

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Гончарука Александра Васильевича  
на диссертационную работу Медведева Вадима Анатольевича  
«Разработка и исследование режимов термомеханической обработки,  
обеспечивающих заданные свойства стальных сосудов на выходе прокатно-  
прессовой линии», представленной на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности 2.6.4 – Обработка металлов  
давлением (технические науки)

### **Актуальность темы диссертации**

Развитие технологии производства полых заготовок с дном ответственного назначения, усовершенствование технических систем для их производства, снижение расходов всех видов ресурсов являются приоритетными направлениями развития обработки металлов давлением. В современных условиях требуются инновации по разработке новых технологий с учётом динамики развития прокатно-прессовых линий (ППЛ). В этом случае необходимы научно-технические решения, позволяющие в короткие сроки проектировать и усовершенствовать эффективные технологии производства качественного проката и средства его контроля в соответствии с характеристиками технологического процесса.

В связи с этим, исследования процессов нагрева и охлаждения полуфабрикатов в условиях нестационарной горячей винтовой прокатки и штамповки, разработка рациональных температурно-деформационных режимов, обеспечивающих заданные механические свойства по длине и сечению сосудов востребованы и являются приоритетной научно-технической задачей. Выполняемые для ее решения разработки технологий и новых технических устройств, интегрированных в технологическую линию, усовершенствование методики и средств неразрушающего контроля свойств сосудов из стали 50 на выходе прокатно-прессовой линии, чему и посвящена данная работа, являются актуальными.

### **Структура, объём и содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, изложенных на 129 страницах машинописного текста, включающего 57 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 154 использованных источников, в состав которых входят отечественные и зарубежные авторы, 2 приложения.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель работы и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость работы, отражены основные положения, выносимые на защиту, достоверность, апробация работы, структура и объем диссертации.

**В первой главе** обоснована необходимость развития теории горячей винтовой прокатки и последующей штамповки в виде комплексного взаимодействия режимов работы прокатно-прессовой линии при формировании механических свойств проката.

**Во второй главе** представлены результаты компьютерного моделирования комплексного процесса горячей винтовой прошивки заготовки в гильзу с дном и последующей ее штамповки и калибровки на прессе.

Моделированием выявлено, что после винтовой прокатки формируется неравномерная температура по длине сосуда. У донной части температура максимальная около  $1100^{\circ}\text{C}$ , к центральной части она снижается до  $1020^{\circ}\text{C}$ , а у кромки минимальная  $980^{\circ}\text{C}$ . Разница температуры по длине чернового сосуда составляет около  $120^{\circ}\text{C}$ . Тенденции неравномерности температуры по длине чистового сосуда после штамповки сохраняются: в донной части максимальная температура составляет  $950^{\circ}\text{C}$ , а в центральной части и по кромке около  $740 - 760^{\circ}\text{C}$  соответственно. Установленная разность температур (около  $210^{\circ}\text{C}$ ) позволила обосновано разрабатывать режимы управления температурой для выравнивания механических свойств после закалки проката на выходе ППЛ.

Экспериментальные исследования распределения температуры по длине стальных сосудов после прошивки и штамповки на ППЛ в целом подтвердили результаты компьютерного моделирования. Результаты измерений позволили определить среднюю скорость охлаждения сосуда при закалке по зонам, разница скоростей охлаждения верхней и донной частей составляет  $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ . Получены линейные уравнения, устанавливающие связь между начальной температурой  $t$  и временем охлаждения  $T$  в масле И20 трёх зон частей сосуда из стали 50. Использование полученных уравнений позволяет прогнозировать скорость закалки в масле И20 неравномерно нагретого по длине изделия.

Исследовано влияния неравномерности распределения температуры и скорости закалки на формирование фазового состава и размера зерна микроструктуры верхней и донной частей чистового сосуда из стали 50, а также распределение механических свойств по длине закалённых сосудов.

Результаты компьютерного моделирования и полученные при обработке данных экспериментальных исследований уравнения обеспечивают прогнозирование неконтролируемых переменных при переходных и установившихся процессах и разработку режимов термомеханической обработки, обеспечивающих заданные свойства стальных сосудов на выходе прокатно-прессовой линии.

**Третья глава** посвящена исследованию методов управления температурой по длине черновых сосудов и результаты экспериментального исследования процесса выравнивания механических свойств сосудов на выходе прокатно-прессовой линии. С использованием спроектированного вспомогательного оборудования проведён эксперимент по поиску режимов: дополнительного нагрева черновых сосудов после прокатки с учётом последующего охлаждения во время штамповки. Для обеспечения равномерности распределения температуры по длине изделия при значении ее  $750^{\circ}\text{C}$  предложено подогревать верхнюю часть чернового сосуда и охлаждать его донную часть сжатым воздухом. Таким образом решены задачи обеспечения однородности фазовых составов нагретого металла, выравнивания скорости закалки, влияющей на формирование микроструктуры и механических свойств закалённого сосуда путём разработки и реализации новой усовершенствованной технологии с дополнительным оборудованием.

