

2. Шеров К.Т. и др. Способ термофрикционной режущо-упрочняющей обработки цилиндрических поверхностей и конструкция диска трения // Патент №25649 РК на изобретение. 16.04.2012г., бюл. №4.
3. Шеров К.Т., Мусаев М.М. и др. Способ термофрикционной отрезки металлических заготовок с охлаждением и конструкция дисковой пилы. // Заключение о выдаче патента на изобретение. Решение №92 от 30.01.2017г.
4. Sherov K.T., Musayev M.M. and others. Experimental study of turn-milling process using special friction mill made of steel HARDOX / Metallurgical and Mining Industry. Volume №11-2016 p.52-59.
5. Шеров К.Т., Шеров А.К., Мусаев М.М., Курмангалиев Т.Б. Қиын өңделетін материалдарды фрезалап-жону әдісімен өңдеу / Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2016.- №3(73)- С. 116-122.
6. Шеров К.Т., Мусаев М.М. Расчет коэффициента усадки стружки при обработке стали 30ХГСА фрезоточением / Механика и технологии. – Тараз: Изд-во «Тараз университети» ТарГУ им. М.Х. Дулати, 2016.- №3- С.36-42.
7. Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Алексеев А.Г., Васильев А.П. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей / Вестник СВФУ, № 4(48) 2015. – С.51-63.
8. Сафронов А.В. Разработка и исследование термочувствительных полимерных волокнистых композиционных материалов. Автореферат диссертации по машиностроению и машиноведению.
9. Шеров К.Т., Альжанов М.К., Мусаев М.М., и др. Optimization of the conditions of convective drying of thermosensitive materials / Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, Vol. 46 No. 4 (2016) pp. 17-25.
10. Грязев М.В., Степаненко А.В. Перспективные технологии обработки поверхностей вращения фрезерованием / Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч.1. – С. 130-136.
11. Грязев М.В., Степаненко А.В. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей торцовыми фрезами / Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч.1. – С. 140-148.
12. А.с. №319380. Способ токарной обработки / Опубликовано 02.11.1971. Бюллетень №33.
13. А.с. №346029. Способ механической обработки / Опубликовано 28.07.1972. Бюллетень №23.
14. Полехин В.С. Исследование торцовых головок для точения длинных валов: Новые технологические процессы в машиностроении: сборник науч. трудов. М., 1971. С.11-12.
15. High Speed crankshaft miller-Iron Age Metallwork Int. 1973. 12. №5. P.35-36.
16. Kuljanic Elso, Merchant M.E. An investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling // GIRP. 1973. 22. № 1. P. 133-134.
17. Rohs H.G. Wirbeln von Kurbelwellen // Werkstattimd Betrlieb. 1972. 105. №9.P.633-636.
18. Wek. Charles. Future of material a delphiforesanst // Manuf. Eng. (USA) 1977. 79. № 1. P.59-60.
19. Технология механической обработки артиллерийских снарядов. М.: Оборонгиз, 1948. 658 с.
20. Шеров К.Т., Мусаев М.М. Способ термофрикционного фрезоточения и конструкция фрезы трения / Заявление о выдаче патента РК на изобретение. 23.02.2017г.
21. Шеров К.Т., Мусаев М.М. и др. Универсальное устройство для токарного станка / Заявление о выдаче патента РК на изобретение. 01.03.2017г.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ТОНКУЮ СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Г.К. Уазырханова, PhD, доц., Б.К. Рахадиллов, PhD, доц., Ж.К. Уазырханова, препод.

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева

070010, г. Усть-Каменогорск, улица Серикбаева 19

E-mail: GUazyrhanova@mail.ru

Аннотация: Методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа, а также механических испытаний были исследованы влияния интенсивной пластической деформации на тонкую структуру и механические свойства алюминиевых сплавов. Установлено, что в исходном состоянии в сплаве АМЦ наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $5-10 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$. Показано, что микродифракционных картинах в сплава АМЦ в объеме зерен наблюдаются равномерно распределенные частицы второй фазы. Установлено, что в исходном состоянии в сплаве АМГ6 наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $2-6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Определено, что после РКУП дислокационная структура сплавов АМЦ и АМГ6

