $\alpha2 = 1,8 \cdot 10^{-5}$, $c1 = 65$, $c2 = 25$

На рисунке 3 приведено сравнение расчетов термических напряжений в монолитном (без наплавки) ролике МНЛЗ из стали 25Х1М1Ф в упругой (кривая 1) и упругопластической постановках при температурной зависимости физических характеристик и механических свойств (кривая 2), а также при их фиксированных ($T=20^0C$) значениях (кривая 3). Как следует из этих данных учет температурной зависимости теплофизических и механических характеристик влияет на характер эпюры термических напряжений (кривая 2) относительно эпюры, полученной при фиксированных ($T=20^0C$) значениях вышеупомянутых характеристик (кривая 3). Оценка НДС ролика в упругопластической постановке показала, что в зоне перед контактом ролика со слябом возникают пластические деформации сжатия (кривая 4), а в зоне контакта ролика со слябом возникают незначительные пластические деформации растяжения.

На рисунке 4 приведены эпюры термических напряжений на поверхности части окружности ролика вблизи зоны его контакта со слябом, которые получены расчетом в упругой постановке при варьировании физических и механических характеристик основного металла и металла наплавки. Считается, что при равенстве физических и механических характеристик металлов наплавки и основы, ролик – монолитный (без наплавки). В данном примере рассмотрено влияние соотношений значений КЛР основного металла и металла наплавки на НДС ролика при одинаковых значениях КТ. При повышении в 2 раза значений КЛР металла наплавки относительно основного металла вызывает повышение в 1,65 раза значений термических напряжений сжатия у наиболее нагруженной зоне перед контактом ролика со слябом (кривая 3) по сравнению с соответствующими напряжениями для монолитного ролика (кривая 1). При этом на поверхности зоны контакта ролика со слябом также возникают термические напряжения сжатия в отличие от монолитного ролика, для которого характерны термические напряжения растяжения. Использование для наплавки металла со значениями КЛР в 2 раза ниже, чем для основного металла, приводит к 3-кратному снижению термических напряжений сжатия в зоне контакта ролика со слябом (кривая 2) относительно соответствующих термических напряжений в монолитном ролике (кривая 1). При этом на поверхности зоны контакта ролика со слябом возникают термические напряжения растяжения, которые в 2,2 раза выше, чем в монолитном ролике.

Сравнение влияния толщины наплавки 15 и 30 мм на величину термических напряжений на поверхности ролика МНЛЗ при оценке в упругой постановке при одинаковых значениях КЛР и КТ показало, что наплавка толщиной 15 мм в зоне перед контактом ролика со слябом дает существенное снижение термических напряжений сжатия, чем наплавка толщиной 30 мм относительно соответствующих напряжений, которые возникают на поверхности монолитного ролика. Однако при этом имеет место повышение термических напряжений растяжения в зоне контакта ролика со слябом.

Полученные результаты оценки распределения термических напряжений σ_z по контактирующей со слябом поверхности ролика МНЛЗ при варьировании соотношений КЛР и КТ металлов основы и наплавки и их механических свойств следует рассматривать в комплексе с действием механических нагрузок (ферростатического давления, правки и др).

Выводы.

1. Разработан алгоритм расчета НДС роликов МНЛЗ от влияния эксплуатационных температурно–временных факторов. Анализ влияния

рассмотренных факторов показал, что температура на поверхности сляба, скорость его перемещения и кратковременные остановки определяют предельное состояние ролика. При небольших скоростях разливки стали (0,2 м/мин.) в тонком поверхностном слое ролика возникают значительные напряжения (~600 МПа), которые могут вызвать появление и развитие трещин усталости. Повышение скорости разливки стали до 1,0 м/мин. повышает безопасность эксплуатации, так как величина напряжений снижается более чем в два раза, по сравнению со скоростью разливки стали 0,2 м/мин.

2. Кратковременная остановка процесса литья приводит к перегреву части ролика в местах контакта ролика со слябом и обуславливает возникновение значительных напряжений с одной стороны ролика, которые могут привести к формированию остаточного прогиба ролика.

3. Численным решением задач термоупругости и теплопроводности показано существенное влияние соотношений КЛР и КТ металлов основы и наплавки и их механических свойств на величину и распределение термических напряжений по контактирующей со слябом поверхности ролика МНЛЗ.

