

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК: 621.773

МРНТИ 53.45.31

№ Госрегистрации 0112РК02873

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по УР КГИУ

_____ Жаксыбаева Г.Ш.

« ____ » _____ 2014 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА
ДЕФОРМИРОВАНИЯ «ПРЕССОВАНИЕ - ВОЛОЧЕНИЕ» С ЦЕЛЬЮ
ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ И МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ С
ВЫСОКИМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ
(заключительный)

по бюджетной программе: 055 «Научная и/или научно-техническая
деятельность»

по приоритету: Глубокая переработка сырья и продукции

Руководитель темы
д.т.н., профессор

А. Б. Найзабеков

Темиртау – 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,
д.т.н., профессор

А.Б. Найзабеков (раздел 3,
заключение)

Исполнители темы:
Главный научный сотрудник,
к.т.н., доцент

С.Н. Лежнев (раздел 3)

Старший научный сотрудник

А.В. Волокитин (раздел 2)

Научный сотрудник

А.Р. Карипбаева (введение,
раздел 2)

Старший научный сотрудник

И.Е. Волокитина (раздел 1)

Старший научный сотрудник

Е.А. Панин (раздел 2)

Младший научный сотрудник

А.С. Арбуз (раздел 1)

Лаборант

Д.В. Влащенко (раздел 1)

Лаборант

Е.В. Широкова (раздел 2)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Проведение исследований микроструктуры металла из опытной партии образцов, продеформированных в ходе реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение».....	7
1.1 Подготовка образцов для изучения микроструктуры.....	8
1.2 Проведение металлографических исследований после реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение».....	11
2 Проведение исследований механических свойств металла продеформированного в ходе реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение».....	18
2.1 Подготовка образцов для механических испытаний.....	18
2.2 Проведение механических испытаний заготовок.....	20
2.3 Анализ качества алюминиевой проволоки, с помощью комплексного показателя качества.....	30
3 Разработка рекомендаций по внедрению совмещенного процесса «прессование-волочение» в производство.....	34
Заключение.....	37
Список использованных источников.....	40
Список публикации по теме исследований.....	41
Приложение А.....	43
Приложение Б.....	45

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 45 стр., 3 части, 22 рисунка, 15 таблиц, 9 источников литературы.

Объектом исследования является новая совмещенная технология «прессование – волочение».

Ключевые слова: прессование, волочение, ультрамелкозернистая структура, сдвиговая деформация, равноканальная ступенчатая матрица

Цель проекта: «Разработка и исследование совмещенного процесса деформирования «прессование - волочение» с целью получения алюминиевой и медной проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой».

В условиях дефицита энергетических и сырьевых ресурсов актуальна проблема энергосберегающих технологий. Проблема ресурсосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающие одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих затрачивать минимально возможное количество времени при обработке изделий является весьма актуальной. Уже известны некоторые результаты применения методов интенсивной пластической деформации (ИПД) в машиностроительной, медицинской промышленности, позволившие снизить затраты на энергетические ресурсы на 20-30%.

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, также, содержащая высокую долю малоугловых границ. С другой стороны, материал, полученный 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.

Наиболее успешным методом ИПД на сегодняшний день является метод равноканального углового прессования/экструзии (РКУП/РКУЭ). Данный процесс имеет огромный потенциал для получения УМЗ структуры с однородной равноосной структурой с границами зерен, в которых преобладает высокоугловая разориентировка. При этом методе заготовка сохраняет изначальные размеры. Также важно отметить то, что для получения заданной структуры, необходимо выбирать определенные маршруты между проходами. Однако недостаток процесса состоит в его дискретности, т.е. невозможности обработки изделий относительно большой длины из-за потери устойчивости давящим пуансоном. Следовательно, есть возможность устранения данного недостатка и вести процесс непрерывно.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом цен на энергию и сырьевые ресурсы возрастает роль энергосберегающих технологий получения металлопродукции с относительно высокими качественными характеристиками, такие как механические и физические свойства металла. Эффект энергосбережения достигается рациональным использованием новейших методов обработки металлов как на промежуточной, так и на конечной стадии производства. Одним из главных направлений в области использования энергосберегающих технологий являются технологии интенсивной пластической деформации (ИПД).

За последние несколько десятилетий, технологии (ИПД) привлекают большой интерес для производства ультрамелкозернистых (УМЗ) материалов. УМЗ материалы - поликристаллические материалы со средним размером зерна менее 10 мкм. Для объемных УМЗ материалов предъявляются требования высокой изотропности, однородности с равноосными зернами, границы разориентировки которых, преимущественно высокоугловые. При этих условиях достигается высокая прочность при высокой пластичности обрабатываемого материала [1].

В условиях дефицита энергетических и сырьевых ресурсов актуальна проблема энергосберегающих технологий. Проблема ресурсосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающие одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих затрачивать минимально возможное количество времени при обработке изделий является весьма актуальной. Уже известны некоторые результаты применения методов ИПД в тяжелой промышленности, позволившие снизить затраты на энергетические ресурсы на 20-30%.

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, также, содержащая высокую долю малоугловых границ. С другой стороны, материал, полученный 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.

Научная новизна данных исследований заключается в разработке совершенно новой технологии деформирования длинномерных изделий (проволоки), обеспечивающей развитие интенсивных пластических деформаций во всем объеме деформируемого металла, и приводящей к повышенному ресурсу пластичности деформируемого материала за счет формирования малого размера зерна при невысокой плотности дислокации в

нем и образованию высокоугловых границ зерен при значительном снижении анизотропии свойств в поперечном и продольном сечениях.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная совмещенная технология «прессование-волочение» позволит получать высококачественную проволоку из цветных металлов с ультрамелкозернистой структурой и высокими механическими свойствами.

1 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ИЗ ОПЫТНОЙ ПАРТИИ ОБРАЗЦОВ, ПРОДЕФОРМИРОВАННЫХ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ»

Для выявления результатов эксперимента необходимо провести ряд испытаний для изучения механических характеристик и микроструктуры полученных образцов. Необходимо зарегистрировать изменения микроструктуры, возникающие при совмещенном процессе «прессование-волочение». Затем необходимо провести механические испытания – такие как испытания на растяжение и перегиб – для выявления изменений прочностных характеристик материала после каждого проведенного цикла прессования - волочения.

С целью определения влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на изменение микроструктуры и механических свойств алюминиевой и медной проволок было решено провести экспериментальное исследование данной технологии в на промышленном волочильном стане В – I/550 М АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения».

Для сравнения различных способов получения проволоки проводились исследования по двум технологиям: обычное волочение и совмещенный процесс «прессование-волочение».

В качестве опытных образцов использованы мерные отрезки алюминиевой проволоки холодной высадки марки А0 и медной проволоки марки М1, диаметром $D=7$ мм, длиной $L=3000$ мм (рисунок 1.1). Химический состав алюминиевой и медной проволок представлен в таблице 1.1.

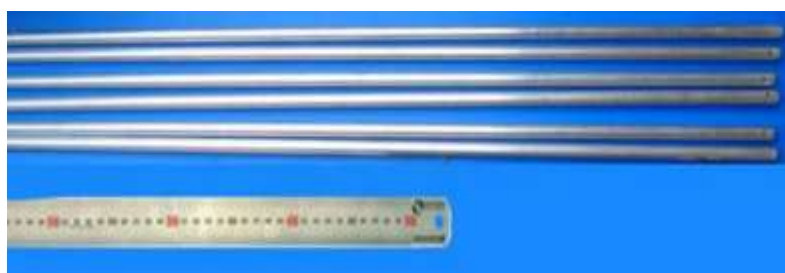


Рисунок 1.1 – Исходная заготовка

Таблица 1.1 – Химический состав исходных заготовок

Марка сплава	Si, %	Fe, %	Ti, %	Al, %	Zn, %	S, %	Cu, %	O, %
А0	до 0,5	до 0,5	до 0,03	min 99	до 0,08	-	до 0,02	-
М1	-	до 0,005	-	-	до 0,004	до 0,004	min 99,9	до 0,05

Волочение алюминиевой и медной проволоки производили следующим образом: заостренный конец проволоки подавалась в заталкивающее устройство и за счет сил контактного трения, создаваемыми при соприкосновении проволоки с валками проволока захватывалась в зев валков, а на выходе из него проталкивалась через каналы равноканальной ступенчатой матрицы и волоку, установленную в волокодержателе и осуществили ее захват заправочными клещами, крюк которых введен в один из пазов на барабане. После набора на барабане 2 витков проволоки, стан был остановлен. Начальный диаметр проволоки составлял 7,0 мм. После процесса прессование-волочение диаметр проволоки составил 6,5 мм. При этом обжатие было осуществлено только заталкивающей установкой (калиброванных валках) и в волоке, после выхода заготовки из равноканальной ступенчатой матрицы диаметр проволоки немного изменялся, за счет обжатия в заталкивающем устройстве и составлял 6,95 мм. Эксперимент был продублирован три раза. При этом после каждого опыта производили измерение диаметра проволоки и вырезка темплетов для изготовления микрошлифов в поперечном и продольном направлении.

Для выявления преимуществ предлагаемой технологии по сравнению с действующей технологией волочения. Провели три опыта по волочению алюминиевой и медной проволоки по действующей технологии. Т.е. осуществляли чистое волочение катанки диаметром 7,0 мм в волоке на диаметр 6,5 мм. При этом задающее устройство не использовали. После этого после каждого опыта производили измерение диаметра проволоки и вырезка темплетов для изготовления микрошлифов в поперечном и продольном направлении.

В обоих случаях в качестве смазки использовали стружку мыла.

Так как основной целью данного эксперимента стояло выявление влияния новой схемы деформирования на возможность более интенсивного измельчения исходной структуры алюминиевой и медной проволоки по сравнению с действующей технологией волочения проволоки, то на данном этапе проводили три цикла деформирования, т.е. аналогичным образом производили деформирование по предлагаемой и действующей технологии только до диаметра 6 мм и до диаметра 5.5 мм.

1.1 Подготовка образцов для изучения микроструктуры

Микроструктурный анализ является одним из основных методов исследования металлов и сплавов, определения размера их зерна и т. д. Данный анализ заключается в исследовании структуры с помощью электронного микроскопа. Микроструктура изучается на специально подготовленных поверхностях образцов – микрошлифах [2].

Изучение под микроскопом структуры металлов, а также непрозрачных неметаллических материалов возможно лишь при достаточно интенсивном

отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Для изготовления микрошлифа необходимо вырезать образец из исследуемого металла и получить на нем плоскую и блестящую поверхность.

Операция вырезки образцов из заготовки производится с помощью отрезного станка Labotom-3 (рисунок 1.2), который является высокоточным отрезным станком. Абразивное мокрое отрезание обеспечивает минимум повреждений поверхности, что облегчает и ускоряет дальнейшую подготовку образцов.



Рисунок 1.2 - Отрезной станок Labotom-3 фирмы Struers

Особое значение для результатов исследования имеет выбор места, из которого надо вырезать образец и выбор той поверхности, по которой надо приготовить микрошлиф.

При исследовании влияния пластической деформации на структуру металла место вырезки образца лучше определить после выполнения макроанализа и выявления направления пластической деформации и наиболее характерных участков данной детали. Важно изучить участки, где, имели место большие деформации, а также объемы металла, на которые деформация не распространялась. В этих случаях необходимо исследовать микроструктуру главным образом в направлении течения металла, а иногда также и в перпендикулярном направлении. Из крупных деталей целесообразно вырезать несколько образцов в разных участках, чтобы определить однородность строения металла. Кроме того, необходимо изучить структуру металла в продольном и поперечном направлениях.

