

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Снитко Сергея Александровича на тему «Научные основы автоматизированного проектирования рабочих органов агрегатов и технологии штамповки и прокатки колес», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальностям 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (в металлургии), 05.16.05 - Обработка металлов давлением

### 1. Актуальность избранной темы

Предметом исследования диссертации являются технологии штамповки и прокатки железнодорожных колес, методы автоматизированного проектирования конструкций колес, калибровок и параметров рабочих органов прессов и колесопрокатных станов (КПС), а также закономерности формоизменения металла и напряженно-деформированного состояния (НДС) колес и деформирующего инструмента от действия эксплуатационных нагрузок.

Недостаточная изученность влияния режимов деформирования на эксплуатационные нагрузки рабочих органов формовочного пресса и колесопрокатного стана создает определенные трудности при выборе рациональных режимов штамповки и прокатки новых профилеразмеров колес для обеспечения высокой стойкости штампов и валков, а также рациональной силовой загрузки прессопрокатного оборудования.

На момент начала диссертационного исследования отсутствовала научно-обоснованная теория проектирования новых конструкций железнодорожных колес применительно к различным условиям их эксплуатации.

Существующие методы автоматизированного проектирования профилей чистовых и черновых колес, а также калибровок и деформирующего инструмента характеризуются отсутствием системного подхода, который позволял бы выполнять разработки для широкого сортаментного ряда колес. Для современных прессопрокатных линий, оснащенных только двумя прессами перед колесопрокатным станом вертикального типа, математические модели и методы автоматизированного проектирования технологии и рабочих органов агрегатов отсутствуют.

Традиционные методы и подходы, применяемые к расчету параметров рабочих органов прессов и КПС базируются в основном на упрощенных аналитических моделях расчета эксплуатационных нагрузок и не учитывают неравномерность нагружения (и, соответственно, неравномерность НДС деталей), связанную с конкретным режимом деформирования, который в свою очередь, определяется выбранной схемой штамповки, режимом работы КПС и разработанной калибровкой деформирующего инструмента.

Изложенные выше положения дают основания утверждать, что научно-техническая проблема, сформулированная в диссертационной работе, является актуальной. Ее решение позволяет в сжатые сроки разрабатывать новые низконапряженные конструкции колес под заданные виды нагрузок, проектировать калибровки и деформирующий инструмент для их изготовления на прессопрокатных линиях, а также реализовывать на практике рациональные схемы и режимы штамповки и прокатки новых видов колес, обеспечивая требуемое качество продукции, стойкость инструмента и сокращение числа опытных прокаток.



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

Обоснованность полученных в диссертационной работе Снитко С.А. результатов подтверждается их базированием на основных положениях классических теорий, а также использованием современных методов исследования металлургических машин, агрегатов и процессов, имеющих место при обработке металлов давлением. В частности широко использовалось конечно-элементное (КЭ) моделирование в среде DEFORM 3D. Такой подход хорошо зарекомендовал себя в данной предметной области, о чем свидетельствуют результаты многочисленных исследований, результаты которых опубликованы в трудах известных отечественных и зарубежных ученых. При этом важно отметить, что автором были адаптированы соответствующие методики КЭ моделирования с учетом специфики решаемых в диссертации задач. Теоретические и экспериментальные подходы, использованные при решении достаточно широкого круга задач диссертации отличаются комплексностью и удачно дополняют друг друга.

Исследования НДС колес от действия эксплуатационных нагрузок опираются на базовые положения механики сплошных сред и сопротивления материалов и реализованы путем КЭ моделирования по специальным методикам АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ» и европейского стандарта UIC.

Экспериментальные исследования процесса прокатки колес выполнены в условиях их промышленного производства. При этом использованы стационарно установленные на стане приборы для фиксации давления в рабочих гидроцилиндрах, перемещения валков и приращения диаметра прокатываемого колеса в зависимости от времени. Выполненный на этой основе учет реальной кинематики валков КПС позволил получить адекватную КЭ модель процесса прокатки, установить взаимосвязь режима прокатки с эксплуатационными нагрузками на валках, а также разработать рациональные режимы прокатки колес.