4. Варьированием соотношений КЛР и КТ металлов основы и наплавки и их механических свойств появляется возможность регулировать величину и знак термических напряжений на поверхности ролика. Расчетная оптимизация этих соотношений с учетом эксплуатационных механических нагрузок может служить обоснованием технических решений для повышения долговечности роликов МНЛЗ.

5. Оптимальная толщина наплавки ролика МНЛЗ также может быть определена по использованной расчетной модели для получения минимальных сжимающих и растягивающих напряжений на поверхности ролика в термоцикле с учетом эксплуатационных механических нагрузок.

6. Для условий термомеханического нагружения метод варьирования соотношений КЛР и КТ металлов основы и наплавки и их механических свойств может служить обоснованием для повышения долговечности при проектировании новых машин и оборудования и при ремонте ответственных элементов конструкций с целью не только восстановления их служебных свойств, но и для повышения их ресурса.

Библиографический список

1. Буланов Л.В., Корзунин Л.Г., Парфенов Е.П. и др. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет. Казань. Уральский центр ПР и рекламы — "Марат". 2004, – 319 с.
2. Домбровский Ф.С., Лещинский Л.К. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок. Киев. Институт электросварки им. Е.О. Патона, 1995. – 198 с.

3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. / Лыков А.В. – М.: Высш. школа. – 1967. – 599с.
4. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике (справочник)// П/р Б.Е.Неймарк. - М.-Л: Энергия, 1967. - 240 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе № 34000122/82831784(709 – 1) н/3 7082-381 «Исследование условий эксплуатации и разработка новых конструкций роликов повышенной стойкости для МНЛЗ» (Заключительный). М.: ВНИИМЕТМАШ. – 1983. – 79 с.

УДК 621.771

**А.В. Кожевников,
И.А. Кожевникова, Г.А. Сорокин**
ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет»
г. Череповец, Россия
E-mail: kojevnikovav@chsu.ru
Дата поступления 30.06.2014

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА НА СТАНЕ 28000/1700 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЖИМА БАЙПАС

Аннотация

Статья посвящена реализации проекта по повышению эффективности работы непрерывной группы клетей полунепрерывного комбинированного стана горячей прокатки за счет оптимизации работы промежуточно-перемоточного устройства.

Ключевые слова: полунепрерывный комбинированный стан; промежуточно-перемоточное устройство; режим «Байпас».

В данный момент весь металл на непрерывной группе клетей «1700» комбинированного стана горячей прокатки «2800/1700» ЧерМК ОАО «Северсталь» прокатывается с использованием промежуточно-намоточного устройства «CoilBox», которое обеспечивает снижение продольной разнотолщинности, а именно:

- сглаживаются глассажные метки;
- убирается «температурный клин» при прокатке.

Существующие особенности АСУ ТП на непрерывной группе клетей «1700» определяют следующие факторы, влияющие на качество готовой полосы:

- *качество подката для непрерывной группы клетей 1700*

(равномерность прогрева и геометрические размеры);

- *квалифицированные действия операторов* по предварительной настройке стана;
- *оперативное ручное вмешательство* операторов при прокатке полосы для поддержания заданной толщины и ширины.

На части прокатываемого сортамента непрерывной группы клетей «1700» (как правило толщиной более 2,5 мм и шириной менее 1250 мм) возможна прокатка без использования CoilBox (режим «Байпас»). Однако при прокатке в режиме Байпас значительно возрастает продольная разнотолщинность полосы, возрастают требования к оператору по настройке стана и оперативному ручному вмешательству в регулирование толщины (см. рисунок 1), при ошибках оператора возможен выход за пределы допуска по толщине и, следовательно, получение беззаказной продукции.

По выше описанным причинам режим Байпас редко используется. Одна из основных причин прокатки в Байпасе – неисправность (ремонт) оборудования CoilBox.