Общая схема вырезки образцов для металлографических исследований приведена на рисунке 1.3 [2]. Зеленым цветом помечены плоскости, необходимые для микроструктурного исследования.

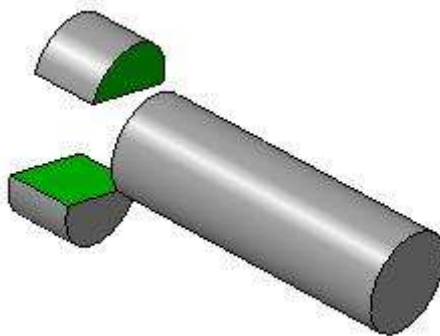


Рисунок 1.3 - Схема вырезки темплетов для подготовки микрошлифов

Для получения требуемой поверхности, вырезанный образец подвергают специальной обработке. При этом необходимо получить приблизительно плоскую поверхность. Образцы небольших размеров для облегчения обработки заливают специальной эпоксидной смолой. Перед заливкой на пластмассовую крышку устанавливают круглую оправку из пластмассы и внутрь оправки помещают образец таким образом, чтобы подготавливаемая поверхность примыкала к пластинке, затем жидкую массу смолы заливают в оправку.

Далее образцы, залитые эпоксидной смолой, шлифуют с помощью крупной шкурки с целью удаления верхнего слоя эпоксидной смолы и получения более ровной поверхности.

После получения приблизительно плоской поверхности образец шлифуют бумажной шкуркой. Первоначально шлифование шкуркой осуществляют на плоском основании с целью удаления больших рисок. Далее образцы шлифуются на шлифовально-полировальном станке Tegra Pol – Tegra Force фирмы Struers, см. рисунок 1.4, с применением шлифовальных и полировальных дисков по методике, предложенной данной фирмой [3].



Рисунок 1.4 - Шлифовально-полировальный станок Tegra Pol – Tegra Force фирмы Struers

Для получения качественной поверхности микрошлифа при шлифовании последовательно переходят от одного диска к другому и т. д. с непрерывно уменьшающимися размерами абразивных частиц. При уменьшении размеров абразивных частиц снижается глубина рисок на поверхности и уменьшается толщина деформированного поверхностного слоя, получаемого в результате шлифования. Обычно принимают, что толщина этого слоя в 10-15 раз превышает размер абразивных частиц. Чем меньше твердость образца, тем более значительной оказывается деформация поверхностного слоя. Чтобы избежать вдавливания в поверхность образца абразивных частиц шлифование осуществляют под постоянной струей воды.

После шлифования поверхности образца следует полирование, которое должно устранить риски, оставшиеся от воздействия абразивных частиц.

Полированием удаляют оставшиеся после тонкого шлифования мелкие дефекты поверхности и т. п.

После полирования микрошлифы травят в специальном травящем растворе для алюминия реагент Келлера: 2 мл плавиковой кислоты HF (48 %); 3 мл соляной кислоты HCl; 5 мл 190 мл воды H₂O, а для меди - раствор хлорного железа с соляной кислотой FeCl₃, HCl, H₂O, смешанных из соотношения 1:20:100 [4].

После этого микрошлифы промывают водой и просушивают фильтровальной бумагой.

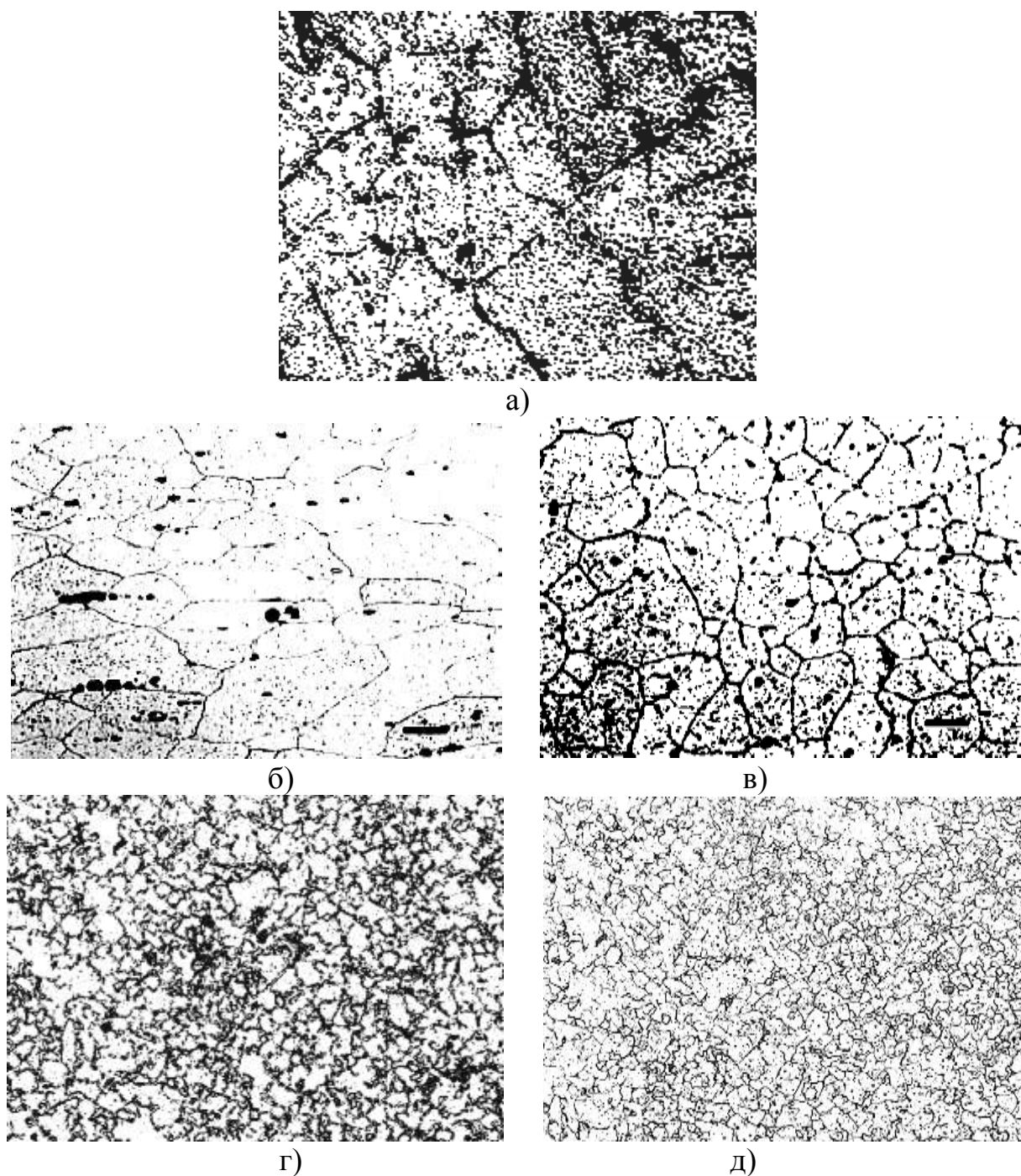
Микрошлифы, полученные таким образом, пригодны для исследования микроструктуры.

Исследование микроструктуры исходных заготовок проводили на световом микроскопе Leica. Для определения величины зерна использовали ГОСТ 5639-82 «Методы выявления и определения величины зерна».

1.2 Проведение металлографических исследований после реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение»

Согласно методике, приведенной выше, было проведено исследование микроструктуры алюминия А0 и меди марки М1 в исходном состоянии, продеформированной по классической технологии волочения и продеформированной по предложенной технологии «прессование-волочение».

Результаты исследования микроструктуры алюминия, до и после третьего цикла деформирования представлены на следующих рисунках:



а – исходная структура, 53 мкм; б – по действующей технологии волочения продольное направление; в – по действующей технологии волочения поперечное направление, 26 мкм; г - по предлагаемой технологии «РКУП-В» продольное направление; д - по предлагаемой технологии «РКУП-В» поперечное направление, 9 мкм.

Рисунок 1.5 - Структура алюминиевой проволоки, $\times 100$

Проведя металлографический анализ деформированных алюминиевых образцов можно сделать вывод о том, что холодная деформация при волочении по действующей технологии с умеренным и высоким суммарным обжатием (от 50 до 85% - в зависимости от размеров сечения) приводит к

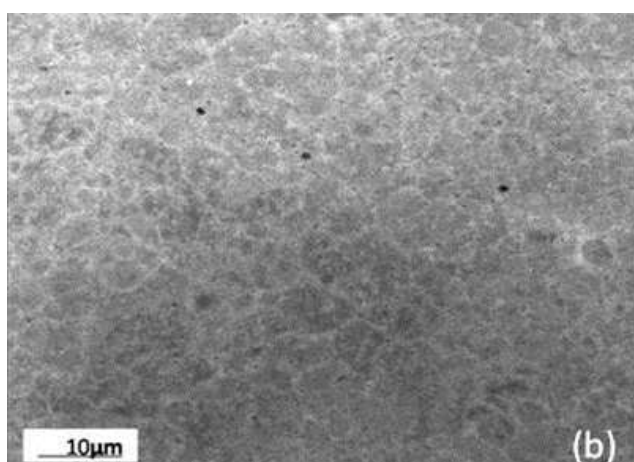
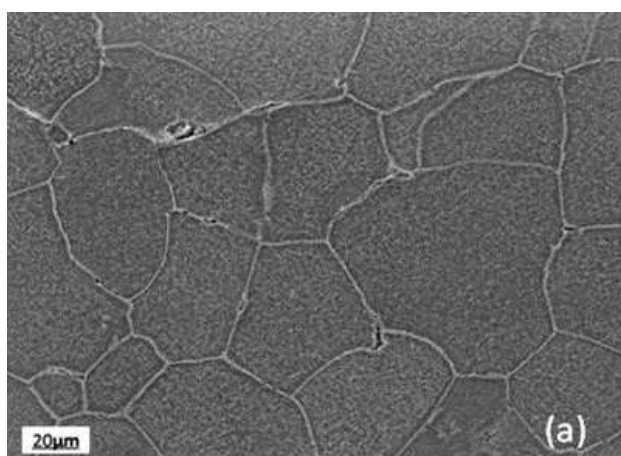
образованию ярко выраженной текстурованной структуры, т.е. предпочтительной кристаллографической ориентировки зерен обрабатываемого материала за счет преимущественной направленности внешних сил, действующих на тело при волочении. Однако даже в результате значительных обжатий, полученных проволокой в процессе волочения, не все зерна измельчаются и оказываются развернутыми в направлении оси деформации из-за неравномерности распределения деформации. По поперечному сечению в центральной части продольного сечения проволоки сохраняется зона крупных зерен, следствием чего является ненадлежащий уровень пластических свойств готовой проволоки, в частности относительного удлинения. Так из рисунка 1.5в видно, что в данном случае деформирование приводит к незначительному измельчению зерна в поперечном направлении, в продольном направлении зерна удлиняются и несколько утончаются с образованием видимой аксиальной текстуры. Появление текстуры волочения приводит к анизотропии свойств материала в продольном и поперечном направлениях, что может негативно сказаться на параметрах эксплуатации готового изделия. Чтобы уменьшить проявления аксиальной текстуры деформации необходимо проводить рекристаллизационный отжиг полученной проволоки при грамотно выбранных параметрах термообработки.

