

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Галкина Владимира Викторовича «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 специальностям: 2.6.1- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и 2.6.4- Обработка металлов давлением

Несмотря на большое количество исследований по получению качественных заготовок и деталей пластическим деформированием, в технической литературе явно недостаточно сведений о структурных изменениях в металлических сплавах при сложном нагружении, влияющих на уровень физико-механических, технологических и служебных свойств. Чаще всего такие исследования проводились при использовании одноэтапных стандартных механических испытаний сплавов при простом монотонном нагружении растяжением или сжатием. Однако такие испытания не позволяют установить общие закономерности изменения структуры и накопления дефектов в сплавах при многопроходной обработке пластическим деформированием. В связи с этим в настоящей диссертационной работе вполне обоснованно поставлена цель разработать научно-технологические основы формирования структуры и механических свойств деформированных металлических сплавов при сложном нагружении путем поэтапного структурно-деформационного анализа. Это позволит повысить эффективность обработки сплавов пластическим деформированием с обеспечением более высокого уровня физико-механических свойств и конструкционной прочности изделий. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной, а поставленные в ней металлургические и технологические задачи требуют своего решения.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения. Она изложена на 336 стр. машинописного текста и включает 265 рисунков, 36 таблиц, 269 литературных источников и 7 приложений. Отдельно представлены акты внедрения результатов на 5 промышленных предприятиях.

В главе 1 на основе литературного обзора изложены современные представления о структурных изменениях металлических сплавов при пластическом деформировании и их влиянии на уровень механических

свойств. Обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследований.

В основной части содержания диссертации, где приведены новые результаты, можно выделить три основных взаимосвязанных раздела:

Первый раздел – научно-технологическая концепция структурно-механических исследований деформированных металлических сплавов при сложном нагружении, реализуемая с использованием разработанного методического и программного обеспечения (главы 2 и 3);

Второй раздел – структурно-механические исследования деформированных сплавов при технологических испытаниях (глава 4);

Третий раздел – закономерности изменения структуры и поврежденности деформированных сплавов при сложном нагружении и их влияние на механические свойства (глава 5).

В *первом разделе* автор диссертации предложил и разработал научно-технологическую концепцию структурно-механических исследований деформированных металлических сплавов при сложном нагружении. Эта концепция включает:

- исследование деформированных металлических сплавов при технологических испытаниях в условиях сложного и многопереходного нагружения;
- поэтапную оценку изменения и формирования структуры и механических свойств сплавов с учетом накопленной степени пластической деформации;
- разработку методического и программного обеспечения для расчетов структурно-механических характеристик деформированных сплавов и построения зависимостей механических свойств от структурных изменений.

Программно-методическое обеспечение состоит из программ для ЭВМ по расчету структурных параметров металлических сплавов, методик построения обобщенных кривых деформационного упрочнения, способа построения рекристаллизационных зависимостей при сложном нагружении. Для обоснования концепции при различных видах и условиях сложного нагружения были выбраны следующие технологические испытания: холодное и горячее многопереходное объемное деформирование, высокотемпературное двухосное растяжение, горячая продольная прокатка, горячая и холодная многопроходная листовая формовка и горячее объемное деформирование в открытых штампах. Особо следует выделить разработанную конструкцию устройства для высокотемпературного двухосного растяжения тонколистового материала методом выпучивания мембран. Для экспериментов и исследований были подобраны широко

распространенные в технике металлические конструкционные материалы различных структурных классов и марок: стали 10, 20, 20Г2Р, 30Г1Р, 12Х18Н10Т, 50ХГФА, 12Х17Г9АН4, 16ХСН, 14Х17Н2; листовые титановые сплавы ОТ;-1 и ВТ-6С; чугун с шаровидным графитом. Разработанные программы предусматривают оценку величины зерна и разнотерности при разном увеличении от 100 до 1000 крат и могут использоваться на цифровых микроскопах любого вида. Предложенная методика продемонстрирована на примере построения обобщенной кривой упрочнения для стали 20 при совмещении зависимостей: интенсивность напряжений – твердость и степень деформации – твердость. Для стали 14Х17Н2 получена зависимость средней площади зерна от интенсивности деформации при температуре 1100°С. Построение зависимостей при рекристаллизации выполняется количественной оценкой интенсивности деформации в центре ячеек координатной сетки 2х2 мм, в которых определяется величина зерна.