Разработанные режимы управления температурой полуфабрикатов позволяют вариативно обеспечивать необходимые технологические интервалы значений прочности и пластичности частей сосуда. При этом неравномерность свойств по длине проката не превышает 5%.

**В четвёртой главе** приведены модульная методология, аналитические и интеллектуальные алгоритмы проектирования эффективных технологий управления механическими свойствами и микроструктурой стальных сосудов путём варьирования различных закалочных сред, а также величиной обезуглероженного слоя в процессе термомеханической обработки на прокатно-прессовой линии. Установлено, что варьирование исследуемых охлаждающих сред позволяет, изменяя скорость закалки в 3.5 раза от 20 до  $70^{\circ}\text{C}/\text{s}$ , повышать твёрдость сосудов примерно в 2,5 раза от 217 до 555 НВ. При большой скорости охлаждения  $70^{\circ}\text{C}/\text{s}$  формируется максимальная твердость 555НВ, а при её уменьшении до величины  $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$  твердость снижается до 217 НВ. При закалке сосудов в водных растворах полимера установлено влияние концентрации полимера в воде на скорость закалки и твёрдость. Максимальные

значения твёрдости формируются при концентрации полимера 1% и скорости охлаждения 46 °C/с и составляют 415НВ, а минимальная твёрдость 217НВ формируется при концентрации полимера 7%. Проведенные исследования позволили построить регрессионное уравнение устанавливающее связь между скоростью охлаждения при закалке и твёрдостью полуфабрикатов.

**В пятой главе** представлены результаты исследования методологии и применения разработанного и внедрённого устройства неразрушающего контроля механических свойств после управляемой термодеформационной обработки и закалки сосудов из стали 50 на выходе прокатно-прессовой линии.

Разработана и создана новая оригинальная электромагнитная установка контроля свойств (ЭМУКС) и технология проверки неразрушающим способом механических характеристик стали 50 на разной высоте проката. Для этого намагничивающие и считающие медные катушки были разнесены в соответствии с исследуемыми областями неподвижного изделия таким образом, чтобы границы изменения электромагнитных свойств были четко зафиксированы в соответствии с геометрическими размерами пяти поясных горизонтов, расположенных по высоте сосуда. При тестировании образцов измеряли э.д.с. и определяли удельную электропроводность стали по индикатору электропроводности, исходя из показаний приборов, предназначенных для измерения электрических характеристик металла и его удельного сопротивления.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждена комплексом исследований и экспериментов на действующей прокатно-прессовой линии БФ АО «НПО «Прибор», использованием современных методов исследования и корректных методов статистической обработки данных измерений и расчётов. Сформулированные научные положения отвечают современным представлениям о природе деформирования металлов, положениям теории пластичности и теории винтовой прокатки и штамповки, а также согласуются с известными работами по рассматриваемой проблеме.

## **Научная новизна работы**

Научная значимость диссертационной работы Медведева В.А. заключается в следующих основных положениях:

1. Получены регрессионные линейные уравнения, позволяющие по распределению температуры прогнозировать неоднородность формирования физико-механических свойств по длине сосудов из стали 50.

2. Разработаны научно обоснованные методы термомеханической обработки с управляемым нагревом и охлаждением, обеспечивающие заданные свойства, и отличающиеся учетом неоднородности формирования температуры по длине деформируемой заготовки при горячей винтовой прокатке и последующей штамповке сосудов из стали 50, что позволяет стабилизировать распределение механических свойств по длине проката в пределах 5%.

3. Разработан метод выравнивания температуры по сечению стальных прутков-заготовок в печи сопротивления, отличающийся учётом неравномерности формирования ферритного кольца и твёрдости по сечению стальных сосудов в процессе винтовой прокатки, штамповки и закалки, что позволило уменьшить слой обезуглероживания с 0,7 до 0,4 мм и выровнять твёрдость по их сечению на 25%.

4. Разработана научно обоснованная методика выбора охлаждающих сред, влияющих на скорость закалки и формирование структуры и свойств сосудов, позволившая разработать дискретный способ управления твёрдостью полуфабрикатов варьированием охлаждающих сред при закалке проката. Получено уравнение, устанавливающее связь влияния концентрации в воде полимера ТЕРМАТ на скорость охлаждения сосуда при закалке.

5. Впервые получены полиномиальные 2-го порядка зависимости механических свойств от удельного электросопротивления и величины э.д.с. сосудов из стали 50, позволившие разработать методику неразрушающего контроля свойств на выходе прокатно-прессовой линии.

