

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу *Галимьянова Ильяс Каримовича* «Исследование и совершенствование технологии производства мелющих шаров повышенной объемной твердости на основе физического и компьютерного моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением

Актуальность темы диссертационного исследования

С целью производства мелющих шаров 4 и 5 групп твердости по ГОСТ 7524-2015 и более высокой твердости в АО «ЕВРАЗ НТМК» введен в эксплуатацию новый шаропрокатный стан. Выполнение повышенных требований обеспечивается путем разработки технологического процесса производства мелющих шаров на оборудовании участка нового шаропрокатного стана рельсобалочного цеха. Разработка технологического процесса включает в себя подбор оптимального химического состава стали, расчет калибровки прокатных валков, выбор режима термической обработки мелющих шаров.

В связи с вышесказанным исследование напряжённо-деформированного состояния процесса поперечно-винтовой прокатки мелющих шаров и процесса их термообработки на новом шаропрокатном стане с целью разработки технологических режимов производства, обеспечивающих заданный уровень свойств, является **актуальной задачей**.

Структура и основное содержание работы

Диссертация изложена на 155 страницах текста, включает 86 рисунков, 2 таблицы и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 147 наименований и одного приложения.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, дана характеристика её научной новизны и практической значимости.

В **первой главе** представлено описание технических требований к мелющим шарам, анализ литературы по проблематике исследования. Описаны особенности технологического процесса производства мелющих шаров и методом поперечно-винтовой прокатки. Произведен обзор технологии производства изготовителей мелющих шаров и анализ методик расчета калибровки валков шаропрокатных станков. На основании выполненного обзора, сформулированы цель и задачи исследования.

Во **второй главе** выполнен анализ действующей и разработана новая двухзаходная калибровка прокатных валков шаропрокатных станов для производства мелющих шаров диаметром 100 мм. Произведено компьютерное моделирование в программном комплексе Deform V12.1, для создания геометрии процесса была выбрана CAD-система Solid Works V10.

По результатам моделирования установлено, что при использовании калибровки валков с дискретно-изменяющимся шагом нарезки реборд:

- в целом имеет место достаточно высокий уровень напряжений по всему объему деформируемого металла;

- в процессе прокатки шаров используется увеличенный вертикальный угол наклона валков при этом имеют место большие значения тангенциальных напряжений;

- в зоне захвата металла валками имеют место повышенные контактные напряжения, что вызывает существенный износ реборды в этой зоне;

- металл, смещаемый из перемычек в шар, приводит к радиальной деформации и увеличению диаметра шара по сравнению с диаметром заготовки. Это вызывает повышенный уровень напряжений на боковой поверхности реборды, что приводит к повышенному износу реборд и образованию в промышленных условиях дефекта наката металла в осевой зоне шара – «шапка».

Действующая калибровка валков шаропрокатного стана усовершенствована.

На основании расчетов калибров разработана новая калибровка двухзаходных валков с непрерывно изменяющимся шагом для прокатки мелющих шаров диаметром 100 мм. Методика расчета калибровки валков с непрерывно-изменяющимся шагом отличается новым принципом построения ширины реборд в начале формирующего участка при захвате заготовки с учетом соблюдения условий постоянства объема металла в калибре.

По результатам расчета элементов построен график нарезки калибров.

Для разработанной калибровки выполнено компьютерное моделирование.

По результатам моделирования новой калибровки двухзаходных валков с непрерывно-изменяющимся шагом для прокатки мелющих шаров диаметром 100 мм установлено:

- уровень напряжений по всему объему деформируемого металла снижается;

- подобранный в ходе моделирования вертикальный угол наклона валков в 3,5 градуса, снижает тангенциальные напряжения;

- снижение напряжений по сравнению с действующей калибровкой подтверждает эффективность калибровки с непрерывно-изменяющимся шагом ввиду наличия эффекта растяжения в осевой зоне при отделении «половинки».

- снижение уровня напряжений на боковой поверхности реборды, что приводит к уменьшению износа реборд и исключению образования дефекта наката металла на шаре – «шапка».

По разработанной модели изготовлены рабочие валки шаропрокатного стана. Прокатана опытная партия шаров. Результаты опытной прокатки подтвердили выводы теоретического исследования.

Разработанная калибровка опробована в условиях шаропрокатного стана АО «ЕВРАЗ НТМК». Прокатана опытная партия шаров диаметром 100 мм из легированной марки стали 65С2Х. Объем партии- 2000т.

