

## ОТЗЫВ

официального оппонента Лавриненко Владислава Юрьевича

на диссертационную работу Галкина Владимира Викторовича  
«Научно - технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения на основе поэтапного структурно - деформационного анализа»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по научным специальностям:

2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»,

2.6.4 «Обработка металлов давлением»

На отзыв предоставлена диссертационная работа, состоящая из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы из 269 наименований, 6 приложений. Диссертация изложена на 336 страницах машинописного текста, содержит 36 таблиц и 265 рисунков.

Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 36 страниц. Материалы, изложенные в автореферате, достаточно полно отражают содержание диссертации Галкина В.В.

### **Актуальность темы диссертации.**

Изготовление изделий из металлических сплавов с требуемыми механическими свойствами (прочности, ударной вязкости, усталостной прочности, пластичности) методами пластического деформирования является важной задачей современного машиностроения. При этом формоизменение заготовок из металлических сплавов сочетается с изменением структурного состояния, что определяет механические свойства получаемых изделий. Кроме этого, большинство процессов пластического деформирования происходит в условиях сложного нагружения.

Вместе с тем, большинство существующих исследований процессов пластического деформирования были проведены с использованием результатов одноэтапных стандартизованных испытаний на сжатие, растяжение, кручение, не позволяющие в полной мере установить закономерности изменения структуры и дефектности металлических сплавов в условиях многопереходной холодной обработки и их влияние на деформационное упрочнение, определить особенности формирования структуры при рекристаллизации в условиях горячей дробной деформации и ее влияние на ударную вязкость, установить закономерности накопления повреждений в тонколистовых материалах в условиях теплого и горячего деформирования и их влияние на предельную пластичность, выявить структурно-механические характеристики горячедеформированного металлического сплава, определяющие сопротивление усталости, а также установить закономерности изменения структуры и пластичности труднодеформируемых металлических сплавов в зависимости от неравномерности всестороннего сжатия при горячей объемной штамповке.

В связи с этим можно отметить, что диссертационная работа Галкина В.В., посвященная решению важной научно-технической проблемы установления закономерностей изменения структуры и дефектности деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения для формирования их требуемых механических свойств, является актуальной для современного машиностроения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена полнотой обзора и применением современных методов исследований, адекватных цели и задачам работы. Степень достоверности полученных результатов определяется достаточной базой данных, включенных в статистический анализ полученных показателей механических свойств, и подтверждена сходимостью данных структурно-механических исследований и статистических данных, промышленным

опробованием, натурными испытаниями и апробацией полученных результатов на научно-технических конференциях и семинарах разного уровня. Необходимая для практического применения точность результатов подтверждена удовлетворительной сходимостью экспериментальных и расчетных данных.

Содержание и тема диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» по пунктам:

- п.2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование;

- п.3. Теоретические и экспериментальные исследования влияния разнородных структур, в том числе кооперативного, на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование;

- п.5. Теоретические и экспериментальные исследования механизмов деформации, влияния фазового состава и структуры на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий, их моделирование и прогнозирование;

и паспорту научной специальности 2.6.4 «Обработка металлов давлением» по пунктам:

- п.1. Исследование и расчет 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, 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.

#### **Научная новизна диссертационной работы заключается:**

- в разработанной научно - технологической концепции формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения, основанной на поэтапном анализе структурных изменений с учетом накопленной степени деформации, и обеспечивающей получение изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами;

- в выявленных закономерностях поэтапного изменения структурного состояния и их влиянии на формирование требуемых механических свойств деформированных металлических сплавов различных классов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения.

#### **Теоретическая значимость работы заключается:**

- в предложенной методологии исследований деформированных металлических сплавов в условиях сложного, в том числе многопереходного нагружения, основанной на методе поэтапной оценки изменения структурного состояния и формировании механических свойств с учетом накопленной степени деформации;

- разработанном методическом и программном обеспечении для построения зависимостей структурно-механических свойств от степени деформации в условиях сложного нагружения и поэтапного расчета структурно-механических характеристик

деформированных металлических сплавов.

