

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Салихьяновой Екатерины Ильиничны
«Разработка математической модели проектирования и оптимизации
калибровки валков для прокатки швеллеров»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением

1. Актуальность темы диссертации

Поиск технологических резервов, обеспечивающих улучшение самых различных показателей технологических процессов и качества продукции в последнее время становится важным инструментом технологического развития, поэтому диссертационная работа Салихьяновой Е. И. посвященная разработке математической модели проектирования и оптимизации калибровки валков для прокатки швеллеров является **актуальной**, создавая научно-технологическую и методическую базу совершенствования технологических процессов сортопрокатного производства, в частности производства швеллеров. Представленная в работе математическая модель позволяет формализовать целый ряд разнообразных технических и технологических факторов и создавать решения на основе объективных критериев, снижая зависимость от субъективного подхода, достаточно распространенного в калибровке валков и профилей проката.

2. Структура, объем и основное содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и семи приложений. Текст диссертации изложен на 212 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 50 таблиц. Список литературы включает 150 наименований.

Во **введении** сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены научная новизна, практическая и теоретическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация полученных результатов.

В **первой главе** автор приводит достаточно подробный и хорошо изложенный литературный и патентный обзор по теме исследования. Весьма подробно рассмотрены различные способы производства швеллеров, калибровки валков и методики расчета ключевых параметров калибровок. Приведен анализ существующих подходов к оптимизации калибровок валков, известный из отечественных и зарубежных источников. На основании проведенного исследования существующих научных и технических подходов к вопросам калибровки и ее оптимизации сформулирована цель и основные задачи работы.

Во **второй главе** представлено развитие «Концепции двухэтапной оптимизации», разработанной в научной школе Обработки металлов давлением Уральского Федерального Университета. Данная концепция рассматривается как основа для последующей разработки математической модели проектирования и оптимизации калибровки валков для производства швеллеров. Согласно концепции, калибровка валков является системой, обладающей двумя составляющими оптимальности – схемой калибровки и режимом обжатий. Предлагается проводить последовательную оптимизацию: на первом этапе – поиск оптимальной схемы калибровки; на втором – расчет оптимального режима обжатий для полученной на первом этапе оптимальной схемы калибровки. На каждом из этапов имеется свой критерий оптимальности, каждый из которых включает в себя пространство оптимизации, целевую функцию и правило выбора оптимального решения. Также предложено новое представление пространства режимов обжатий, как n -мерного пространства координатами в котором являются коэффициенты обжатия по стенке швеллера.

В третьей главе подробно рассматривается каждый модуль, входящий в модель проектирования и оптимизации калибровки валков для прокатки швеллеров. Предложено проводить многоцелевую оптимизацию, которая позволит учесть все цели оптимизации, к которым должна стремиться идеальная калибровка. Выбрана типовая для сортовой прокатки система исходных данных и ограничений. С помощью генераторов сформированы пространства схем швеллерных калибровок и режимов обжатий. Для формирования первого пространства проведена процедура формализации швеллерных калибров, структуризация и классифицирование всех известных калибровок валков для производства швеллеров. Представлены алгоритмы расчета значений целевых функций критериев оптимальности. Для определения значения целевой функции схемы калибровки проведена «оцифровка» швеллерных калибров с помощью известных методов экспертной оценки и ранжирования. Для определения значения целевой функции режима обжатий значения энергосиловых параметров приведены к безразмерному виду.

В данной главе указано, что разработанные методики и алгоритмы позволяют проводить не только оптимизацию существующих калибровок, но и проектировать таковые. Также данная модель прописана таким образом, чтобы имелась возможность ее дальнейшей компьютерной реализации.

В четвертой главе представлено применение разработанных моделей и методик при разработке калибровки валков для прокатки швеллера 24У на РБС ОА «Евраз НТМК». Были определены значения целевых функций критериев оптимальности для действующей калибровки. Установлена рациональная схема калибровки для швеллера 24У на РБС ОА «Евраз НТМК». Представлено шесть вариантов оптимальных режимов обжатий для данной схемы. Для более универсального из них построена рабочая калибровка валков и монтажные схемы калибров на валках. Указано, что

предложенная соискателем калибровка имеет значительно лучшие значения целевых функций критериев оптимальности, нежели заводская калибровка.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

В приложениях приведены блок-схема алгоритма генерации отдельной виртуальной схемы швеллерной калибровки валков, разбиснис схем швеллерных калибров на блоки в зависимости от типа схемы калибровки, графы связей швеллерных калибров, монтажные схемы прокатных валков для швеллера 24У при прокатке в калибрах с увеличенным уклоном полок (заводская калибровка) на РБС ОАО «ЕВРАЗ НТМК», оптимальная развернутая калибровка валков для прокатки швеллера №24У на РБС ОАО «ЕВРАЗ НТМК», монтажные схемы прокатных валков для швеллера 24У при прокатке в развернутых калибрах (оптимальная калибровка), акт об использовании результатов диссертационной работы на АО «ЕВРАЗ НТМК».

3. Оформление диссертации. Публикации по работе

В целом материал диссертации изложен логически правильно и достаточно полно и последовательно отражает результаты большой научно-исследовательской работы от постановки задач до практического использования ее результатов. Результаты проведенных исследований в полном объеме иллюстрированы графиками, рисунками и таблицами, что позволяет наглядно представить материал. Выводы по главам диссертации соответствуют содержанию глав и отражают полученные результаты.

