

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СЕННИКОВА Людмила Федоровна

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ПРОВОЛОКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ

05.16.01 - Металловедение и термическая обработка
металлов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк - 1996

АВ 34.304

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Донецком физико-техническом институте
им. А. А. Галкина НАН Украины

Научный руководитель

кандидат технических наук,
лауреат Государственной
премии Украины в области
науки и техники

Н. И. МАТРОСОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор В. И. АЛИМОВ
кандидат физико-математи-
ческих наук Ю. А. ПОХИЛ

Ведущее предприятие

АО "Силур", г. Харьковск

Защита состоится "25" апреля 1996 года в 12 ча-
сов в аудитории 353 пятого учебного корпуса на заседании
специализированного Совета Д 06.04.03 при Донецком Государ-
ственном техническом университете по адресу: 340000, Украи-
на, Г. Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библио-
теке Донецкого Государственного технического университета

Автореферат разослан "20" марта 1996 г.

Ученый секретарь

специализированного совета Д 06.04.03

доктор технических наук

Мокш С. М. САФЬЯНЦ

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00740363 (N)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы* В настоящее время при разработке новой техники и технологий широкое применение получила проволока тонкого (диам. 0,1...0,5мм) и микронного (диам. < 0,1мм) сечения специального назначения (электротехническая, инструментальная, пружинная, армирующая и т. д.) с повышенными физико-механическими свойствами и другими специфическими качественными характеристиками (предельно допустимым отклонением диаметра не более 2 мкм, шероховатостью поверхности $Ra \leq 0,63\text{мкм}$, прямолинейностью формы). Существующие методы изготовления проволоки традиционным волочением во многих случаях не могут обеспечить необходимое качество проволоки тонкого и микронного сечения и уровень её эксплуатационных характеристик.

Новые возможности открываются при использовании для этих целей методов пластической деформации с помощью жидкости высокого давления в сочетании с термической обработкой, являющихся мощным фактором воздействия на структурное и напряженно-деформированное состояние материала.

В то же время, поведение объектов тонкого и микронного сечения в результате деформации под воздействием высокого гидростатического давления и температуры является недостаточно изученным.

Одной из наиболее важных характеристик, наряду с другими, главным образом определяющей возможности использования тонкой проволоки специального назначения в конкретных условиях эксплуатации является временное сопротивление разрыву.

* При выполнении диссертационной работы автор использовал научные консультации доктора физ.-мат. наук, профессора А. Г. Милославского.

Поэтому разработка способов деформационно-термической обработки тонкой проволоки (диам. 0,1...0,5мм) и микронной проволоки (диам. <0,1мм) с использованием высоких гидростатических давлений, позволяющих получить высокий уровень временного сопротивления разрыву и других качественных характеристик, является актуальной задачей.

Работа выполнена как часть исследований, проведенных в Донецком физико-техническом институте НАН Украины по развитию новых методов обработки материалов с использованием высоких гидростатических давлений, по темам: 4.3.7.2. КИПТП стран - членов СЭВ, ГИП Украины "Научно-технические технологии" 4.2.2. в объеме проекта "Научно-техническое обеспечение и освоение производства проволоки ответственного назначения", в рамках коздогворов №№146-04-80, 555-85, 20-87, 51-90, 87-89, 136-87, 12-85 с ПО "Краситель" г.Рубежное, п/я В-8413 г.Дзержинск, п/я Р-6575 г.Москва, НИО "Композит"г.Москва, НИО "Мединструмент" г.Казань, ИМЕТ РАН г.Москва.

Целью работы является разработка и исследование способов деформационно-термической обработки с использованием высоких гидростатических давлений, направленных на получение проволоки тонкого и микронного сечения с повышенной прочностью и улучшенным общим комплексом свойств.

Научная новизна результатов состоит в следующем:

1. Показано, что формирование упорядоченной структуры на основе сильно разориентированной ячеистой субструктуры с образованием дисперсных дислокаций и вторичных фаз обуславливает повышенное временное сопротивление разрыву тонкой проволоки, полученной деформацией с использованием высоких гидростатических давлений.

2. Установлено, что при пластической деформации тонкой

проволоки методами гидростатической обработки с увеличением степени деформации во всем ее диапазоне наблюдается монотонный рост временного сопротивления разрыву без атермического разупрочнения, характерного для традиционного волочения.

3. Обнаружено экстремальное увеличение (до 700 Н/мм^2) временного сопротивления разрыву в полученных способом пакетного гидропрессования пластичных алюминиевых волокнах микронного диапазона сечений, более чем в 3 раза превышающее максимально достижимые значения этой характеристики для алюминия при любых других способах обработки.