Теоретические исследования формоизменения, силовых и температурных параметров многопереходного процесса деформирования заготовок колес на прессопрокатной линии выполнены на базе основных положений теории

пластичности и теории обработки металлов давлением путем КЭ моделирования. При этом в качестве исходной информации, а также для проверки адекватности реализованных КЭ моделей использованы экспериментальные данные по силовым, скоростным и температурным параметрам процессов штамповки и прокатки колес, которые были получены при промышленном производстве колес. При обработке данных использованы стандартные методы математической статистики и обработки данных, в частности пакет STATISTICA. При разработке регрессионных зависимостей для расчета параметров процессов штамповки колесных заготовок автором была также применена теория планируемого эксперимента, которая на сегодняшний день всесторонне изучена и обоснована. Указанные зависимости использованы при автоматизированном проектировании калибровок.

Исследования напряжений и деформаций рабочих органов прессов и КПС, а также износа формовочных штампов выполнены на базе основных положений механики сплошных сред и сопротивления материалов. При этом были использованы полученные на предыдущих этапах исследования адекватные результаты КЭ моделирования процессов деформирования заготовок колес на прессах и КПС. На этой основе предложены рациональные схемы и режимы штамповки и прокатки колес, позволяющие обеспечить стабильность размеров черновых колес, равномерную силовую загрузку прессов и продление срока службы рабочих органов прессов и КПС.

Разработанные теоретические основы проектирования криволинейных дисков колес, сборочных чертежей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки прессов, сборочных чертежей нажимного и эджерных валков КПС вертикального типа, а также модели визуализации перемещения траверс прессов, валков и заготовки при прокатке базируются на основных положениях теоретической механики, аналитической геометрии и вычислительной математики.



### **3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных в диссертационной работе Снитко С.А. научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием современных научных теорий, строгостью применяемого математического аппарата, корректностью обработки экспериментальных данных и удовлетворительной корреляцией результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Достоверность полученных в диссертационной работе Снитко С.А. результатов также подтверждается их широким практическим использованием в условиях промышленного производства колес на ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», АО «ВМЗ», что отмечено в соответствующих актах.

Наиболее значимыми новыми научными результатами, представленными в диссертации Снитко С.А., являются следующие:

1. Впервые созданы научные основы автоматизированного проектирования профилей колес, которые дают необходимые и достаточные условия для минимизации и равномерного распределения напряжений в дисках колес от действия эксплуатационных нагрузок;
2. Получили дальнейшее развитие представления:
  - о положении нейтральной линии в зоне диска колесной заготовки, относительно которой в последний момент штамповки на формовочном прессе металл течет в зоны обода и ступицы, а также о степени заполнения металлом штампов в зонах обода и ступицы;
  - о рациональном соотношении между суммарными осевыми и радиальными обжатиями обода при прокатке колеса;
  - о влиянии схемы штамповки колесной заготовки на износ деформирующего инструмента формовочного прессы;
  - о влиянии скоростного режима прокатки на силовые нагрузки, напряженное состояние и запас прочности эджерных валков.
3. Впервые созданы научные основы автоматизированного проектирования сборочных чертежей рабочих органов заготовочных, формовочных и выгибных

прессов, включающие взаимную зависимость: базовых габаритных размеров проектируемых деталей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки, а также штамподержателей; дополнительных размеров (фасок, отверстий, выступов, выемок, закруглений, уклонов, зазоров между деталями); координат точек сопряжений калибровок по инструменту деформации; недостающих (рассчитываемых по разработанным математическим моделям) габаритных, а также взаимосвязанных с ними размеров деталей.

4. Впервые созданы научные основы автоматизированного проектирования сборочных чертежей нажимного и эджерных валков колесопрокатных станов вертикального типа, включающие взаимную зависимость геометрических параметров колесопрокатного стана, определяющих кинематику валков; углов поворота осей переднего и заднего эджерных валков, их длин и диаметров; параметра предельного положения оси нажимного валка; координат точек сопряжений калибровок по металлу для формовочного пресса и колесопрокатного стана.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 27-ти рецензируемых научных изданиях и 1-ой научной монографии, неоднократно обсуждены на конференциях различного уровня. Техническая новизна предложенных в диссертации решений подтверждена 5-тью патентами на изобретения.

В целом, научно-технические результаты, полученные соискателем в диссертационной работе, являются новыми научными знаниями для металлургической отрасли и имеют широкие перспективы дальнейшего практического применения.

Внедрение результатов работы в промышленности обеспечило повышение технико-экономической эффективности производства штампованно-катаных железнодорожных колес.

#### 4. Замечания



1. В подразделе 7.3 выполнены исследования напряженно-деформированного состояния рабочих органов и дополнительной оснастки заготовочного прессы R5000 от действия эксплуатационных нагрузок при штамповке заготовок по предлагаемой автором технологии. При этом не ясно, почему аналогичные проверочные расчеты не выполнялись для других прессы, формовочного (R9000) и выгибного (K5000).