Получены следующие результаты прокатки опытной партии:

- форма, геометрические размеры и качество поверхности шаров соответствуют требованиям ГОСТ;

- применен питающий угол валков 3,5 град, что привело к снижению тангенциальных нагрузок, и как следствие к снижению износа рабочих калибров и исключению образования дефектов поверхности;

-разработанная новая калибровка валков в совокупности с примененными настроечными параметрами позволили снизить нагрузку на электродвигатель прокатного стана на 10-15 %, т.е. повысить энергоэффективность процесса прокатки шаров.

Третья глава сфокусирована на анализе настроечных параметров при прокатке мелющих шаров на шаропрокатном стане.

При проектировании процесса прокатки шаров, основными параметрами как для расчета калибровки, так и для построения модели валка, являются: диаметр и длина бочки рабочих валков, положение точки скрещивания (зоны где реборды валков находятся на максимально близком расстоянии друг от друга – там, где происходит отделение шара), а также межвалковое расстояние в точке скрещивания.

Разработан алгоритм расчета межвалкового расстояния в точке скрещивания валков шаропрокатного стана.

Проведен анализ настроечных параметров прокатных валков с винтовыми калибрами при прокатке мелющих шаров диаметром 60 мм, 80 мм, 90 мм, 100 мм, 120 мм по ГОСТ 7524-2015. По результатам анализа определены рациональные настроечные параметры, гарантирующие производство шаров с

удовлетворительными показателями формы и размеров, качества поверхности, а также исключая недопустимые дефекты.

На основе систематизированных данных о рациональных настройках шаропрокатного стана получены уравнения для расчета настроечных параметров прокатки, как для новых валков, так и для валков после переточки.

Полученные уравнения позволяют определить рациональные настроечные параметры шаропрокатного стана при освоении новой номенклатуры шаров.

В четвертой главе представлены результаты разработки, исследования и внедрение технологии термической обработки мелющих шаров при помощи компьютерного и физического моделирования.

Исследование неравномерности распределения температур по сечению и поверхности шара после прокатки по новой калибровке выполнено с помощью пакета Deform. Эти результаты явились исходными данными для моделирования процессов термической обработки шаров.

Как показали результаты фактических замеров температурных полей на поверхности шара диаметром 100 мм, непосредственно после прокатки выявляется существенное повышение температуры от пояска к полюсам с 946 до 1025 °С, существенно зависящее от условий деформации заготовки в прокатных валках, что сопоставимо с результатами моделирования температурного распределения в программном комплексе Deform и подтверждает адекватность компьютерной модели.

С помощью программного комплекса SOLID FLOW SIMULATION проведено исследование выравнивания температуры шаров после прокатки для моделирования распределения температуры по сечению шара перед закалкой.

Сопоставив результаты физического и компьютерного моделирования процесса охлаждения шара после прокатки распределение температуры по сечению шара диаметром 100 мм на 150 секунде охлаждения перед процессом закалки происходит в диапазоне от 835 до 740 °С (от центра к поверхности).

На основе взаимодействия программных пакетов JMatPro и DEFORM построена компьютерная модель процесса закалки, которая позволяет оценивать фазовый состав и твердость мелющего шара после термической обработки. Моделирование процесса закалки шара диаметром 100 мм из стали марки 65С2Х показало, что при всех возможных разбросах химического состава исходной заготовки, твердость поверхности шаров, мелющих составит не менее 57 HRC, а объемная твердость не менее 46 HRC, что удовлетворяет требова-

ниям 5-ой группы твердости по ГОСТ 7524-2015. Построенная модель процесса термической обработки позволяет учитывать неравномерность распределения температур по сечению шара после процесса прокатки на шаропрокатном стане.

На основании построенной модели разработана технология производства мелющих шаров из стали марок 70ХГС, 60ГР, 65С2Х. С целью отработки производства опытной партии и отгрузки потребителю мелющих шаров повышенной прочности проведена опытно – промышленная работа. Произведена опытно – промышленная партия шаров, по результатам аттестации которых, имеется подтверждение на соответствие техническим требованиям 4 и 5 групп твердости по ГОСТ 7524-2015. По согласованию опытно-промышленные партии направлены потребителю. По результатам использования мелющих шаров 5-ой группы твердости по ГОСТ 7524-2015 потребитель получил улучшенные результаты по удельному расходу шаров и увеличил объем поставок.

Таким образом, впервые с применением программных комплексов JMatPro и DEFORM произведено компьютерное моделирование процесса термической обработки мелющих шаров с целью получения технических показателей в соответствии с требованиями потребителя. Полученная модель позволяет разработать режимы технологического процесса закалки и отпуска с целью получения мелющих шаров повышенной прочности.

В разделе «**Заключение**» представлены основные результаты в форме шести основных выводов.