4. Предложена трактовка механизма упрочнения алюминиевых волокон, заключающаяся в том, что с уменьшением размеров волокон по сечению увеличивается роль внешних границ, покрытых оксидной пленкой, эффективность которых как барьеров для движения дислокаций значительно выше, чем границ между разориентированными областями кристалла.

5. Показано, что деформация тонкой молибденовой проволоки при оптимальных режимах холодным гидростатическим волочением с противодавлением снижает межзеренное охрупчивание и обеспечивает повышение на 15% ее жаропрочности в интервале температур от 200 до 1200°C и от 1600 до 2000°C .

6. Установлено, что интенсификация мартенситного превращения при получении проволоки из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса и сталей, содержащих азот гидростатическим волочением с предварительным охлаждением заготовки до температуры (-196°C) в сочетании с последующим старением, способствует увеличению прочности на 40%.

Практическая ценность работы.

Разработаны и предложены способы деформационно-термической обработки для достижения высокой прочности и

эксплуатационных свойств проволоки специального назначения.

Разработан новый способ получения высокопрочной тонкой проволоки из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса гидростатическим волочением с предварительным охлаждением заготовки до криогенной температуры (-196°C) (А.с. № 1773423)

Экономический эффект от внедрения результатов работы на ПО "Краситель" г Рубежное, п/я В-8413 г Дзержинск, НПО "Мед-инструмент" г Казань составил 151,8 тыс. руб. (в ценах 1991г.).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на Всесоюзном научном семинаре "Влияние высоких давлений на вещество" (г. Киев, 1989, 1991, 1993гг.), Всесоюзной конференции по высокоазотистым сталям (г. Киев, 1990, 1992 гг.), Всесоюзном семинаре "Пластичность и деформируемость сталей и сплавов при обработке металлов давлением" (г. Челябинск, 1989 г.), на научных семинарах в ДонФТИ (1993, 1994, 1995гг.) и ДонГУ (1995, 1996гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных статей, получено авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 разделов, заключения и приложения, содержит 120 страниц основного текста, 46 рисунков, 15 таблиц, список использованных источников из 154 наименований.

Личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, выносимых на зиситу:

1. Определены обобщающие подходы к получению тонкой проволоки с повышенными прочностными свойствами, заключающиеся в использовании различных схем гидростатической обработки с широким диапазоном (200...1200 МПа) применяемых давлений

2. Обнаружено отсутствие эффекта атермического разупрочнения, характерного для традиционного волочения. При моно -

тонном росте временного сопротивления разрыву во всем диапазоне степеней гидростатической деформации.

3. Разработаны рекомендации по достижению высоких ($\sigma_B = 840 \dots 910 \text{ Н/мм}^2$) механических свойств многожильного сверхпроводящего провода на основе сплава ниобий-титан получаемого непрерывным гидропрессованием, совмещенным с волочением и соответствующих им повышенных (на 20-30%) значений критического тока.

4. Выявлена возможность получения тонкой проволоки из молибдена методом холодного гидростатического волочения с противодавлением, с повышенной на 15 % жаропрочностью в интервале температур от 200 до 1200°C и от 1600 до 2000°C, за счет снижения межзеренного охрупчивания.

5. Обнаружен эффект резкого упрочнения волокон диаметром менее 30 мкм при деформации пакетным гидропрессованием

6. Предложено объяснение механизма упрочнения, имеющего место при деформации гидростатическим волочением и в частности при температуре ниже комнатной, тонкой проволоки из аустенитной нержавеющей стали и сталей, содержащих азот; повышение прочности объясняется интенсификацией в этих условиях полноты $\gamma + \alpha$ - превращения, усиливающего искажение матричной аустенитной решетки, наклепом мартенситной фазы и ее структурными изменениями.

7. Разработаны режимы деформационно-термической обработки для достижения высокой прочности проволоки, недостижимой другими способами обработки.

8. Разработан новый эффективный способ получения высокопрочной тонкой проволоки из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса, заключающийся в гидростатическом волочении предварительно охлажденной до температуры (-196°C) заготовки

в сочетании с последующим старением (А. с. № 1779423).

Методы исследований

При разработке технологии применялись оригинальные схемы и аппаратура. Для изучения свойств, структуры и фазового состава исследуемых материалов использовались методики механических испытаний, металлографического и рентгеноструктурного анализа, методы электронной микроскопии и статистической обработки данных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проведенных исследований, изложены цель работы, задачи, научная новизна и практическая ценность работы, основные положения, выносимые на защиту, информация об апробации и публикации результатов работы. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Определить рациональные способы деформации проволоки с использованием высоких гидростатических давлений.
2. Получить образцы тонкого и микронного сечения, используя выбранные способы гидростатической обработки.
3. Исследовать влияние технологических параметров на механические свойства, структуру, фазовый состав и эксплуатационные характеристики проволоки из коррозионно-стойких сталей, сверхпроводящих, тугоплавких и легких материалов.
4. Разработать на основе полученных результатов режимы деформационно-термической обработки.