изменяется: формируются дислокационные сетки, внутри фрагментов дислокации практически не наблюдаются. Размер фрагментов около 0,5 мкм. Темнопольный анализ показал, что большинство границ разориентаций являются малоугловыми. Определено, что после РКУП-12 сплава АМЦ возрастают его предел прочности от 91 МПа до 297 МПа, а предел текучести от 75 МПа до 297 МПа. После РКУП-12 сплава АМГ6 возрастают его предел прочности от 359 МПа до 565 МПа, а предел текучести от 279 МПа до 565 МПа. Показано, что после РКУП АМЦ и АМГ6 прочностные характеристики повышаются, пластичность сплавов АМЦ и АМГ6 падает при переходе в ультрамелкозернистое состояние при РКУП. Значение удлинения до разрушения образцов сплавов АМЦ и АМГ6 уменьшается до 40% и 20%, соответственно.

Введение

Как известно, повышение механических характеристик алюминиевых сплавов путем применения традиционных видов термической обработки подробно изучены и практически исчерпаны. Недостатками этого метода является ограниченная область применения (только для проволоки), ограничения по температуре эксплуатации, а также получение высоких значений прочности, при малой пластичности материала [1]. Дальнейший прогресс в решении этих задач может быть достигнут путем применения перспективных деформационных методов. Поэтому в последнее время все больше внимания исследователей направлено на развитие и исследование СМК и НК состояний, полученных методами ИПД в недорогих сплавах, таких как алюминиевые сплавы, которые позволяют значительно расширить класс конструкционных материалов благодаря созданию повышенных прочностных свойств в них [2-4].

Одним из известных методов ИПД, позволяющий обеспечить высокую интенсивность и более однородное деформированное состояние, является равноканальное угловое прессование (РКУП). На сегодня этот метод активно исследуется и используется для получения объемных СМК материалов [5]. Другие методы ИПД: всесторонняя ковка, деформация кручением под высоким давлением, сдвиг под давлением, винтовая экструзия, низкотемпературная деформация и другие имеют ряд недостатков, в первую очередь, связанных с экономическими показателями процессов. Однако, несмотря на значительное количество проведенных экспериментальных работ, полученных методами ИПД в алюминиевых сплавах до сих пор не выяснены особенности тонкой структуры деформированных алюминиевых сплавов.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование влияния ИПД на тонкую структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

Материал и методы исследования

В качестве материала исследования были выбраны алюминиевые сплавы АМЦ и АМГ6 широко применяемые в современной авиации, самолетостроении, судостроении, железнодорожном транспорте, автомобильном транспорте, строительстве, нефтяной и химической промышленности. Химический состав алюминиевых сплавов: АМЦ – 96.35-99% Al; 1-1.5% Mn; 0.6% Si; 0.7% Fe; 0.05-0.2% Cu; 0.1% Zn, АМГ6-91.1-93% Al; 0.5-0.8% Mn; 0.4% Si; 0.4% Fe; 0.1% Cu; 0.2% Zn; 5.8-6.8% Mg. При исследовании использовали исходные заготовки из алюминиевых сплавов АМЦ и АМГ6 диаметром 12 мм, длиной 50 мм. Диаметры каналов прессования составили: входного (вертикального) 13 мм, выходного 12 мм. Угол пересечения каналов прессования составили соответственно 90 и 120°. Используемые маршруты прессования: В_с (поворот на 90°) и С (поворот на 180°). РКУП проводили с использованием оснастки, который был установлен на гидравлическом прессе марки KNWP 30M. Гидравлический пресс дает максимальное давление до 40 МПа (30 т). Прессование образцов производили давлением до 30 кг/см², при времени прессования до 40 с на каждый проход.

Экспериментальные исследования проводили в лабораториях научно-исследовательского института «Нанотехнологии и новые материалы» и Региональной университетской лаборатории инженерного профиля «ИРГЕТАС» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева.

Результаты и их обсуждения

Результаты исследования механических свойств алюминиевых сплавов АМЦ и АМГ6 показали, что в результате равноканального углового прессования микротвердость сплава АМГ6 возрастает почти в 4 раза, по сравнению с исходным состоянием; микротвердость сплава АМЦ возрастает, что почти в 4,5 раза выше, чем в исходном состоянии. После РКУП-12 потеря массы снижается до 5,4-5,6 мг, что показывает увеличение износостойкости алюминиевых сплавов АМГ6 и АМЦ на 13-14 % [6].

