

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им А.А. Байкова Российской академии наук «ИМЕТ РАН»,
доктор технических наук


Юсупов Владимир Сабитович
«10» 10 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

На диссертационную работу Галкина Владимира Викторовича на тему «Научно-технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения на основе поэтапного структурно-деформационного анализа», представленной 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»

Актуальность диссертационной работы.

Обработка давлением является одной из самых распространенных технологий в современном машиностроении, при этом в большинстве случаев пластическое деформирование происходит в условиях сложного нагружения. Исследований по структурным изменениям в металлических материалах, протекающих в условиях сложного нагружения в ходе пластической деформации при обработке давлением очень мало, а результаты таких исследований, выполненных в условиях стандартизованных испытаний на сжатие, растяжение и кручение, носят отвлеченный модельный характер и их практически невозможно использовать для оценки реальных процессов обработки давлением. В связи с этим тематика данной диссертационной работы несомненно является очень актуальной.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа изложена на 336 страницах машинописного текста, включает 265 рисунков, 36 таблиц и состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 269 источника отечественных и зарубежных авторов и семи приложений.

Во введении изложена актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цель и задачи исследования, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе представлен информационно-аналитический обзор научной литературы отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационной работы. Рассмотрены теоретические и экспериментальные сведения о структурных превращениях и накоплении повреждений в пластически деформированных металлических сплавах в условиях пластического деформирования с различной сложностью нагружения и их влияния на формирование механических свойств. Сформулирована научно-технологическая концепция в данной области. Определено содержание методического обеспечения оценки показателей механических свойств для условий сложного нагружения.

Во второй главе изложены положения разработанной научно-технологической концепции, основанной на поэтапном структурно-деформационном анализе изменения структуры и дефектности деформированных металлических сплавов в соответствии с накопленной степенью деформации, приведены данные по структуре разработанной концепции, программе диссертационной работы и ее этапах, направлениям совершенствования методологии исследований, материалам исследований и технологическим испытаниям.

В третьей главе приведены данные по разработке программного и методического обеспечения структурно-механических исследований в условиях сложного нагружения. В том числе приведена информация по разработке комплекса из трех программ для ЭВМ, который проводит оценку величины зерна и разнородности при увеличении в интервале от 100 до 1000 крат с возможностью использования на цифровых микроскопах любого вида. Предложена методика построения обобщенных кривых деформационного упрочнения материалов для многопереходного холодного деформирования и способ построения зависимостей рекристаллизации в координатах «средний диаметр зерна – температура – интенсивность деформации» для горячего дробного деформирования. Они обеспечивают анализ процесса рекристаллизации в условиях больших степеней деформации, в частности в процессах свободнойковки.

В четвертой главе приведены данные структурно-механических исследований деформированных металлических сплавов в условиях сложности напряженного состояния при технологических испытаниях, соответствующих основным видам обработки давлением. Проведена оценка изменения структурно-механических свойств деформируемых сплавов в исследуемых зонах.

Пятая глава посвящена установлению закономерностей изменения структуры и дефектности деформированных материалов в условиях сложного нагружения и их влиянии на механические свойства. Представлены результаты исследований изменения структурного состояния и механических свойств деформированных конструкционных материалов 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.

В шестой главе приведены сведения, связанные с практическим применением полученных результатов, в том числе о новых разработанных процессах термомеханической обработки и о развитии информационного обеспечения тонколистовой вытяжки цилиндрических изделий типа "баллон" с нагревом элементов штампа и заготовки электро-контактным способом и газо-компрессионной штамповки листовых гофрированных панелей в керамических штампах со встроенными нагревателями. Представлены технологические рекомендации по выдавливанию шлицевых пазов в винтах с потайной головкой из сталей мартенситно-ферритного класса, ковке ступенчатых поковок из сталей аустенитного класса. Расширена информационная база проектирования в виде конструкторско-технологических решений холодной высадки крепежных изделий из малоуглеродистых и борсодержащих сталей иковки ступенчатых поковок из сталей аустенитного класса.

В заключении сформулированы выводы и предложения по практическим рекомендациям по разработанным технологиям.

В приложениях представлены схемы математического моделирования и оценка напряженно-деформированного состояния и микроструктуры для некоторых процессов холодной и горячей обработки давлением сталей 10, 20, 20Г2Р, 12Х18Н10Т и 50ХГФА, а также титановых сплавов ОТ4-1, ВТ6С и сплава 878. Также там представлены авторские свидетельства, патенты на изобретения и свидетельства о

государственной регистрации программ для ЭВМ и акты промышленного внедрения полученных результатов на предприятиях.