Научная новизна диссертационной работы

Все научные выводы диссертации обоснованы, апробированы и опубликованы. Можно выделить следующие результаты исследований:

- новые знания о влиянии параметров калибровки валков шаропрокатного стана на распределение напряжений и деформаций при прокатке мелющих шаров диаметром 100 мм с применением дискрето- и непрерывно-изменяющегося шага нарезки реборд;

- усовершенствованная методика расчета калибровки валков шаропрокатного стана, отличающаяся от известных, новым подходом к определению ширины реборды;

- методика и математическая модель расчета настроечных параметров шаропрокатного стана (расстояние между валками на входе выходе металла, угла расположения валков) в зависимости от диаметра прокатываемого шара;

- модель процесса термической обработки шаров, которая включает в себя: расчет температурных полей в металле после прокатки и в процессе охлаждения перед закалкой, а также компьютерную модель процесса закалки и отпуска мелющих шаров в программных комплексах Deform 3D и JMatPro.

Достоверность результатов диссертации

Результаты диссертационной работы Ильяса Каримовича Галимьянова в экспериментальной части подтверждены применением компьютерного и физического моделирования, опытных исследований и актами о результатах использования в промышленных условиях.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в: проведении компьютерного моделирования действующей калибровки с применением дискретно-изменяющегося шага реборды, выявлении недостатков процесса прокатки на шаропрокатном стане; разработке и внедрении новой калибровки валков с применением непрерывно-изменяющегося шага реборды; разработке алгоритма расчета межосевого расстояния в точке скрещивания прокатных валков при производстве шаров разного диаметра и методики определения рациональных настроечных параметров шаропрокатного стана для шаров различных диаметров, как для новых валков, так и для валков после переточки; внедрении на базе режимов термической обработки, разработанных с помощью компьютерного моделирования внедрен технологический процесс закалки и отпуска шаров 5 группы твердости по ГОСТ 7524-2015.

Достоверность разработок, предложенных в диссертационной работе, подтверждает их внедрение и использование на промышленных площадках:

- внедрение новой калибровки валков в совокупности с примененными настроечными параметрами позволяют снизить нагрузку на электродвигатель прокатного стана на 10-15 %, т.е. повысить энергоэффективность процесса прокатки шаров;

- на основе выявленных функциональных зависимостей внедрена методика определения рациональных настроечных параметров шаропрокатного стана для шаров различных диаметров, как для новых валков, так и для валков после переточки;

- внедрена технология производства мелющих шаров повышенной объемной твердости из стали марок 70ХГ, 65С2Х, 60ГР с использованием компьютерного моделирования процесса термической обработки в программном комплексе Deform 3D.

Оформление диссертации. Публикации по работе

Диссертация написана грамотным техническим языком с использованием общепринятых терминов исследуемых предметных областей, аккуратно и правильно оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 13 печатных трудах, в том числе 9 из них опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, 8 вошли в международную базу Scopus. Также по результатам работы получен патент на изобретение.

Автореферат соответствует установленным требованиям и отражает основное содержание диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертации применительно к исследуемой технологии используется термин «термомеханическая обработка». Уточните, как данный термин отражает суть процессов, происходящих в технологическом процессе, который вы исследуете.

2. В параграфе 2.3 диссертации соискатель говорит о снижении износа реборд при применении новой калибровки. Как оценивался износ реборд? Каковы численные значения показателей снижения износа реборд по новой калибровке?

3. В таблице 3.3 диссертации приведены уравнения функций настроечных параметров, полученные аппроксимацией данных базы настроечных параметров шаропрокатного стана. Какой объем исходных значений используемых при построении зависимостей? В представленных уравнениях d является диаметром шаров?

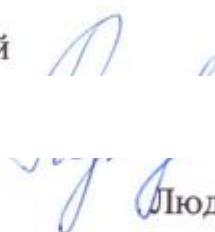
Заключение по работе

Диссертационная работа Галимьянова Ильяса Каримовича «Исследование и совершенствование технологии производства мелющих шаров повышенной объемной твердости на основе физического и компьютерного моделирования» соответствует научной специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением.

Предоставленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, связанную с исследованием напряжённо-деформированного состояния процесса поперечно-винто-

вой прокатки мелющих шаров и процесса их термообработки на новом шаро-прокатном стане. Диссертация соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а его автор, Галимьянов Ильяс Каримович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры металлургия
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Московский политехнический
университет»



Радионова
Людмила Владимировна

Дата подписания отзыва: «12» мая 2023 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Московский политехнический университет»
107023, Россия, Москва, Большая Семёновская ул., 38
E-mail: radionovalv@rambler.ru
+7 (495) 223-05-23

Подпись официального оппонента
Л.В. Радионовой заверяю

Ведущий документовед
Е.В.Ал