В первом разделе выполнен обзор работ, освещающих традиционные методы получения проволоки, в том числе и специального назначения, и перспективные, в частности с применением высоких гидростатических давлений, а также особенности упрочнения проволоки тонкого и микронного сечения.

Существенный вклад в фундаментальные исследования влияния высоких давлений на физико-механические свойства различных материалов внесли Л. Ф. Верещагин, А. А. Галкин, Б. И. Бєреснев, К. П. Родионов, В. И. Зайцев, Х. Л. Пью, П. Бриджмен и др.

У истоков развития отечественной технологии гидростатической обработки проволоки стояли А. И. Целиков, Ю. С. Коняев, В. И. Уральский, Ю. Ф. Черный, Н. И. Матросов В. П. Буряк.

Высокие гидростатические давления в процессе пластической деформации могут формировать в обрабатываемом материале очень мелкодисперсную дислокационную ячеистую субструктуру, приводить к фазовым превращениям, менять механизм пластической деформации, создавать особое напряженно-деформированное состояние, обеспечить равномерное пластическое деформирование, снизить внутреннюю и внешнюю дефектность, что формирует в обрабатываемом материале качественно новый уровень свойств.

Анализ литературных данных показал, что поведение объектов тонкого и микронного сечения в процессе пластической деформации и в частности под воздействием высоких гидростатических давлений и температуры недостаточно изучено.

Во втором разделе обоснован выбор материалов для исследования, даны механические свойства проволоки в исходном состоянии и химический состав материалов, описания оборудования и методик подготовки и исследования проволочных образцов

В качестве исходного материала для экспериментов использовался многожильный сверхпроводящий провод на основе сплава NT-50 (Nb-50вес. % Ti) диаметром 2,0 мм ($\sigma_B = 520 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 2\%$) со стабилизирующим покрытием из меди и коэффициентом заполнения по сверхпроводнику 41 %, проволока из алюминия марки АД-1 диаметром 1,6 мм ($\sigma_B = 80 \text{ Н/мм}^2$, $\delta = 10\%$), технического титана марки BT1-0 диаметром 1,0 мм ($\sigma_B = 380 \text{ Н/мм}^2$,

$\delta=38\%$), молибдена марки МЧ диаметром 0,5 мм, ($\sigma_B=1000\text{Н/мм}^2$, $\delta=30\%$), нержавеющей сталей и сталей, содержащих азот, 12Х18Н10Т, 03Х18Н9Т ($\sigma_B=700\dots 900\text{Н/мм}^2$, $\delta=13\%$), 30Х13 ($\sigma_B=620\text{Н/мм}^2$, $\delta=15\%$), X18АГ12С2 ($\sigma_B=980\text{Н/мм}^2$, $\delta=27\%$) X19АГ10С2 ($\sigma_B=2660\text{Н/мм}^2$, $\delta=4\%$), диаметром 0,6...0,03 мм.

Для получения проволочных образцов были выбраны следующие схемы деформации: гидропрессование, совмещенное с волочением; непрерывное гидропрессование, совмещенное с волочением; пакетное гидропрессование; гидростатическое волочение при комнатной и отрицательной температурах.

Механические испытания на разрыв проволочных образцов проводились по ГОСТу 10446-80 на разрывных машинах ЗМ-20 и FM-27. Для каждой степени деформации испытывалось не менее 5 образцов, а для металлических волокон не менее 100 штук из каждой партии. Микротвердость проволочных образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 гс и увеличении $\times 500$. Микроструктура изучалась с помощью исследовательского металлографического микроскопа "Neofot". Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометрах Дрон-3 и Дрон-УМ1, при этом использовалась методика аппроксимации и гармонического анализа. Электронно-микроскопический анализ проволочных образцов из алюминия проводился на электронном микроскопе IEM-200F при ускоряющем напряжении $U=200\text{кВ}$ и увеличениях $\times 50000$. Критические токи образцов из сплава Nb-Ti измеряли при температуре 4,2 К в магнитном поле напряженностью до 6 Т. Испытания на коррозионную стойкость волокон из стали проводили в эксплуатационных условиях на ПО "Краситель" в газовой щелочной среде, содержащей пары метанола и анилина.

В третьем разделе описаны результаты исследований влияния параметров гидростатического прессования на физико-

механические свойства многожильного сверхпроводящего провода на основе сплава НТ-50.

Высокое давление, применяемое при реализации схем управляемой и непрерывной гидрокструзии, совмещенной с волочением для получения провода на основе сплава НТ-50, способствует существенному изменению фазового состава сплава.

Основные возможности регулирования фазового состава, механических и физических свойств заложены в подборе технологических параметров процесса гидрокструзии, а также места, количества и режимов промежуточных отжигов.