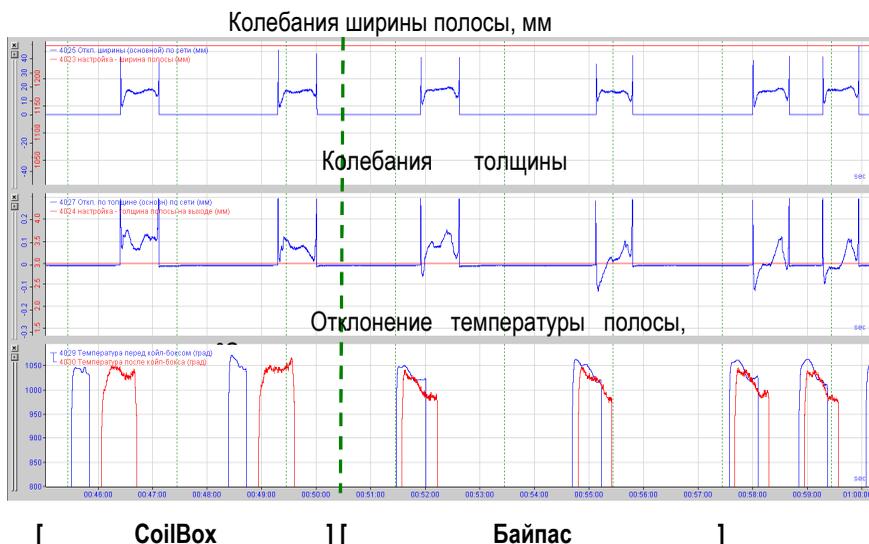


Рисунок 1. Прокатка с CoilBox и в режиме Байпас

С целью повышения эффективности технологических и производственных процессов и качества прокатываемой продукции в 2014г. была поставлена задача разработать комплекс мероприятий по увеличению объема металла прокатываемого без использования CoilBox,

прокатку вести в режиме Байпас в толщинах 2,5 мм и более, в ширинах менее 1250мм.

В рамках решения указанных задач специалистами кафедр Металлургии, машиностроения и технологического оборудования, Электроэнергетики и электротехники Череповецкого государственного университета совместно со специалистами ОАО «Северсталь» и ООО «Северсталь-Промсервис» разработаны следующие мероприятия:

- коррекция алгоритмов программ автоматического регулирования межвалкового зазора от усилия прокатки (AGC) с учетом корректной работы механических и гидронажимных механизмов с учетом компенсации «температурного клина», а также расширения зоны функционирования программ AGC на прокатку «тонкого» металла;

- анализ и коррекция существующих систем регулирования натяжения для сокращения участков головы и хвоста полосы (участков с наибольшим отклонением ширины и толщины);

- повышение устойчивости работы системы регулирования натяжения, за счет программной коррекции натяжения и компенсации момента инерции механизма петледержателя;

- исследование факторов влияющих на растяжение клетки: температурное расширение валков, скорость главного привода, снижение потерь электроэнергии и повышение энергоэффективности процесса прокатки [1-3], натяжение полосы. Выявление эмпирических численных зависимостей и использование их в системе AGC.

При разработке вышеуказанных мероприятий использовались аналитические имитационные модели [4], с помощью которых были проведены исследования изменений усилия прокатки по клетям непрерывной чистовой группы «1700» при прокатке в режиме «Байпас» для определения возможного резерва по загрузке клетей.

Для определения усилий в клетях непрерывной чистовой группы «1700» при прокатке в режиме «Байпас» первоначально необходимо определить потери тепла при движении полосы от клетки кварто «2800» № 2 до клетки кварто «1700» № 1 за счет излучения:

$$\Delta t_u = k \tau_i \frac{T_i^4 \cdot 10^{-12}}{h_i},$$

где Δt_u – потери тепла излучением; k – коэффициент, учитывающий химический состав прокатываемой стали, для углеродистых сталей $k = 19,5$; T_i – начальная температура полосы; h_i – толщина полосы; τ_i – время охлаждения:

$$\tau_i = l_{\text{mki}} / v_i,$$

где v_i – скорость движения полосы по роллангу; l_{mki} – длина

межклетевого промежутка:

$$l_{mki} = m / (\rho h_i b),$$

где m – масса полосы; ρ – плотности деформированной структуры; h_i – толщина полосы; b – ширина полосы.

Расчет температуры начала прокатки выполнен для полосы размерами 25→3×1040 мм массой 11 т. Исходные данные и результаты расчета приведены в таблице 1.

Результаты расчета усилия прокатки представлены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета температуры начала прокатки в режиме «Байпас».

