

АННОТАЦИЯ
диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых
материалов

ВОЛОКИТИНА АНДРЕЯ ВАЛЕРЬЕВИЧА

«Исследование формирования ультрамелкозернистой структуры и свойств металлических материалов, подвергнутых прессованию в равноканальной ступенчатой матрице с последующим волочением»

Актуальность темы. Для осуществления планов, стоящих перед экономикой Республики Казахстан необходимо обеспечение основных отраслей промышленности качественной металлопродукцией, обладающей уникальными физическими, механическими и другими эксплуатационными свойствами. Часто решение этих задач связано с высокими энергозатратами. В условиях бережливого использования энергетических и сырьевых ресурсов, проблема энерго- и ресурсосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающими одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих затрачивать минимально возможное количество времени при обработке изделий имеет большое практическое значение.

В последнее время все чаще уделяется внимание материалам с ультрамелкозернистой структурой, которые обладают уникальными свойствами. Это открывает перспективы улучшения существующих и создания принципиально новых конструкционных материалов, так как материалы с ультрамелкозернистой структурой обеспечивают оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств. Причем положительный эффект достигается не за счет дорогостоящих легирующих элементов, а только за счет изменения структуры. Это приводит к улучшению многих технико-экономических показателей и обеспечивает низкую материалоемкость и энергоемкость производства.

Научной основой для создания новых методов обработки материалов является изучение связи между составом, структурным состоянием и свойствами металлов и сплавов, а также экспериментальный и теоретический анализ механизмов фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, в том числе деформационных.

Традиционные технологии деформирования, такие, как волочение и холодная прокатка, также сопровождаются измельчением структуры. Однако, в основном, субструктура имеет ячеистый характер с зернами удлиненными в направлении волочения или прокатки, а также содержит высокую долю малоугловых границ. С другой стороны, материал, полученный интенсивной пластической деформацией (ИПД), содержит зернистую структуру, с относительно мелкими зернами, с высокими углами разориентировки.

Данный факт также благоприятно сказывается на динамике рекристаллизации и, таким образом, на термостабильности. К тому же, часто ИПД проходит при низких температурах (окружающей среды), что делает ее более привлекательной. Вместе с тем, известно, что их ультрамелкозернистые и наноструктурные состояния с зернами размером менее одного микрона и особым состоянием границ, могут значительно (в 2-3 раза) повысить прочность технически чистых металлов и в 1,5-2 раза сплавов в сочетании с достаточно высокой пластичностью. Наиболее известным способом получения металлов с ультрамелкозернистой структурой является способ РКУП, который в условиях многоциклового обработки обеспечивает формирование ультрамелкозернистой структуры в заготовках с высоким коэффициентом использования металла, что важно для промышленного использования. Хотя уже и известны некоторые результаты применения методов ИПД в машиностроительной и медицинской промышленности, позволившие снизить затраты на энергетические ресурсы на 20-30%, но широкого применения они не нашли, так как получение такой структуры большинством известных способов трудо- и энергозатратно, а так же, накладывает ограничения на геометрические размеры получаемого продукта, что существенно снижает их производительность.

Одним из способов качественной обработки металлических заготовок является волочение длинномерной проволоки. Волочение направлено на получение геометрически правильной продукции, с ровной и чистой поверхностью, как правило, малого сечения. Результатом процесса является уменьшение диаметра проволоки и увеличение ее длины. Это актуально для производства проволоки разного профиля и другой проволочной продукции, применяемой во всех областях человеческой деятельности. Но при современной технологии переработки суммарные обжатия при волочении катанки в проволоку достаточно большие (до 99,2%), что требует проведения дополнительных промежуточных термических обработок. Поэтому повышение прочностных и пластических свойств металла без промежуточной термической обработки с сохранением необходимых конечных характеристик проволоки при совершенствовании уже существующих технологий является актуальным. В последние двадцать пять лет активно развиваются исследования, сосредоточенные на получение ультрамелкозернистых и нанокристаллических материалов с повышенными физико-механическими свойствами, которые являются перспективными конструкционными и функциональными материалами нового поколения. На данный момент существуют целые научные школы, активно развивающие науку в этом направлении, как в России, так и за рубежом. Достаточно перечислить таких авторов, как В.М.Сегал, В.В. Рыбин с сотр., Левит В.И. с сотр., Р.З. Валиев с сотр., Р.Р. Мулюков с сотр., А.М. Глезер с сотр., С.В. Добаткин с сотр., В.Н. Чувильдеев с сотр., В.Н. Варюхин с сотр., Э.В. Козлов, Н. Конева, А.Виноградов, T.G. Langdon, M. Furukawa, M. Nemoto, Z Horita и других, и становится понятным масштаб проводимых исследований. Тем не менее,

вопрос получения длинномерных объемных наноструктурных материалов остается актуальным.