Таким образом, в первом разделе диссертации при исследованиях используется металловедческий подход, согласно которому устанавливается связь структурных изменений в сплавах с формированием их механических свойств с учетом накопленной степени пластической деформации. А в технологическом плане предусмотрена оптимизация режимов пластической деформации. Такая постановка исследований является целесообразной и обоснованной

Во *втором разделе* диссертации представлены результаты структурно-механических исследований деформированных металлических сплавов при технологических испытаниях. В этом разделе проведены эксперименты при объемном холодном нагружении стали 10 на переходах деформирования шестигранной гайки и стали 20 – на переходах деформирования фланцевого болта. Технологические испытания при горячей дробной обработке стали 12Х18Н10Т включали изготовление ступенчатой заготовки. В ходе экспериментов и исследований была определена величина зерна в различных зонах поперечных сечений ступенчатой заготовки при деформировании. Особый интерес представляют эксперименты при двухосном растяжении титановых сплавов ОТ4-1 и ВТ6С в интервале температур 20-900°С и скоростей деформации 10^{-1} – 10^{-3} 1/с методом выпучивания мембран с использованием разработанного устройства. Для сравнения были выполнены испытания тех же сплавов при одноосном растяжении. По результатам испытаний построены температурно-скоростные зависимости. По результатам микроструктурного и фрактографического анализов выполнена количественная оценка микротрещин на шлифах и чашечек на поверхностях

изломов. Для прокатанной полосовой заготовки на клин из стали 50ХГФА были определены величина зерна и сопротивление усталости на продольных и поперечных образцах. Структурно-механические исследования и усталостные испытания также были выполнены для стали 12Х17Г9АН4 на листовых панелях, изготовленных многопереходной горячей штамповкой на молоте и холодной формовкой на прессе в одну операцию. Эксперименты, проведенные при изготовлении объемного изделия из чугуна с шаровидным графитом горячим деформированием в открытом штампе, показали повышение его пластичности при всестороннем неравномерном сжатии.

В *третьем разделе*, который является самым объемным в диссертации, установлены закономерности изменения структуры и дефектности деформированных металлических сплавов при сложном нагружении и их влияние на механические свойства. Было выполнено большое количество экспериментов на сталях ферритно-перлитного и аустенитного классов при многопроходном холодном объемном деформировании. Было исследовано влияние дефектов на развитие повреждаемости и построены зависимости плотности и твердости от степени деформации для стали 10. Было установлено, что плотность металла на последнем переходе имела наименьшее значение, а на предыдущих этапах она изменялась немонотонно. Вместе с тем, как показали структурные исследования, количество зерен изменяется незначительно на переходах обработки, что свидетельствует о том, что структурные изменения происходят на уровне субструктуры. А монотонное повышение твердости с увеличением степени деформации обеспечивается движением не единичных, а групповых дислокаций. Был сделан вывод о немонотонном развитии трехмерных дефектов в виде пор и трещин на переходах пластической обработки. При этом процессы образования или залечивания пор зависят от механической схемы деформации, реализуемой сжатием или растяжением. Предложено общее уравнение связи дефектности материала, выраженной его плотностью, с интенсивностью деформации с учетом влияния внешних и внутренних факторов при многопроходном пластическом деформировании. В число этих факторов предложено ввести исходную плотность материала, коэффициенты, учитывающие влияние текущей деформации на распределение мест разрушения, параметры механической схемы деформации, показатель напряженного состояния, номер этапа пластического деформирования. Отмечено, что стадийность обобщенных кривых упрочнения целесообразно рассматривать исходя из кинетики накопления повреждений, включающей периоды зарождения и распространения трещин. Характерные особенности

структурных изменений в металле при горячей дробной деформации были исследованы на примере деформирования аустенитной стали 12Х18Н10Т. При этом были изучены механизмы рекристаллизации на первом и последующих переходах и построены зависимости величины зерна от степени деформации на переходах и от накопленной деформации. Интересные результаты получены при исследовании механизмов динамической рекристаллизации, согласно которым установлено, что наибольшая интенсивность динамической рекристаллизации соответствует интервалу критических степеней деформации и зависит от размера зерна материала в исходном состоянии. Для деформаций выше критических размер зерна зависит от накопленной деформации и не зависит от структуры металла на предыдущих переходах. Исследованы закономерности структурных изменений и кинетика формирования дефектности листовых титановых сплавов ОТ4-1 и ВТ6С при двухосном высокотемпературном растяжении с разными скоростями деформации предложенным способом выпучивания мембран. Для этого была разработана оригинальная конструкция устройства с использованием сыпучей среды, защищенное авторским свидетельством и Евразийским патентом. В этом же разделе предложен способ прогнозирования циклической долговечности горячедеформированных металлических материалов, в основе которого определяющим параметром является размер зерна. Способ опробован на прокатанной полосовой рессорной стали 50ХГФА при 1200°С при обжатии до 40% и на листовой аустенитной стали при многопереходной формовке гофрированных панелей. На этот способ выдан патент.

Практическое применение и внедрение полученных результатов исследований изложены в главе 6. Мероприятия по внедрению с использованием разработанных устройств выполнены на 5 промышленных предприятиях. Были выданы рекомендации по оптимизации технологических процессов при деформировании сталей различных классов и марок, тонколистовых титановых сплавов, что дало возможность расширить номенклатуру потенциальных изделий. Внедрение разработок подтверждено актами, подписанными руководящими специалистами предприятий.

