



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Сибирский федеральный университет»

К.т.н., доцент

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-82-14
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001

11.11.2025 № 7117

на № _____ от _____



Капулин Денис Владимирович

«10» 11 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Байдина Вадима Викторовича
«Развитие технологических основ ресурсосберегающего производства катаных
мелющих шаров повышенной твердости и ударной стойкости», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

Актуальность диссертационной работы.

В настоящее время в отечественной промышленности наблюдается тенденция к повышению объема измельчаемого сырья и материалов на стадиях подготовки к основному производству. С учетом того факта, что основной технологией измельчения материалов является их размол в мельницах барабанного типа это приводит к увеличению потребления мелющих (помольных шаров). При этом наибольшим спросом пользуются шары повышенной твердости и ударостойкости, массовое производство которых представляет объективные сложности. Следует отметить, что как в отечественной, так и в зарубежной металлургии наибольшая доля мелющих шаров производится из стали с использованием технологии поперечно-винтовой прокатки, хотя в последние годы получает распространение производство литых мелющих шаров из легированных чугунов. Вышеприведенная информация свидетельствует об актуальности тематики представленной диссертационной работы, направленной на разработку ресурсосберегающих режимов производства катаных мелющих шаров повышенной твердости и ударной стойкости, в особенности с учетом объективных ограничений по закупке высококачественных мелющих шаров у

зарубежных производителей и необходимости импортозамещения по данному виду продукции.

Научная новизна и практическая значимость.

К теоретической значимости диссертационной работы следует отнести комплекс закономерностей и новой научной информации применительно к процессу поперечно-винтовой прокатки мелющих шаров, в том числе:

- научно обоснованные закономерности влияния химического состава стандартных и экспериментальных сталей для производства мелющих шаров повышенной твердости на сопротивление пластической деформации;

- новые данные о влиянии температуры деформации и калибровки валков при прокатке шаров различного химического состава на формирование схемы напряженного состояния металла и величину максимальных точечных напряжений;

- установление возможности и обоснование эффективности производства шаров высокой объемной твердости и ударостойкости из стали опытного химического состава, дополнительно микролегированной ванадием.

Значимость диссертации для практики подтверждена положительными результатами опытно-промышленного опробования разработанных режимов прокатки, в том числе калибровки валков и термомеханической обработки мелющих шаров, в условиях действующего промышленного прокатного стана. При использовании предложенных новых режимов производства мелющих из сталей оптимизированного химического состава достигнуто повышение показателей их твердости и ударной стойкости при одновременном снижении удельных расходов электроэнергии и прокатных валков, что подтверждено соответствующей Справкой об использовании результатов диссертации в производстве.

Анализ структуры и содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, двух приложений и изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок, 29 таблиц, список литературы из 145 наименований.

В первой главе представлен обзор современных технологических решений

производства стальных мелющих шаров повышенной твердости, износо- и ударостойкости, проанализированы основные требования к регламентируемым параметрам качества мелющих шаров, проведен анализ основных технологических схем производства катаных мелющих шаров и перспективных направлений совершенствования технологических режимов прокатки и термомеханической обработки шаров.

В материалах **второй главы** представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на теоретическое обоснование ресурсосберегающих режимов производства мелющих шаров 4 группы твердости по ГОСТ 7524-2015 (с высокой твердостью поверхности и нормированной твердостью на глубине 0,5 радиуса), одновременно обладающих повышенной ударостойкостью. Проведенными статистическими исследованиями определены закономерности влияния химического состава и температурного режима прокатки мелющих шаров на показатели их твердости и ударной стойкости. При этом полученные закономерности обоснованы результатами математического моделирования распределения температурных полей и напряжений на поверхности прокатываемых шаров в процессе деформации и результатами металлографических исследований микроструктуры шаров. На основании комплексного подхода с использованием интегрального показателя ресурсо-, материало- и металлосбережения обоснована оптимальная температура нагрева заготовок под прокатку мелющих шаров. Приведенные результаты опытно-промышленного опробования нового температурного режима прокатки мелющих шаров из стали оптимизированного химического состава подтверждают результаты экспериментальных и теоретических исследований – зафиксировано снижение отбраковки мелющих шаров при одновременном уменьшении удельных расходов электроэнергии и прокатных валков.

В рамках **третьей главы** проведено обоснование оптимального химического состава и исследования сопротивления деформации экспериментальных сталей для производства мелющих шаров 5 группы твердости по ГОСТ 7524-2015 (высокой твердости поверхности с нормированной объемной твердостью) повышенной ударостойкости. На основании проведенных

исследований разработана экономнолегированная сталь марки Ш76ХФ применение которой позволяет получать мелющие шары с оптимальными параметрами микроструктуры, обладающими высокой поверхностной и объемной твердостью, а также повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам. Получено аналитическое уравнение, позволяющее проводить прогнозный расчет сопротивления деформации сталей для производства мелющих шаров при варьировании их химического состава и параметров прокатки. При этом адекватность указанного уравнения подтверждена при прокатке мелющих шаров и заготовок из стандартных и экспериментальных сталей в условиях промышленного шаропрокатного и сортовых станов.