На основе сопоставления данных о механических и сверхпроводящих свойствах провода, полученного по 96 технологическим вариантам, отличающимся величиной обжатия (50...70%), местом и количеством промежуточных отжигов (375°C - 1ч.) следует, что для достижения высоких свойств необходимо не менее двух-трех промежуточных отжигов с чередованием после 60% деформации, а также вести и заканчивать технологический процесс с суммарной величиной обжатия 60-80 %. Именно при этом отмечаются максимальные значения временного сопротивления разрыву $840...910 \text{ Н/мм}^2$ при $\delta=2,4...3,0$ %. Повышение прочностных свойств можно объяснить образованием α и ω -фазы в благоприятном количественном и размерном отношении.

Проводам с высоким значением прочности соответствуют высокие токовые характеристики ($j_c > 1,7 \cdot 10^5 \text{ А/см}^2$), на 20-30% выше по сравнению со стандартными, полученными по традиционной технологии волочением.

В четвертом разделе исследованы структура и свойства тонкой молибденовой проволоки, полученной гидростатическим волочением с противодавлением.

Деформация волочением с применением смазочной среды под

давлением перед рабочей волокой и за ней позволяет снизить контактное трение между протягиваемым металлом и инструментом, за счет чего понижается температура в очаге деформации. Гидростатическое давление, повышая равномерность деформации, снижая дефектность обрабатываемого металла, также повышает технологическую пластичность, что обеспечивает пластическую деформацию труднодеформируемых материалов, тем самым расширяя границы упрочнения, достигаемые традиционным волочением.

Методом холодного гидростатического волочения с разовыми обжатиями 25...40% получены опытные партии образцов проволоки из молибдена длиной отрезков до 4500м без расслоений материала с высоким качеством поверхности. На полученных образцах исследовалась структура и механические свойства, в частности после отжига в диапазоне температур до 2200°C.

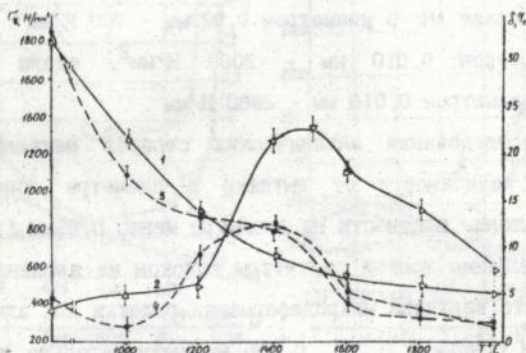
Зависимость механических свойств (σ_B, δ) молибденовой проволоки от температуры отжига и способа деформации приведена на рис. 1.

Сравнительные характеристики жаропрочности проволоки, деформированной гидростатическим волочением и горячим волочением (500-550°C) показывают, что исследуемый способ повышает механические свойства (σ_B, δ) проволоки диаметром 0,1 мм в интервале температур 200...1200°C и 1600...2000°C в среднем на 15-30% за счет снижения межзеренного охрупчивания.

Деформация в холодном состоянии исключает окисление и газонасыщение проволоки, уменьшает толщину окисной пленки по границам зерен, тем самым повышая межкристаллитные связи, а следовательно прочность и пластичность материала. Это подтверждается микроструктурой образцов после горячего волочения и холодного гидростатического волочения.

Кроме того, наблюдаемое изменение свойств объясняется

Механические свойства молибденовой проволоки
диаметром 0,1мм в зависимости от температуры отжига
и способа деформации



1 - гидростатическое волочение, σ_B ; 2 - гидростатическое волочение, δ ; 3 - горячее волочение, σ_B ; 4 - горячее волочение, δ .

Рис. 1

формированием при гидростатических методах обработки полигонизированной дислокационной структуры, которая обладает высокой термической стабильностью и способствует сохранению высоких прочностных свойств молибдена при отжиге вплоть до температур 1600...2000°C.

В пятом разделе представлены результаты исследований структуры и свойств проволоки микронного сечения из алюминия титана, нержавеющей стали после пакетного гидропрессования.

Использование высокого давления при деформации пакета проволочных элементов пакетным гидропрессованием способствует более равномерной деформации, изменяя компоненты напряженно-деформированного состояния, улучшает однородность и физико-механические свойства металлических волокон.

Уровень однородности сечений и прочности волокон (коэффициент вариации, соответственно, 0,005...0,15) свидетельст-

вует об эффективности применения пакетного гидропрессования.