Также основной задачей работы являлось повышение предела прочности алюминиевых сплавов АМГ6 и АМЦ при сохранении или увеличении пластичности. Получение сплава с такими свойствами позволит во многих случаях заменить дорогостоящие алюминиевые сплавы, типа 1575. В связи с этим были исследованы механические свойства сплавов АМГ6 и АМЦ до и после РКУП. На рисунке 1 представлены деформационные кривые сплавов АМГ6 и АМЦ в исходных состояниях и после РКУП.

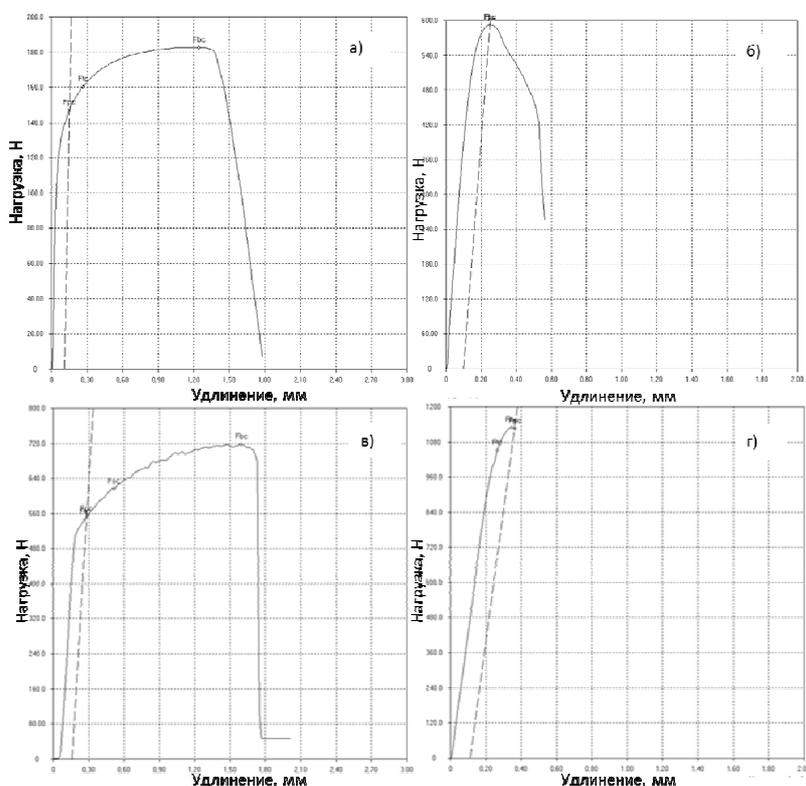


Рис. 1. Деформационные кривые сплавов АМЦ (а, б) и АМГ6 (в, г) в исходном состоянии (а, в) и после РКУП-12 (б, г).

Сравнение данных кривых указывает на существенное различие прочностных характеристик исходных и деформированных РКУП образцов сплавов АМЦ и АМГ6. Отличительными чертами также являются протяженность стадии деформационного упрочнения. Из формы кривых следует, что деформационное упрочнение на стадии пластического течения в РКУП образцах меньше, чем в исходном состоянии.

В таблице 1 приведены механические свойства образцов сплавов АМЦ и АМГ6 до и после РКУП. После РКУП-12 сплава АМЦ возрастают его предел прочности от 91 МПа до 297 МПа, а предел текучести от 75 МПа до 297 МПа. После РКУП-12 сплава АМГ6 возрастают его предел прочности от 359 МПа до 565 МПа, а предел текучести от 279 МПа до 565 МПа.

В то время как значения прочностных характеристик повышаются, пластичность сплавов АМЦ и АМГ6 падает при переходе в ультрамелкозернистое состояние при РКУП. Значение удлинения до разрушения образцов сплавов АМЦ и АМГ6 уменьшается до 40% и 20%, соответственно.