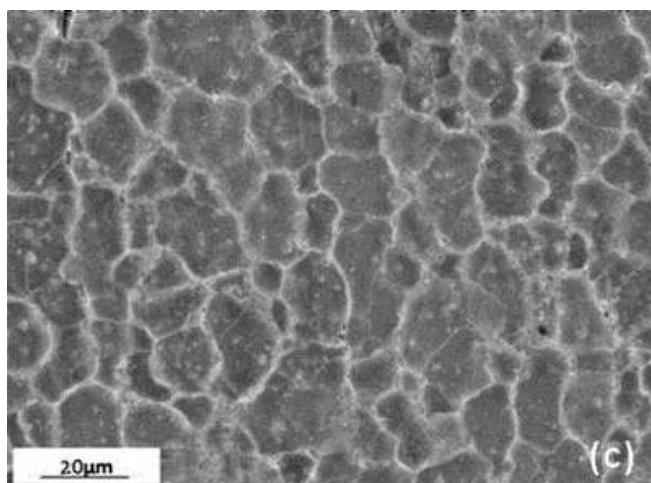
Добиться ультрамелкозернистой структуры только за счет однородного потока дислокаций нельзя: по мере накопления пластической деформации и роста плотности дислокаций происходит непропорционально быстрое увеличение стопоров и препятствий, тормозящих их продвижение по кристаллу. Дислокационный поток постепенно истощается, уровень внутренних напряжений повышается. Так продолжается до тех пор, пока не начинают возникать трещины, происходит хрупкое разрушение образца. Чтобы этого не произошло, и подводимая к образцу энергия не накапливалась в материале преимущественно в виде упругих искажений, а продолжала диссипировать, применим равноканальную ступенчатую матрицу, где будут проходить сдвиговые деформации и образовываться большеугловые границы, в результате этого создаются условия для продолжения пластической деформации при больших значениях деформации.

Предлагаемая совмещенная технология «прессование-волочение» устраняет недостатки процесса волочения, так как традиционное волочение характеризуется разноименной схемой главных деформаций. Растягивающие напряжения способствуют охрупчиванию металла при волочении, а максимально допустимое значение $\sigma_1 \leq \sigma_T$ ограничивает степень деформации за проход [5]. При применении равноканальной ступенчатой матрицы создается всестороннее сжимающие напряжения в ней на всех этапах деформирования, что снижает растягивающие напряжения и позволяет увеличивать степень деформации за один проход, а вместе с тем и прочностные характеристики. Как видно из рисунка 1.5 г) д), уже за три

прохода произошло существенное измельчение структуры чистого алюминия, по сравнению с традиционным волочением и не только на поверхности, но и в центре проволоки. При этом значительно в меньшей степени выражена текстура, а соответственно и анизотропия, так как несмотря на высокое число эквивалентных систем скольжения в ГЦК решетке характер кристаллографических текстур, формирующихся в результате прессования-волочения, зависит от сдвиговой деформации, проходящей в канале матрице после каждого прохода, которая позволяет дополнительно фрагментировать структуру.

Результаты исследования микроструктуры алюминия, до и после третьего цикла деформирования на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 5910 представлены на рисунке 1.6.



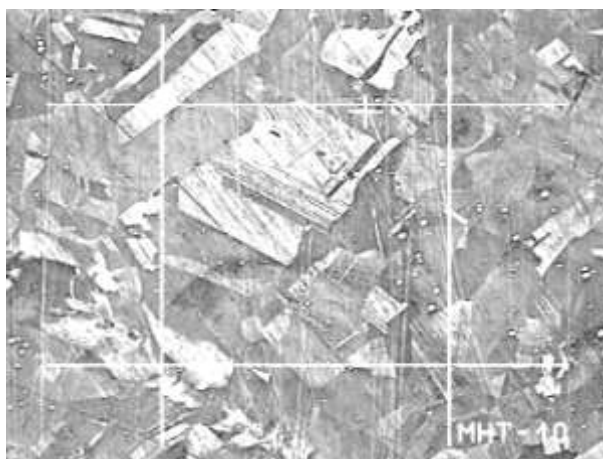


а – исходная структура, б – по предлагаемой технологии «РКУП-В», поперечное направление, с - по действующей технологии волочения, поперечное направление

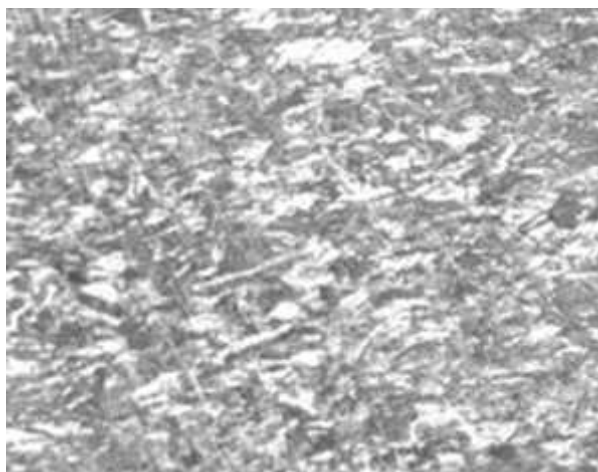
Рисунок 1.6 - Структура алюминиевой проволоки, полученная на СЭМ

Исследование методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показало, что полученные зерна равноосны, их размер лежит в интервале от 5 до 11 мкм. В некоторых случаях они разориентированы друг относительно друга на малый угол. Вместе с тем встречаются отдельные зерна, окруженные большеугловыми границами с характерным для равновесного состояния границ полосчатым контрастом. В структуре же полученной традиционным волочением большеугловых границ не наблюдается, так как именно в матрице происходит деформация сдвигом, при прохождении заготовки через зону пересечения каналов, в результате чего в заготовке накапливается сдвиговая деформация, приводящая к образованию в материале большеугловых границ.

Результаты исследования микроструктуры меди, до и после третьего цикла деформирования представлены на следующих рисунках:



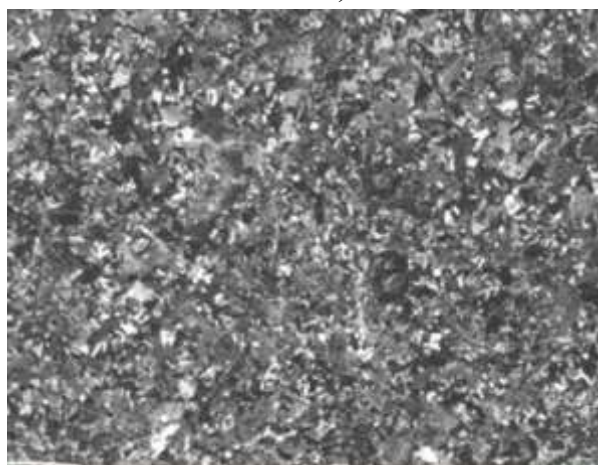
а)



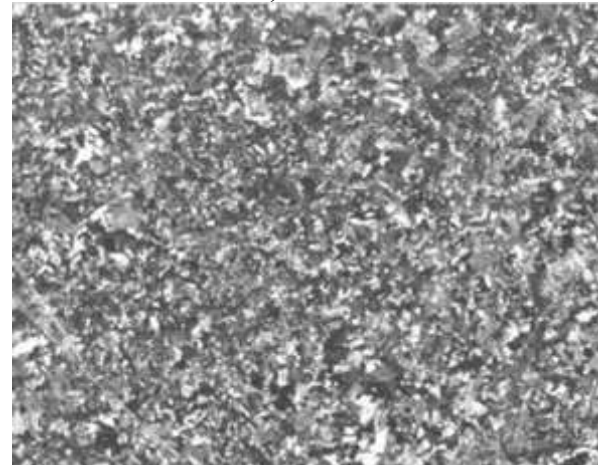
б)



в)



г)



д)

а – исходная структура, 56 мкм; б – по действующей технологии волочения продольное направление; в – по действующей технологии волочения поперечное направление, 24 мкм; г - по предлагаемой технологии «РКУП-В» продольное направление; д - по предлагаемой технологии «РКУП-В» поперечное направление, 7 мкм.

Рисунок 1.7 - Структура медной проволоки, $\times 100$

Микроструктурные исследования показали, что в исходном состоянии медь имеет крупнозернистую структуру с большим наличием двойников (рисунок 1.7а). Уже после первого цикла волочения структура меди сильно измельчается по сравнению с исходной. В поперечном сечении микроструктура довольно однородна и в ней преобладают примерно равноосные зерна. Тем не менее, в структуре угадывается некоторая строчечность в радиальном направлении, особенно в продольном сечении заготовки.

По предлагаемой технологии после первого цикла деформирования происходит уменьшение межграницных расстояний в продольном и поперечном сечениях. Уменьшение межграницных расстояний обусловлено геометрическим эффектом деформации, то есть сжатием исходных зерен. Формирование новых границ при волочении практически не происходит,

все фрагментирование структуры происходит в равноканальной ступенчатой матрице при сдвиговых деформациях за счет двойникования. В соответствии с правилом Холла Петча волочение на первых проходах приводит только к повышению прочностных характеристик меди за счет снижения расстояния между границами в продольном и поперечном сечениях.

Также было установлено, что второй цикл прессования-волочения приводит к образованию структуры смешанного типа. При исследовании полученной структуры были обнаружены зерна двух типов: мелкие рекристаллизованные и деформированные. Такая структура обусловлена протеканием двух процессов: рекристаллизации при волочении и фрагментации в равноканальной ступенчатой матрице. Наличие в структуре двух видов зерен обеспечивает высокую прочность и пластичность. После третьего цикла в структуре наблюдается значительное повышение доли большеугловых границ (~ 59%) за счет более активного протекания динамических возврата и рекристаллизации. Это связано с тем, что с уменьшением зерна снижается температура начала рекристаллизации меди. Границы зерен становятся более четко выраженными.

Также с увеличением числа проходов наблюдается тенденция к снижению числа двойников связанное с уменьшением размера зерна меди, что соответствует уравнению Холла-Петча для случая деформации двойникованием, по которому следует ожидать затрудненности проявления двойникования при уменьшении размера зерна.

2 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ПРОДЕФОРМИРОВАННОГО В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ»

Для определения механических характеристик образцов необходимо провести ряд механических испытаний: на растяжение, перегиб и на определение микротвердости. Для каждого вида механических испытаний требуются образцы определенных размеров и формы, установленные стандартами.

2.1 Подготовка образцов для механических испытаний

Образцами для испытания являются отрезки проволоки.

Место вырезки заготовок для образцов выбирается после проведения макроанализа и выявления участков, где имели место большие деформации.

Образцы обрабатываются на металлорежущих станках. Глубина резания при последнем проходе не должна превышать 0,3 мм. При изготовлении образцов принимают меры (охлаждение, соответствующие режимы обработки), исключающие возможность изменения свойств металла при нагреве или наклепе, возникающих в результате механической обработки. Для каждого вида обработки изготавливают по два образца, вырезанных из различных заготовок.

Исследование механических характеристик осуществляется на испытательной машине INSTRON 4486 (рисунок 2.1) при испытании на разрыв.

Испытание на перегиб применяется для круглой проволоки диаметром от 0,5 мм до 10,0 мм и фасонной проволоки с соответствующими этим диаметрам площадями поперечных сечений. Испытание на перегиб служит для определения способности проволоки из черных и цветных металлов и их сплавов подвергаться пластической деформации при перегибах. Испытание на перегиб проволоки проводят при температуре $20 \pm 10^\circ\text{C}$ по ГОСТ 1579-93 [6]. В нашем случае испытания проводились на установке, представленной на рисунке 2.2.

Поверхность образцов идущих на определение микротвердости должна соответствовать десятому классу точности. Максимальный допустимый радиус кривизны поверхности равен 5 мм. Исходя из данных требований, было решено проводить испытания по определению микротвердости по методу Виккерса на образцах, изготовленных для изучения микроструктуры заготовок после получения фотографий микроструктуры. Для проведения испытаний рекомендуется использовать оптический микроскоп Leica (рисунок 2.3).

