

- ун-та «ХПИ». Технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2015. С. 181-184.
7. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Саввина Н.М. Усталость крупных деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
 8. Фиркович А.Ю., Полухин В.П., Николаев В.А. и др. // Бюл. ин-та «Черметинформация». 1974. № 23 (739). С. 44.
 9. Фиркович А.Ю. Повышение долговечности составных опорных валков // Сталь. 1981. № 10. С. 53-54.
 10. Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р., Белевская И.В., Клочков О.С., Фиркович А.Ю. Совершенствование технологии изготовления, методики расчета, кон-

струкций и условий эксплуатации прокатных валков: монография / Магнитогорск: МГТУ, 2015. 225 с.

11. Пат. на полезную модель №100436 РФ, МПК В21В 27/03. Бандажированный прокатный валок / Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р., Клочков О.С. и др. (РФ). Опубл.: 20.12.2010. Бюл. № 35.
12. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении/ Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М. СПб.: НИУ ИТМО. 2013. 103 с.
13. Алехин А.Г. Повышение нагрузочной способности соединений с натягом на основе лазерной закалки: Автореф. дис. к-та техн. наук, Волгоград. 2004. 18 с.



УДК 621.771

Э.И. Фахретдинова, Р.Ф. Галлямова, Г.И. Рааб
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»
г. Уфа, Россия

E-mail: yelka89@mail.ru

Дата поступления: 06.10.2016

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МУЛЬТИ-РКУП-КОНФОРМ

Аннотация

Показаны особенности деформированного состояния алюминиевого сплава системы Al-Mg-Si при практической реализации процесса Мульти-РКУП-Конформ. Данный способ обработки за один цикл обеспечивает уровень суммарной деформации сдвига, превышающий три единицы, что позволяет исключить многоцикловую обработку. Представлен расчет деформации сдвига, исследована трансформация микроструктуры алюминиевого сплава Al6101 и проанализирован характер течения материала. Выявлены участки затрудненного течения (застойные зоны) металла и определены причины их появления. Проведены оценки структурных состояний застойных зон и механического поведения полученных в этих условиях образцов.

Ключевые слова: методы интенсивной пластической деформации, алюминиевые сплавы, метод сеток, деформация сдвига.

Введение

Деформированное состояние металлов во многом отвечает за структурное состояние и уровень механических свойств деформируемых металлов. Поэтому исследование этого фактора в процессах ОМД является важным и значимым для адекватного анализа результатов обработки. Наиболее перспективными методами интенсивной пластической деформации (ИПД) для практического использования

являются РКУП-Конформ и Мульти-РКУП-Конформ, использующие разовые большие немонотонные деформации. В силу того, что этими методами можно получать длинномерные ультрамелкозернистые заготовки в виде прутков, катанки и проволоки с повышенными физико-механическими свойствами, тщательные исследования этих процессов весьма актуальны. Целью данной работы является оценка деформированного состояния методом сеток

с анализом характера течения материала, структурных особенностей и механического поведения, деформированных образцов из электротехнического алюминиевого сплава марки 6101 методом Мульти-РКУП-Конформ.

Методика исследований

В качестве материала исследования использовали термически упрочняемый сплав марки Al6101 системы Al-Mg-Si типа АВЕ [1] следующего химического состава: Al - основа; Mg - 0.58; Si - 0.54; Cu - 0.003; Fe - 0.2; Zn - 0.1 (масс. %). Данный сплав имеет электротехническое назначение и используется для производства токопроводящих жил и кабелей.

Исходные заготовки диаметром 12 мм и длиной 2700 мм подвергали термомеханической обработке, включающей отжиг при температуре 550°C в течение двух часов с последующим охлаждением в воду, и один цикл обработки в опытно-промышленной установке Мульти-РКУП-Конформ[2] с углами сопряжения каналов $\Phi_1=90^\circ$, $\Phi_2=120^\circ$, $\Phi_3=120^\circ$ (рисунок 1) при температуре 20°C. Данная геометрия оснастки была выбрана исходя из проведенных ранее исследований, представленных в работах [3-4].

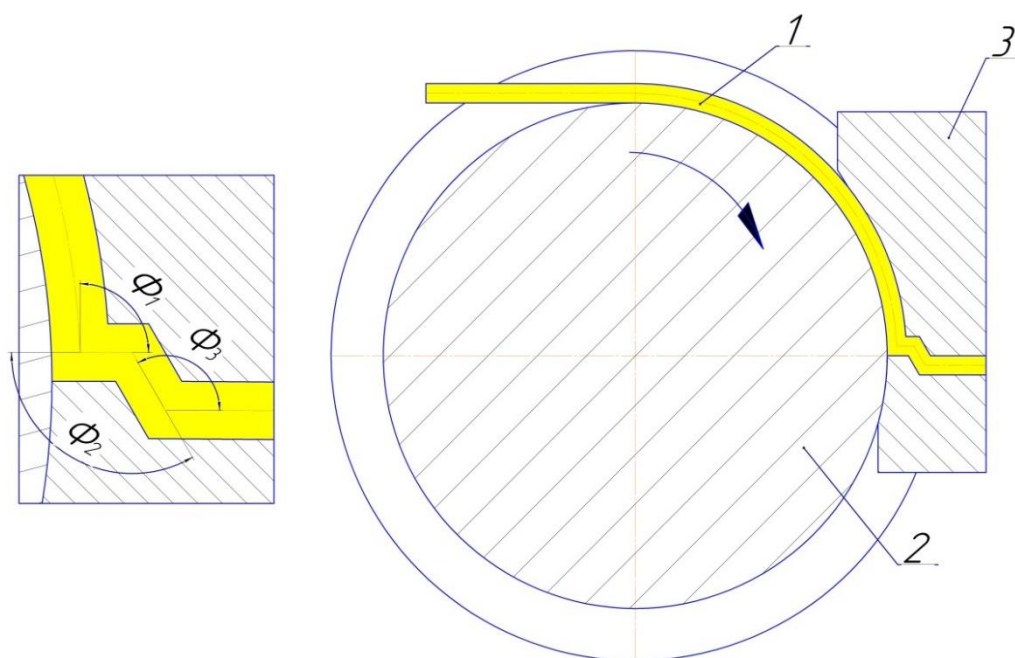


Рисунок 1. Схема процесса Мульти-РКУП-Конформ:

1- заготовка; 2 – рабочее колесо; 3 - матрица

После проведения Мульти-РКУП-Конформ структуру сплава исследовали на световом микроскопе «Olympus GX51». Для выявления структуры сплав предварительно подвергли химическому травлению в растворе Келлера.

Статические испытания на растяжение цилиндрических образцов с рабочей частью $\varnothing 3 \times 15$ мм проводили на универсальном динамометре Instron 8862 в соответствии с ГОСТ 1497-84. Характеристики прочности и пластичности материала опре-

деляли при растяжении образцов при комнатной температуре со скоростью деформации 1мм/с.

Экспериментальное изучение распределения деформаций проводили с помощью метода координатных (делительных) сеток, который широко используется при оценке процессов обработки металлов давлением [5-6]. Исследование проводили на составном образце длиной 150 мм, с размерами поперечного сечения 11x11мм. На одну из симметричных половинок внутреннего продольного (вертикального) сечения

алюминиевого образца наносили сетку с размером ячейки 2x2 мм (рисунок 2) Способ нанесения – механический, с использованием точного станочного оборудования; точность нанесения - $\pm 0,02$ мм; глубина и

ширина рисок – 0,25 мм. После деформации измеряли координаты сетки на инструментальном микроскопе; погрешность измерений – $\pm 0,01$ мм.

