

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента 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.**

В настоящее время основной технологией производства мелющих шаров, используемых в качестве измельчающей среды в барабанных мельницах для дробления материалов, является поперечно-винтовая прокатка. Это объясняется значительно повышенной производительностью данного способа производства шаров по сравнению с другими известными методами – литьем и штамповкой. Катаные мелющие шары производятся на специализированных станах, при этом особую сложность представляет производство мелющих шаров 4-ой и 5-ой групп твердости по ГОСТ 7524-2015 (повышенной твердости поверхности с регламентируемой твердостью в объеме шаров), одновременно обладающих высокой ударной стойкостью. Поскольку именно мелющие шары с такими характеристиками являются на сегодняшний день наиболее востребованными у потребителей, то разработка энергоэффективных режимов их производства является актуальной научно-технической задачей. Таким образом можно констатировать, что представленная диссертация выполнена на актуальную тему.

### **Анализ структуры диссертации.**

Диссертация структурно состоит из введения, четырех глав, выводов, двух приложений; изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков, 19 таблиц, список литературы включает 145 наименований.

Во **введении** представлена информация об актуальности диссертации, степени разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, ее научная и практическая значимость, приведены краткая характеристика методологии и методов исследования, а также сведения об апробации основных материалов диссертации на научно-технических

конференциях различного уровня.

**Первая глава** в соответствии с общепринятыми нормами представляет собой аналитический обзор материалов отечественных и зарубежных исследователей по тематике диссертации. В частности, проанализированы современные технологические решения при производстве стальных мелющих шаров с повышенными эксплуатационными характеристиками, проведен анализ основных требований к регламентируемым параметрам стальных мелющих шаров и анализ технологических схем производства катаных мелющих шаров; также обобщены материалы исследований процесса производства мелющих шаров, проведенных с использованием моделирования в прикладных программных комплексах. Представленная аналитическая информация обобщена в виде выводов и на ее основе сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** содержатся результаты исследований влияния химического состава мелющих шаров и режимов их прокатки на показатели твердости и ударной стойкости готовых шаров диаметром 60 мм 4-ой группы твердости текущего производства промышленного стана. На основании комплекса статистических, металлографических исследований, а также теоретических исследований, проведенных методом компьютерного моделирования, определены закономерности и механизмы влияния химического состава и температуры прокатки шаров на их твердость и ударостойкость. Результаты обобщены в виде аналитических уравнений. На основании полученных данных, а также расчетов интегрального показателя энерго-, металло- и материалосбережения обоснован новый температурный режим прокатки мелющих шаров оптимизированного химического состава, опытно-промышленное опробование которого показало снижение отбраковки шаров при одновременном снижении удельных расходов электроэнергии и прокатных валков.

**Третья глава** посвящена обоснованию оптимального химического состава сталей для производства мелющих шаров наивысшей (пятой) группы твердости, устойчивых к ударным нагрузкам. Представлены результаты лабораторных экспериментальных исследований формирования и изменения микроструктуры и твердости мелющих шаров из 5-ти сталей экспериментального химического состава, легированных марганцем, хромом, никелем и ванадием до различных

концентраций данных элементов, по стадиям производства. Также приведены результаты исследований сопротивления деформации рассмотренных экспериментальных сталей. На основании полученных данных обоснован оптимальный химический состав экономнолегированной стали условной марки Ш76ХФ. Также обобщение полученных результатов позволило получить аналитическое уравнение для прогнозных расчетов сопротивления деформации сталей для мелющих шаров при варьировании их химического состава и параметров прокатки.

**Четвертая глава** содержит результаты разработки и опытно-промышленного опробования режимов прокатки и термомеханической обработки шаров диаметром 100 мм 5-ой группы твердости из экономнолегированной стали нового химического состава. В рамках данного направления с использованием результатов компьютерного моделирования разработана калибровка валков с непрерывно изменяющимся шагом реборды; на основании комплекса экспериментальных и металлографических исследований оптимизированы параметры термической обработки мелющих шаров после их прокатки. При экспериментальной прокатке шаров диаметром 100 мм на действующем стане с использованием новой калибровки валков зафиксировано снижение удельного расхода прокатных валков на 18-22% за счет уменьшения износа реборд. Оптимизация температурного режима прокатки шаров и параметров их закалки позволила повысить объемную твердость и ударную стойкость производимых шаров, что подтверждено результатами опытно-промышленной прокатки.