Материалы диссертационной работы и основные результаты достаточно широко опубликованы в 15 научных статьях, из них 5 опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, Аттестационным советом УрФУ и входящих в международную базу данных Scopus.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы, полностью отражает основные ее результаты и соответствует содержанию опубликованных работ.

Оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.

4. Научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложено применение принципов классификации для формализации и цифровой интерпретации швеллерных калибров, что позволило позволившая сформировать "пространство швеллерных калибров" в качестве объекта для цифровых решений.

2. Положения классификации и системного подхода позволили получить новую универсальную блочную структурную схему калибровки для прокатки швеллеров.

3. Выявлены причинно-следственные связи ключевых характеристик швеллерных калибров, позволяющие определить возможность их последовательного применения в схеме калибровки на основе теории графов.

4. Предложена модель формирования схем швеллерных калибровок, отличающаяся учетом условия применимости для особенностей конкретных прокатных станов, что позволяет рассматривать "пространство схем швеллерных калибровок" в качестве пространства оптимизации.

5. Предложен новый принцип описания режима обжатий как точки n -мерного пространства обжатий в n проходах прокатки, отличающийся тем, что определенная совокупность таких точек является "пространством режимов обжатий", используемым в качестве пространства оптимизации.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методик и алгоритмов, позволяющих определить оптимальную швеллерную калибровку по двум составляющим оптимальности: схеме калибровки и режиму обжатий. Также эти методики и алгоритмы разработаны с возможностью дальнейшей компьютерной реализации.

Практическая значимость в создании работоспособных методик и алгоритмов, обеспечивающих реализацию цифровых решений при проектировании и совершенствовании калибровки валков, что обеспечило разработку новой калибровки валков для швеллера №24У на рельсобалочном стане «ЕВРАЗ НТМК», т. е. обладающую оптимизированной схемой калибровки и оптимальным режимом обжатий. Имеется акт об использовании результатов в прокатном производстве указанного предприятия.

5. Обоснованность и достоверность научных результатов

Достоверность результатов исследований обоснована корректной постановкой решаемых задач, применением известных положений теории ОМД, теории систем, теории оптимального управления, теории графов, апробированных методов вычислительной математики. Выводы и практические рекомендации вытекают из результатов теоретических исследований, системного анализа и математического моделирования.

Результаты работы Салихяновой Е. И. подтверждены сопоставлением оцифрованных предложенной автором и заводской швеллерных калибровок. Это дает полное основание считать их **достоверными**.

Представленные научные результаты расширяют, дополняют знания в области теории и технологии прокатки и не противоречат существующим научным знаниям по процессам обработки металлов давлением.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Изложение и анализ материала о технологии производства швеллеров и калибровке швеллеров (стр. 14-29 диссертации) являются методичным и содержательным, но, при этом, слишком подробными.

2. При рассмотрении понятий «пространство калибров» и «обобщенный калибр» на стр.50 говорится о плавной трансформации размеров и элементов обобщенного калибра. При этом не указано, каким образом следует рассматривать эту трансформацию: через геометрический образ или через численное описание?

3. При рассмотрении второго этапа оптимизации соискатель подробно рассматривает описание режима обжатий. Несмотря на то, что данный термин является общепринятым следует пояснить достаточно ли характеристика деформаций через усредненное значение обжатие в каждом проходе, учитывая сложность формы калибров.

4. В таблице 3.1. указаны весовые коэффициенты (коэффициенты влияния показателей). Требуется пояснения принципы или методика по которой определены значения этих коэффициентов. Это же касается излишне краткого упоминания экспертной оценки коэффициентов влияния в табл. 3.24.

5. На странице 81 указывается на выявление 96 невозможных комбинаций характеристик калибров при формировании матрицы калибров. Учитывая, что классифицирование является одним из методов поиска новых решений, выявлены ли сочетания характеристик и коды калибров, которые ранее не были известны, но при этом реализуемы?

6. Требуется пояснений реализация методики экспертной оценки рангов калибров, поскольку ссылки на источники 133 и 146 в тексте на стр. 96 даны только на общие методики других авторов.

7. При разработке новой калибровки швеллера 24У на стр. 153 указана возможность существенного сокращения машинного времени при прокатке в клети 800. Следовало бы прокомментировать за счет каких технологических или иных факторов может быть реализовано это уменьшение.

8. В главе 4 диссертационной работы при описании результатов применения математической модели использованы термин «оптимальная калибровка» наряду с термином «рациональная калибровка». Имеются ли какие-то содержательные отличия в этих понятиях?

Указанные замечания не затрагивают основных положений, вынесенных автором на защиту и не сказываются на общей положительной оценке диссертационной работы. Некоторые из замечаний носят дискуссионный характер.

7. Заключение

1. Диссертационная работа Салихяновой Е. И. «Разработка математической модели проектирования и оптимизации калибровки валков для прокатки швеллеров» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой изложены научно обоснованные теоретические, технические и технологические решения, связанные с разработкой и применением математической модели проектирования и оптимизации калибровки валков для прокатки швеллеров.

2. Содержание диссертации Салихяновой Е.И. соответствует специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением.

3. Диссертация полностью соответствует содержанию п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор – Салихьянова Екатерина Ильинична заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением.

Доктор технических наук, профессор,

проректор по научной и

инновационной работе

ФГБОУ ВО МГТУ им. Г.И.Носова

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова



Тулупов Олег Николаевич

Дата подписания отзыва: «25» 09 2023 г.

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. ФГБОУ ВО МГТУ им. Г.И.Носова

Тел.: +7 (351) 929-84-09

E-mail: o.tulupov@magtu.ru

Личную подпись Тулупова О.Н. заверяю:

