

УДК 621.771.073

Лежнев С. Н.
Волокитин А. В.
Волокитина И. Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОВОГО СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ «ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ» НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕФОРМИРУЕМОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОВОЛОКИ

Алюминий и его сплавы, благодаря своим уникальным технико-эксплуатационным характеристикам, занимают большое место в современной промышленности. Наличие таких свойств, как высокая электропроводность и коррозионная стойкость в сочетании с небольшим весом, привели к тому, что алюминий и его сплавы нашли широкое применение в машиностроении, электроэнергетике, транспорте, авиации и других отраслях промышленности. Особое место в структуре производства полуфабрикатов из алюминия и его сплавов занимает проволока, которая применяется для изготовления линий электропередач, электротранспортных тросов, кабелей, электродов, присадочных прутков, сварочной проволоки и др. Данная продукция так же широко применяется в военной, космической и авиационной промышленности. И уже несколько десятилетий в производстве алюминиевой проволоки большое внимание уделяется к повышению ее качества, путем достижения повышенного уровня ее механических свойств, в том числе, и за счет получения ультрамелкозернистой структуры.

Одно из наиболее перспективных направлений повышения прочностных и пластических свойств металлов – это формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в материалах методами интенсивной пластической деформации. Однако, несмотря на многочисленные разработки, большинство современных способов реализации интенсивной пластической деформации в объеме деформируемого металла обладает рядом существенных ограничений в аспекте непрерывности и производительности технологических схем.

Ранее в работах [1–4] уже была рассмотрена проблема непрерывности процесса получения ультрамелкозернистых материалов, в том числе и при производстве проволоки. Но предлагаемый в работе [4] способ получения проволоки из черных и цветных металлов и сплавов, обладает достаточно существенным недостатком – это искажение геометрических размеров поперечного сечения (овализация) готовой проволоки.

В соответствии с этим учеными кафедры ОМД Карагандинского государственного индустриального университета был разработан новый совмещенный процесс деформирования «прессование-волочение» («РКУП-В») с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калибрующего инструмента (рис. 1), позволяющий избежать овализации готовой проволоки [5].

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно заостренный конец проволоки задается в равноканальную ступенчатую матрицу, а затем последовательно в калибрующую волоку. По своей сути процесс задачи металла не отличается от задачи проволоки в волоку при стандартном процессе волочения. После того, как конец заготовки выйдет из волоки он закрепляется с помощью захватывающих клещей и наматывается на барабан волочильного стана. В данном случае процесс протягивания заготовки через равноканальную ступенчатую матрицу и калибрующую волоку реализуется за счет приложения к концу заготовки вытягивающей силы.

Целью данной работы, которая выполняется в рамках выполнения госбюджетной финансируемой темы «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 гг.», является исследование влияния нового способа деформирования на возможность получения алюминиевой проволоки требуемого размера и требуемой формы профиля поперечного сечения с уникальным комплексом механических свойств.

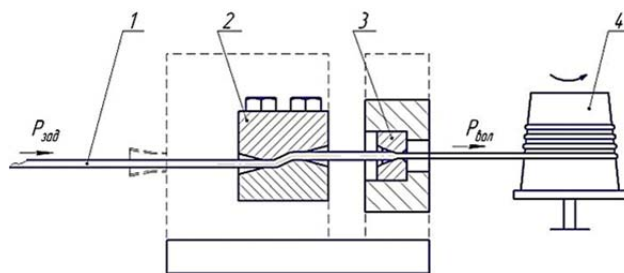


Рис. 1. Схема совмещенного процесса прессование-волочение:

1 – проволока; 2 – равноканальная ступенчатая матрица; 3 – волока в волокодержателе; 4 – барабан наматывающий

Для определения влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на изменение микроструктуры и механических свойств алюминиевой проволоки был проведен лабораторный эксперимент на промышленном волочильном стане В – I/550 М. Для осуществления первого цикла деформирования перед волокой с рабочим диаметром 6,5 мм была закреплена равноканальная ступенчатая матрица с диаметром каналов равным 7 мм и углом стыка каналов матрицы равным 135° (рис. 2). Матрица была расположена в контейнере для смазки. В качестве смазки использовали стружку мыла.