№ п/п	Параметр	Значение
1.	Толщина полосы на выходе из клетки кварто «2800» № 2	25 мм
2.	Ширина полосы	1040 мм
3.	Масса полосы	11 т
4.	Скорость движения полосы по промежуточному роллангу	1 м/с
5.	Температура конца прокатки полосы в клетке кварто «2800» № 2	1100 °С
6.	Длина полосы	54 м
7.	Время охлаждения	54 с
8.	Потери тепла излучением	61,7 °С
9.	Температура начала прокатки	1038,3 °С

Таблица 2

Расчетные параметры режима прокатки

Клеть №	v_i , м/с	h_{i-1} , мм	h_i , мм	$\varepsilon_{доп}$, %	ε_i , %	ε , %	ε_{Σ} , %	$P_{доп}$, МН	P_1 , МН	P_2 , МН	ΔP_1 , %	ΔP_2 , %
1	1,5	25	12,6	60	49,6	17,3	49,6	25	22,12	20	10	11,5
2	2,2	12,6	8,59	60	31,83	46,45	65,64	25	13,4	12,2	9,8	46,4
3	3,2	8,59	5,906	50	31,25	37,5	76,38	25	14,5	13,3	8,3	42
4	4,7	5,906	4,02	45	31,93	29	83,92	20	17,3	16	8,1	13,5
5	5,7	4,02	3,316	35	17,51	50	86,74	20	10,12	9,4	7,6	49,5
6	6,3	3,316	3	22	9,53	56,68	88	15	5,87	5,48	7,1	60,86

P_1 – усилие при прокатке в режиме Байпас, P_2 – усилие при прокатке в режиме CoilBox, ΔP_1 – показывает на сколько усилие прокатки при режиме Байпас выше усилия при прокатке в CoilBox из-за снижения температуры, ΔP_2 – показывает на сколько можно (нужно) увеличивать усилие при прокатке в режиме Байпас на данном сорimente.

Анализ результатов расчета усилия прокатки их сопоставление с допустимыми значениями, а также сопоставление допустимых и фактических значений относительных обжатий позволили сделать следующие выводы:

1. Не рекомендуется дополнительно загружать клетки №№ 1 и 4, поскольку усилия прокатки в них близки к предельно допустимым значениям.

2. Усилие в клетях №№ 2, 3, 5 и 6 с учетом ограничений по обжатию можно увеличить на 30-40%.

В таблице 3 представлены результаты расчета растяжения клетей при прокатке конца полосы (30 %) при пониженной температуре (ниже 1000 °С) по режиму, технологические параметры которого приведены в таблице 2.

Результаты, представленные в таблице 3, подтверждают вывод, сделанный после таблицы 2, то есть в клетях №№ 2, 3 и 5 усилие необходимо увеличить на 30-40 %, межвалковый зазор уменьшить на 30-40 %.

Таблица 3

Растяжение клетей

Клеть №	Толщина полосы на выходе из клетки, мм	Растяжение клетки, мм	Уменьшение зазора в % от толщины полосы на выходе
1	12,6	0,164	2 %
2	8,59	2,031	24 %
3	5,906	1,541	26 %
4	4,02	–	–
5	3,316	1,299	40 %
6	3	1,784	–

Проведенные промышленные экспериментальные исследования по корректировке алгоритмов работы АСУ ТП непрерывной группы «1700» ЛПЦ-1 ЧерМК позволяют судить о достижении технического и экономического эффекта при внедрении при работе в режиме Байпас следующим параметрам:

- снижение продольной разнотолщинности при прокатке головной части полосы на 0,04 мм;
- сокращение участков с повышенным уширением и утолщением на 0,1 сек на голове и на 0,2 сек на хвосте полосы;
- снижение продольной разноширинности на участках головы и хвоста на 3 мм;
- снижение продольной разнотолщинности на основном участке устойчивой прокатки за счет выравнивания температурного клина и

глицсажных меток на 0,1 мм;

- увеличение сортамента прокатываемого в режиме Байпас: повышение производительности непрерывной группы «1700», экономия электроэнергии, повышение ресурса механического оборудования CoilBox, снижение простоев оборудования стана 1700 при неисправности оборудования CoilBox.