Замечания и рекомендации

1. При построении обобщенных кривых деформационного упрочнения материалов $\sigma_i - \varepsilon_i$ автор применил методику Г.Д. Деля, согласно которой для конкретного материала интенсивность напряжений и интенсивность

деформаций при наклепе независимо от видов нагружения и напряженного состояния можно оценить по твердости, если располагать предварительно подготовленным тарировочным графиком для этого материала. Тарировочный график можно подготовить при простом напряженном состоянии, например, при растяжении или сжатии с определением интенсивности напряжений, интенсивности деформации и твердости на каждой ступени нагружения. В связи с этим возникает вопрос зачем была использована формула (3.1) Беклемешева Д.П. для расчета интенсивности напряжений, в которую входят 4 параметра и эмпирический коэффициент. Интересно было бы узнать насколько различаются значения интенсивности напряжений, определенных по этой формуле и по тарировочному графику.

2. Почему некоторые кривые деформационного упрочнения образцов панелей из стали 12Х17Г9АН4 штампованных на прессе или молоте построены в обычных координатах $\sigma_i - \epsilon_i$, а другие – в логарифмических координатах. Это усложняет сравнение кривых упрочнения.

3. Повреждаемость сплава целесообразно оценивать не только по плотности микротрещин и чашечек на поверхности излома, но и на более ранней стадии повреждаемости – по плотности пор, например, для титановых сплавов при исследовании их порообразования.

4. При исследовании механизмов залечивания пор автору следовало бы обратить внимание на известные механизмы, согласно которым поры могут залечиваться спеканием при нагреве до высоких температур, выпадением вторичных и третичных фаз и образованием новых фаз в процессе фазовой перекристаллизации.

5. На рис. 3.6 «Зависимость средней площади зерна стали 14Х17Н2 от интенсивности деформаций» при температуре 1100°С выявлено 3 максимума. Однако если первый максимум выявлен по нескольким экспериментальным точкам, то второй и третий максимумы – по одной точке. Не является ли это случайным выпадом этих точек? Здесь также следовало бы пояснить причину наличия этих максимумов при 1100°С и их отсутствие при 1000 и 1150°С.

6. На рис.5.27 представлена установленная связь циклической долговечности стали 50ХГФА от размера зерна, по которой можно делать прогноз долговечности. Будет ли эта связь общей и для сталей других структурных классов и марок или для каждой стали надо уточнять ее?

7. Структурно-механическое состояние сплава на разных стадиях обработки можно более полно охарактеризовать при определении характеристик трещиностойкости. А по диаграммам ударного изгиба образцов при определении ударной вязкости можно было бы определить работу

зарождения и распространения трещины и оценить динамическую трещиностойкость.

8. Имеются некоторые формальные замечания по тексту диссертации: на рис.5.26 не указана размерность ударной вязкости КСУ. На рис.3.6 и 3.7 не указана нагрузка вдавливания при обозначении твердости. В диссертации и в автореферате аустенитная сталь, как объект исследования, обозначена по разному: X18H10T и 12X18H10T.

Заключение

Несмотря на отмеченные замечания и оценивая диссертационную работу в целом, можно заключить, что в ней решены крупные металлургические и технологические задачи по повышению физико-механических, технологических и служебных свойств деформированных металлических материалов при сложном и многопереходном нагружении, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие научно-технологического потенциала страны.

Научная новизна полученных результатов исследований состоит:

- в *теоретическом плане* - в предложенной и обоснованной научно-технологической концепции формирования физико-механических и служебных свойств деформированных металлических сплавов в различных температурно-скоростных условиях сложного нагружения, основанной на установлении закономерностей поэтапного изменения структурно-механического состояния этих сплавов в процессе обработки;
- в *практическом плане* – в разработанном методе прогнозирования механических свойств деформированных металлических материалов при сложном нагружении, основанном на разработанной методологии структурно-механических исследований.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием достижений в области металлургии, механики материалов, обработки металлов давлением и современных методов, приборов и машин для проведения технологических и механических испытаний, анализа микроструктуры, обработки экспериментальных данных согласно действующим ГОСТ и нормативным документам.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Результаты диссертационной работы достаточно полно были представлены на научно-технических конференциях и опубликованы в известных

журналах, включая издания, рекомендованные ВАК РФ (28 работ) и входящих в международную базу данных Scopus (9 работ), издано 3 монографии и получены 9 патентов на изобретения

Результаты диссертационной работы внедрены на 5 предприятиях, что подтверждено соответствующими актами.

По актуальности темы, научной новизне, степени обоснованности научных положений, научно-практической значимости диссертация «Научно-технологическая концепция формирования механических свойств деформированных металлических сплавов в условиях сложного нагружения на основе поэтапного структурно-деформационного анализа» отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям («Положение о присуждении ученых степеней, утвержденное постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), а ее 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.

Официальный оппонент

д.т.н. (05.16.09), профессор кафедры

Технологии металлов

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»


9.10.23

Матюнин Вячеслав Михайлович

Адрес организации: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.14.

Тел.: (495) 362-75-68.

E-mail: MatyuninVM@mpei.ru

Подпись д.т.н., проф. Матюнина В.М. удостоверяю:

Зам. начальника управления по работе

с персоналом ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



 Полевая Л.И.