Таблица 1

Механические свойства образцов сплавов АМЦ и АМГ6

Механические свойства	АМЦ - исходный	АМЦ-РКУП-12	АМГ6-исходный	АМГ6-РКУП-12
Предел прочности, (МПа)	91	297	359	565
Предел текучести, (МПа)	75	297	279	565
Относительное удлинение, (%)	5	3	10	8

Результаты исследования тонкой структуры показали, что в исходном состоянии в сплаве АМЦ наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $5-10 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ (рисунок 2). В объеме зерен наблюдаются равномерно распределенные частицы второй фазы. На микродифракции обнаруживаются рефлексы от ГЦК фазы с параметром решетки, близким к параметру решетки алюминия, а также дополнительные отражения от плоскостей с межплоскостным расстоянием $d_{hkl}=4,00 \text{ \AA}$, $d_{hkl}= 2,87 \text{ \AA}$, $d_{hkl}= 2,40 \text{ \AA}$, $d_{hkl}= 2,24 \text{ \AA}$, $d_{hkl}=2,04 \text{ \AA}$. Темнопольное изображение частицы в рефлексе с $d_{hkl}= 2,87 \text{ \AA}$ приведено на рисунке 2.



Рис. 2. Светлопольное изображение (а) структуры и микродифракционная картина (б) с участка деформированного сплава АМЦ и темнопольное изображение (в) структуры сплава АМЦ в рефлексе второй фазы

После РКУП наблюдается разбиение материала на мелкие разориентированные фрагменты. На микродифракции обнаруживаются рефлексы от ГЦК фазы с параметром решетки, близким к параметру решетки алюминия. Отражения от вторых фаз отсутствуют. На изображении структуры частиц вторых фаз также не наблюдаются. Размер фрагментов (около 1 мкм) легко оценить по рисунку 3. Темнопольный анализ (рисунок 3) показал, что большинство границ разориентаций являются малоугловыми (примерно 2-5 градусов). Дислокационная структура изменяется: формируются дислокационные сетки (указаны стрелками на рисунке 4), внутри фрагментов дислокации практически не наблюдаются.

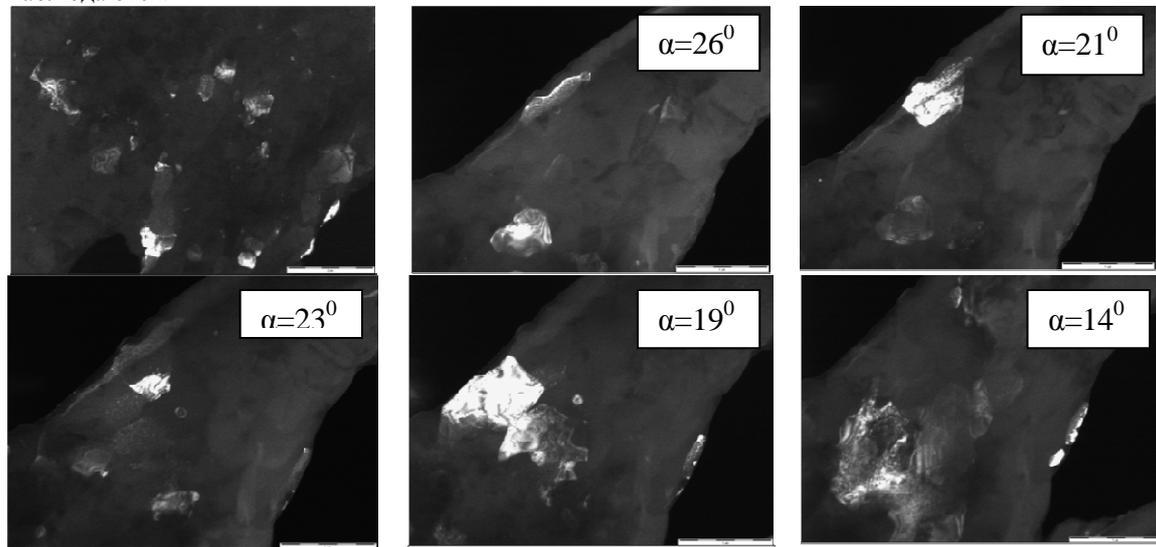


Рис. 3. Темнопольные изображения структуры сплава АМЦ после РКУП в матричном рефлексе (α – показание гониометра)