Библиографический список

1. Кожевников А.В., Сорокин Г.А. Пути снижения потерь электроэнергии при работе автоматизированных приводов прокатных станов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. - №4. - 2012. - С. 79-85.
2. Кожевников А.В. Совершенствование систем управления приводами прокатных станов для повышения энергоэффективности их работы // Вестник Череповецкого государственного университета. Научный журнал. – Череповец: ФБГОУ ВПО ЧГУ. - № 4 (42). Т.1 - 2012. - С. 11-16.
3. Кожевников А.В., Сорокин Г.А. Опыт внедрения энергоэффективных режимов работы главных приводов широкополосных станов горячей прокатки // Металлург. - №12. - 2013. - С. 61-65.
4. Кожевникова И.А., Гарбер Э.А. Развитие теории тонколистовой прокатки для повышения эффективности работы широкополосных станов: Монография. – Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2010. – 275 с.

УДК 621.73

К.Н. Соломонов, Л.И. Тищук
Воронежский филиал МИИТ
г. Воронеж, Россия
E-mail: konsol@list.ru
Дата поступления 01.07.2014

АНАЛИЗ СХЕМ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ DEFORM-3D

Аннотация

С помощью программного комплекса Deform проведен анализ схем течения металла при плоской деформации заготовок в процессах пластического формообразования. В качестве одной из допустимых рассматривается так называемая промежуточная кинематическая схема течения металла. Представлены различные аспекты расчета показателя трения.

Ключевые слова: кинематическая схема течения металла, программный комплекс, моделирование, коэффициент трения, показатель трения, реология.

До сегодняшнего дня достаточно спорным является вопрос о схеме течения металла в процессах пластического деформирования плоских заготовок (или заготовок с ярко выраженным развитым полотном, в том числе, с ребрами жесткости). В теории обработки металлов давлением известны методы анализа пластических деформаций, возникающих в металлах при получении поковок. В результате теоретических и экспериментальных исследований различных схем деформирования материалов И.Я. Тарновским, С.И. Губкиным, А.Ф. Головиным и др. были получены закономерности формоизменения металла, в частности сформулированы принципы кратчайшей нормали и наименьшего периметра [1], а также кинематические схемы течения металла, из которых две наиболее характерных представлены на рисунок 1.

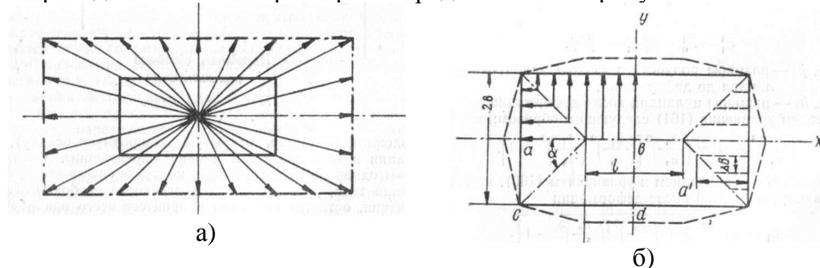


Рисунок 1. Схемы течения металла по полотну заготовки:
а) радиальная, б) нормальная

Работы И.Я. Тарновского по определению формоизменения заготовки в процессе свободной осадки проводились для различных форм и материалов при различных условиях контактного трения. Однако остались необъясненными некоторые результаты формообразования, например, почему согласно радиальной схеме из прямоугольного образца получается прямоугольник. Принцип кратчайшей нормали, сформулированный А.Ф. Головиным, подразумевает, что направление течения металла совпадает с нормалью к контуру заготовки и является направлением наименьшего сопротивления. Однако и тут мы видим ряд противоречий. При такой кинематической схеме форма заготовки после осадки представляет собой многоугольник, хотя в действительности контур имеет гладкую форму, без углов. Авторы предельных кинематических схем (нормальной и радиальной) не скрывали недостатков своих схем и предполагали в действительности существование некоторой промежуточной схемы [1-3].

Моделирование кинематических схем течения металла проводилось и ранее. Так, согласно теории тонкого слоя А.А. Ильющина [4] применимость нормальной кинематической схемы возможна для относительно тонких поковок. Для определения применимости данной теории к расчёту формоизменения поковки, следует использовать критерий \hat{h} – показатель относительной толщины заготовки, равный отношению толщины заготовки к линейному размеру заготовки в плане (длине или ширине). Если это отношение менее 1/10, то слой можно считать тонким.