После установки образца к нему прикладывается нагрузка в 1Н и выдерживается в течение 2 секунд. Далее нагрузку снимают и по величине

полученного на образце отпечатка определяют значение микротвердости для данного материала.



Рисунок 2.1 – Испытательная машина INSTRON 4486



Рисунок 2.2 – Установка для проведения испытаний на перегиб



Рисунок 2.3 – Оптический микроскоп LEICA

2.2 Проведение механических испытаний заготовок

По методике, рассмотренной выше, были произведены испытания на растяжение, перегиб и на определение микротвердости по Виккерсу.

Для испытания были отобраны три партии образцов с различными технологиями обработки по три образца в каждой партии. В первой партии образцы представляли собой проволоку в исходном состоянии. Во второй партии образцы были деформированы по классической технологии волочения. И образцы третьей партии были деформированы по предложенной технологии «прессование-волочение».

Прочностные характеристики сплавов представлены значениями предела текучести σ_T и предела прочности σ_B ; пластические характеристики представлены значениями относительного сужения и удлинения, образцов до разрушения.

Испытания проволоки на растяжение согласно ГОСТ 10446-80 [7] проводились в условиях центральной заводской лаборатории АО «АрселорМиттал Темиртау» на испытательной машине INSTRON 4486 (рисунок 2.1) предназначенной для проведения испытаний на растяжение/сжатие для выявления основных механических характеристик проволоки. С этой целью были изготовлены необходимые образцы, при этом хочется отметить, что вырезку заготовок для образцов производили в трех разных точках.

Результаты механических испытаний образцов алюминиевой проволоки на растяжение с использованием испытательной машины INSTRON 4486 по проходам, представлены в таблицах 2.1 – 2.3.

Таблица 2.1 – Предел прочности σ_B алюминиевой проволоки по проходам, МПа

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	300	369	450	501
		367	455	499
		371	456	503
Процесс «прессование-волочение»	300	420	489	539
		428	485	538
		426	488	536

Предел текучести это механическое напряжение, дальше которого упругая деформация тела (исчезающая после снятия напряжения), переходит в пластическую (необратимую) деформацию, когда геометрия тела не восстанавливается после снятия деформирующего напряжения.

Таблица 2.2 – Предел текучести σ_T алюминиевой проволоки по проходам, МПа

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	130	210	310	351
		212	312	350
		209	309	351
Процесс «прессование-волочение»	130	280	329	405
		290	330	403
		281	331	409

Относительное удлинение – величина, показывающая, на сколько процентов удлиняется материал, прежде чем разорвется.

Таблица 2.3 – Относительное удлинение δ_5 алюминиевой проволоки по проходам, %

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	23	10,5	4,1	1,7
		10,3	4,9	1,5
		10,6	4,8	1,7
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	23	13,7	6,3	4,9
		13,9	6,5	4,7
		13,1	6,4	5,0

Относительное сужение – характеристика пластичности материала по относительному уменьшению площади поперечного сечения растягиваемого образца.

Относительное удлинение и относительное сужение выражаются в процентах и являются характеристиками пластичности материала.

Таблица 2.4 – Относительное сужение ψ_5 алюминиевой проволоки по проходам, %

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	42	29,1	10,2	6,9
		28,8	10,3	6,5
		27,9	11,1	6,4
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	42	29,5	15,7	10,1
		29,9	15,6	10,9
		29,1	15,9	10,9

По статистически обработанным данным механических испытаний (таблицы 2.1-2.4), было определено среднестатистическое значение свойств $\bar{X} = \sum X_i/n$ (X_i – результат отдельного испытания, n – количество испытаний) и построены графики зависимости механических свойств образцов от количества проходов по предлагаемой и по действующей технологии.

Зависимости прочностных показателей алюминиевого сплава А0 от количества проходов представлена на рисунках 2.4 и 2.5.

Зависимости пластических показателей алюминиевого сплава А0 от количества проходов представлена на рисунках 2.6 и 2.7.

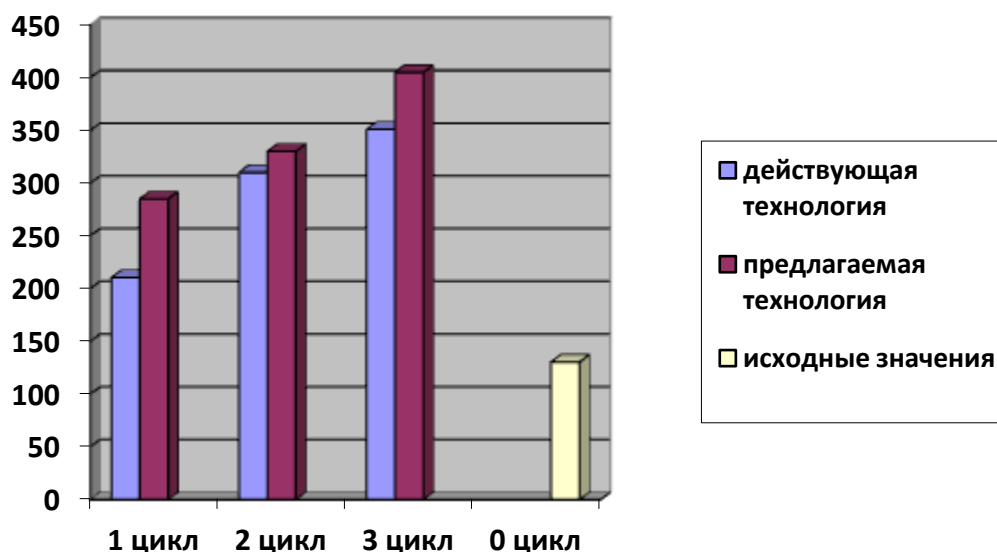


Рисунок 2.4 – График зависимости предела текучести от количества циклов

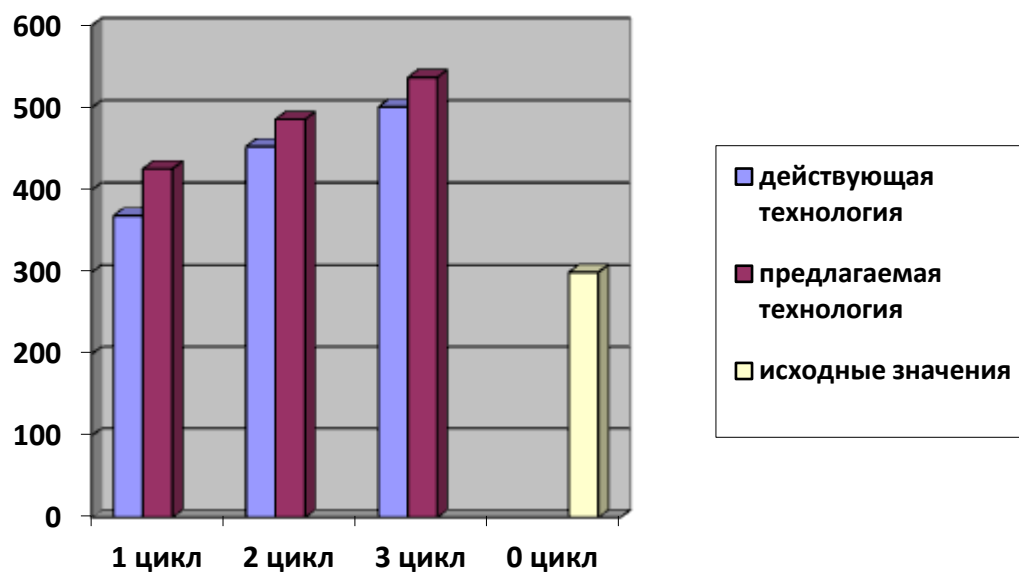


Рисунок 2.5 – График зависимости прочности от количества циклов

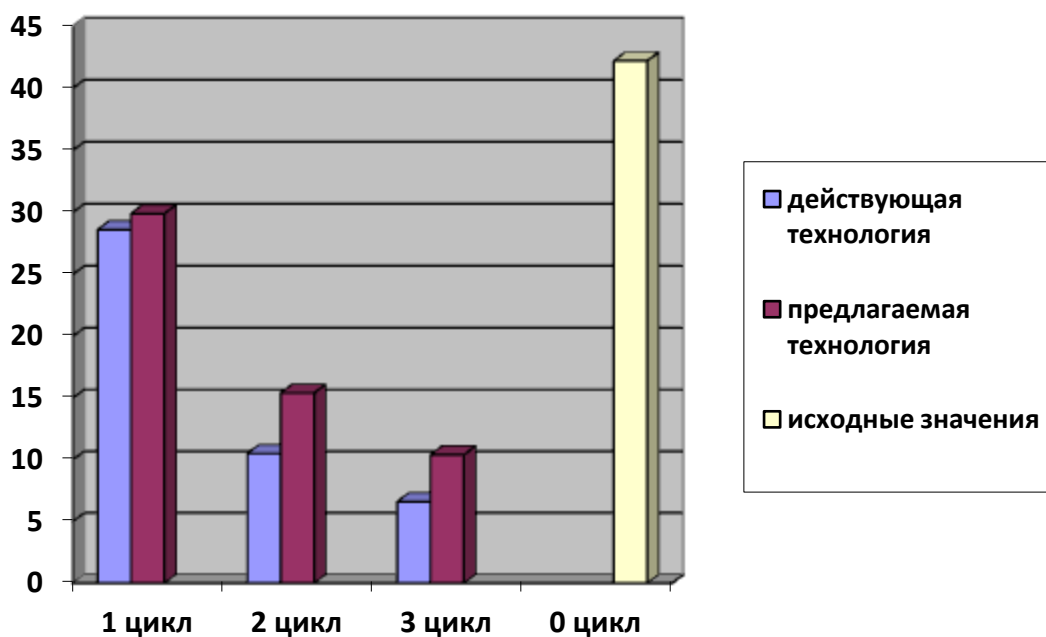


Рисунок 2.6 – График зависимости относительного сужения от количества циклов

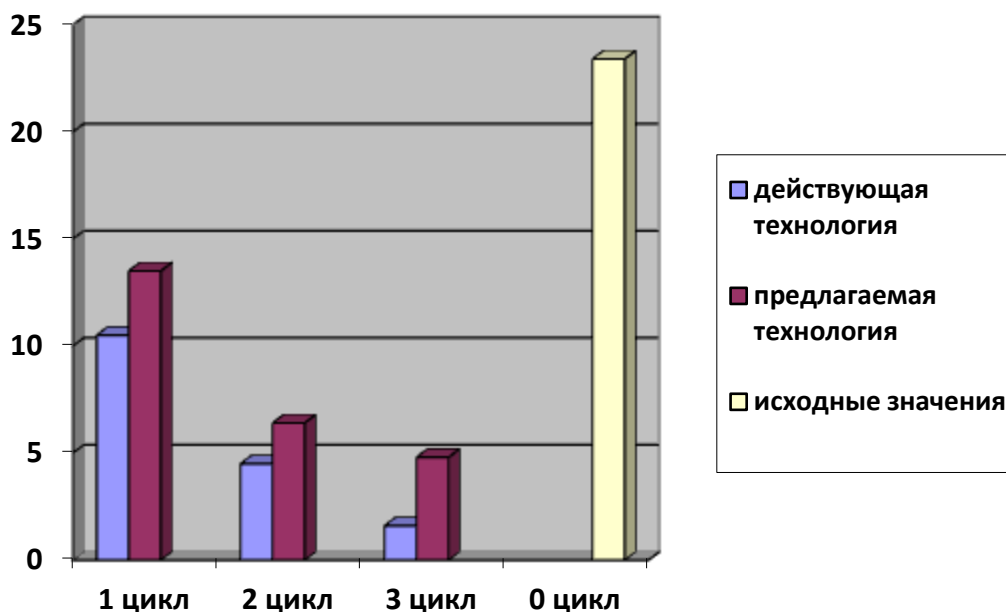


Рисунок 2.7 – График зависимости относительного удлинения от количества циклов

Из графиков, приведенных на рисунках 2.4 – 2.7 видно, что с увеличением количества циклов прочностные характеристика алюминиевой проволоки, продеформированной по предлагаемой технологии (совмещенный процесс «прессование-волочение») возрастают более интенсивно, чем прочностные свойства алюминиевой проволоки продеформированной по действующей технологии. При этом из графиков видно, что пластические свойства изменяются по другому сценарию. При деформировании алюминиевой проволоки по предлагаемой технологии уменьшаются менее интенсивнее, чем при использовании действующей технологии. Все это позволяет нам говорить, что использование предлагаемой технологии совмещенный процесс «прессование-волочение» позволяет получать высококачественную алюминиевую проволоку с высокими прочностными свойствами, при достаточных пластических свойствах.