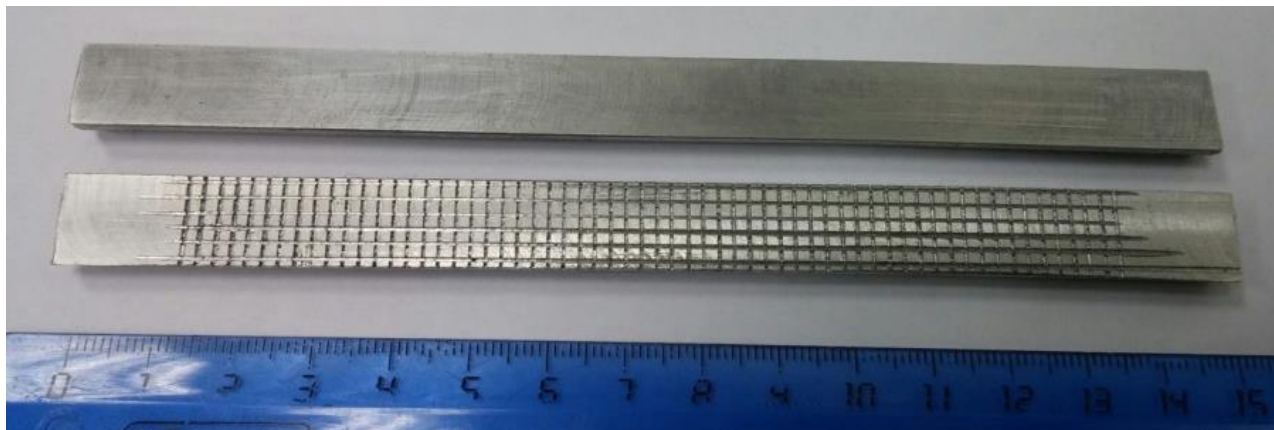


Рисунок 2. Параметры ячейки исходного образца

Сравнение двух любых соседствующих ячеек показывает деформацию ячейки за некоторый интервал времени. При этом предполагается, что в пределах ячейки она однородна и равна среднему значению по объему, ограниченному ячейкой.

Результаты исследований

Общий вид образца после деформации методом Мульти-РКУП-Конформ и характер искажения координатной сетки в диаметральной продольном сечении образца после трех актов сдвига показаны на рисунке 3. Видно, что ячейки сетки меняют свои геометрические размеры после каждого очага деформации. Анализ деформированного состояния проводили для областей, отмеченных черной сеткой. После первого очага деформации искажение геометрии ячеек при Мульти-РКУП-Конформ имеет такой же характер, как для традиционных процессов РКУП [7-10]. Застойная зона и контактное трение влияют на характер течения, так в приконтактной области ячейки более вытянутые и имеют больший угол наклона, чем в центральной части образца, что приводит, как правило, к лучшей проработке структуры [11].



Рисунок 3. Параметры ячеек после Мульти-РКУП-Конформ

На рисунке 4 представлена диаграмма, полученная после проведенных вычислений параметров ячейки сетки, на которой показаны величины накопленной степени деформации сдвига при прохождении трех очагов деформации.



Рисунок 4. Диаграмма величины накопленной степени деформации сдвига при прохождении трех очагов деформации

Видно, что после деформации методом Мульти-РКУП-Конформ накопленная степень деформации составляет 4,8 единиц, что, как правило, приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры, и, следовательно, к повышению механических свойств [8,12]. Эти данные коррелируют с известными теоретическими оценками степени деформации, представленными в работах [6-7].

Микроструктурные исследования

Кинетика изменения микроструктуры алюминиевой заготовки в процессе деформации методом Мульти-РКУП-Конформ представлена на рис. 5.

Видно из рисунка 5 (снимок 1), до ИПД структура образца однородная, видны

границы зёрен, зёрна преимущественно вытянутые, средний размер составляет 108 ± 55 мкм. После первого очага деформации (снимок 2) наблюдается тип структуры с сильно вытянутыми зёрнами и развитой субструктурой внутри зёрен.

Дальнейшая трансформация структуры происходит следующим образом: после второго очага деформации при сохранении полосчатости наблюдается активное дробление полос, а после третьего очага деформации формируются более равноосные зёрна, хотя некоторая полосчатость структуры сохраняется. Размер зёрен после обработки находится в микронном диапазоне и составляет порядка 48 ± 16 мкм с ультрамелкой внутренней субструктурой.