В относительно толстых заготовках схема течения будет несколько отличаться от нормальной. Таким образом, моделирование кинематической схемы течения металла и, как следствие, эпюры контактных давлений для тонких образцов получило широкое применение. Возможности такого рода моделирования хорошо описаны и показаны в работах [5, 6]. Так, моделирование кинематической схемы средствами САПР, песчаными аналогиями, или специально разработанной программой PARSHTAMP [7] показывает возможность достаточно быстро и удобно получить схему течения металла. Отметим также, что тот или иной принцип построения кинематической схемы дает возможность получить нормальную схему.

Как отмечалось ранее, моделирование промежуточной схемы течения металла, зависящей от различных факторов, таких как трение, толщина, материал, граничные условия и так далее, весьма затруднительно. Помимо моделирования кинематической схемы течения металла в неспециализированных программах, существуют специальные CAE-системы, такие как Deform, Qform, Abaqus, LsDyna, Ansys и т.д., которые могут показать не только направление течения частиц металла, но и напряжения, возникающие в деформируемом материале, трехмерную картину формообразования поковки, вероятности образования дефектов и многое другое [8]. Недостатком таких программ является их сложность в отношении задания условий протекания процесса, высокая стоимость приобретения, необходимость навыков работы с CAD/CAE и значительное время расчета задачи, которое может составлять несколько часов. Получение кинематической схемы в PARSHTAMP занимает несколько минут, причем большая часть времени связана с построением геометрии исследуемого образца. Однако, как отмечалось ранее, результаты справедливы в основном только для нормальной схемы течения металла. В связи с этим изучение различных факторов, влияющих на схему течения, целесообразно проводить на специализированных программах, например Deform, которая зарекомендовала себя с лучшей стороны на мировом рынке как продукт,

позволяющий моделировать практически все процессы обработки металлов давлением.

Рассмотрим предельные случаи кинематических схем течения металла в процессе свободной осадки пластин из различных материалов при отсутствии сил трения и максимальном трении, когда наблюдаются радиальная и нормальная схемы соответственно, а также промежуточные случаи для различных коэффициентов трения (рисунок. 2). Моделировали процесс свободной осадки пластин 20x40 мм и толщиной 4 мм из различных материалов. Исследовали образцы при степени деформации, равной 50%.

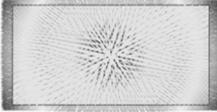
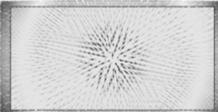
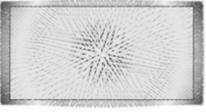
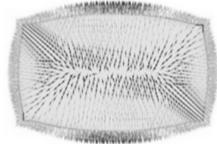
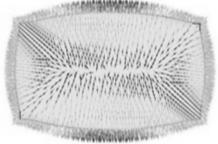
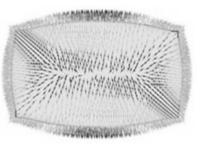
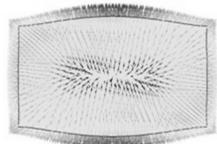
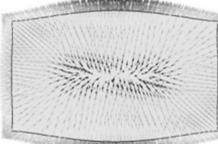
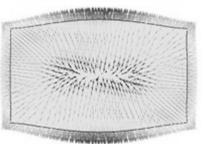
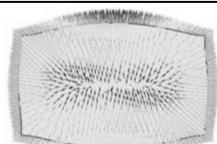
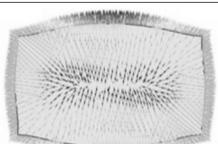
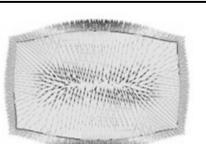
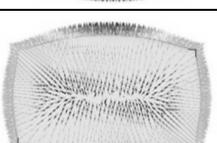
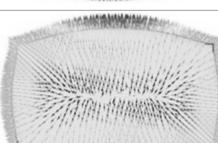
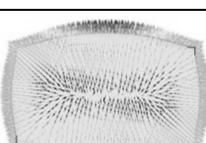
Коэффициент трения	Алюминиевый сплав АМц	Сталь 35	Идеально пластичный
0,001 Радиальная схема			
0,999 Нормальная схема			
0,25			
0,5			
0,75			

