

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы

«РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК С ПОВЫШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ»,

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)

по специальности 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии»

АБИШКЕНОВА МАКСАТА ЖАРЫЛГАСЫНОВИЧА

Целью диссертационной работы является разработка и исследование способов, деформирующих инструментов и устройств, сочетающих в одном процессе наиболее эффективные виды деформации сжатия и сдвига, создающие оптимальное напряженно-деформационное состояние в объеме обрабатываемой металлической заготовки, улучшая ее свойства и позволяя получать объемные наноструктурированные металлические материалы (ОНММ) достаточных размеров, а также имеющие потенциал внедрения в состав действующих производств.

Задачи исследования

В соответствии с целью диссертационной работы были поставлены и решены следующие задачи:

- аналитический обзор научно-технической информации и современного состояния проблемы для оценки преимуществ, недостатков, концепций, оптимальности режимов напряжений и деформаций, возможности внедрения в производство способов получения ОНММ интенсивной пластической деформацией (ИПД);

- по результатам аналитического обзора предложение концепций способов, которые позволяют создать в объеме обрабатываемого материала оптимальное напряженно-деформированное состояние совмещением оптимальных схем деформаций в одном процессе, получать ОНММ достаточных размеров, могут быть внедрены в действующее производство, а также научно-теоретическое обоснование предложенных способов путем оценки их оптимальности с точки зрения геометрических, напряженно-деформационных, технологических параметров с использованием теоретических, расчетно-аналитических, компьютеризированных методов исследования;

- по результатам научно-теоретического обоснования выбор способов, имеющие наибольший потенциал внедрения в производстве и позволяющие сочетать схемы деформации и научно-экспериментальное обоснование способов путем проведения серий экспериментов при различных исходных условиях по температуре обработки, материалу, кристаллической решетке, механизмам деформации, размерности зерен и оценки микроструктур, физико-механических свойств полученных образцов;

- обобщенная оценка способов по отдельным критериям с учетом всех полученных теоретических и практических научных результатов с целью

разработки рекомендаций по внедрению в производство.

Методы исследования

При выполнении диссертационной работы использованы следующие научно-исследовательские методы:

- метод линий скольжения для исследования напряженного состояния;
- метод вариационных исчислений, основанный на анализе Эйлера-Лагранжа или анализе Лагранжа, для определения смещений и компонентов деформации в условиях пластического течения;
- метод конечных элементов для исследования напряженно-деформированного состояния, энергосиловых параметров (с использованием программы DEFORM-3D);
- метод совместного решения приближенных дифференциальных уравнений равновесия и пластичности для определения усилия обработки;
- метод световой микроскопии (СМ) для анализа исходной микроструктуры образцов (световой микроскоп Axiovert 200MMAT);
- метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) для анализа дислокационной, зеренной структуры образцов (с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-1400Plus);
- метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для микроструктурного анализа (с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3 LMH);
- метод дифракции обратного рассеяния электронов (EBSD) для определения кристаллической ориентации структурных элементов (детектор Oxford Instruments NordlysMax, программный комплекс AZtecHKL, программное обеспечение HKL Channel-5 Tango);
- метод рентгеновской дифрактометрии (XRD) для оценки изменения дифракционных пиков и плотности дислокаций методом Уильямсона-Холла (с использованием рентгеновского дифрактометра X'Pert PRO MPD, Crystallography Open Database (COD), программ X'Pert HighScore и Match!);
- метод энергодисперсионной спектроскопии (EDS) для определения фазового состава образцов (с использованием детектора Oxford Instruments X-MAX80);
- стандартные методы испытаний металлических материалов на растяжение и сжатие по ASTM E8, ASTM E9 для определения прочностных и пластических характеристик (с использованием разрывной машины Instron 5982, универсальной испытательной машины WDW-200);
- метод измерения твердости по Виккерсу согласно ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 для оценки твердости образцов (с использованием твердомера Wolpert DigiTestor 930);
- метод неразрушающего вихретокового контроля согласно ГОСТ 27333-87 для определения изменения электропроводности и для косвенного определения теплопроводности по закону Видемана-Франца (с использованием

вихретокового измерителя ВЭ-27НЦ).

Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту

– способы, основанные на сочетании деформаций, оптимизируют напряженно-деформированное состояние в металлическом материале, о чем свидетельствуют поле линий скольжения, характер и гистограммы распределения напряжений и деформаций, годографы скоростей;

– способы, основанные на сочетании деформаций, позволяют получить ОНММ, о чем свидетельствуют ПЭМ и СЭМ микрографы, EBSD карты, XRD дифрактограммы, спектры EDS, гистограммы распределения $d_{\text{ср}}$;

– металлические материалы, полученные способами, основанными на сочетании деформаций, обладают высоким комплексом физико-механических свойств, о чем свидетельствуют диаграммы нагрузка-растяжение, нагрузка-укорочение, диаграммы σ – ε с эмпирической моделью изменения механических свойств, гистограммы сравнения значений свойств со значениями по ГОСТ, значения твердости по Виккерсу, удельной электропроводности, теплопроводности.