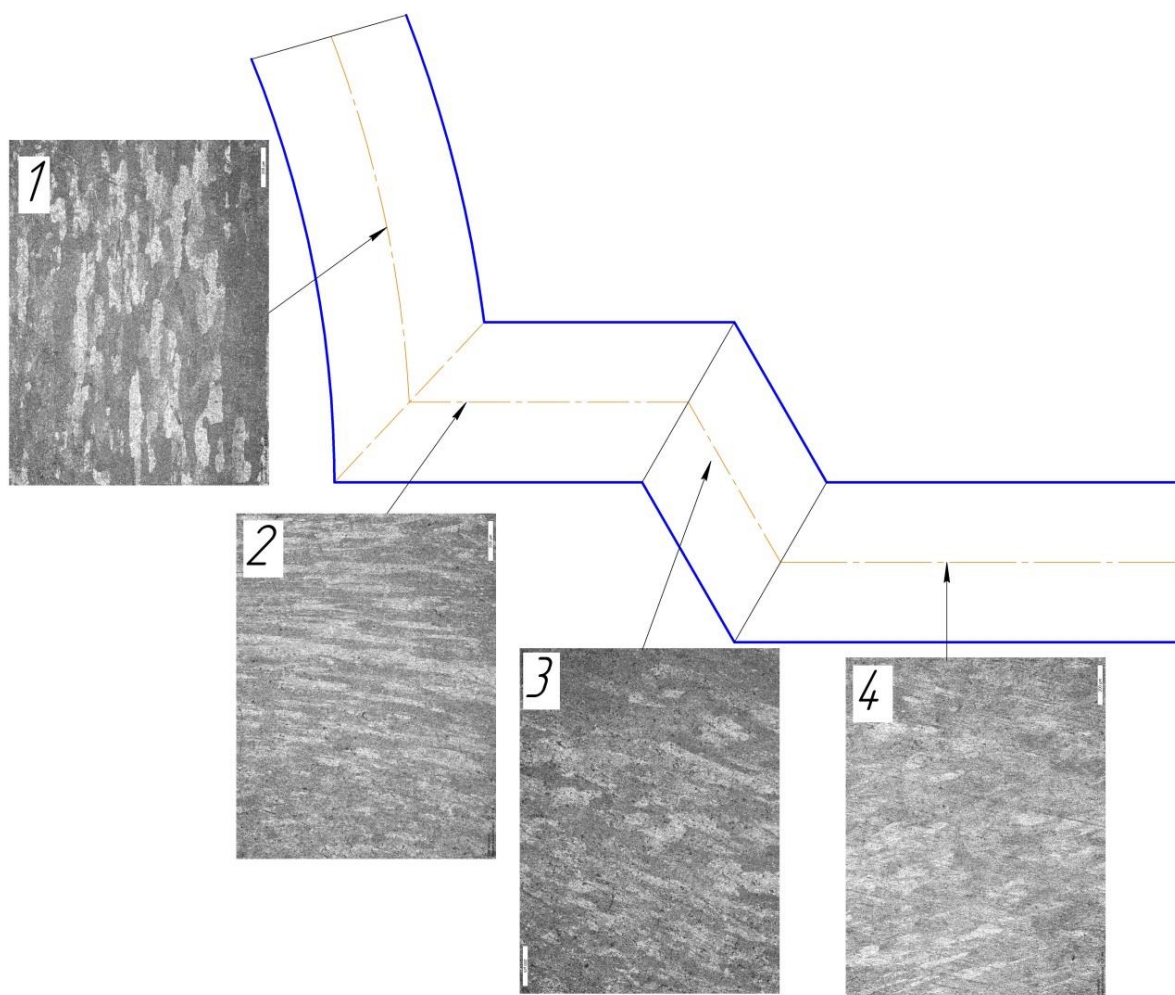


Рисунок 5.Изменение микроструктуры образца в процессе деформации методом Мульти-РКУП-Конформ

Таким образом, в процессе Мульти-РКУП-Конформ структура трансформируется из крупнозернистой в смешанную ультрамелкую, что приводит к повышению прочностных свойств (таблица 1).

Механические свойства алюминиевого сплава после обработки методом Мульти-РКУП-Конформ

Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
Исходное состояние	140±4	120±3	15.0±1.0
Мульти РКУП-Конформ	210 ± 11	160±34	11.5±1,0

Как видно из табл.1, прочность возросла со 140 до 210 МПа, то есть на 66% по сравнению с состоянием поставки, пластичность при этом снизилась до 11.5%. Такое механическое поведение наиболее характерно после обработки методами ИПД. Таким образом, можно констатировать, что ИПД методом Мульти-РКУП-Конформ приводит к существенному измельчению структуры и повышению прочности.

Заключение

1. С помощью метода делительных сеток оценен характер течения материала в процессе обработки методом Мульти-РКУП-Конформ и проведен расчет накопленной деформации. Установлено, что в процессе пластической обработки наблюдается некоторая неоднородность пластического течения в первом очаге деформации, а также происходит интенсивное накопление деформации, причем расчетная суммарная степень деформации сдвига после одного цикла обработки для средней области образца составляет 4,3 единицы.

2. После обработки методом Мульти-РКУП-Конформ в алюминиевой заготовке марки Al6101 формируется зеренно-субзеренная структура с размером зерен порядка 48 ± 16 мкм, которая приводит к повышению прочности материала со 140 до 210 МПа по сравнению с исходным состоянием.

Благодарность

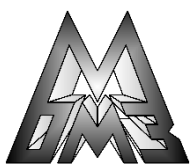
Проведение деформации методом Мульти-РКУП-Конформ и анализ методом сеток были выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-01062) в ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет». Исследование микроструктуры

было проведено в рамках гранта Президента Российской Федерации № НШ-7996.2016.8 для поддержки ведущих научных школ.