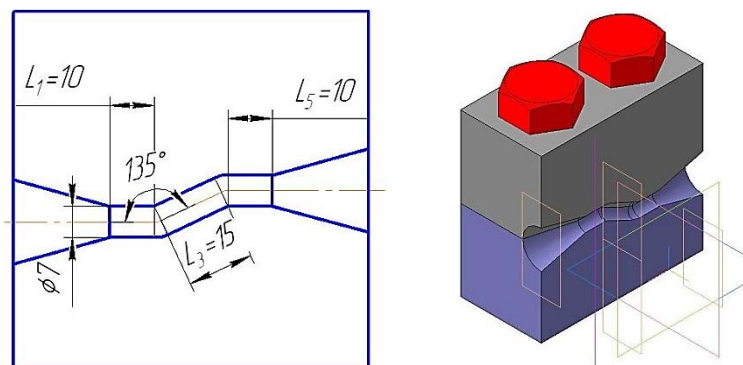


Рис. 2. Равноканальная ступенчатая матрица

После процесса прессование-волочение диаметр проволоки составил 6,5 мм. Все обжатие было осуществлено только в волоке, после выхода заготовки из равноканальной ступенчатой матрицы диаметр проволоки оставался без изменения и составлял 7,0 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.

После первого цикла деформирования для дальнейшего исследования меняли как волоку, так и равноканальную ступенчатую матрицу. Так при осуществлении второго цикла деформирования рабочий диаметр в волоке составлял 6,0 мм, а диаметр каналов равноканальной ступенчатой матрицы 6,5 мм, при осуществлении третьего цикла 5,5 мм и 6,0 мм соответственно.

Для выявления преимущества предлагаемой технологии по сравнению с действующей технологией производства проволоки было проведено обычное волочение алюминиевой проволоки в волоках с рабочими диаметрами 6,5; 6,0 и 5,5 мм. Эксперимент так же был продублирован три раза, и после каждого опыта производили измерение диаметра проволоки и вырезка темплетов для изготовления микрошлифов в поперечном и продольном направлении.

В качестве смазки при проведении обычного волочения так же использовали стружку мыла.

Для определения величины зерна использовали ГОСТ 5639-82 «Методы выявления и определения величины зерна». При определении балла зерна использовали оптический микроскоп Leica.

Результаты исследования микроструктуры алюминия, до и после третьего цикла деформирования представлены на рис. 3.

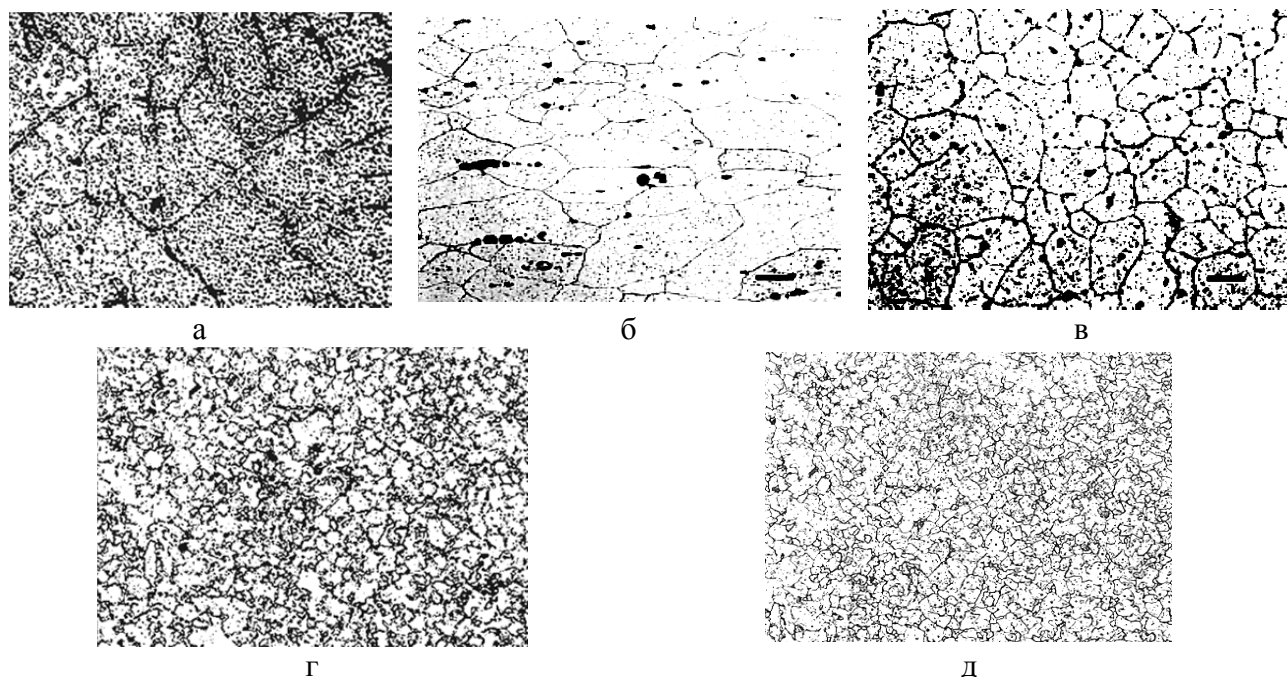


Рис. 3. Структура алюминиевой проволоки, $\times 100$:

а – исходная структура, 5–6 балл; б – по действующей технологии волочения продольное направление; в – по действующей технологии волочения поперечное направление, 6–7 балл; г – по предлагаемой технологии «РКУП-В» продольное направление; д – по предлагаемой технологии «РКУП-В» поперечное направление, 8–9 балл

Проведя металлографический анализ деформированных 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. Однако даже в результате значительных обжатий, полученных проволокой в процессе волочения, не все зерна измельчаются и оказываются развернутыми в направлении оси деформации. Как показывает металлографический анализ образцов, в результате неравномерного 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 рис. 3, б–в 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. Также можно отметить, что в продольном направлении деформированных образцов текстура ярко выражена и имеет полосчатый характер. 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.

При использовании предлагаемой технологии деформирования, т. е. совмещенного процесса «прессование-волочение», как видно из рис. 3, г–д, уже за три прохода произошло существенное изменение исходной микроструктуры, при этом значительно в меньшей степени выражена текстура, а соответственно и анизотропия. Предлагаемая совмещенная технология «прессование-волочение» устраняет недостатки процесса волочения. На первой стадии

волочения до обжатия 30–40 % формируется ячеистая структура. Локальное увеличение поля внутренних напряжений вызывает образование устойчивых микротрещин. Интенсивное раскрытие стабильных микродефектов приводит к релаксации напряжений, что в процессе последующей деформации открывает ранее заблокированные источники Франка-Рида. Одновременно совершенствуется ячеистая структура, возникает волокнистое строение и формируется текстура. 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 деформациях.

Помимо исследования изменения размера зерна при деформировании по действующей и предлагаемой технологии нами были исследованы механические свойства алюминиевой проволоки после каждого цикла деформирования по действующей и предлагаемой технологии деформирования, графики которых представлены на рис. 4

