

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Галимьянова Ильяса Каримовича «ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ОБЪЕМНОЙ ТВЕРДОСТИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Галимьянова И.К., связана с моделированием процесса и совершенствованием технологии производства мелющих шаров повышенной объемной твердости. Возрастающая потребность промышленности в мелющих шарах, повышение требований к качеству, энергоэффективности производства обуславливают актуальность представленной диссертации для науки и практики.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В первом разделе диссертации проведен критический анализ научно-технической литературы и патентный обзор (список литературы содержит 147 наименований) по теме диссертации. Основное внимание уделено современному состоянию способов производства стальных мелющих шаров, обзору существующих методик расчета калибровки прокатных валков шаропрокатных станов.

На основании анализа источников И.К.Галимьянов обоснованно заключил, что в настоящее время в области обработки металлов давлением наиболее обоснованно и полно выполнено решение краевых задач пластической деформации мелющих шаров путем прокатки на валках с однозаходной расточкой. Менее изученными являются процессы деформации мелющих шаров путем прокатки на валках с двух- и более заходной расточкой и процессы термообработки шаров из легированных марок стали. В завершении раздела диссертант приходит к выводу, что при прокатке мелющих шаров высокой твердости основными параметрами процесса прокатки являются распределение температурных полей и равномерность удельных обжатий. Усилия обжатия можно оценить моделированием, исходя из зависимости распределения деформации, напряжений и температурных полей на поверхности и по сечению шара. С учетом этого *обоснованно* сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Второй раздел преимущественно посвящен математическому моделированию процессов поперечно-винтовой двухзаходной прокатки мелющих шаров, совершенствованию калибровки валков и промышленной апробации предлагаемых решений.

Разработана новая калибровка двухзаходных валков с непрерывно-изменяющимся шагом для прокатки мелющих шаров диаметром 100 мм, которая отличается новым принципом построения ширины реборд в начале формирующего участка при захвате заготовки. Результаты моделирования показали, что вертикальный угол наклона валков в 3,5 градуса, существенно снижает тангенциальные напряжения. Апробация новой калибровки в условиях шаропрокатного стана АО «ЕВРАЗ НТМК» подтвердила снижение напряжений и, как следствие, снижение износа рабочих калибров и исключения образования дефектов поверхности. Это позволило снизить нагрузку на привод и повысить энергоэффективность процесса.

В результате была создана универсальная модель, используемая при анализе вновь разрабатываемых и совершенствовании существующих калибровок двухзаходных валков, обеспечивающая высокую сходимость результатов компьютерного моделирования и промышленных данных.

Третья глава посвящена анализу настроечных параметров шаропрокатного стана. Разработан алгоритм расчета межвалкового расстояния в точке скрещивания валков шаропрокатного стана. По результатам анализа определены рациональные настроечные параметры, гарантирующие производство шаров с удовлетворительными показателями формы и размеров, качества поверхности, а также исключая недопустимые дефекты. Проведенные исследования, наряду с анализом геометрических характеристик и качества поверхности продукции, представляют особый *интерес и новизну*.

В четвертом разделе представлены результаты моделирования и внедрения технологии производства мелющих шаров. С использованием программного комплекса SOLID FLOW SIMULATION проведено исследование выравнивания температуры шаров после прокатки. Адекватность компьютерной модели подтверждена замерами температуры поверхности шаров на выходе из стана. С помощью пакетов программ JMatPro и DEFORM построена модель процесса закалки, которая позволяет прогнозировать структуру и твердость мелющего шара после термической обработки. Точность модели подтверждена дюрOMETрическими исследованиями опытной парии шаров 100 мм из стали марки 65С2Х. На основании модели разработаны технологии производства мелющих шаров из сталей других марок (70ХГС, 60ГР и др.)

Опираясь на собственные исследования и данные расчета созданной виртуальной модели, И.К.Галимьянов доказал возможность гарантированного производства мелющих шаров диаметром 100 мм 4 и 5 групп твердости на сталях различных марок.

В приложениях к работе приведены документы, убедительно подтверждающие реализацию опытно-промышленных работ: акт о результатах использования методики определения настроечных параметров

шаропрокатного стана, акт использования технологии производства шаров повышенной точности в условиях АО «ЕВРАЗ НТМК», патент на способ производства мелющих шаров.

Таким образом, *степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций в диссертации И.К.Галимьянова не вызывает сомнения*, они являются прямым следствием математических моделей, подтвержденных производственными исследованиями, а также разработанными технологиями, доведенными до стадии внедрения.