Анализ текста автореферата позволяет сделать вывод о его полном соответствии диссертации.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

Основную ценность с научной точки зрения представляют следующие результаты:

- 1) определены закономерности и обоснованы механизмы влияния на сопротивление деформации сталей для производства мелющих шаров таких параметров, как химический состав, температура, скорость и степень деформации; в том числе установлен факт значительного повышения сопротивления деформации сталей, легированных марганцем, хромом и никелем при их дополнительном микролегировании ванадием;

2) получены новые подтвержденные сведения о влиянии температуры, деформации и калибровки валков при поперечно-винтовой прокатке шаров различного химического состава на формирование схемы напряженного состояния металла; в частности, определено значительное снижение интенсивности напряжений в локальных зонах контакта поверхности шаров с ребордой валков при повышении температуры деформации и использовании калибровки с непрерывно-изменяющейся высотой реборды;

3) установлена принципиальная возможность производства и обоснованы режимы прокатки и термической обработки мелющих шаров высокой объемной твердости и ударостойкости из стали опытного химического состава, легированной марганцем и хромом и дополнительно микролегированной ванадием.

Практическую значимость работы подтверждают результаты промышленного опробования разработанных режимов прокатки и термомеханической обработки мелющих шаров в условиях действующего шаропрокатного стана АО «ЕВРАЗ ЗСМК», подтвержденные соответствующей Справкой, в том числе:

1) разработан и внедрен температурный режим прокатки мелющих шаров из стандартной стали оптимизированного химического состава, обеспечивающий получение шаров высокой поверхностной твердости и повышенной ударной стойкости, обладающий энерго- и материалосберегающим свойствами;

2) разработана и опробована в опытно-промышленных условиях калибровка валков шаропрокатного стана для производства мелющих шаров большого диаметра, обеспечивающая уменьшение износа реборд за счет снижения интенсивности напряжений в процессе деформации;

3) разработаны и прошли опытно-промышленное опробование режимы прокатки и термомеханической обработки мелющих шаров из экономнолегированной стали экспериментального химического состава, обеспечивающие повышенную объемную твердость и ударостойкость.

Также необходимо отметить, что результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс и используются в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» при подготовке магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», что подтверждено соответствующей

Справкой.

### **Замечания по работе:**

1. Объектом исследования в представленной диссертационной работе явился шаропрокатный стан 40-100. В связи с этим возникает вопрос об универсальности полученных закономерностей и возможности применения разработанных режимов производства мелющих шаров и калибровки валка в условиях других прокатных станов.

2. Общей чертой всех разработанных экспериментальных сталей для производства мелющих шаров 5-й группы твёрдости является микролегирование ванадием (таблица 3.1 в диссертации). Неясно, почему выбран именно этот легирующий элемент и не опробовано, например, легирование стали титаном.

3. В практической значимости работы указано, что разработана калибровка рабочих валков. В диссертации приведена общая методика расчёта калибровки, однако не приведён сам расчёт и эскиз разработанной калибровки валка. Для более полного и корректного формирования представления о проделанной работе результаты расчёта и эскиз калибровки следовало бы представить.

4. В диссертации отсутствует экономическое обоснование применения разработанной стали Ш76ХФ для производства шаров взамен традиционных марок стали. Очевидно, что себестоимость таких шаров возрастёт в связи с легированием стали дорогостоящим ванадием; неясно, окупится ли данное увеличение затрат.

Представленные замечания не носят принципиального характера и не снижают научную и практическую значимость диссертации.

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

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащая комплекс новых научно обоснованных технологических решений, имеющих существенное значение для развития производства катаных мелющих шаров повышенной твердости и ударостойкости. Материалы диссертации содержат научную новизну, имеют практическую значимость и опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Диссертация выполнена на актуальную тему, по содержанию и научной новизне соответствует паспорту научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Таким образом, диссертация «Развитие технологических основ ресурсосберегающего производства катаных мелющих шаров повышенной твердости и ударной стойкости» 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.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук  
(специальность 05.02.09 – Технологии и  
Машины обработки давлением),  
доцент кафедры обработки металлов  
давлением НИТУ МИСИС

Будников Алексей Сергеевич

Служебный адрес:  
119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1  
тел. +7 499 230-28-54  
e-mail: budnikov.as@misis.ru

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