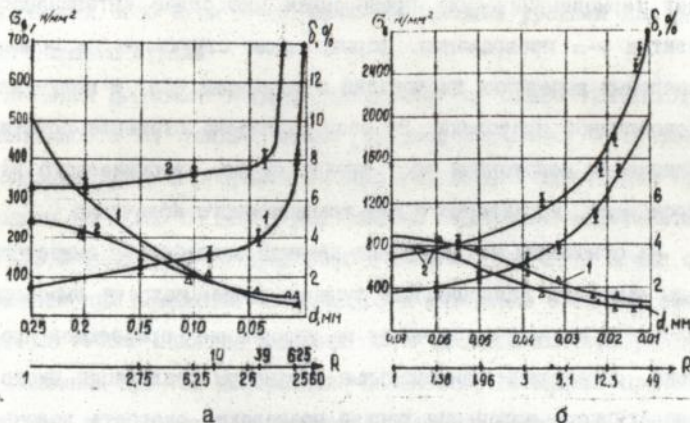
Уровень временного сопротивления на разрыв волокон из алюминия АД-1 диаметром 0,005 мм составляет 700 Н/мм^2 , алюминиевого сплава АМг-5 диаметром 0,020 мм - 700 Н/мм^2 , титана ВТ1-0 диаметром 0,010 мм - 2000 Н/мм^2 , стали 30Х13, 12Х18Н10Т диаметром 0,010 мм - 2800 Н/мм^2 .

При исследовании механических свойств металлических волокон в зависимости от вытяжки и диаметра обнаружено резкое повышение прочности на диаметре менее 0,03 мм (рис. 2).

Исследования тонкой структуры волокон из алюминия АД-1 показали, что величина микродеформации решетки для алюминиевых волокон сечением 0,25...0,005 мм незначительна и находится в пределах $0,4...0,8 \cdot 10^{-4}$. Характерные размеры фрагментов структуры волокон диаметром 0,01 мм составляют 0,2...0,3 мкм. Средняя азимутальная разориентация субзерен составляет $4...5^\circ$, между отдельными субзернами до 20° . Средняя плотность дислокаций в объеме субзерен, где отдельные дислокации различимы, составляет $5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$. Практически равноосная форма субзерен и отсутствие корреляции в их расположении относительно оси волокна свидетельствуют о том, что значительный вклад в их формирование вносят процессы динамической полигонизации и рекристаллизации в процессе деформирования. Однако, исследованные параметры тонкой структуры не могут объяснить высокой прочности.

Обнаруженный эффект упрочнения пластичных поликристаллических волокон из алюминия требует рассмотрения физических предпосылок такого упрочнения, к которым относятся: напряжения течения, взаимодействие дислокаций со свободной поверхностью, сопротивление, оказываемое движению дислокаций границами зерен, поверхностная пленка на свободной поверхности.

Упрочнение металлических волокон в зависимости от
вытяжки и диаметра



а - алюминий АД-1 (1) ; сплав АМг-5 (2).
б - титан ВТ1-0 (1); сталь 30Х13 (2).

Рис. 2

Теоретический анализ данных предпосылок с использованием анизотропной теории упругости показал, что с уменьшением размеров волокон по сечению возрастает роль и доля внешних границ, покрытых окисной пленкой Al_2O_3 с высокими физическими константами, эффективность которых как барьеров для движения дислокаций значительно выше, чем границ между разориентированными областями кристалла.

В шестом разделе исследовано упрочнение тонкой проволоки из коррозионно-стойкой аустенитной стали типа 12Х18Н10Т и сталей, содержащих азот Х18АГ12С2, Х19АГ10С2 в результате деформации гидростатическим волочением при комнатной и отрицательных температурах и последующего старения.

Эффективным способом достижения высокой прочности тонкой проволоки из аустенитных сталей является деформация ее

гидростатическим волочением при комнатной и, особенно, при отрицательных температурах. Деформация в таких условиях создает термодинамические предпосылки для более интенсивного развития γ - α превращения, формирования структуры на основе дисперсных выделений дислокаций и вторичных фаз, и получения высокопрочной проволоки. Во всем диапазоне степеней обжатия наблюдается монотонный рост прочности без атермического разупрочнения, характерного для традиционного волочения.

На основании исследований влияния воздействия смазочной среды высокого давления, как функции длины полости высокого давления и скорости волочения на упрочнение нержавеющей проволоки, определены рациональные параметры реализации низкотемпературного волочения тонкой проволоки: скорость волочения - более 1 м/с, охлаждение заготовки до -196°C , давление рабочей среды 200 МПа, воздействие на заготовку рабочей среды на длине в пределах 25...100 ее диаметров.

Деформация проволоки из стали 03X18H9T диаметром 0,2 мм со степенью 36% при комнатной температуре повышает предел прочности с 880 Н/мм^2 до 1300 Н/мм^2 , а при отрицательной температуре до $1530 - 1625 \text{ Н/мм}^2$.

Для определения оптимального режима старения проволочные образцы отжигали в интервале температур от 200 до 600°C с выдержкой от 1 до 4 часов в вакуумной печи СНВЭ 1.3-1/16ИЗ.