Результаты измерения твердости представлены в таблице 2.5.

Испытания проволоки на перегиб по ГОСТ 1579-93 [6] производились в лабораторном корпусе РГП «КГИУ». Испытание служит для определения способности проволоки подвергаться пластической деформации при перегибах. Вырезку заготовок для образцов произвели в трех разных местах.

Испытания на перегиб проводилось на приборе, представленном на рисунке 2.2. Параметры прибора по ГОСТ 1579-93, для проволоки диаметром 7,0 – 6,0 мм следующие: диаметр валиков 30 мм, диаметр отверстия поводка 8 мм, расстояние от верхней образующей цилиндрического валика до нижней поверхности поводка (расстояние a) 50 мм.

Таблица 2.5 – Твердость HV алюминиевой проволоки по проходам

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	32	34	40	48
		36	41	47
		35	39	47
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	32	38	47	53
		38	46	55
		39	45	55

Результаты механических испытаний образцов проволоки на перегиб по проходам, представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Результаты механических испытаний образцов на перегиб по проходам

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	14	13	10	9
		11	10	9
		12	11	10
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	14	13	12	11
		13	11	12
		12	12	11

Результаты механических испытаний образцов медной проволоки на растяжение с использованием испытательной машине INSTRON 4486 по проходам, представлены в таблицах 2.7 – 2.10.

Таблица 2.7 – Предел прочности σ_B медной проволоки по проходам, МПа

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	380	415	510	544
		430	510	560
		420	493	565
Процесс «прессование-волочение»	380	570	670	735
		570	690	740
		558	690	739

Таблица 2.8 – Предел текучести σ_T медной проволоки по проходам, МПа

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	220	310	380	440
		315	395	455
		310	389	455
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	220	400	580	710
		410	590	710
		410	600	700

Таблица 2.9 – Относительное удлинение δ_5 медной проволоки по проходам, %

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	27	26	21	21
		26	22	20
		26	21	20
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	27	26	25	23
		27	25	24
		27	27	24

Таблица 2.10 – Относительное сужение ψ_5 медной проволоки по проходам, %

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	59	55	51	50
		56	53	50
		55	53	49
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	59	55	53	49
		56	51	49
		57	52	51

Результаты измерения твердости представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Твердость HV медной проволоки по проходам

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	131	150	180	205
		153	187	200
		155	190	200
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	131	164	208	259
		169	215	265
		173	215	264

По данным механических испытаний построим графики (рисунок 2.9 – 2.12)

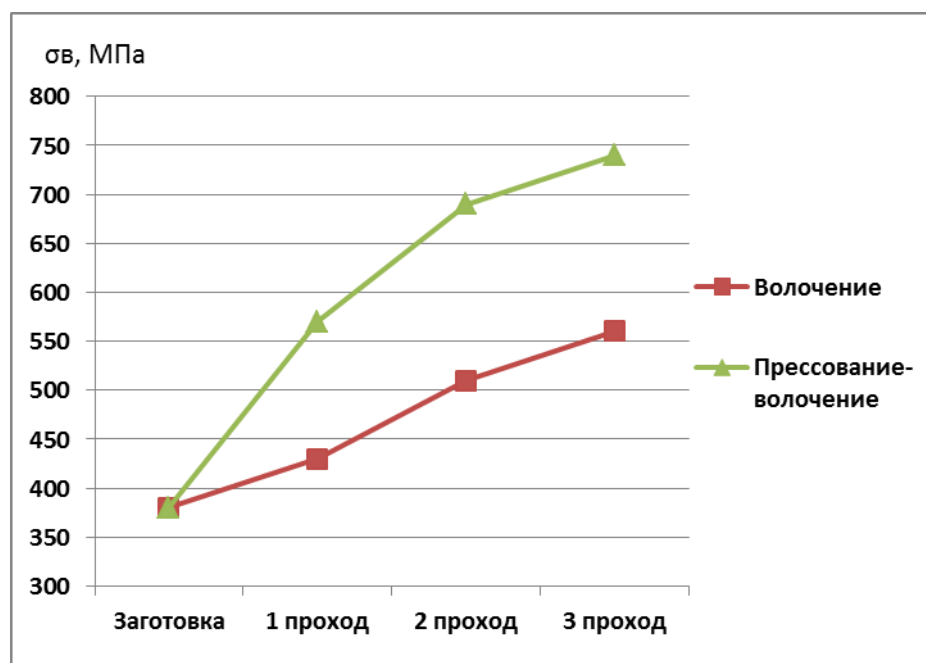


Рисунок 2.9– График зависимости предела прочности от количества проходов

Из графика, приведенного на рисунке 2.9 видно, что предел прочности медной проволоки подвергшейся совмещенному процессу «прессование-волочение» после третьего прохода увеличился на 180 МПа по сравнению с проволокой прошедшей классическое волочение.

На рисунке 2.10 показан график значений предела текучести. Из графика видно, что предел текучести проволоки, после третьего прохода с использованием совмещенного процесса увеличился на 255 МПа, по сравнению с проволокой прошедшей классический способ волочения.

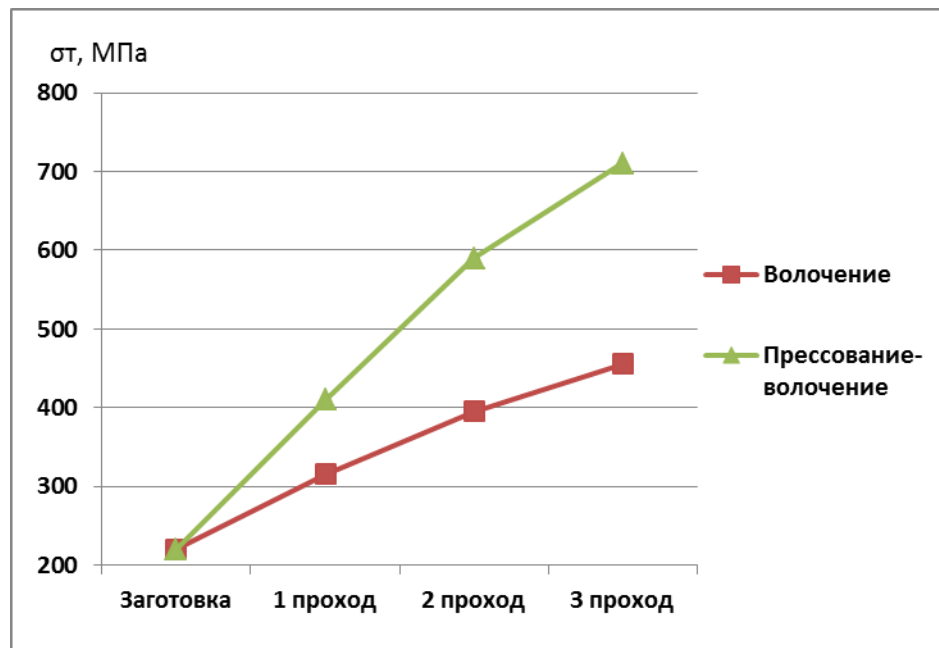


Рисунок 2.10 – График зависимости предела текучести от количества проходов

По графикам на рисунках 2.11 и 2.12 видно, что показатели пластичности проволоки при использовании совмещенной технологии «прессование-волочение» уменьшаются в меньшей степени по сравнению с обычной схемой волочения.

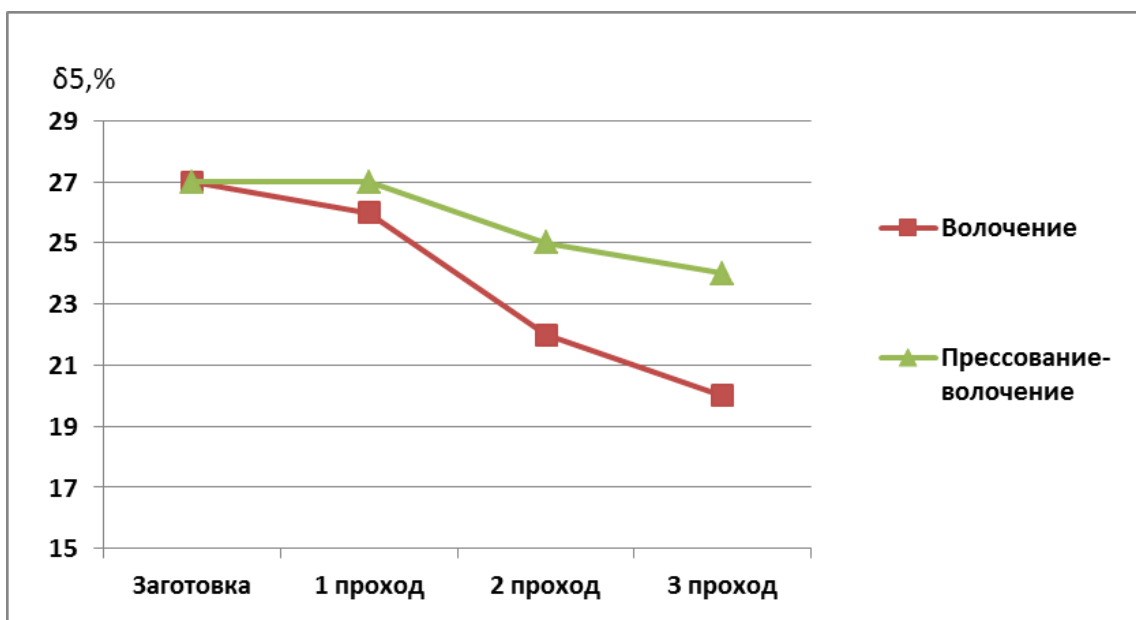


Рисунок 2.11 – График зависимости относительного удлинения проволоки от количества проходов