Библиографический список

1. Воронцова Л.А., Маслов В.В., Пешков И.Б. Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях. - М.: Энергия, 1971. - 224с.
2. Патент РФ № 2013156136/02 17.12.2013 Рааб Г.И., Фахретдинова Э.И., Капитонов В.М., Валиев Р.З. Способ непрерывного равноканального углового прессования металлических заготовок в виде прутка // Патент России № 2560474. 2013. Бюл. №23.
3. Фахретдинова Э.И., Рааб Г.И., Валиев Р.З. Исследование течения металла в процессе Мульти-РКУП-Конформ // Advanced Engineering Materials. - 2015. - Т.17. - С. 1723–1727.
4. Рааб Г.И., Фахретдинова Э.И., Валиев Р.З., Трифоненков Л.П., Фролов В.Ф. Компьютерное исследование влияния геометрии оснастки на деформационные параметры пластической обработки алюминиевой катанки методом Мульти-РКУП-Конформ // Metallurg. - 2015. - № 11.
5. Ренне И.П. Теоретические исследования деформаций методом сеток в процессах обработки металлов давлением. - Тула: ТПИ, 1979. - 97с.
6. Сегал В. М., Резников В. И., Копылов В. И. и др. Процессы пластического структурообразования металлов. — Минск: Наука и техника, 1994. - 232с.
7. Segal V.M. Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel angular extrusion // Materials Science and Engineering A. - 2003. - Vol. 345. - P. 36–46.

8. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. - М.: Академкнига, 2007. - - 398с.
9. Утяшев Ф.З., Рааб Г.И. Деформационные методы получения и обработки ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов. – Уфа: Гилем, 2013. – 376с.
10. Г.И. Рааб, К.Н. Макарычев, Р.З. Валиев. Особенности НДС при РКУП с противодавлением // Физика и техника высоких давлений. – 2005. - № 1. - С.72-79.
11. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Гилян В.Г. Трение и смазки при обработке металлов давлением: Справоч. изд. - М.: Металлургия, 1982. - 431с.
12. Э.И. Фахретдинова, Е.В. Бобрук, Г.Ю. Сагитова, Г.И. Рааб. Структура и свойства алюминиевого сплава системы Al-Mg-Si после обработки методом Мульти-РКУП-Конформ // Письма о материалах. – 2015. - №2. – С.202-206.
13. Fakhretdinova E., Raab G., Ryzhikov O., Valiev R. Processing ultrafine-grained Aluminum alloy using Multi-ECAP-Conform technique // 2014 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 63 012037.



УДК 621.793

А.А. Герасимова, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов
 ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
 технологический университет «МИСиС»
 г. Москва, Россия
 E-mail: allochka@rambler.ru
 Дата поступления: 03.10.2016

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ И ФАЗОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕДИ ДЛЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Аннотация

В работе для повышения срока службы кристаллизаторов МНЛЗ исследовали структуру алюминиевого и хромоникелевого покрытий, состав фаз, твердость и микротвердость поверхностных слоев на меди М1.

Нанесение хромоникелевого покрытия с алюминиевым подслоем для повышения стойкости узких стенок кристаллизаторов МНЛЗ возможно при условии достижения связи пористого слоя с α -фазой или уменьшения пористости слоя.

Ключевые слова: кристаллизатор МНЛЗ, алюминиевое и хромоникелевое газотермическое покрытие, структура, фазовый состав, твердость, микротвердость.

Введение

Известно, что многие детали оборудования металлургического производства (кристаллизаторы, конвертерные и доменные фурмы и т.д.) изготавливают из меди и ее сплавов, которые имеют высокие электро- и теплопроводность [1, 2]. В то же время медь имеет низкие жаростойкость и износостойкость [3]. Опыты показали, что оксиды меди не сопротивляются тепловым ударам и разрушаются после первой же теплосмены, а также отслаиваются при испытании на трение.

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств изделий из меди

является термодиффузионное насыщение поверхности легирующими элементами [4]. Одним из основных элементов, используемым для насыщения, является алюминий. Алитирование можно проводить, например, методом насыщения в порошковой смеси, состоящей из 50% алюминиевой пудры, 49% Al_2O_3 и 1% NH_4Cl [5]. Износостойкость алитированных образцов из меди увеличивается в 1,3 раза [6]. Однако метод диффузионного насыщения в порошковых смесях является сравнительно трудоемким и обладает низкой производительностью.

Наиболее перспективным направлением снижения интенсивности износа ра-