Необходимой предпосылкой реализации старения с максимальным эффектом упрочнения является создание исходной благоприятной структуры и напряженно-деформированного состояния, создаваемых предварительной обработкой.

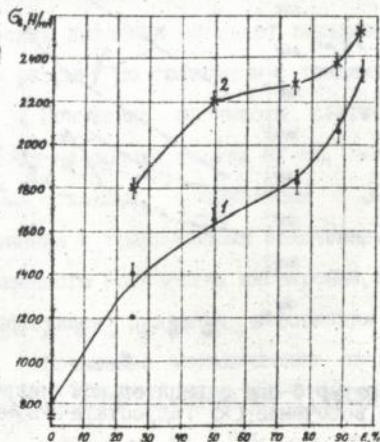
Сочетание гидростатической деформации при отрицательной температуре с последующим старением позволяет получить тонкую проволоку диаметром 0,1 мм из стали 12X18H10T с пределом

прочности 2720 Н/мм^2 (рис. 3) и стали X19AГ10С2 с пределом прочности 4000 Н/мм^2 , что является высоким уровнем для данного класса сталей.

Изменения фазового состава проволоки из стали 12Х18Н10Т в зависимости от температурных условий обработки и старения показывают, что в результате предварительного охлаждения проволоки до (-196°C) перед деформацией содержание мартенсита в 3...3,5 раза выше по сравнению с количеством фазы после обработки при комнатной температуре в интервале степеней обжатия 25...75%. Процесс мартенситного превращения завершается в основном при 75% деформации. Дальнейшее повышение прочности выше этой степени деформации связано с механизмом наклепа образованного мартенсита, его структурными изменениями.

Для образцов, деформированных при отрицательной температуре наблюдается зависимость β - ϵ , аналогичная зависимости при

Характер упрочнения проволоки из стали 12Х18Н10Т после низкотемпературного волочения и в сочетании с последующим старением



- 1 - гидростатическое волочение охлажденной проволоки (-196°C)
- 2 - гидростатическое волочение охлажденной проволоки + старение $350^\circ\text{C} - 3 \text{ ч}$

Рис. 3

ЛНБ им. В. Стефанюка
АН Украины

комнатной температуре, но с большей величиной искаженности кристаллических решеток α и γ -фаз.

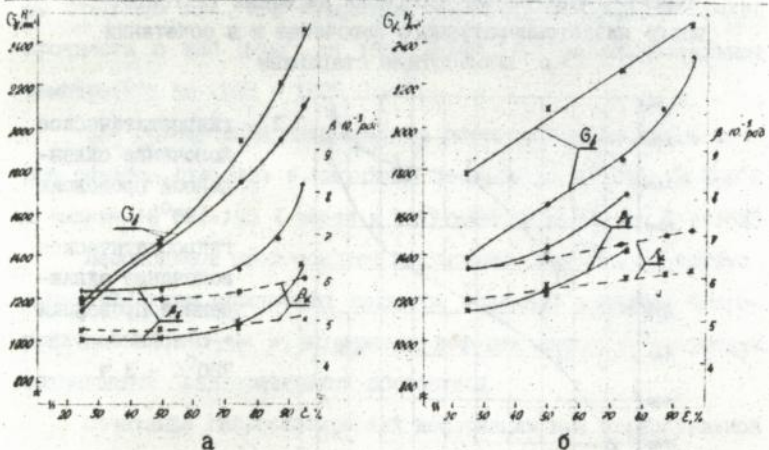
Упрочнение при старении связано с дополнительным образованием мартенсита, а также с отпуском мартенсита деформации, когда происходит дисперсионное твердение за счет выделения мелкодисперсной интерметаллидной фазы и карбидов.

Структурные изменения проволоки 12Х18Н10Т в зависимости от температурных условий обработки представлены на рис. 4.

В седьмом разделе показано использование результатов исследований и экономический эффект.

Выполненные исследования расширили представления о роли высоких давлений в изменении характеристик проволочных объектов, что создало основу для целенаправленного выбора и

Характер изменения временного сопротивления разрыву и уширения дифракционных линий β_{α} и β_{γ} - фаз в зависимости от степени деформации.



а - при комнатной температуре; б-при отрицательной температуре; (.)-гидростатическое волочение; (x)-гидростатическое волочение +старение.

Рис. 4

регулирования параметров технологии Это дало возможность улучшить физико-технические показатели проволочных изделий, повысить эффективность их производства.

Получены волокна из алюминия марки АД-1 диаметром 0,005 мм с прочностью до 700 Н/мм², титана марки ВТ1-0 диаметром 0,010 мм - 2000 Н/мм², нержавеющей стали 12Х18Н10Т диаметром 0,010 мм - 3400 Н/мм² и тонкая проволока диаметром 0,1 мм из стали 12Х18Н10Т и сталей, содержащих азот Х18АГ12С2, Х19АГ10С2 с временным сопротивлением на разрыв до 4000Н/мм².