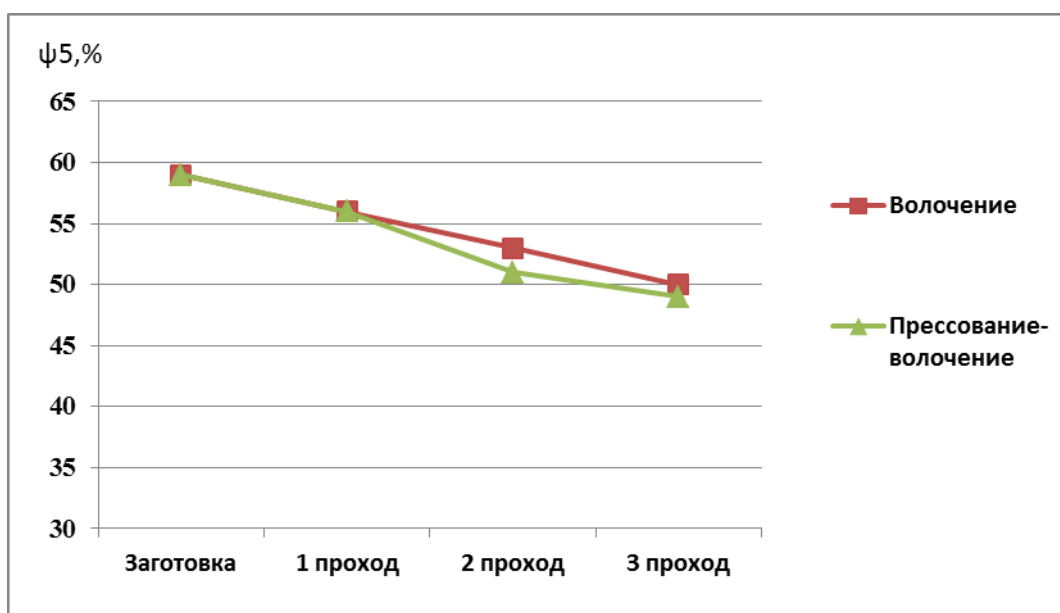


Рисунок 2.12 – График зависимости относительного сужения проволоки от количества проходов

Анализ графиков показал, что по обеим методикам наблюдается увеличение прочностных характеристик с увеличением количества проходов, пластические характеристики же падают, но по предложенной методике относительное удлинение после третьего прохода выше на 36%, чем при традиционном волочении. Измерение предела прочности показало, что сочетание метода «прессование-волочение» обеспечивает значительный прирост уровня прочности по сравнению с исходным состоянием и на 20% превышает показатели прочности традиционного волочения после третьего прохода.

Как известно из соотношения Холла-Петча размер зерна поликристаллических металлов оказывает большое влияние на величину предела текучести и механические свойства материала. Решающую роль в высокой прочности ультрамелкозернистого сплава играет дополнительное упрочнение благодаря высокой плотности дислокаций вдоль границ зерна. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что значения механических характеристик проволоки, продеформированной по новой технологии «прессование-волочение» выше, чем у проволоки полученной традиционным волочением, при этом уровень прочностных характеристик обычного волочения достижим по новой технологии прессование-волочение за меньшее количество проходов, что создает предпосылки к снижению интенсивности использования рабочего инструмента, а, следовательно, и меньшего его износа, и затрат энергетических и материальных ресурсов.

Результаты механических испытаний образцов медной проволоки на перегиб по проходам, представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Результаты механических испытаний образцов на перегиб по проходам

Наименование технологий обработки	Исходная заготовка	1 проход	2 проход	3 проход
Классическое волочение	12	12	10	12
		11	10	10
		11	11	10
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	12	12	11	11
		11	12	12
		11	12	12

Проведенные испытания проволоки на перегиб показали, что пластическая деформация в ходе совмещенного процесса «прессование-волочение» изменилась не значительно, следовательно, можно сделать вывод, что её удалось сохранить.

2.3 Анализ качества алюминиевой проволоки, с помощью комплексного показателя качества

Приведенные показатели механических свойств не дают полную оценку качеству полученного изделия, так как они характеризуют различные свойства материала и имеют различную размерность. В связи с этим для полноценной и комплексной оценки качества проволоки использовали методы квалиметрии, приведенные в работе [8].

Так как в нашем случае все свойства, использованные в качестве единичных показателей качества, находятся на одном иерархическом уровне (уровне механических свойств), следовательно, можно принять все свойства равновесными. Тогда комплексный показатель качества K_0 рассчитываем по формуле:

$$K_0 = \sum_1^n K_i / n, \quad (2.1)$$

де $\sum K_i$ - сумма всех единичных критериев качества K_i ;

n – количество единичных критериев качества K_i .

При этом единичный дифференциальный критерий качества K_i определяем по формуле:

$$K_i = \exp(-\exp(-y_i^*)), \quad (2.2)$$

где y_i^* – параметр, рассчитываемый по следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned}
 \Gamma_i \in [A_1; A_2) & \quad Y^* = 0,48165 \frac{\Gamma_i - A_1}{A_2 - A_1} + 0,47588; \\
 \Gamma_i \in [A_2; A_3) & \quad Y^* = 0,76634 \frac{\Gamma_i - A_2}{A_3 - A_2} + 0,0577; \\
 \Gamma_i \in [A_3; A_4] & \quad Y^* = 0,72783 \frac{\Gamma_i - A_3}{A_4 - A_3} + 0,77211; \\
 \Gamma_i \in (A_4; A_5] & \quad Y^* = 0,75043 \frac{\Gamma_i - A_4}{A_5 - A_4} + 1,49994; \\
 \Gamma_i \in (A_5; A_6] & \quad Y^* = 2,348971 \frac{\Gamma_i - A_5}{A_6 - A_5} + 2,25037.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Константы $A_1 \div A_6$ определяем по эмпирическим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned}
 A_1 = \bar{\Gamma} + \alpha_1 \frac{S}{\sigma_N}; & \quad A_2 = \bar{\Gamma} + \alpha_2 \frac{S}{\sigma_N}; & \quad A_3 = \bar{\Gamma} - 2S; \\
 A_4 = \bar{\Gamma} + 2S; & \quad A_5 = \bar{\Gamma} - \alpha_2 \frac{S}{\sigma_N}; & \quad A_6 = \bar{\Gamma} - \alpha_1 \frac{S}{\sigma_N},
 \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

где $\bar{\Gamma}$ - среднее арифметическое значение натурального показателя механических свойств Γ_i , полученное по выборке из N экспериментальных значений;

S – среднее квадратичное отклонение;

α_1, α_2 - коэффициенты, определяемые из соотношений (2.5);

σ_N - параметр, определяемый из соотношения (2.6).

$$\alpha_1 = Y_N - 7,565 \frac{\sigma_N}{\sqrt{N}} - 2,97; \quad \alpha_2 = Y_N - 2,97, \quad (2.5)$$

где параметры Y_N и σ_N могут быть определены по зависимостям:

$$Y_N = a + b \cdot \ln N; \quad \sigma_N = c + d \cdot \ln N, \quad (2.6)$$

где a, b, c, d - эмпирические коэффициенты [8].

Расчет комплексного показателя качества по выше приведенной методике произвели с помощью программы «Расчет комплексных показателей качества» [8]. Результаты расчета приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.13 – Усредненные значения механических испытаний алюминиевой проволоки

Наименование технологий обработки	Количество проходов	Усредненные показатели					Количество перегибов
		σ_B	σ_T	δ_5	ψ_5	НВ	
Классическое волочение	1	369	210,3	10,47	28,6	35	12
	2	453,7	310,3	4,6	10,53	40	10
	3	501	350,7	1,63	6,6	47,3	9
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	1	424,7	283,7	13,57	29,5	38,3	13
	2	487,3	330	6,4	15,73	46	12
	3	537,7	405,7	4,87	10,63	54,3	11

Таблица 2.14 - Дифференциальные и комплексные показатели качества

Наименование технологий обработки	Количество проходов	Дифференциальные показатели						K_0
		K_{σ_T}	K_{σ_B}	K_{δ}	K_{ψ}	K_{KCU}	$\hat{E}_{\text{ядааа}}$	
Классическое волочение	1	0,669	0,684	0,676	0,679	0,664	0,701	0,677
	2	0,717	0,726	0,716	0,707	0,699	0,695	0,713
	3	0,735	0,748	0,733	0,723	0,732	0,695	0,734
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	1	0,745	0,761	0,736	0,729	0,761	0,701	0,746
	2	0,785	0,773	0,790	0,788	0,785	0,701	0,784
	3	0,788	0,783	0,806	0,900	0,794	0,701	0,814

Для более четкого представления результатов оценки механических испытаний с помощью комплексной оценки качества от способа волочения и количества проходов построим график зависимости комплексной оценки качества алюминиевой проволоки от способа волочения и количества проходов (рисунок 2.13).

Сравнительный анализ комплексных показателей качества, продеформированной алюминиевой проволоки по различным технологиям еще раз доказал преимущество новой разработанной технологии производства проволоки из цветных металлов и сплавов совмещенного процесса деформирования «прессование-волочение» по сравнению с действующей технологией волочения проволоки, то есть предлагаемая технология производства проволоки из цветных металлов и сплавов обеспечивает лучшее качество металла по сравнению с действующей технологией.

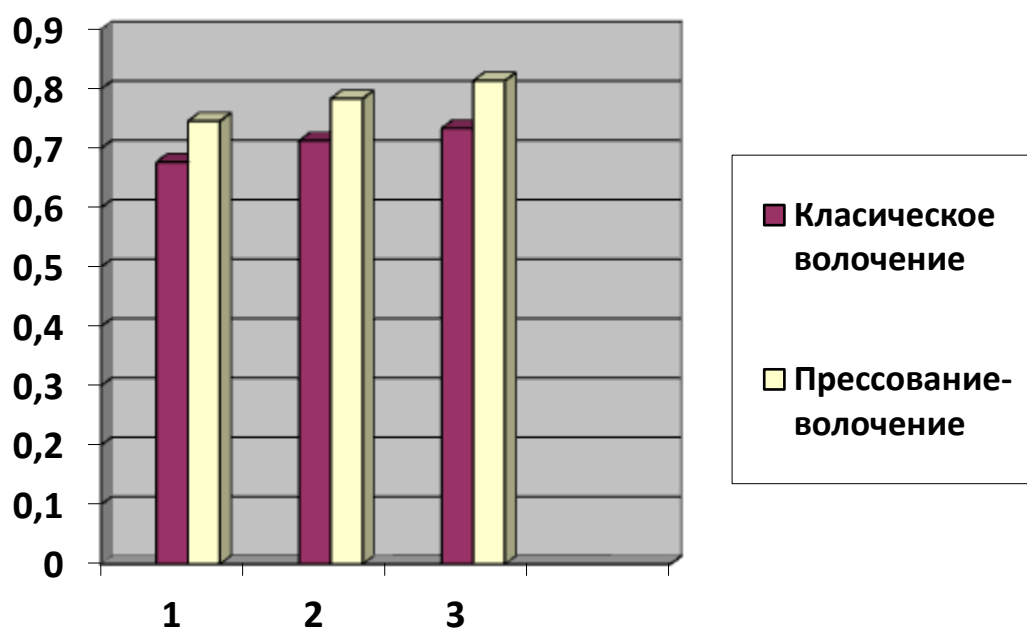


Рисунок 2.13 - График зависимости комплексной оценки качества алюминиевой проволоки от способа волочения и количества проходов

Вывод:

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый совмещенный способ деформирования «прессование-волочение» обладает существенным преимуществом по сравнению с действующей технологией производства алюминиевой и медной проволоки. Данный способ деформирования за счет совмещения двух способов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и процесса волочения через волоку, позволяет получать проволоку с субультрамелкозернистой структурой и высоким уровнем механических свойств, требуемых размеров и формы поперечного сечения при незначительном количестве циклов деформирования.

3 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ» В ПРОИЗВОДСТВО

Предлагается внедрить в производство новую технологию получения высококачественной проволоки из цветных металлов и сплавов – совмещенный процесс «прессование – волочение». Разработанная технология позволит получать в промышленных условиях проволоку из цветных металлов и сплавов с ультрамелкозернистой структурой и повышенным уровнем механических свойств при меньших энерго- и трудозатратах за счет уменьшения количества проходов волочения.