**Практическая значимость работы заключается:**

- в разработанных и опробованных в производственных условиях технологиях тонколистовой вытяжки цилиндрических изделий типа «баллон» с нагревом элементов штампа и заготовки электроконтактным способом (Авторское свидетельство № 1517213, МКИ<sup>3</sup> G 01N3/10 от 22.06.1989 г.), газокompрессионной штамповки листовых гофрированных панелей в керамических штампах со встроенными нагревателями, позволившие впервые изготовить изделия из малопластичных титановых сплавов OT4-1, BT6C и BT13 (Авторское свидетельство № 1814234, МКИ<sup>3</sup> B 21 D 26/02 от 11.10.1992 г.);

- в разработанной методике построения обобщенных кривых деформационного упрочнения для оценки упрочнения в условиях в условиях многоэтапного холодного нагружения;

- в разработанной конструкции устройства для испытания тонколистового металлического материала на двухосное растяжение методом выпучивания в интервале температур (20÷900) °C и скоростей деформации (10<sup>-1</sup>÷10<sup>-3</sup>) с<sup>-1</sup> (Авторские свидетельства № 1194141, МКИЗ G 01N 3/10 от 22.07.1985г.; № 1299264, МКИЗ G 01N 3/08 от 22.11.1986; Евразийский патент № 040659, заявка № 202100064 от 29.12.2020 г, патент выдан 12.07.22 г.);

- в разработанном программном обеспечении для расчета параметров микроструктуры и анализа структурно-механических характеристик металлических сплавов при многоэтапном пластическом деформировании (Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021614913 от 31.03.21 г., Свидетельство государственной регистрации № 2914613502 от 27.03.14 г., Свидетельство государственной регистрации № 2015611190 от 26.01.15 г.);

- в уточнении технологических режимов деформирования конструкционных углеродистых сталей и сталей аустенитного класса, разработке конструкций технологической оснастки и расширении номенклатуры кованных и штампованных изделий.

В диссертационной работе использованы современные приборы, установки и аппаратура для механических испытаний, металлографических, электронно-микроскопических, рентгеноструктурных и других видов исследований.

#### **Оценка содержания диссертации, ее завершенность.**

Изложение работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям, и включает следующие разделы: введение, аналитический обзор состояния вопроса (глава 1), изложение положений разработанной концепции (глава 2), представление инновационных методологий в проводимых исследованиях (глава 3), апробация этих подходов в ряде исследований (главы 4-6), заключение, список используемых литературных источников и Приложение.

**Во введении** отражены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цель и задачи исследования, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлены степень достоверности и апробация результатов исследования, содержание работы по главам.

**В первой главе** представлен анализ отечественной и зарубежной литературы, посвященной теоретическим и экспериментальным сведениям о структурных изменениях металлических материалов в процессах пластического деформирования и их влиянии на механические свойства, приведены закономерности накопления повреждений и математические модели их описания. Сделаны выводы о степени изученности изменений структуры и дефектности деформированных материалов в условиях многопереходного и сложного нагружения. Приведена концепция решения проблемы, основанная на

применение методологии поэтапной оценки структурно-механических свойств и деформированного состояния материала, и разработанного методического обеспечения. Сформулировано содержание методического обеспечения, которое включило совершенствование существующих методов структурно-механических исследований и разработку методик определения показателей механических свойств в условиях многопереходного и сложного нагружения.

**Во второй главе** изложены положения разработанной концепции, основанной на поэтапном анализе изменения структуры и дефектности деформированных металлических сплавов с учетом накопленной степени деформации, приведены данные по структуре разработанной концепции, программе работы и ее этапах, направлениям совершенствования методологии исследований, материалам исследований и технологическим испытаниям.

**Третья глава** посвящена разработке программного и методического обеспечения структурно-механических исследований для условий сложного нагружения. Приведены сведения о разработанных трех программах для ЭВМ. Первые две программы, основанные на использовании программного обеспечения NI Vision в среде Lab VIEW, выполняют измерения величины зерна с использованием бинаризации цифровых фотографий микроструктуры, производят расчеты и графические построения. Третья программа разработана с использованием языка программирования C++ для оценки величины зерна и разнотерности при увеличении в интервале от 100 до 1000 крат и возможностью использования на цифровых микроскопах любого вида. Изложена разработанная методика построения обобщенных кривых деформационного упрочнения материалов, основанная на совмещении зависимостей интенсивность напряжений – твердость и степень деформации – твердость. Приведен способ построения зависимостей средней величины зерна от интенсивности и температуры деформации, которые обеспечивают анализ процесса рекристаллизации в условиях сложного нагружения.

**В четвертой главе** приведены результаты структурно-механических исследований деформированных металлических сплавов в условиях шести выбранных технологических испытаний. Изменения структуры и дефектности, механических и физических свойств материала в исследуемых зонах формоизменяемого тела оценивались в соответствии со степенью их деформированного состояния, которое в условиях сложного нагружения определялось показателем интенсивности деформации, а многопереходного  $\square$  накопленной степенью деформации, рассчитываемой как сумма интенсивностей деформаций на переходах деформирования.