### **3. Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа изложена на 159 страницах текста, состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 147 наименований (фактически источников 148, под № 132 - два разных источника), и приложения. Работа содержит 75 рисунков и 21 таблицу.

Анализируя тексты диссертации, автореферата и сопоставляя их с работами соискателя, опубликованными по теме диссертации, можно заключить, что *общие выводы и положения, сформулированные диссертантом, правомерны, логичны и вытекают из полученных экспериментальных данных*. Все основные результаты, отраженные в диссертации, опубликованы автором в периодической (рецензируемой) печати и материалах конференций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

### **4. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Новизна решений в представленной работе изложена в следующих тезисах.

Установлено влияние калибровки валков на распределение напряжений и деформаций при прокатке мелющих шаров диаметром 100 мм. Новая, двухзаходная калибровка с применением непрерывно-изменяющегося шага нарезки реборд гарантирует равномерное обжатие со всех сторон (напряжения составляют 160-173 МПа, при пиковых значениях 295 МПа). Равномерность напряжений по длине заготовки приводит к повышению точности геометрических характеристик шара и к снижению износа инструмента деформации.

По результатам моделирования вертикальный угол наклона двухзаходных валков уменьшен до 3,5 град. Это привело к снижению тангенциальных нагрузок, что подтверждается уменьшенным износом боковых стенок калибров.

Усовершенствована методика расчета калибровки валков, отличающаяся новым подходом к определению ширины реборды. Максимальные напряжения и износ сосредоточены на ребордах валка только в зоне врезки. На других

участках наблюдается равномерная деформация металла со всех сторон. Это повысило энергоэффективность процесса прокатки шаров на 10-15 %.

На основе разработанной математической модели расчета настроечных параметров шаропрокатного стана получены уравнения этих параметров в зависимости от диаметра прокатываемого шара, как для новых валков, так и для переточенных в ремонтные размеры.

Таким образом, *все положения и выводы, представленные в работе, являются новыми, достоверными*, заслуживающими внимания, как с научной, так и с практической точек зрения. *Достоверность научных результатов*, полученных в работе, обеспечена корректным выбором современных методов исследования и согласованностью базовых положений диссертации с концепциями механики обработки металлов давлением, а также подтверждением данных математического моделирования в производственных экспериментах.

## 5. Значимость результатов диссертации для науки и практики

*В научном плане* И.К.Галимьянов разработал научно обоснованные решения по совершенствованию технологии производства мелющих шаров повышенной объемной твердости.

В практическом плане сделано следующее:

- разработана и внедрена новая калибровка двухзаходных валков с применением непрерывно-изменяющегося шага реборды, обеспечивающая снижение износа рабочих валков, дефектов прокатного происхождения, энергозатрат на прокатку.

- предложен и проверен на практике способ расчета межосевого расстояния в точке скрещивания прокатных валков при производстве шаров разного диаметра.

- разработан и внедрен алгоритм определения рациональных настроечных параметров стана для прокатки шаров различного диаметра.

- предложены режимы термической обработки (закалки и отпуска), позволяющие производить шары 5 группы твердости.

По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, в том числе 1 патент РФ, 9 статей, в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 8 статей в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus.

## 6. Замечания

1. На рис.4.7 приведена расчетная диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 65С2Х. Начало распада аустенита при температуре 600-650°С

происходит через 8-10 с. На рис. 4.11 те же диаграммы, но инкубационный период, при той же температуре, уменьшился до 2 с и менее. Почему?

2. На стр.123 в последнем абзаце сказано: «При максимальном же количестве легирующих добавок и углерода величина закаленного слоя составляет лишь порядка 10 мм, однако очевидно, что в дальнейшем остаточный аустенит будет переходить в мартенсит и величина слоя увеличится». Непонятно, как распад остаточного аустенита при отпуске может повлиять на глубину закаленного слоя?

3. На стр.124. рис. 4.12 согласно масштабным линейкам распределение температур и данные об объемной доле фаз приведены для шара Ø 120 мм. До этого на стр. 121 указано, что модель создана для шаров Ø 100 мм. Для какого диаметра шара приведены результаты расчетов? Кроме того, объемная доля фаз, рассчитанная в результате моделирования и представленная на рис. 4.12 не совпадает с цифрами, приведенными в экспликации к рисунку. Получается на поверхности шара находится 17% аустенита и 91% мартенсита.