Для реализации совмещенного процесса «прессование-волочение» необходимо использовать дополнительную оснастку – равноканальную ступенчатую матрицу, изготовленную в соответствии с разработанным чертежом данной матрицы (рисунок 3.1) из инструментальной стали. Для повышения твердости и прочности матрица должна быть подвергнута термической обработке – закалке, при температурном режиме соответствующему выбранной для изготовления матрицы марки стали.

Диаметр канала выбирается в соответствии диаметра проволоки, подвергаемой волочению. Длины каналов и угол стыка выбирается в соответствии с чертежом на рисунке 3.1, так как результаты теоретических исследований, приведенные в отчете за 2013 год [9] показывают, что предложенные угол стыка каналов и длины каналов обеспечивают наиболее благоприятное напряженно-деформированное состояние для получения ультрамелкозернистой структуры и меньшие значения энергосиловых параметров.

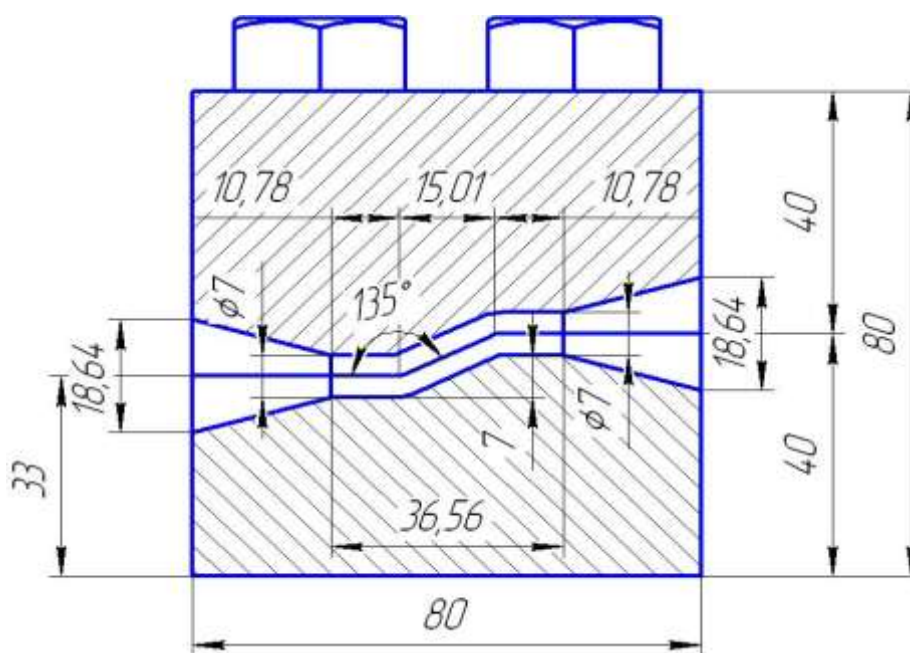


Рисунок 3.1 – Чертеж матрицы

Для осуществления совмещенного процесса «прессование-волочение» равноканальную ступенчатую матрицу необходимо располагать в контейнере для смазки перед волокой. В качестве смазки при реализации совмещенного процесса «прессование-волоечение», как и при обычном волочении, необходимо использовать стружку мыла.

Для успешного задания заготовки в равноканальную ступенчатую матрицу и избегания обрыва исходной заготовки при осуществлении совмещенного процесса «прессование-волоечение» необходимо использовать задающее (заталкивающее) устройство, один из вариантов задающего устройства представлен на рисунке 3.2. Так же в качестве заталкивающего устройства при реализации совмещенного процесса «прессование-волоечение» можно использовать переделанный острильный станок от волочильного стана, в частности осуществить перефазировку данного станка, чтобы валки вращались в нужном нам направлении и производили захват проволоки и за счет активных сил трения заталкивание ее в равноканальную ступенчатую матрицу. При этом для успешной реализации совмещенного процесса «прессование-волоечение» обязательно необходимо осуществлять согласование скоростей заталкивания и вытягивания проволоки.

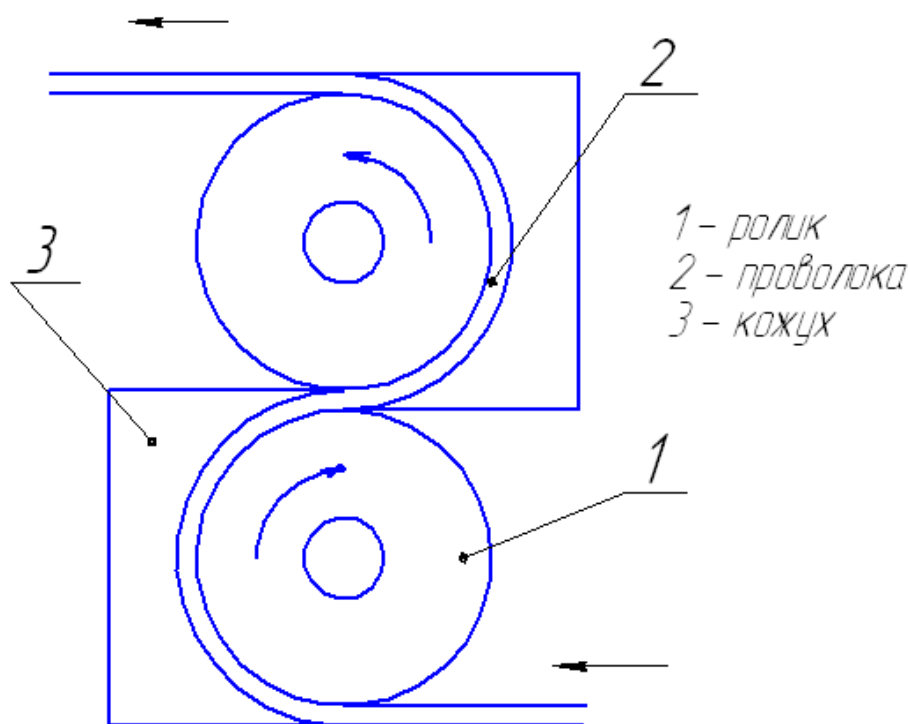


Рисунок 3.2 - Конструкция задающего устройства

Технология производства проволоки по предлагаемой технологии на волочильном стане заключается в следующем: на бунтодержатель навешивается с помощью цеховых транспортных средств садка бунтов

заготовки, подготовленной к волочению (травленная, известкованная) до 1000 кг.

С бунтодержателя бунт укладывается на одну из фигурок и нижний конец заготовки подтягивается к острильному станку для заострения. На острильном станке конец заготовки заостряется до нужного диаметра на длину 150 ... 180 мм.

Заостренный конец заготовки подается в заталкивающее устройство, с помощью которого заготовка проталкивается через равноканальную ступенчатую матрицу и волоку, установленную в волокодержателе и захватывается заправочными клещами, крюк которых введен в один из пазов на барабане.

Ножной педалью толчками стан включается на заправочную скорость (одновременно запускается и заталкивающее устройство). После набора на барабане 5-7 витков проволоки, стан необходимо остановить. Заправочные клещи снимаются, а конец проволоки надежно закрепляется за одну из стоек барабана. Затем стан и заталкивающее устройство включают на заданную по технологии скорость и работают до заполнения барабана.

После заполнения барабана стан останавливают, дают барабану реверс на 2-3 оборота, проволоку на участке между волокодержателем и барабаном разрезают, и готовый моток грейфером с помощью крана снимают с барабана стана на стеллаж. Готовый моток сбрасывается на стеллаж для утяжки и опрокидывания бунтов, и грейфер устанавливается обратно в пазы барабана. Возможна увязка бунта при работающем стане.

Управление станом осуществляется с пульта управления.

При многоцикловом совмещенном процессе «прессование-волочение» после первого цикла деформирования в контейнере для смазки меняют равноканальную ступенчатую матрицу и волокодержателе волоку для волочения на меньший диаметр.

Данная технология обработки металлов давлением может быть использована для производства высококачественной проволоки из любых цветных металлов и сплавов. Данный способ деформирования при внедрении его в производство не требует значительных экономических вложений и может быть внедрен на промышленных предприятиях Республики Казахстан по производству проволоки так, как он не требует переоборудования существующих волочильных станов. Так как для реализации данного совмещенного процесса требуется только добавление в конструкцию оборудования специально изготовленной равноканальной ступенчатой матрицы, предназначенной для протягивания через нее материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе анализа результатов исследования микроструктуры и механических свойств медной (марка М1) и алюминиевой (марка А0) проволоки, продеформированной по действующей и предлагаемой технологии – совмещенный процесс «прессование-волочение», можно сделать следующие выводы:

- при деформировании алюминиевой проволоки по предлагаемой совмещенной технологии «прессование-волочение» уже при трех проходах деформирования происходит существенное измельчение структуры чистого алюминия, по сравнению с традиционным волочением и не только на поверхности, но и в центре проволоки. Так исходный размер зерна, составляющий 53 мкм, после деформирования по предлагаемой технологии уменьшился до 9 мкм, когда по действующей технологии только до 26 мкм. При этом значительно в меньшей степени выражена текстура, а соответственно и анизотропия, так как, несмотря на высокое число эквивалентных систем скольжения в ГЦК решетке характер кристаллографических текстур, формирующихся в результате прессования-волочения, зависит от сдвиговой деформации, проходящей в канале матрицы после каждого прохода, которая позволяет дополнительно фрагментировать структуру.

- исследование методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) алюминиевых образцов показало, что полученные зерна равноосны, их размер лежит в интервале от 5 до 11 мкм. В некоторых случаях они разориентированы друг относительно друга на малый угол. Вместе с тем встречаются отдельные зерна, окруженные большеугловыми границами с характерным для равновесного состояния границ полосчатым контрастом. В структуре же полученной традиционным волочением большеугловых границ не наблюдается, так как именно в матрице происходит деформация сдвигом, при прохождении заготовки через зону пересечения каналов, в результате чего в заготовке накапливается сдвиговая деформация, приводящая к образованию в материале большеугловых границ.

- микроструктурные исследования меди показали, что в исходном состоянии медь имеет крупнозернистую структуру с большим наличием двойников. Уже после первого цикла обычного волочения структура меди сильно измельчается по сравнению с исходной. В поперечном сечении микроструктура довольно однородна и в ней преобладают примерно равноосные зерна. Тем не менее, в структуре угадывается некоторая строчечность в радиальном направлении, особенно в продольном сечении заготовки. По предлагаемой же технологии после первого цикла деформирования происходит уменьшение межграницных расстояний в продольном и поперечном сечениях. Уменьшение межграницных расстояний обусловлено геометрическим эффектом деформации, то есть сжатием исходных зерен. Формирование новых границ при волочении практически

не происходит, все фрагментирование структуры происходит в равноканальной ступенчатой матрице при сдвиговых деформациях за счет двойникования. Также было установлено, что второй цикл прессования-волочения приводит к образованию структуры смешанного типа. При исследовании полученной структуры были обнаружены зерна двух типов: мелкие рекристаллизованные и деформированные. Такая структура обусловлена протеканием двух процессов: рекристаллизации при волочении и фрагментации в равноканальной ступенчатой матрице. Наличие в структуре двух видов зерен обеспечивает высокую прочность и пластичность. После третьего цикла в структуре наблюдается значительное повышение доли большеугловых границ (~ 59%) за счет более активного протекания динамических возврата и рекристаллизации. Это связано с тем, что с уменьшением зерна снижается температура начала рекристаллизации меди. Границы зерен становятся более четко выраженными.