Результаты работы по разработке способов деформационно-термической обработки использованы в п/я Р-6575 г. Москва, п/я В-8413г. Дзержинск, ПО "Краситель" г. Рубежное, НПО "Композит" г. Москва, НПК "Наука" г. Донецк. Экономический эффект от внедрения результатов работы автора составляет 151,8 тыс. руб. (в ценах 1991 г.).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что проволока тонкого и микронного диапазона сечений, полученная по разработанным схемам деформационно-термической обработки с использованием высоких гидростатических давлений обладает повышенным временным сопротивлением разрыву по сравнению с традиционным волочением.

2. Повышение прочности сверхпроводящего многожильного провода на основе сплава НТ-50, полученного непрерывным гидропрессованием, совмещенным с волочением, на 15-20% по сравнению с традиционным волочением обусловлено образованием повышенного количества дисперсных α - и ω - фаз под совместным воздействием давления, деформации и температуры.

3. Повышение механических свойств тонкой проволоки из молибдена в диапазоне температур 200...1200⁰С и 1600...2000⁰С на 15...30% по сравнению с горячим волочением

происходит за счет снижения межзеренного охрупчивания в процессе ее холодной пластической деформации, возможной при гидростатическом волочении с противодавлением.

4. Высокий уровень прочности (до 4000 Н/мм^2) тонкой проволоки из нержавеющей аустенитных сталей типа 12X18H10T и сталей, содержащих азот X18AG12C2, X19AG10C2 достигается в результате интенсификации мартенситного превращения в процессе деформации гидростатическим волочением при комнатной и отрицательных температурах и последующего старения за счет благоприятных термодинамических условий процесса.

5. Установлено, что при пластической деформации тонкой проволоки методами гидростатической обработки с увеличением степени деформации во всем ее диапазоне наблюдается монотонный рост временного сопротивления разрыву без атермического разупрочнения, характерного для традиционного волочения.

6. Установлен высокий уровень прочности алюминиевых волокон $\sim 700 \text{ Н/мм}^2$, полученных пакетным гидропрессованием, более чем в 3 раза превышающий максимально достижимый для алюминия при любых других способах обработки.

7 Резкое увеличение прочности волокон на диаметре менее 30 мкм связано с увеличением роли внешних границ, покрытых окисной пленкой, эффективность которых как барьеров для движения дислокаций значительно выше, чем границ между ориентированными областями кристалла.

8. Разработаны и предложены способы деформационно-термической обработки для достижения высоких прочностных и эксплуатационных свойств проволоки.

9 Разработан новый способ получения высокопрочной тонкой проволоки из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса гидростатическим волочением с предварительным охлажде-

нием заготовки до температуры (-196°C) (А. с. №1773423).

10. Экономический эффект от внедрения режимов обработки (доля автора) составляет 151,8 тыс. руб. (в ценах 1991 г.)

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Матросов Н. И., Сенникова Л. Ф. Свойства проволоки из молибдена, полученной с применением высоких гидростатических давлений // Физика и техника высоких давлений. - 1994. - т. 4. - №3. - с. 70-74.

2. Гидропрессование волокон из алюминия / Береснев Б. И., Сынков В. Г., Матросов Н. И., Раханский Г. А., Сынков С. Г., Сенникова Л. Ф. // Вопросы авиационной науки и техники. Сер. Технология легких сплавов. - М.: ВИЛС, 1986. - вып. - с. 16-19.

3. Оценка качества совместно деформированных гидропрессованием волокон из титана / Береснев Б. И., Сынков С. Г., Матросов Н. И., Сынков В. Г., Раханский Г. А., Сенникова Л. Ф. // Вопросы авиационной науки и техники. Сер. Технология легких сплавов. - М.: ВИЛС, 1987, вып. 6. - с. 21-22.

4. Сенникова Л. Ф., Сынков С. Г., Павловская Е. А. Структура и механические свойства алюминиевых волокон микронных размеров // Физика и техника высоких давлений. - 1989. - №3. - с. 36-38.

5. Фазовый состав и коррозионная стойкость волокон из нержавеющей аустенитной стали, полученных методом пакетного гидропрессования / Сенникова Л. Ф., Пименов А. Г., Матросов Н. И., Сынков В. Г. // Физика и химия обработки материалов. - 1989. - №3. - с. 112-116.

6. Сенникова Л. Ф., Матросов Н. И., Пименов А. Г. Механические свойства и структура металлических волокон из нержавеющей стали, полученных методом пакетного гидропрессования // Физика и химия обработки материалов. - 1990. - №5. - с. 141-142.