**Пятая глава** посвящена установлению закономерностей изменения структуры и дефектности деформированных материалов в условиях многопереходного и сложного нагружения и их влиянии на механические свойства. Представлены результаты исследований изменения структурного состояния и механических свойств деформированных конструкционных материалов (более 10 марок) различных классов (стали с ферритно-перлитной, аустенитной и ферритно-мартенситной структурой, титановые сплавы и чугун с шаровидным графитом) при различных условиях обработки. Установлены зависимости, определяющие взаимосвязь закономерностей изменения структуры и дефектности деформированных конструкционных материалов в условиях многопереходного и сложного нагружения с требуемыми показателями механических свойств.

**Шестая глава** посвящена вопросам, связанным с практическим применением полученных результатов. В главе представлены разработанные в рамках диссертационной работы новые процессы термомеханической обработки и развитие информационного обеспечения существующих технологий:

Работа написана доступным техническим языком, хорошо иллюстрирована графиками и таблицами, представлены ссылки на большое количество современных отечественных и зарубежных научных публикаций и библиографических источников.

Выводы по работе основаны на полученных соискателем результатах исследования.

#### **Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации.**

Работа выполнена на стыке двух смежных специальностей, что повышает ее научно-техническую представительность и подтверждает актуальность ее темы.

Работа содержит результаты большого объема экспериментальных исследований структурных изменений металлических сплавов при различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения и их влияния на формирование механических свойств для решения актуальных практических задач.

Поставленные задачи о формировании механических свойств деформированных сплавов в различных условиях пластического деформирования характерны для основных процессов обработки металлов давлением: прокатке, ковке, штамповке.

#### **Замечания по работе:**

1. В главе 2 приведена предложенная соискателем научно-технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения, однако в работе недостаточно полно представлены практические рекомендации по применению данной концепции и полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований при проектировании технологических процессов обработки давлением, обеспечивающих изготовление изделий из металлических сплавов с требуемыми механическими свойствами.

2. В главе 3 приведена разработанная методика построения обобщенных кривых упрочнения на примере холоднодеформированной стали 20, при этом построение зависимости твердость - степень деформации предложено выполнять с использованием экспериментальных замеров микротвердости исследуемых зон образцов. Использование данного метода замера твердости представляется не вполне корректным, так как твердость различных фаз в образцах (например, феррита и перлита) будет иметь различные значения.

3. В главе 6 представлены примеры практического использования результатов работы, в частности, разработаны технологии листовой горячей вытяжки цилиндрических изделий со сферическим дном типа «баллон» из титановых и алюминиевых сплавов и газокompрессионной штамповки листовых гофрированных панелей из титановых сплавов, однако не ясно, каким образом выявленные в работе закономерности изменения структуры и дефектности деформированных металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения были использованы при разработке данных технологических процессов.

Данные замечания не снижают существенно научной и практической значимости диссертации.

#### **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Ясно приведена общая характеристика работы, кратко раскрыто содержание всех глав диссертации и сделано заключение по выполненным исследованиям. Также в автореферате приведен список основных опубликованных работ, отражающих положения диссертации.

Всего по теме диссертации опубликовано 68 работ, из них 28 статей - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 9 - индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 3 монографии и 9 авторских свидетельств, патентов и свидетельств государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления.**

Диссертация и автореферат диссертации по структуре и оформлению соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

**Заключение по диссертационной работе.**

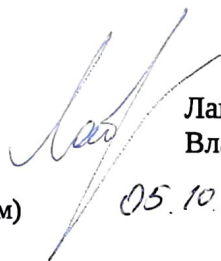
Диссертационная работа Галкина В.В. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической проблемы получения изделий с требуемыми механическими и эксплуатационными свойствами методами пластического деформирования в условиях сложного нагружения.

Диссертационная работа Галкина В.В. по цели и задачам исследований, содержанию, результатам исследований, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук (п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор Галкин Владимир Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям: 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и 2.6.4 – Обработка металлов давлением.

*Выражаю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук Галкина Владимира Викторовича и их дальнейшую обработку.*

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой  
«Технологии обработки материалов»  
МГТУ им. Н. Э. Баумана  
доктор технических наук, доцент  
(05.02.09 - Технологии и машины обработки давлением)



Лавриненко  
Владислав Юрьевич

05.10.2023



499-263-60-48

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, Москва, 105005

Телефон: (499) 263-63-91

<https://bmstu.ru>

E-mail: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)