

ОТЗЫВ

официального оппонента Сарафанова Георгия Федоровича
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

Диссертационная работа Галкина В.В. посвящена решению важной и актуальной научно-технической проблемы выявления закономерностей структурных изменений деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения и их влияния на формирование механических свойств.

Пластическое деформирование является одним из методов изготовления изделий, при котором формоизменение металлических сплавов сочетается с формированием механических свойств, определяемых изменением структурного состояния. Большинство процессов обработки давлением во всех ее пяти видах происходят в условиях сложного нагружения, в том числе и многоэтапного, с большими степенями деформации.

Однако, не смотря на значительное количество научных работ о формировании механических свойств деформированных металлических сплавов в зависимости от изменения структурного состояния, в настоящее время отсутствуют системные сведения о структурных изменениях деформированных металлических сплавов и их влияние на механические свойства в условиях сложного нагружения. Как следствие, в машиностроительном производстве имеется ряд нерешенных практических задач:

- установление закономерностей изменения структуры и дефектности металлических сплавов в условиях многопереходной холодной обработки и их влияния на деформационное упрочнение;
- определение формирования структуры на стадиях процесса рекристаллизации в условиях горячей дробной деформации и ее влияния на ударную вязкость;
- установление закономерностей накопления повреждений в тонколистовых материалах в условиях теплового и горячего деформирования и жестких схем напряженного состояния и их влияния на предельную пластичность;
- выявление структурно-механической характеристики горячедеформированного металлического сплава, контролирующей сопротивления усталости;
- установление закономерностей изменения структуры и пластичности трудно деформируемых металлических сплавов в зависимости от неравномерности всестороннего сжатия при горячей объемной обработке.

Наличие нерешенных задач подтверждает актуальность исследований структурных изменений деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения.

Степень разработанности темы. В ходе анализа степени разработанности темы была выявлена немногочисленность структурных исследований и отсутствие данных о

закономерностях изменения структурного состояния материалов в условиях сложного нагружения, которые определяют формирование механических свойств.

В качестве основной причины выявлена несостоятельность применяемой методологии исследований деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения, основанной на использовании стандартных испытаний на растяжения, сжатия, кручение. Полученные результаты определили необходимость разработки новой структуры проведения исследований, которая сформулировала цель работы: разработка научно-технологической концепции определения в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения закономерностей изменения структурно-механических свойств деформированных металлических сплавов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена полнотой аналитического обзора, степенью разработанности темы диссертации, и применением методов исследований, соответствующих поставленной 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 натурных испытаний, а также апробацией полученных результатов на научно-технических конференциях и семинарах разного уровня.

Тема диссертационной работы и ее содержание соответствуют двум областям исследования:

- по научной специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» по пунктам 2,3,5,6: теоретические и экспериментальные исследования: фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях; влияние структуры на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов; влияние фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий; разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием, а также специализированного оборудования;

- по научной специальности 2.6.4 «Обработка металлов давлением» по пунктам 1,2,3,4: исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки давлением металлов, сплавов и композитов; исследование способов, процессов и технологий обработки давлением металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования; исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в процессах пластической деформации; оптимизация способов, процессов и технологий обработки металлов давлением для производства металлопродукции с целью повышения характеристик качества продукции.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы

Научная новизна полученных результатов исследований состоит 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.

Выявлены закономерности поэтапного изменения структурно-механических свойств деформированных металлических сплавов десяти структурных классов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения, а именно:

- изменения структурного состояния сталей ферритно-перлитного класса на переходах холодного объемного деформирования и их влияние на деформационное упрочнение;
- стадии протекания рекристаллизации сталей аустенитного класса при горячем дробном деформировании в зависимости от степени деформации на переходах, накопленной степени деформации, времени выдержки при фиксированной температуре и величины зерна на переходах обработки и их влияние на ударную вязкость;
- изменения структуры и дефектности тонколистовых титановых сплавов, деформированных в интервалах температур $(20 \div 900)^\circ\text{C}$ и скоростей деформации $(10^{-1} \div 10^{-3}) \text{c}^{-1}$ в зависимости от жесткости напряженного состояния в интервале $\Pi=1 \div 2$, и их влияние на предельную пластичность;
- структурные изменения металлических сплавов, на примере рессорной и аустенитной сталей, в условиях горячей и теплой деформаций и выявление определяющей характеристики, влияющей на сопротивления усталости;
- структурные изменения в чугунах с шаровидным графитом в зависимости схемы напряженного состояния и их влияние предельную пластичность.

Теоретическая значимость работы выразилась в разработке:

- методологии исследований деформированных металлических сплавов в условиях сложного, в том числе много переходного, нагружения, основанной на методе поэтапной оценки изменения структурного состояния и формировании механических свойств с учетом накопленной степени деформации;
- методического обеспечения для построения зависимостей изменения структурно-механических свойств при больших деформациях: обобщенных кривых упрочнения при холодной и зависимостей рекристаллизации - при горячей деформации;
- программного обеспечения, в виде трех программ для ЭВМ, для поэтапного обсчета структурно-механических характеристик деформированных металлических сплавов в условиях холодной и горячей обработки.