7. Сенникова Л. Ф., Сынков С. Г., Пименов А. Г. Механические

свойства волокон из стали 12Х18Н10Т, полученные пакетным гидропрессованием с последующим старением//Физика и техника высоких давлений. - 1990. - №33. - с. 77-79.

8. Упрочнение тонкой проволоки из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса/Матросов Н.И., Дугадко А.Б., Сенникова Л.Ф. и др.//Физика и техника высоких давлений. - 1992. - т. 2. - №1. - с. 90-102.

9. Исследование фазового состава и физико-механических свойств тонкой проволоки из стали 12Х18Н10Т, полученной методом гидростатического волочения/Матросов Н.И., Павловская Е.А., Сенникова Л.Ф. и др.//Физика и техника высоких давлений. - 1993. - т. 3. - №3. - с. 23-26.

10. О структурном изменении в стали 12Х18Н10Т при упрочнении тонкой проволоки методом гидростатического волочения/Матросов Н.И., Павловская Е.А., Сенникова Л.Ф. и др.//Физика и техника высоких давлений. - 1992. - т. 2. - №3. - с. 119-122.

11. Матросов Н.И., Сенникова Л.Ф., Дугадко А.Б. Упрочнение проволоки из азотистой стали при различных методах обработки//Физика и техника высоких давлений. - 1992. - т. 2. - №3. - с. 97-103.

12. Гидростатическое волочение тонкой проволоки/Матросов Н.И., Раханский Г.А., Сенникова Л.Ф. и др. //Кузнечно-штамповочное производство. - 1988. - №4. - с. 13- 14.

13. А. с. 1779423 СССР, МКИ В21С1/00. Способ гидростатического волочения проволоки /Н.И.Матросов, А.Б.Дугадко, Л.Ф.Сенникова, В.А.Чернышев(СССР). - 4915 490/27; Заявлено 28.02.91; Опубл. 7.12.92. - Бюл. №45. - 6с.: ил.

14. Структура и механические свойства тонкой проволоки из высокоазотистой стали, полученной гидростатическим воло-

чением /Сенникова Л. Ф. , Матросов Н. И. , Сыжкова Н. Н. и др.//
1 Всесоюзная конференция по азотистым сталям: Тез. докл. -
Киев, 1990. - с. 89.

Abstract

Sennikova L.F. Development of the Methods for the Deformation and Thermal treatment of Special-Purpose Wire by Using High Hydrostatic Pressure

Dissertation for the degree of the Candidate of Technical Sciences, speciality 05.16.01 - metal science and thermal treatment of Metals, Donetsk State Technical University, Donetsk, 1996

The paper deals with the development of methods for the deformation and thermal treatment by using high hydrostatic pressure aimed at the increase of the strength of low and micron section wire made of a variety of materials. It is shown that the thin wire obtained by the methods of hydrostatic treatment possesses an increased rupture strength which is due to the formation of the ordered highly disoriented cellular substructure with the formation of disperse dislocations and secondary phases. A new effective method is proposed for the obtaining of thin wire from austenite corrosion-resistant steel, that is the hydrostatic drawing preceded by the cooling of billet to the temperature of minus 196°C. Result of the Work have been integrated at PO "Krasytel", Rubeznoje, p/ja B-8413, Dzerzhynsk, NPO "Medinstrument", Kazan, with the economic effect of 151.8 thousand roubles (prices of 1991).

АНОТАЦІЯ

Сеннікова Л. Ф. Розробка засобів деформаційно-термічної обробки дроту спеціального призначення з використанням гідро-

1114978

статичного тиску.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.16.01 - металознавство та термічна обробка металів, Донецький державний технічний університет, Донецьк, 1996.

Робота присвячена розробці засобів деформаційно-термічної обробки із застосуванням високого гідростатичного тиску, спрямованого на підвищення міцності дроту тонкого та мікронного перерізу з широкого кола матеріалів. Показано, що тонкий дріт, одержаний засобами гідростатичної обробки, володіє підвищеним часовим опором на розрив, що зумовлено формуванням впорядкованої сильно дезорієнтованої ячеїстої субструктури з утворенням дисперсних дислокацій та вторинних фаз. Запропоновано новий ефективний засіб одержання високоміцного тонкого дроту з аустенітної корозійно-стійкої сталі - гідростатичне волочіння з попереднім охолодженням заготовки до температури (-196°C). Результати роботи впроваджені на ВО "Краситель" м. Рубіжне, п/я В-8413 м. Дзержинськ, НВО "Мединструмент" м. Казань з економічним ефектом 151,8 тис. крб. (в цінах 1991р).

Ключові слова: дріт, гідростатичний тиск, деформація, часовий опір на розрив, мартенсит, структура, термічна обробка.

Л.Сєрїї