Научная новизна

Представленная диссертационная работа обладает достаточно выраженной научной новизной. В частности, впервые разработана научно-технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения, основанная на поэтапном анализе структурных изменений с учетом накопленной степени деформации, и обеспечивающая получение изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами. Выявлены новые закономерности поэтапного изменения структурного состояния и их влияния на формирование требуемых механических свойств деформированных сталей, чугуна и ряда сплавов различных классов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения при процессах обработки давлением. Сформулирован алгоритм проведения технологических и структурных исследований в условиях сложного нагружения, основанный на применении поэтапного метода исследований с учетом накопленной степени деформации, разработанного программного и методического обеспечения.

Практическая значимость работы

Полученные разработки обладают выраженной практической значимостью. В частности, разработаны и опробованы в производственных условиях такие технологии, как: тонколистовая вытяжка цилиндрических изделий типа "баллон" с нагревом элементов штампа и заготовки электро-контактным способом и газо-компрессионная штамповка листовых гофрированных панелей в керамических штампах со встроенными нагревателями, позволившие впервые изготовить изделия из малопластичных титановых сплавов ОТ4-1, ВТ6С и ВТ13. Разработан метод прогнозирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения на основании разработанной методологии структурно-механических исследований. Расширена информационная база проектирования процессов высадки крепежных изделий из малоуглеродистых и борсодержащих сталей, основанной на разработке методики и построения обобщенных кривых деформационного упрочнения. Проведены оптимизация условий горячего деформирования листовых заготовок из сталей аустенитного класса и полосовых заготовок рессорной стали изделий, работающих в условиях усталостного нагружения, и уточнение технологических режимов деформирования

конструкционных углеродистых сталей и сталей аустенитного класса, оптимизация конструкции технологической оснастки и расширение номенклатуры потенциальных кованных и штампованных изделий. Разработана конструкция штампа с электроконтактным нагревом заготовки для вытяжки деталей типа "баллон" из малопластичных металлических материалов, в частности титановых сплавов. Представлены технологические рекомендации по выдавливанию шлицевых пазов в винтах с потайной головкой из сталей мартенситно-ферритного класса, ковке ступенчатых поковок из сталей аустенитного класса.

Полученные в работе научные результаты были внедрены на практике. Имеются акты на промышленное внедрение полученных научно-технических результатов на следующих предприятиях: АО «Нормаль» (Н. Новгород), ООО «Совинтех-Авто» (Н. Новгород), НАЗ «Сокол» (филиал АО «РСК «МиГ»), ООО «Метмаш» (г. Бор Нижегородской области), АО «ПО «Горизонт» (г. Тумботино Нижегородской области).

Обоснованность и достоверность результатов и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется и подтверждается значительным объемом экспериментальных данных, проведением промышленного опробования и натурных испытаний, применением использованием разнообразных качественных и количественных современных физико-химических методов анализа и стандартизованных испытаний, а также теоретически аргументированной интерпретацией полученных результатов. Достоверность полученных результатов также обеспечивается их полным соответствием данным современной научной литературы.

Публикации по результатам диссертационной работы

Научные результаты, отражающие основные положения диссертации, опубликованы в 68 научных трудах, из которых: 3 монографии, 4 статьи в журналах, индексируемых в RSCI, 6 статей в журналах, индексируемых в Web of Science и/или Scopus, а также статьи в российских журналах: 6 - с категорией K1, 19 – с категорией K2 и 3 – с категорией K3. Также получено 9 авторских свидетельств патентов на изобретения и полезную модель и свидетельства на программы для ЭВМ. Основные результаты работы были представлены и обсуждались на 15 международных и всероссийских конференциях, конгрессах и симпозиумах.

Основные замечания по диссертации:

1. В работе рассматривается изменение структурного состояния металлических сплавов в условиях сложного нагружения, но не приведено критерия или характеристики, определяющих сложность нагружения деформируемых материалов в технологических пробах и испытаниях.
2. В работе нет результатов исследования структурных изменений при сложном нагружении с использованием современных методов электронной микроскопии.
3. Не в полном объеме экспериментально исследованы такие достаточно важные моменты, как: изменения структурного состояния сталей ферритно-перлитного класса на переходах холодного объемного деформирования и их влияние на статическую прочность, структурные изменения, в том числе стадии протекания рекристаллизации, в аустенитных сталях при горячем дробном деформировании и их влияние на ударную вязкость, характер изменения плотности при холодном многопереходном деформировании сталей ферритно-перлитного класса.
4. В диссертационной работе и в автореферате следовало бы более четко представить взаимосвязь полученных научных результатов с разработанными на их основе и внедренными новыми технологическими процессами.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Текст диссертации написан грамотно, общепринятым научным языком, текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Заключение