Рисунок 2. Моделирование схем течения металла в DEFORM-3D

Как видно на рисунок 2, с увеличением коэффициента трения наблюдается переход от радиальной схемы к нормальной, и имеет место некоторая промежуточная схема течения, в которой явно выражена зависимость формообразования от условий трения. Важно отметить, что количественным показателем, характеризующим трение, является показатель трения, а не коэффициент трения. В зависимости от того, какой закон трения или модель трения применяется для описания контактных граничных условий, различают коэффициент трения и фактор трения. Под коэффициентом трения понимают коэффициент пропорциональности между контактным касательным напряжением F и нормальным давлением N на контактной поверхности, а именно закон Кулона:

$$\frac{F}{N} = \mu = \operatorname{tg}(\alpha).$$

При описании контактного трения в процессах горячей объемной штамповки большее применение получил закон трения Прандтля (Зибеля):

$$F_t = \mu \frac{\ddot{\sigma}}{\sqrt{3}},$$

где μ – фактор трения;

$\ddot{\sigma}$ - напряжение течения.

В теории обработки металлов давлением существует также и комбинированная модель трения, учитывающая закон Зибеля и Кулона. Одним из вариантов такого подхода является модель трения Леванова:

$$F_t = m \frac{\ddot{\sigma}}{\sqrt{3}} \left(1 - e^{-1.25(\sigma_n/\ddot{\sigma})}\right),$$

где $\ddot{\sigma}$ - напряжение текучести в слое деформируемого металла, расположенного вблизи контактной поверхности.

Таким образом, более корректно использование понятия показателя трения, являющегося обобщающим между коэффициентом трения Кулона и фактором трения Зибеля. Заметим также, что влияние трения на кинематическую схему течения металла является, в данном случае, подавляющим ввиду использования относительно тонких заготовок.

Рассматривая вопросы влияния материала на схему течения, обратим внимание на реологические характеристики исследуемых металлов. Так, в работах О.М. Смирнова, посвященных исследованию реологии металлов [9, 10], в частности используемых в обработке металлов давлением, показано, что реологическое поведение средне- и

мелкозернистых материалов со средним размером зерна от 100 до 0,01 мм может быть описано моделью вязкопластической среды со значимой долей вязкого компонента ($m=0,1\dots 0,2$). Поэтому при деформировании в условиях теплой, полугорячей и горячей деформации при скоростях, типичных для большинства процессов ОМД, их целесообразно рассматривать как вязкопластические материалы. При таком подходе можно сказать, что и условия для течения металла будут схожи для материалов, относящихся к средне- и мелкозернистым. Следовательно, и применимость кинематических схем течения металла для таких материалов будет одинаковой. Важно отметить, что к таким материалам можно отнести большинство конструкционных материалов, используемых в процессахковки и штамповки, например деформационные сплавы алюминия или конструкционные стали.

Таким образом, анализируя полученные в результате виртуальных экспериментов и используя накопленные данные, относящиеся к реологическим особенностям материалов, а также опыт в исследовании уже существующих кинематических схем течения металла и зависимость их от различных факторов, можно предположить, что промежуточная кинематическая схема, по-видимому, содержит элементы как нормальной, так и радиальной схем течения металла.

Исследование таких схем возможно средствами САПР, хотя и связано с рядом сложностей. В настоящее время ведутся работы по исследованию кинематической схемы течения металла с помощью программного комплекса PARSHAMP, применимой для плоских заготовок. Расчет одного варианта промежуточной схемы в PARSHAMP занимает несколько секунд, что в значительной мере сокращает время на анализ возможности образования дефектов, граничных условий технологического процесса и формы начальной заготовки.

Подводя итоги, можно сказать, что промежуточная кинематическая схема течения металла дает непротиворечивую картину формообразования поковки. Применимость кинематических схем для конструкционных материалов со средне- и мелкозернистой структурой заслуживает особого внимания, так как при таком подходе классификация заготовок представляется по физико-химическим свойствам материалов, а не по классам металлов и сплавов.

Библиографический список

1. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. – М.: Metallurgizdat., 1960. – 375 с.
2. Головин А.Ф. Прокатка. – М.: ОНТИ, 1933. – 222 с.