- из анализа проведенных механических испытаний образцов продеформированных по различным технологиям можно сделать вывод, что наиболее лучшими механическими характеристиками обладает проволока подвергнутая обработке по предлагаемой технологии – совмещенный процесс «прессование-волочение». Наблюдается увеличение значений предела текучести и предела прочности, а также показатели твердости с сохранением пластичности. Так из полученных данных видно, что с увеличением количества циклов прочностные характеристики алюминиевой проволоки, продеформированной по предлагаемой технологии (совмещенный процесс «прессование-волочение») возрастают более интенсивно, чем прочностные свойства алюминиевой проволоки продеформированной по действующей технологии. При этом пластические свойства изменяются по другому сценарию. При деформировании алюминиевой проволоки по предлагаемой технологии уменьшаются менее интенсивнее, чем при использовании действующей технологии. Анализ же механических свойств медной проволоки показал, что по обоим методикам наблюдается увеличение прочностных характеристик с увеличением количества проходов, пластические характеристики же падают, но по предложенной методике относительное удлинение после третьего прохода выше на 36%, чем при традиционном волочении. Измерение предела прочности показало, что сочетание метода «прессование-волочение» обеспечивает значительный прирост уровня прочности по сравнению с исходным состоянием и на 20% превышает показатели прочности традиционного волочения после третьего прохода.

- сравнительный анализ комплексных показателей качества, продеформированной алюминиевой проволоки по различным технологиям еще раз доказал преимущество новой разработанной технологии производства проволоки из цветных металлов и сплавов совмещенного процесса деформирования «прессование - волочение» по сравнению с действующей технологией волочения проволоки, то есть предлагаемая

технология производства проволоки из цветных металлов и сплавов обеспечивает лучшее качество металла по сравнению с действующей технологией.

2. На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по внедрению данной совмещенной технологии «прессование-волочение» в производство.

3. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый совмещенный способ деформирования «прессование-волочение» обладает существенным преимуществом по сравнению с ранее известными способами получения металла с субультрамелкозернистой структурой, так как данный способ деформирования за счет совмещения двух способов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и процесса волочения через волоку, позволяет получать заготовки (цветную проволоку) требуемых размеров и формы поперечного сечения, обладающие субультрамелкозернистой структурой при незначительном количестве циклов, а так же снимает ограничения по длине исходной заготовки, а, следовательно, позволяет получать готовые изделия длиной до нескольких десятков метров.

4. Так же хочется отметить, что данный способ деформирования при внедрении его в производство не требует значительных экономических вложений и может быть внедрен на промышленных предприятиях Республики Казахстан по производству проволоки так, как он не требует переоборудования существующих волочильных станков. Так как для реализации данного совмещенного процесса требуется только добавление в конструкцию оборудования специально изготовленной равноканальной ступенчатой матрицы, предназначенной для протягивания через нее материала.

Работа выполнена в соответствии с утвержденным календарным планом на 2014 год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Valiev R.Z., Krasilnikov N.A. and Tsenev N.K. Plastic deformation of alloys with submicrograined structure. Mater. Sci. Eng. A 1991. 137. - P.35.
- 2 Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд. перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
- 3 Паспорт шлифовально-полировального станка Tegra Pol – Tegra Force.
- 4 Панченко Е.В., Скаков Ю.А., Кример Б.И., Арсентьев П.П. и др. Лаборатория металлографии. М.: Металлургия. 1965. 440с
- 5 Красильников Л.А., Лысенко А.Г. Волоочильщик проволоки. Издательство: Металлургия. 1987. 320 стр.
- 6 Государственный стандарт Союза ССР. Проволока. Метод испытания на перегиб. ГОСТ 1579-93 (ИСО 7801-84).
- 7 Государственный стандарт Союза ССР. Металлы. Метод испытания на растяжение. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 471-88).
- 8 Найзабеков А. Б., Талмазан В. А., Шмидт Н. Ю. Квалиметрия в обработке металлов давлением. Алматы: Изд.-во РИК по учебной и методической литературе, 2002.–142 с.
- 9 Отчет по госбюджетной финансируемой теме «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». Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В. и др., 2013 г.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н. Развитие и совершенствование технологий получения металлов и сплавов с субультрамелкозернистой структурой интенсивной пластической деформацией. Обработка металлов давлением. Сборник научных трудов, Краматорск ДГМА, 2012 №2. – С. 179 – 185.

2 Лежнев С.Н., Фефелов А.М. Разработка задающего устройства для успешной реализации совмещенного процесса «прессование-волочение». Тезисы докладов Межвузовской студенческой научной конференции «Инновации в технике, технологии и образовании», Караганда, 2012. Часть 4. – С. 85-86.

3 Лежнев С.Н., Волокитин А.В. Исследование влияния совмещенного процесса деформирования «прессование-волочение» на механические свойства стальной проволоки. Тезисы докладов Межвузовской студенческой научной конференции «Инновации в технике, технологии и образовании», Караганда, 2012. Часть 4. – С. 95-96.

4 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В. Исследование влияния нового совмещенного процесса деформирования «прессование-волочение» на эволюцию микроструктуры стальной проволоки. XIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and material engineering», Czestochowa, Poland, 2012. С. 433-437.

5 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В. Изучение влияния нового совмещенного процесса деформирования «прессование - волочение» на изменение структуры стальной проволоки. 6-я Международная молодежная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина», Екатеринбург, 2012. – С. 710 – 712.

6 Патент № 23802 МКИ³ В21 J 5/00 Устройство для непрерывного прессования металла. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., 2012. Бюл. 9

7 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В. Research of a new method of deformation -"pressing –drawing" on mechanical properties of steel wire./ 22-th International Conference on metallurgy and materials METAL, Brno, Czech Republic, 2013.

8 Найзабеков А.Б., Волокитин А.В., Козаченко Д.И. Новый совмещенный способ деформирования «прессование-волочение», позволяющий получать изделия из проволоки с повышенными механическими свойствами./ Сборник материалов международной школы-семинара «Инновационные технологии и следования, направленные на развитие зеленой энергетики и глубокую переработку продукции», Усть-Каменогорск, 2013. – С. 48-49.

9 Патент №25862 МКИ³ В21 J 5/00. Устройство для непрерывного прессования металлов и сплавов. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., 2013. Бюл. 7.

10 Патент №25863 МКИ³ В21 J 5/00. Устройство для непрерывного прессования металла. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., 2013. Бюл. 7.

11 Инновационный патент №27262 МКИ³ В21 J 5/00. Устройство для непрерывного прессования металлов и сплавов. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., 2013. Бюл. 8.

12 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В., Волокитина И.Е. Анализ влияния совмещенного процесса «прессование-волочение» на свойства деформируемой алюминиевой проволоки. Международный научно-технический прогресс ОМД-2014 «Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии». Москва, 2014. – С.377-381.

13 Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Волокитин А.В., Волокитина И.Е. New combined process "pressing-drawing" and its impact on the properties of deformable aluminum wire. 11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014, Nagoya, Japan.

14 Naizabekov A., Lezhnev S., Volokitin A., Volokitina I. New combined process "pressing-drawing" and its impact on the properties of deformable aluminum wire / Procedia Engineering, 2014. Impact-factor=0,363 (Scopus).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

9

Приложение 1.3

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН РАБОТ

По договору № _____ от _____ 2014 года

РГП на ПХВ «Карагандинский государственный
индустриальный университет» МОН РК

1.1 По приоритету: Глубокая переработка сырья и продукции.

1.2 По подприоритету: Технологии получения новых материалов.

1.3 По теме: Разработка и исследование совмещенного процесса деформирования «прессование - волочение» с целью получения алюминиевой и медной проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой.

1.4 Сумма проекта 10000000 (десять миллионов) тенге.

2. Характеристика научно-технической продукции по квалификационным признакам и экономические показатели

2.1 Направление работы: Металлургия по направлению «Обработка металлов давлением».

2.2 Область применения: полученная проволока с высокими механическими свойствами будет использована в отраслях машиностроения и энергетики.

2.3 Конечный конкретный результат: Будет разработана технология получения алюминиевой и медной проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой.

2.4 Патентоспособность: патентоспособен.

2.5 Научно-технический уровень (новизна): будет разработан новый совмещенный процесс деформирования «прессование - волочение», обеспечивающий получение алюминиевой и медной проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой.

2.6 Использование научно-технической продукции осуществляется: Исполнителем.

2.7 Вид использования результата научной и (или) научно-технической деятельности: проведение опытно-промышленного опробования и получение опытной партии образцов.

Шифр задания, этапа	Наименование работ по Договору и основные этапы его выполнения	Срок выполнения		Ожидаемый результат
		начало	окончание	
1	Проведение исследований микроструктуры металла из опытной партии образцов, продеформированных в ходе реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение».	в течение года	в течение года	Будут проведены металлографические исследования с целью изучения эволюции микроструктуры.

2	Проведение исследований механических свойств металла деформированного в ходе реализации новой технологии совмещенного процесса «прессование-волочение».	в течение года	в течение года	Будут определены механические свойства деформированных образцов.
3	Разработка рекомендаций по внедрению совмещенного процесса «прессование-волочение» в производство.	в течение года	в течение года	Будет разработаны рекомендации по внедрению новой технологии в производство.
4	Подготовка годового отчета.	в течение года	в течение года	Годовой отчет.

От Заказчика:

Директор, председатель
Ученый совет науки Министерства
«Институт металлургии РК»



Тулешов А.К.





От Исполнителя:

Ректор РГП на ПХВ «Карагандинский
государственный промышленный
университет» МОН РК



Ибатов М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

 «УТВЕРЖДАЮ» Проректор по УР РГП «КГИУ» Жаксыбаева	 «УТВЕРЖДАЮ» Коммерческий директор АО «АЗТМ» Канатбаев М.А.	
АКТ проведения опытно-промышленной проверки		
<p>Мы, нижеподписавшиеся комиссия в составе:</p> <p>от РГП «КГИУ» д.т.н. проф., руководитель проекта Найзабеков А.Б., к.т.н., ответственный исполнитель Лежнев С.Н., магистрант Панин Е.А., докторант по программе PhD Волокитина И.Е., докторант по программе PhD Арбуз А.С.</p> <p>от АЗТМ Ковалева В.В.</p> <p>Составили настоящий акт в том, что в рамках госбюджетной финансируемой научно-исследовательской работы по теме «Разработка и исследование совмещенного процесса деформирования «прессование – волочение» с целью получения медной и алюминиевой проволоки с высокими механическими свойствами и ультрамелкозернистой структурой», выполненной в период с 2012-2014 гг. была проведена опытно-промышленная проверка предлагаемой технологии волочения алюминиевой проволоки в условиях Алматинского завода тяжелого машиностроения.</p> <p>В ходе волочения по предлагаемой и действующей технологии выявили, что значения механических характеристик алюминиевой проволоки, продеформированной по новой технологии «РКУП – В» выше, чем у алюминиевой проволоки полученной традиционным волочением, при этом уровень прочностных характеристик обычного волочения достижим по новой технологии РКУП - В за меньшее количество проходов, что создает предпосылки к снижению интенсивности использования рабочего инструмента, а, следовательно, и меньшего его износа, и затрат энергетических и материальных ресурсов.</p>		
<p>От КГИУ: Руководитель проекта, д.т.н. проф. Ответственный исполнитель, к.т.н. Магистрант Докторант по программе PhD Докторант по программе PhD</p>		<p>Найзабеков А.Б. Лежнев С.Н. Панин Е.А. Волокитина И.Е. Арбуз А.С.</p>
<p>От АЗТМ: Главный конструктор</p>		<p>Ковалев В.В.</p>