## **Практическая значимость работы**

Основные результаты работы опробованы и внедрены на прокатно-прессовой линии машиностроительного предприятия БФ АО «НПО «Прибор»:

- Разработана и внедрена технология и оборудование для управления температурными режимами прокатки и штамповки на ГПЛ. Разработанные режимы управления позволяют обеспечивать заданные механические свойства по высоте сосудов из стали 50;

- Результаты проведённых исследований позволили разработать и внедрить электромагнитное устройство неразрушающего контроля механических свойств, снижающую себестоимость сосудов из стали 50 на выходе прокатно-прессовой линии на 3-5%.

### **Замечания по работе**

1. Не указан технологический диапазон нагрева и охлаждения деформирующего инструмента.
2. Не проведен анализ влияния технологических настроек оборудования ППЛ (углов подачи и раскатки, скорости прошивки и штамповки) на неравномерность распределения температуры по длине стальных сосудов.
3. При разработке методики и устройства неразрушающего контроля «ЭМУКС» следовало бы уточнить диапазоны химического состава стали 50 и отклонения геометрических размеров изделия.
4. Эффективность разработанных и внедренных решений по технологическим методам управления и контроля механических свойств стальных сосудов, выпущенных на ППЛ, не подтверждена экономическим расчетом.
5. Пункт 3 научной новизны работы следовало бы изложить в соответствии с п.5 выводов: установлена связь между неравномерностью индукционного нагрева и временем, необходимым для выравнивания температуры в печи сопротивления по сечению прутков-заготовок. Предложено уравнение, с использованием которого возможно определять минимальное время выдержки для последующей стабильной прокатки и штамповки. Показано влияние температуры, скорости и степени деформации на величину обезуглероженного слоя и распределение твёрдости по сечению стального проката. Получено уравнение, устанавливающее связь между величиной обезуглероженного слоя и распределением твёрдости по сечению сосудов из стали 50 на выходе из ППЛ

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования в целом, её научной и практической значимости.

### **Оценка диссертационной работы в целом**

Диссертация Медведева В.А. «Разработка и исследование режимов термомеханической обработки, обеспечивающих заданные свойства стальных сосудов на выходе прокатно-прессовой линии», является самостоятельной

завершённой научно-исследовательской работой, обладающей внутренним единством. Совокупность полученных в диссертации результатов представляет собой решение проблемы стабилизации и повышения эффективности процессов горячей винтовой прокатки и штамповки в условиях реального времени при наличии неконтролируемых переменных деформационного разогрева и охлаждения. Достоинством работы является внедрение её результатов в действующее производство стальных профилей БФ АО «НПО «Прибор».

Актуальность работы, научная новизна и достоверность полученных результатов не вызывают сомнений.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на 12 научно-технических конференциях; опубликованы в 31 печатной работе (в том числе 12 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 9 – в изданиях, включённых в базы данных Scopus и Web of Science; остальные 10 – в сборниках научных трудов конференций).

Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация «Разработка и исследование режимов термомеханической обработки, обеспечивающих заданные свойства стальных сосудов на выходе прокатно-прессовой линии», является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой научно обоснованы и разработаны новые технические и технологические решения по совершенствованию технологии производства и повышению качества горячедеформированных стальных сосудов. Результаты исследования вносят существенный вклад в развитие производства полых профилированных заготовок деталей машиностроения в России.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением в части областей исследования – п. 1 «Исследование и расчёт деформационных, скоростных, силовых температурных и других параметров разнообразных процессов обработки давлением металлов, сплавов и композитов»; п. 2 «Исследование способов, процессов и технологий обработки давлением металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования»; п. 3 «Исследование структуры, механических и физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации»; п. 4 «Оптимизация способов, процессов и

технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции»; п. 5 «Математическое описание процессов пластической деформации металлов, сплавов и композитов с целью создания математических моделей, способов, процессов и технологий»; паспорта специальности (05.16.05) 2.6.4. – Обработка металлов давлением (технические науки).

Диссертационная работа «Разработка и исследование режимов термомеханической обработки, обеспечивающих заданные свойства стальных сосудов на выходе прокатно-прессовой линии» по своему объёму, научной и практической значимости полученных результатов, полностью соответствует требованиям п.п. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а её автор - Медведев Вадим Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. – Обработка металлов давлением (технические науки).

### Официальный оппонент:

Профессор, доктор технических наук (05.16.05 – Обработка металлов давлением),

профессор кафедры Обработка металлов давлением

Федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

*Я, Гончарук Александр Васильевич, согласен на  
автоматизированную обработку персональных данных,  
приведенных в этом документе.*

27 02 2023г.

*Гончарук*

Гончарук Александр Васильевич

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д.4, стр.1,  
Телефон 8 (903) 217-30-79  
Адрес электронной почты: gon@misis.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Проректор по безопасности  
и общим вопросам  
НИТУ МИСиС И.М. Исаев