2. В диссертации не проводились экспериментальные исследования по изучению износа формовочных штампов и уточнению значений эмпирических коэффициентов в используемой модели абразивного износа. Поэтому приведенные в диссертации выводы и рекомендации по данному вопросу дают лишь качественную картину влияния режима деформирования металла на степень износа штампов.

3. В п.8 научной новизны установлен механизм минимизации асимметрии обода колеса на стадии прокатки «осадка обода по ширине». При этом не ясно, почему в качестве определяющей асимметрию выбрана именно начальная стадия прокатки, продолжительность которой, согласно приведенным в работе данным экспериментальных исследований, составляет менее 1/4 машинного времени прокатки колеса.

4. В литературном обзоре автор отмечает постоянное расширение сортамента штампованно-катаных железнодорожных колес. Вместе с тем, значительная часть результатов, выводов и рекомендаций диссертации были получены применительно к колесам с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011, конструкция и технология производства которых далеко не новы.

5. В рамках диссертационных исследований не выполнялись экспериментальные исследования стойкости рабочих органов агрегатов прессопрокатной линии.

6. В подразделе 7.1 целесообразно было бы расширить объем информации, касающейся анализа силовой загрузки прессы.

7. В диссертации предложены технические решения по снижению асимметрии колесных заготовок применительно к условиям прессопрокатных

линий ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» и АО «ВМЗ», на которых перед колесопрокатным станом установлено по 3 прессы, и ОАО «ЕВРАЗ НТМК», на которой перед колесопрокатным станом установлено 2 прессы. Вместе с тем в мировой практике известны также современные прессопрокатные линии по производству колес, в составе которых перед станом установлен один двухпозиционный пресс. Указанные линии в работе не рассматривались, отсутствуют также технические решения по снижению на них асимметрии колесных заготовок.

8. В настоящее время при производстве железнодорожных колес широко используется технология дробеметного упрочнения их дисков. В результате такой обработки повышаются механические свойства поверхностного слоя диска и, как следствие, существенно возрастает эксплуатационная стойкость колес. Очевидно, при прочностных расчетах колес необходимо учитывать неравномерность механических свойств металла по толщине диска. Этого в диссертации сделано не было.

## 5. Заключение

Диссертационная работа Снитко С.А. написана автором самостоятельно, характеризуется логичностью изложения материала и наличием необходимых причинно-следственных связей, начиная с анализа состояния проблемы и постановки задач исследования и заканчивая разработкой методов автоматизированного проектирования технологии деформирования и рабочих органов прессопрокатного оборудования с последующим использованием этих методов на промышленных предприятиях при освоении производства новых типоразмеров железнодорожных колес.

Работа содержит новые научные и практические результаты, свидетельствующие о личном вкладе соискателя в теорию и практику проектирования технологий и рабочих органов для агрегатов прессопрокатных линий по производству железнодорожных колес.



Научные положения, выводы и рекомендации работы обоснованы и достоверны, полностью осязаемы в научных изданиях и широко апробированы на международных конференциях и в условиях промышленности. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Представленная диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой. В ней, на основе проведенных соискателем исследований, решена актуальная и имеющая важное хозяйственное значение научно-техническая проблема создания научных основ автоматизированного проектирования низконапряженных конструкций железнодорожных колес, рабочих органов агрегатов и технологии штамповки и прокатки колес широкого сортамента, совершенствования технологических режимов и конструктивных параметров рабочих органов агрегатов штамповки и прокатки колес для освоения производства новых типоразмеров колес.

По совокупности научных и практических результатов работа соответствует п.2.1 «Положения о присуждении ученых степеней» и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по специальностям 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (в металлургии) и 05.16.05 - Обработка металлов давлением, а ее автор, Снитко Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Инжиниринг технологического оборудования»

Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

Почтовый адрес: 119991, РФ, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 4.

Тел.: +7 (495) 955-00-32. Факс: +7 (499) 236-21-05. E-mail: kancela@misis.ru

Сергей Михайлович Горбатюк

Я, Горбатюк Сергей Михайлович, согласен на автоматизированную обработку

персональных данных, приведенных в этом документе

ПОДПИСАНО  
Диссертация  
и общим вопросам  
НИТУ «МИСиС»



ЗАВЕРЯЮ  
И.М. Исаев