Практическая значимость работы выразилось в разработке и принятию к внедрению целого ряда технологических решений. Выполнено внедрение изготовления из тонколистовых титановых сплавов ОТ4-1 и ВТ6С гофрированных панелей процессами горячей формовки и газо-компрессионной штамповки в керамических штампах и цилиндрических изделий процессом глубокой вытяжки с электро-контактным нагревом заготовки. Расширена информационная база проектирования процессов высадки крепежных изделий из малоуглеродистых и борсодержащих сталей, основанная на использовании обобщенных кривых деформационного упрочнения. Уточнены технологические режимы деформирования сталей аустенитного класса на основе применения построенных зависимостей рекристаллизации. Оптимизированы условия горячего деформирования листовых заготовок из сталей аустенитного класса и рессорной стали для изделий, работающих в условиях усталостного нагружения.

В диссертационной работе автор использовал современный арсенал приборов, установок и аппаратуры для: механических испытаний; металлографических, электронно-микроскопических и рентгеноструктурных исследований; математического моделирования процессов пластического формоизменения. Следует отметить разработанную программу для ЭВМ, основанную на языке C^{++} , и выполняющую обсчет микроструктуры при увеличении от 100 до 1000 крат на цифровых микроскопах любого вида.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Изложение работы соответствует диссертационному формату и включает разделы: введение, информационно-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 сложного, в том числе многоэтапного нагружения. Приведена концепция решения проблемы, основанная на применении методологии поэтапной оценки структурно-механических свойств и деформированного состояния материала, и разработанного методического и программного обеспечения. Сформулировано содержание методического обеспечения, которое включило совершенствование существующих методов структурно-механических исследований и разработку методик определения показателей механических свойств в условиях многоэтапного 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 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 разработанный способ построения зависимостей рекристаллизации в координатах «средняя величины зерна – интенсивность деформации – температура».

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 многоэтапного нагружения – накопленной степенью деформации, рассчитываемой как сумма интенсивностей деформаций на этапах 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 структурных 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 многоэтапного 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 грамотно, широко иллюстрирована графиками и таблицами. Содержание работы подкреплено достаточным библиографическим списком авторитетной и современной литературы. Выводы по работе убедительны и базируются на впервые полученных результатах исследования.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Работа основана на сочетании двух смежных специальностей, что дополняет и повышает ее научно-техническую представительность, и подтверждает актуальность ее темы.

Ключевым местом работы являются экспериментальные исследования структурных превращений в металлических сплавах в условиях сложного, в том числе многоэтапного деформирования, а также теоретического обоснования протекающих при этом явлений. Работа содержит ценный экспериментальный материал большого объема о структурных изменениях металлических сплавов в 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 видов обработки металлов давлением: прокатке, ковке, штамповке.

Замечания по работе:

1. В названии темы диссертации фигурирует условие пластически деформированных металлических сплавов – условие сложного нагружения. Данный вид внешнего воздействия отличает выполненную работу от подобных. Очевидно, что выбор технологических испытаний также должен быть объяснен с учетом параметра сложности пластического деформирования: параметра Лоде или показателя механической схемы деформации.
2. В работе, несмотря на большой объем экспериментального материала о структурных изменениях металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения и их влияния на формирование механических свойств отсутствуют целостные алгоритмы решения поставленных в диссертации задач, подкрепленных математическими выражениями. К примеру: для условий многопереходной холодной обработки неясна физическая обоснованность выражения расчета плотности материала.
3. Закономерности накопления повреждаемости в металлических сплавах исследованы только на макроуровне. В качестве критериев приняты такие параметры, как изменение плотности и твердости при деформировании. Отсутствует признанный в настоящее время многоуровневый подход к структурным уровням деформации твердых тел. Не выявлены ротационные моды пластичности и т.д. Отсутствуют исследования, выполненные с использованием современных методов исследования структуры (электронной микроскопии тонких фольг, тонких механизмов вязкого и усталостного разрушения).

4. В работе приведены сведения о разработанной конструкции устройства для проведения испытания на двухосное растяжение методом выпучивания сферических мембран, определяемого коэффициентом жесткости $\Pi=2$. Для более полной оценки изменения дефектности в условиях жестких схем напряженного состояния, следовало разработать конструкцию и провести выдавливание мембран с промежуточным коэффициентом жесткости между одноосным двухосным растяжением ($\Pi=1,5$). Напряженное состояние листового материала с таким коэффициентом преобладает в операциях листовой формовки и вытяжки.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Четко и ясно приводится 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 МБД Web of Science и Scopus, 3 монографии и 9 патентов.

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

В целом диссертация Галкина В.В. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической проблемы получения изделий, изготавливаемых процессами пластического деформирования в условиях сложного нагружения, с требуемыми эксплуатационными свойствами

Диссертационная работа Галкина В.В. по содержанию, кругу рассматриваемых вопросов, результатам исследований, научной новизне, цели и задачам исследований соответствует научным специальностям 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 2.6.4 «Обработка металлов давлением». Диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной, содержит новые научные результаты, которые широко апробированы в опубликованных статьях и докладах на научно-технических конференциях.

Изложенное выше позволяет считать, что представленная диссертация по своей актуальности, объему и уровню исследований, научной новизне и практической ценности соответствует требованиям ВАК РФ и 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

2.6.4 – Обработка металлов давлением

Официальный оппонент:

Сарафанов Георгий Федорович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова - Грехова

Российской академии наук» (ИПМ РАН), заведующий лабораторией «Наноструктурные материалы и упрочняющие технологии» (г. Н. Новгород).

Контактная информация:

Телефон: +79200420224

Сарафанов Г.Ф.

07.10.23 г.

Подпись Т.Ф. Сарафанова заверяю.

Зам. директора ИПМ РАН

по научной работе,



Тавлов

Тавлов И.С.

Адрес организации:

603024, Нижегородская область,

г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85.

E-mail: gf.sarafanov@yandex.ru