Актуальность настоящей работы подтверждается востребованностью данной тематики государственными программами различного уровня, финансируемыми из государственного бюджета.

Новизна темы. Состоит в изучении воздействия на зеренную структуру металлов и сплавов, интенсивной пластической деформации, развивающейся в равноканальной угловой ступенчатой матрице при совмещении с классическим волочением, что позволяет реализовать схемы сдвига и растяжения. Формирование объемной ультрамелкозернистой структуры в металлических материалах, обработанных по новой технологии, является более эффективным, чем ранее известные способы получения металла с ультрамелкозернистой структурой. Это позволяет создать новую эффективную технологию получения проволоки с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

Целью диссертационной работы является исследование влияния нового совмещенного процесса пластической деформации прессование-волочение на формирование ультрамелкозернистой структуры и свойств металлических материалов.

Задачи исследования:

1. Разработка оптимальной технологии совмещенного процесса «прессование-волочение» для получения проволоки из различных металлов с высокими (улучшенными) характеристиками прочности при достаточных параметрах пластичности.

2. Моделирование и теоретическое обоснование условия безобрывности процесса прессование-волочение.

3. Разработка методами компьютерного моделирования конечно-элементной модели нового совмещенного процесса «прессование-волочение» и исследование влияния параметров совмещения на устойчивость процесса и формоизменение проволоки.

4. Анализ напряженно-деформированного состояния полученной модели процесса деформирования с целью определения возможности формирования ультрамелкозернистой структуры.

5. Оценка возможности реализации совмещенного процесса «прессование-волочение» на волочильном стане В - I/550 М.

6. Оценка эффективности совмещенного процесса «прессование-волочение», обеспечивающего получение повышенных механических свойств за счет измельчения микроструктурных составляющих.

Предмет исследования. Совмещенный процесс "прессование-волочение", предназначенный для формирования ультрамелкозернистой структуры в деформируемом металле.

Объект исследования. Микроструктура стальной проволоки марки Ст.3, алюминиевой марки А0 и медной марки М1, полученных совмещенным методом «прессование-волочение».

Методологическая база исследований. К числу основных методов исследований и анализов, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- расчет напряженно-деформированного состояния с помощью моделирования в программном комплексе DEFORM-3D;
- электронно-микроскопические исследования микроструктуры продеформированных образцов на просвечивающем микроскопе JEM-2100 фирмы Jeol;
- EBSD анализ при помощи РЭМ Philips XL-30 с полевым катодом;
- определение микротвердости проволоки на микроскопе марки LEICA DM IRM HC, оснащенного специальными приставками;
- испытание образцов на одноосное растяжение на приборе Instron 5982.

Исследования проводили с использованием приборов и средств измерений, прошедших государственную метрологическую поверку.

Научная новизна работы:

1. Разработана новая совмещенная технология деформирования «прессование-волочение», сочетающая метод интенсивной пластической деформации и классическое волочение, обеспечивающая повышение комплекса прочностных свойств проволоки при сохранении ресурса пластичности.

2. Установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния при сложном нагружении, которые возникают при комбинировании нескольких операций в одном очаге деформации.

3. Выявлены закономерности формирования ультрамелкозернистой структуры и механических свойств в стали марки Ст.3, алюминии марки А0 и меди марки М1 в зависимости от условий деформирования в процессе «прессование-волочение».

4. Определены режимы деформации стали марки Ст.3, алюминия марки А0 и меди марки М1, обеспечивающие получение однородной УМЗ структуры и повышенных механических свойств при совмещенном процессе «прессование-волочение».