Четвертая глава посвящена разработке и опытно-промышленному опробованию режимов прокатки и термомеханической обработки мелющих шаров большого диаметра из экспериментальной стали марки Ш76ХФ. На основании результатов компьютерного моделирования напряженного состояния металла при прокатке шаров разработана новая калибровки валков с непрерывно изменяющимся шагом реборды, опробование которой показало снижение удельного расхода прокатных валков на 18-22% за счет снижения износа реборд. Проведена оптимизация параметров термической обработки мелющих шаров после прокатки, что позволило обеспечить дополнительное повышение твердости и ударной стойкости мелющих шаров.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, основные результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных изданиях и апробированы на научно-технических конференциях всероссийского и международного уровня.

Работа в целом оставляет положительное впечатление, однако имеется ряд **замечаний**:

1. В аналитическом обзоре неоднократно упоминается, что устойчивость мелющих шаров к абразивному износу, наряду с их твердостью и ударостойкостью, является важным параметром качества мелющих шаров. Однако при проведении исследований по совершенствованию химического состава и технологических режимов производства мелющих шаров данная характеристика автором не рассмотрена.

2. По результатам проведенных исследований влияния параметров производства мелющих шаров на их твердость и ударостойкость автором

показано (рисунки 2.1 и 2.2 в диссертации), что относительная степень влияния неучтенных при анализе параметров на показатели твердости составляет 17-21%, на ударостойкость – 23%. При этом отсутствует информация какие именно параметры имеются ввиду и по какой причине не проводился анализ их влияния на твердость и ударостойкость шаров.

3. Оптимизированный химический состав стали марки Ш2.3 для производства мелющих шаров 4-й группы твердости фактически отличается от стандартного (базового) состава данной стали на незначительную величину по содержанию таких элементов, как углерод, марганец, хром и сера (таблица 2.8 в диссертации). Поэтому следовало бы более детально обосновать механизмы влияния оптимизированного химического состава стали на твердость и ударную стойкость производимых мелющих шаров.

4. Обобщение результатов экспериментальных исследований позволило получить аналитическое уравнение, устанавливающее взаимосвязь сопротивления деформации сталей для производства мелющих шаров с их химическим составом и параметрами прокатки (уравнение 3.2 на странице 87 диссертации). Адекватность уравнения подтверждена проверкой в производственных условиях. Однако, при этом, отсутствует анализ сопоставимости прогнозных значений сопротивления деформации, рассчитанных по данному уравнению, с сопротивлением деформации, рассчитанным по известным аналитическим уравнениям других авторов.

5. Из текста диссертации не понятно почему разработка новой калибровки произведена только для мелющих шаров диаметром 100 мм, в то время как в сортамент рассматриваемого стана входят мелющие шары диаметров от 40 до 100 мм (согласно рисунку 4.1 в диссертации).

Следует отметить, что приведенные замечания носят уточняющий и в ряде случаев рекомендательный характер и в целом не снижают научно-практическую значимость представленной диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для развития производства высококачественных мелющих шаров методом поперечно-винтовой прокатки. Диссертация обладает научной новизной и практической значимостью, выполнена на актуальную тему. Материалы диссертации в полной мере

опубликованы в рецензируемых научных изданиях. По содержанию диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что диссертация «Развитие технологических основ ресурсосберегающего производства катаных мелющих шаров повышенной твердости и ударной стойкости» полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Байдин Вадим Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Диссертация обсуждена и одобрена на заседании кафедры обработки металлов давлением, на котором присутствовали 1 доктор и 10 кандидатов технических наук по специальности 05.16.05 (2.6.4) Обработка металлов давлением (протокол № 2 от 21.10.2025 г.).

Заведующий кафедрой обработки металлов давлением, к.т.н.
(05.16.05 – Обработка металлов давлением),
доцент

Ворошилов Денис Сергеевич

Профессор кафедры обработки металлов давлением, д.т.н.
(05.16.05 – Обработка металлов давлением),
профессор

Сидельников Сергей Борисович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», 660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, тел. +7 (391) 206-22-22, e-mail: office@sfu-kras.ru

Я, Ворошилов Денис Сергеевич, выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя Байдина Вадима Викторовича и их дальнейшую обработку.

Я, Сидельников Сергей Борисович, выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя Байдина Вадима Викторовича и их дальнейшую обработку.

Подписи Ворошилова Д.С. и Сидельникова С.Б. удостоверяю:

ФГАОУ ВО СФУ		
Подпись	С.Б. Сидельникова	
Делопроизводитель	С.В. Шереметьева	
« 11 »	11	2025 г.