3. Тарновский И.Я. Формоизменения при пластической обработке металлов. – М.: Metallurgizdat, 1954. – 534 с.
4. Ильюшин А.А. Полная пластичность в процессах течения между жесткими поверхностями, аналогия с песчаной насыпью и некоторые приложения // Прикладная математика и механика, 1955, т.19, вып.6, с. 693-713.
5. Соломонов К.Н., Костарев И.В., Абашкин В.П. Моделирование процессов объёмной штамповки иковки плоских заготовок. – М.: Издательский дом МИСиС, 2008. – 128 с.
6. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. Возможности компьютерного анализа осадки заготовок // Технология лёгких сплавов, 2008, № 2, с. 96-100.
7. Соломонов Константин. Моделирование формообразования поковок: исследования, гипотезы, разработки. – Saarbrücken (Germany): LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 165 с.
8. Математическое моделирование в нелинейной механике / Е.Н. Чумаченко, Т.В. Полякова и др. – М.: ИКИ РАН, 2009. – 42 с.
9. Чумаченко Е.Н., Смирнов О.М., Цепин М.А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии. – М.: КомКнига, 2005. – 320 с.
10. Смирнов О.М., Щерба В.Н. Влияние реологических свойств легких сплавов на особенности их течения при прессовании // Изв. вузов. Цветная металлургия, 1997, № 1, с. 26-32.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абдрахманова А.А.	121	Гулин А.Е.	112
Авсейков С.В.	106	Емелюшин А.Н.	121
Амиров Р.Н.	95	Емельянов Д.А.	158
Андросенко М.В.	127, 151	Жиркин Ю.В.	82
Антонов М.В.	173	Зайцева А.А.	173
Анцупов А.В. (мл)	40, 70, 145, 163	Залилов Р.В.	163
Анцупов А.В.	40, 70, 145, 163	Иванов М.В.	185
Анцупов В.П.	40, 70, 145, 163	Ишеков А.С.	185
Анцупова И.А.	54	Кадошников В.И.	127
Байматов К.К.	47	Кадошникова И.Д.	127, 151
Бардин Е.А.	185	Калиниченко В.И.	198
Белан А.К.	35	Камадина С.А.	54
Белан О.А.	35	Катеринина И.А.	127
Бобарикин Ю.Л.	106	Китанов А.А.	59
Богатов В.В.	118	Клипачевский В.В.	198
Вдовин К.Н.	173	Кожевников А.В.	204
Гавриш П.В.	79	Кожевникова И.А.	204
Гопкало А.П.	198	Кривенцов А.М.	18
Губин А.С.	54	Куликова Е.В.	127

Максимов А.А.	47	Русанов В.А.	40, 54
Максимов Н.П.	47	Рыженко С.Н.	158
Максимов Р.Н.	47	Савинов А.С.	154
Мальцев А.А.	64	Савинов Е.С.	154
Мананников Е.А.	99	Салов И.А.	102
Мартьянов Ю.В.	106	Саранча С.Ю.	25
Митрофанова В.В.	95	Свистунова Е.А.	190
Мироненков Е.И.	82	Седуш В.Я.	8
Моллер А.Б.	25	Селезнёв О.Е.	154
Нефедов А.В.	59	Сидоров В.А.	87
Нефедьев С.П.	95, 121	Слободянский М.Г.	40, 70, 145, 163
Овсов А.М.	70, 145, 163	Соломонов К.Н.	209
Останина К.А.	35	Сорокин Г.А.	204
Ошовская Е.В.	87	Степыко Т.В.	118
Пожидаев Ю.А.	102	Столяров А.Ю.	181
Полякова М.А.	112	Султанов Н.Л.	82
Поляруш И.В.	154	Тищук Л.И.	209
Радомская И.В.	154	Точилкин Вас. В.	99
Решетникова Е.С.	133	Усатая Т.В.	133
Родинков С.В.	18	Феоктистов Н.А.	173

Халина С.А.	95
Харлов Д.А.	151
Цыбанев Г.В.	198
Чейлях А.П.	139
Чейлях Я.А.	29, 139
Ченцов Н.А.	8, 87
Чиченева О.Н.	99
Шейченко Г.В.	139
Шинкаревич Ю.П.	158
Шленкина М.А.	82