5. Экспериментально доказано, что применение новой совмещенной технологии деформирования «прессование-волочение» позволяет обеспечить повышение комплекса механических свойств по сравнению с традиционным волочением. В частности, при обработке проволоки из стали марки Ст.3 временное сопротивление разрыву повышается на 360 МПа, условный предел текучести - на 460 МПа, относительное сужение после разрыва понижается на 8 %; но падение не такое существенное, как при классическом волочении.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная совмещенная технология «прессование-волочение» позволит получать высококачественную проволоку с ультрамелкозернистой структурой и высокими механическими свойствами, а это в свою очередь позволит заменить дорогостоящие легированные марки стали обычными конструкционными. Практическая ценность подтверждается актом о проведении опытно-промышленной проверки результатов научно-

исследовательской работы в условиях АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения». Показано, что использование совмещенной технологии «прессование-волочение» позволяет получать длинномерную проволоку с ультрамелкозернистой структурой стали марки Ст.3, алюминия марки А0 и меди марки М1. Предложенная технология позволяет получать бездефектные объемные заготовки с однородной ультрамелкозернистой структурой и различным сочетанием прочности, пластичности и функциональных свойств материала. Результаты экспериментальных данных внедрены в учебный процесс Карагандинского государственного индустриального университета и используются при подготовке бакалавров, магистрантов и чтении лекций на кафедре «Обработка металлов давлением».

Основные положения и результаты работы, выносимые на защиту:

1. Совмещенная технология «прессование-волочение», конструкция деформирующего узла и формообразующего инструмента для ее осуществления, позволяющие получать проволоку с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами.

2. Режимы деформирования стали марки Ст.3, алюминия марки А0 и меди марки М1 в процессе «прессование-волочение», обеспечивающие формирование ультрамелкозернистой структуры и высокие механические свойства в проволоке.

3. Результаты совмещения технологии РКУП и традиционного волочения. Новая технология позволяет формировать структуру с мелким, однородным, равноосным зерном с преимущественно большеугловыми границами. Достичь данных результатов позволило применение сдвиговых деформаций, происходящих в равноканальной матрице, которые привели к формированию структуры материала, отличной от сформированной стандартными методами.

4. Закономерности формирования ультрамелкозернистой структуры в стали марки Ст.3, алюминии марки А0 и меди марки М1 в процессе «прессование-волочение», позволяющие значительно повысить прочностные характеристики механических свойств при сохранении пластичности и вязкости на уровне, удовлетворяющем требованиям стандартов.

5. Механизм формирования ультрамелкозернистой структуры в объемных металлических материалах, подвергнутых деформированию совмещенным методом «прессование-волочение».

Связь диссертационной работы с научными исследовательскими программами.

1. Разработка и исследование совмещенного процесса деформирования «прессование – волочение» с целью получения алюминиевой и медной проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой» по программе «Грантовое финансирование научных исследований на 2012 - 2014 годы.

Личный вклад диссертанта. Диссертант принимал непосредственное участие в обсуждении и постановке задач и анализе результатов, в организации и проведении теоретических и экспериментальных

исследований, изготовлении практических конструкций волоочильного инструмента. Все экспериментальные результаты, включенные в диссертацию, получены либо самим диссертантом, либо при его непосредственном участии.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на следующих международных научно-технических конференциях: XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics» (Czestochowa, Poland, 2017); Международных Сатпаевских чтениях «Научное наследие Шахмардана Есенова» (г. Алматы, Казахстан, 2017); IX Международной научно-практической конференции «Третья модернизация Казахстана – новые концепции и современные решения» (г. Темиртау, Казахстан, 2017); XIX International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and material engineering and production engineering and physics» (Czestochowa, Poland, 2018); International conference on recent advances in metallurgy for sustainable development (Vadodara, India, 2018); The International Scientific Congress «Machines. Technologies. Materials» (Sofia, Bulgaria, 2018).

Публикации. По материалам диссертационных исследований опубликовано 19 работ, из них 4 статьи в журналах с не нулевым импакт-фактором (Scopus, Web of Science), 4 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности, 6 публикаций в материалах конференций и сборниках тезисов докладов на конференциях, подана заявка на патент (прошла формальную экспертизу).

Структура и объем диссертации: Диссертация изложена на 129 страницах машинописного текста, включая 81 рисунок и 10 таблиц. Состоит из содержания, списка обозначений и сокращений, введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников в количестве 131 наименования.