Представленная диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой, на наш взгляд, изложены новые научно-обоснованные научно-технические и технологические решения, использование которых вносит значительный вклад в развитие страны. В частности, разработана научно-технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения, которые имеют место быть в большинстве случаев применения обработки металлов давлением, которая является одной из самых распространенных технологий в современном машиностроении. Сформулирован алгоритм проведения технологических и структурных исследований в условиях сложного нагружения, основанный на применении поэтапного метода исследований с учетом накопленной степени деформации, разработанного программного и методического обеспечения. Разработано программное обеспечение для количественного обсчета параметров

микроструктуры и анализа структурно-механических характеристик металлических сплавов при многоэтапном пластическом деформировании. Разработаны и внедрены такие технологии, как тонколистовая вытяжка цилиндрических изделий типа "баллон" с нагревом элементов штампа и заготовки электро-контактным способом и газо-компрессионная штамповка листовых гофрированных панелей в керамических штампах со встроенными нагревателями, позволившие впервые изготовить изделия из малопластичных титановых сплавов ОТ4-1, ВТ6С и ВТ13. Разработана технология газо-компрессионной формовки в нагретых керамических штампах листовых гофрированных панелей из титановых сплавов. Разработан метод прогнозирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения. Разработана конструкция устройства для испытания тонколистового металлического материала на двухосное растяжение методом выпучивания в интервале температур $(20 \div 900)$ °С и скоростей деформации $(10^{-1} \div 10^{-3})$ с⁻¹. Представлены технологические рекомендации по выдавливанию шлицевых пазов из сталей мартенситно-ферритного класса, ковке ступенчатых поковок из сталей аустенитного класса. Внедрены в промышленность такие разработки, как: расширенная информационная база проектирования процессов высадки крепежных изделий из малоуглеродистых и борсодержащих сталей; улучшенная технология горячего деформирования листовых заготовок из сталей аустенитного класса и полосовых заготовок рессорной стали изделий, работающих в условиях усталостного нагружения; технологии изготовления изделий из тонколистовых титановых сплавов: горячая формовка и газо-компрессионная штамповка в керамических штампах листовых гофрированных панелей, глубокая вытяжка цилиндрических изделий с электро-контактным нагревом заготовки; усовершенствование технологических приемов деформирования сталей аустенитного класса с модернизированной технологической оснасткой, позволившие расширить номенклатуру потенциальных кованных изделий; улучшение режимов деформирования конструкционных углеродистых сталей с расширением номенклатуры потенциальных изделий.

Результаты работы рекомендуется использовать на машиностроительных предприятиях, занимающихся изготовлением изделий процессами пластического деформирования (свободной ковкой, объемной холодной и горячей штамповкой, листовой формовкой и вытяжкой, продольной прокаткой) в условиях сложного нагружения, с требуемыми эксплуатационными свойствами из сталей аустенитного, ферритно-мартенситного классов, титановых сплавов, конструкционных углеродистых сталей.

Тематика диссертации Галкина В.В., ее содержание и основные полученные результаты в достаточной степени соответствуют требованиям паспортам научных специальностей, как: 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 2.6.4 - «Обработка металлов давлением».

По актуальности, научному уровню, полученным результатам, их новизне и практической значимости представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9 - 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Галкин Владимир Викторович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности специальностям 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 2.6.4 «Обработка металлов давлением».

Диссертационная работа Галкина В.В. рассмотрена и обсуждена в ИМЕТ РАН на объединенном коллоквиуме Лаборатории пластической деформации металлических материалов, Лаборатории прочности пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов и Лаборатории конструкционных сталей и сплавов (от 03.10.2023 г., протокол №3).

Председатель коллоквиума

Заведующий лаборатории конструкционных сталей и сплавов,

ведущий научный сотрудник, д.т.н.

Банных И.О.

Ученый секретарь коллоквиума

ведущий научный сотрудник, к.т.н.

Кобелева Л.И.

Телефон: +7 (499) 135-44-94, e-mail: ibannykh@imet.ac.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение наук и Институт металлургии и Материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН)

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49. Телефон: +7 (499) 135-20-60

Адрес электронной почты: imet@imet.ac.ru. Сайт: <https://www.imet.ac.ru/>