Описание основных результатов исследования

В результате теоретических и экспериментальных исследований:

– определены оптимальные значения соотношения диаметра d и длины z пояaska сдвига, а также угла сдвига α при реализации способа специальной(-ого)ковки/волочения/экструзии ($d/z \approx 1,5 \div 2,0$; $\alpha \approx 20^\circ$), обеспечивающие оптимальное напряженно-деформированное состояние в объеме заготовки;

– для специальной(-ого)ковки/волочения/экструзии установлены, что: имеется возможность ужесточения режима деформации созданием небольшого угла сдвига ($\gamma \sim 2 \div 10^\circ$) в дополнение к основному углу сдвига α ; без совмещения с другим процессом или без противодействия наиболее жесткая деформация происходит только при способековки; для ужесточения деформации при специальнойэкструзии обработку следует проводить под противодействием; при специальном волочении с использованием равноканальной матрицы, несмотря на двойной сдвиг $\alpha + \gamma$, поперечное сечение уменьшается по сравнению с исходным сечением в независимости от значения углов сдвига, происходит схема изгиба, а не сдвига, и деформация полностью не ужесточается;

– обнаружено, что в процессе сортовой сдвиговой прокатки с использованием системы калибров ромб-квадрат за счет распределения деформаций в поперечном сечении ромбического калибра по закону точечной инверсии в следующем квадратном калибре помимо деформаций сжатия, создаются дополнительные сдвиговые деформации с углом $\gamma \sim 15 \div 20^\circ$;

– СЭМ-анализом горячекатаных образцов Ст5пс установлено, что под воздействием сжатия и сдвиговых деформаций происходит столкновения цементитных пластин в перлитных колониях и в границах столкновения образуются ламеллярные фрагменты цементита с размерами в диапазоне

44,7÷150 нм, которые не характерны для традиционной системы калибров ромб-квадрат;

– ТЭМ-BF-анализом катанных образцов Э110 установлено, что в структуре образуются микрополосы сдвига и имеет место столкновение этих микрополос в результате воздействий знакопеременного простого сдвига и обжатия, а также образуются дислокационные стенки в направлениях, примерно перпендикулярных длине микрополос, которые фрагментируют эти микрополосы;

– ТЭМ-BF-анализом образцов Ст5пс и АД31Т1, обработанных соответственно без противодействия и с противодействием, установлено, что из-за менее жесткой схемы деформации без противодействия в образце Ст5пс сформировались удлиненные структуры, зеренная структура развилась недостаточно хорошо, а в образцах АД31Т1, обработанных противодействием в криорежиме, формировалась равноосная, развитая зеренная структура по сравнению со Ст5пс.

Обоснование новизны и важности полученных результатов

Полученные теоретические результаты при исследовании способов получения ОНММ, в частности, характер распределения напряжений и деформаций, значения углов сдвига, других геометрических и технологических параметров, важны для оптимизации предложенных способов и предварительного прогнозирования микромеханических параметров. Экспериментальные результаты, а также особенности, недостатки, преимущества способов, выявленные в ходе проведения экспериментов, позволяют провести критериальную оценку производственного потенциала данных способов и разработать рекомендации к внедрению в производство. Предлагаемые способы являются ориентированными на производство и могут быть внедрены в действующих цехах обработки металлов давлением для производства металлических изделий с высоким комплексом физико-механических свойств.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» Национального научного совета при Правительстве Республики Казахстан. Часть исследований выполнена также в рамках грантового финансирования исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2022-2024 годы по вышеназванному приоритетному направлению – в рамках проекта AP14972831 – «Исследование структуры и свойств экспериментальных алюмоматричных композитов, армированных карбидами металлов и отходами кремниевого производства».

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации

Постановка задач исследования, планирование, подготовка и выполнение научно-теоретических и научно-экспериментальных исследований, анализ, обсуждение и обобщение полученных результатов, подготовка, написание и подача печатных работ были выполнены самим автором или при его непосредственном участии. В большинстве публикаций по работе соискатель является первым автором или автором-корреспондентом.

По теме диссертационной работы опубликованы 25 (двадцать пять) научных работ, в том числе: 10 (десять) статей в рецензируемых научных изданиях по научному направлению темы диссертации, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science (Clarivate Analytics) и по CiteScore в базе Scopus (Elsevier), 3 (три) статьи в изданиях, рекомендованных КОКШНО МНВО РК, 1 (одна) статья в республиканском научном журнале, 8 (восемь) докладов в сборниках трудов международных и республиканских научно-практических конференций, 3 (три) патента РК на полезную модель.