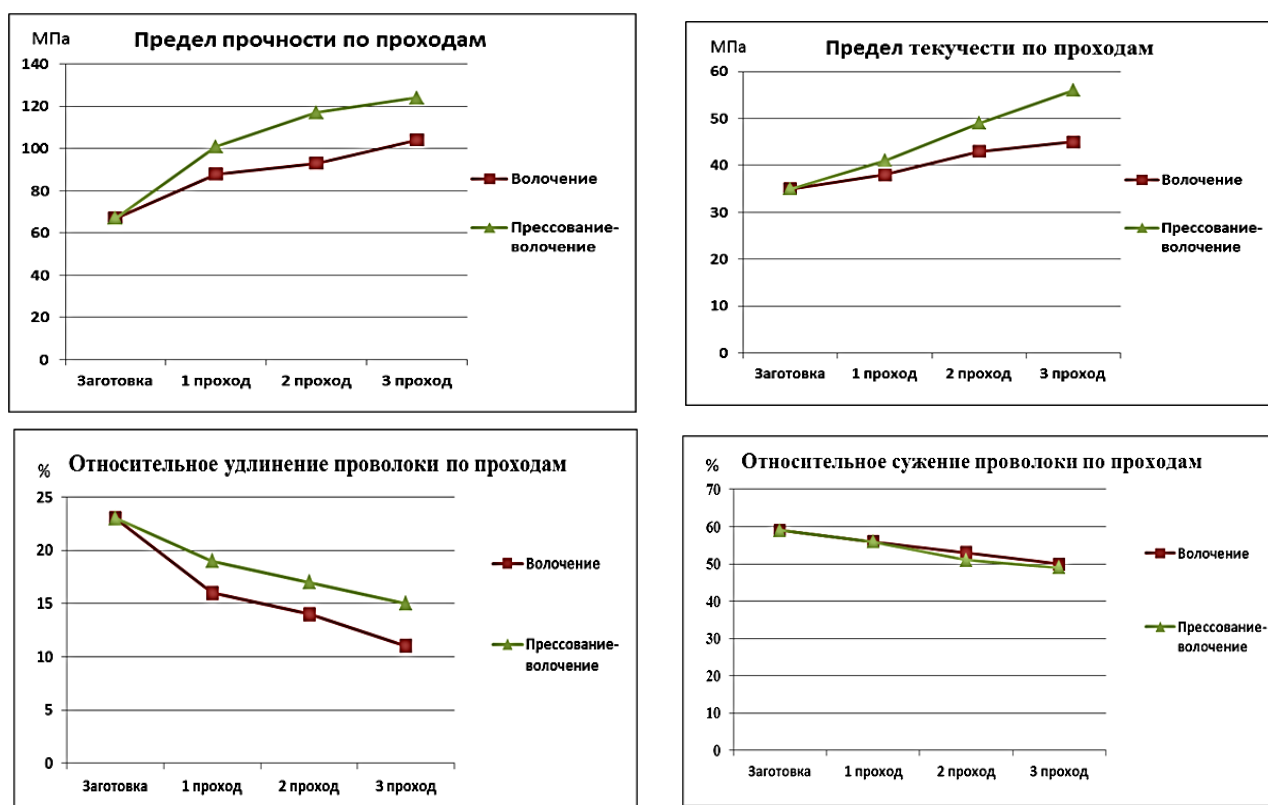


Рис. 4. Графики зависимости механических свойств алюминиевых образцов от количества проходов

Из графиков на рис. 4 видно, что при использовании новой совмещенной технологии производства алюминиевой проволоки, возможно добиться более высокого уровня прочностных свойств проволоки при таком же снижении пластических свойств, как и при использовании традиционной технологии волочения (при этом значения относительного удлинения при использовании предлагаемой технологии имеют более высокие значения по сравнению с действующей технологией), по обоим методикам наблюдается увеличение

прочностных характеристик с увеличением количества проходов, пластические характеристики же падают, но по предложенной методике относительное удлинение выше. То есть при использовании предлагаемой совмещенной технологии «прессование-волочение» уровень прочностных характеристик алюминиевой проволоки, полученной обычным волочением, достигается за меньшее количество проходов, что в свою очередь создает предпосылки к снижению интенсивности использования рабочего инструмента, а, следовательно, и меньшего его износа, и затрат энергетических и материальных ресурсов.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый совмещенный способ деформирования «прессование-волочение» обладает существенным преимуществом по сравнению с действующей технологией производства алюминиевой проволоки. Данный способ деформирования за счет совмещения двух способов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и процесса волочения через волоку, позволяет получать алюминиевую проволоку с субультрамелкозернистой структурой, требуемых размеров и формы поперечного сечения при незначительном количестве циклов деформирования. Так же хочется отметить, что данный способ деформирования при внедрении его в производство не требует значительных экономических вложений и существенного переоборудования существующих волочильных станков. Так как для реализации данного совмещенного процесса требуется только добавление в конструкцию оборудования специально изготовленной равноканальной ступенчатой матрицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найзабеков А. Б. Теоретические исследования совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – Москва, 2008. – № 6. – С. 22–26.
2. Найзабеков А. Б. Перспективный способ получения высококачественных заготовок - совмещенный процесс «прокатка-прессование» / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». – Юрга, 2009. – С. 142–148.
3. Найзабеков А. Б. Перспективы внедрения в промышленность Республики Казахстан новых технологий получения объемных наноструктурных металлов и сплавов и изготовления из них металлорежущего инструмента и деталей ответственного назначения / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев // *Труды международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» : сборник научных трудов*. – Темиртау, 2009. – С. 14–21.
4. Найзабеков А. Б. Математическое моделирование процесса равноканального углового волочения в ступенчатом инструменте / А. Б. Найзабеков, Э. М. Азбанбаев // *Республиканский научный журнал. Технология производства металлов и вторичных материалов*. – Темиртау, 2011. – № 1. – С. 178–186.
5. Волокитин А. В. Исследование влияния совмещенного процесса деформирования «прессование-волочение» на механические свойства стальной проволоки / А. В. Волокитин // *Тезисы докладов Межвузовской студенческой научной конференции «Инновации в технике, технологии и образовании»*. – Караганда, 2012. – Часть 4. – С. 95–96.

Лежнев С. Н. – канд. техн. наук, доц. КГИУ;

Волокитин А. В. – магистр КГИУ;

Волокитина И. Е. – магистр КГИУ.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: sergey_legnev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.03.2013 г.