4. На стр. 124 автор, со ссылкой на рис. 4.13 пишет « ... в процессе отпуска температура шара выравнивается и приблизительно через 120 секунд составляет 97°C», но согласно рисунку это происходит через 4...5 с, а все процессы отпуска заканчиваются через 20 с. Это маловероятно, к тому же в тексте на стр. 125 указано другое, гораздо более приемлемое, время отпуска.

5. На стр.125 в последнем абзаце рассмотрено моделирование охлаждения шара на воздухе. Охлаждение происходит 120 минут. Очевидно, что закалки шара нет. Утверждение автора, что «большая часть остаточного аустенита переходит в закалочный мартенсит» не понятно.

6. Стр.127 (последнее предложение). Как автор представляет наличие в соседних микрообъемах отпущенного и "закалочного" мартенсита? Почему не произошел отпуск?

7. Какая погрешность измерения твердости в данных, представленных на рис. 4.15, 4.17, 4.19? В чем смысл измерения твердости шара после копровых и особенно после повторных копровых испытаний на том же шаре.

8. Ряд замечаний связан с ошибками и неточностями терминологического, редакционного и структурного характера.

- Использование термина «термомеханическая обработка» для описания технологии производства мелющих шаров некорректно, т.к. необходимо не только совмещение горячей пластической деформации аустенита с последующей закалкой на мартенсит, но и исключение развития рекристаллизации горячедеформированного аустенита.
- Термин "закалочный мартенсит" не удачен. Перлит не является фазой (стр. 127, табл.4.3), а представлять твердость феррита, как и других мягких составляющих, в единицах Роквелла некорректно.
- Представленные на рис.2.5, 2.6 и 2.7 зависимости не являются кривыми упрочнения стали 65С2Х. Это диаграммы деформации, которые иллюстрируют сопротивление материала деформации в горячем состоянии.

- Содержание рис. 2.8,б и рис. 2.8,в следует поменять местами, так как заготовка движется в валках поступательно, реверс при вращении валков не предусмотрен. Тоже для рис 2.10,д и рис 2.10,е
- На стр.109 и 110 показано неравномерное распределение температуры на поверхности шара после прокатки, это не градиент температуры. Градиент температуры имеет другую размерность.
- В диссертации указано, что работа содержит 86 рисунков и 20 таблиц, в автореферате 86 рисунков и 2 таблицы, а реально: 75 рисунков 21 таблица. Рисунков с номерами 1.9 ...1.18 и 2.12 нет, хотя в тексте диссертации нет и ссылок на них. Под одним номером 1.7 приведены две разные таблицы. Фактически список литературы содержит 148 (а не 147) наименований, т.к. под № 132 два источника разных авторов. Фактически диссертация изложена на 159 (а не 155) страницах текста. В печатном экземпляре после стр. 154 идет номер 151. В электронном варианте так же сбой в нумерации страниц: после стр. 73 идет номер 70. Однако, следует отметить, что нарушена только нумерация. Все страницы в печатном и электронном варианте есть в наличии, пропущенных страниц или их неправильной последовательности нет.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы, научную и практическую значимость полученных автором результатов.

### **Заключение**

Анализ материалов, представленных в диссертации, позволяет сделать следующие выводы.

По объему, актуальности исследований, новизне результатов, их достоверности, научной и практической значимости диссертация И.К.Галимьянова является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики страны. Материалы диссертации достоверны, достаточно апробированы и опубликованы в научной печати. Содержание работы соответствует специальности 2.6.4.- Обработка металлов давлением.

Указанные разработки включают обоснованное компьютерным моделированием и экспериментальными данными совершенствование технологии производства мелющих шаров повышенной объемной твердости путем модернизации существующих и внедрения новых калибровок инструмента деформации. Результаты работы позволяют повысить качество производимой продукции и улучшить технико-экономические показатели производства.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», а ее автор Галимьянов Ильяс Каримович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4.- «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент (специальность 05.02.01 – Материаловедение в машиностроении), заведующий кафедрой металлургических технологий Нижнетагильского технологического института (филиала) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Шевченко Олег Игоревич  
28.04.2023

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Галимьянова Ильяса Каримовича и их дальнейшую обработку.

Подпись О.И.Шевченко удостоверяю:



ДОКУМЕНТОВЕД УДИОВ  
ГАФУРОВА А.А.

Нижнетагильский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

622031 г. Нижний Тагил, Свердловская область, ул. Красногвардейская, д.59.

Телефон: +7(3435)256500,

E-mail: oleg.shevchenko@urfu.ru