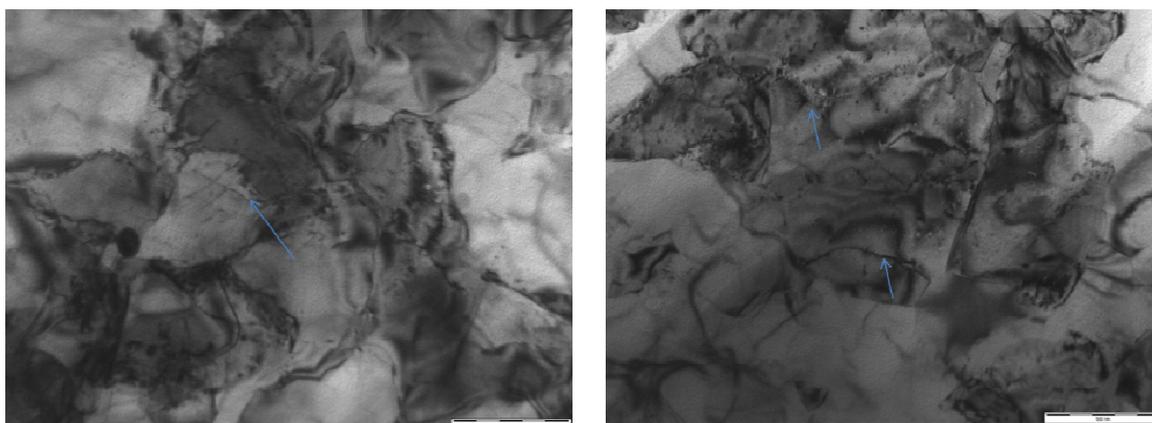


Рис. 4. Светлопольное изображение структуры сплава АМЦ

Методом ПЭМ также исследовались тонкая структура деформируемый алюминиевый сплав системы Al-Mg-Mn – сплав АМГ6. Сплав АМГ6 сочетает удовлетворительную прочность с хорошей пластичностью, коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. Это определяет широкое применение сплава АМГ6 в судостроении, строительстве, ракетостроении и авиации.

На рисунке 5 показаны светлопольные изображения тонкой структуры сплава АМГ6 и его микродифракция. В исходном состоянии в сплаве АМГ6 наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $2-6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. В объеме зерен наблюдаются равномерно распределенные частицы второй фазы. На микродифракции обнаруживаются рефлексы от ГЦК фазы с параметром решетки, близким к параметру решетки алюминия, а также дополнительные отражения от плоскостей с межплоскостным расстоянием $d_{hkl} = 2,57 \text{ \AA}$, $d_{hkl} = 2,35 \text{ \AA}$, $d_{hkl} = 2,15 \text{ \AA}$, $d_{hkl} = 2,09 \text{ \AA}$, $d_{hkl} = 1,68 \text{ \AA}$.

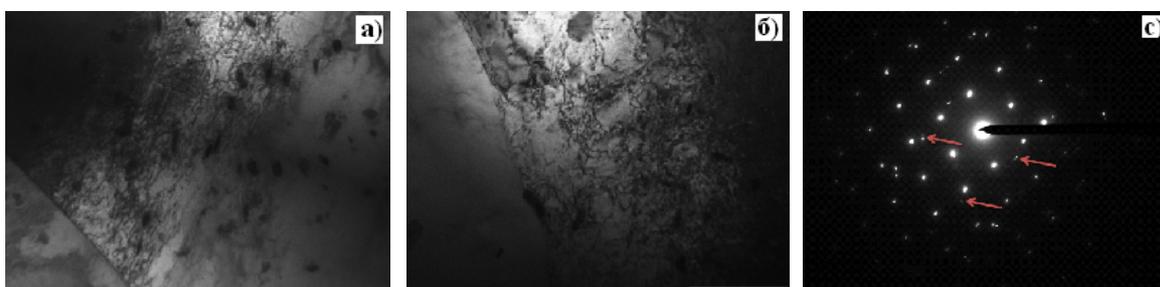


Рис. 5 - Светлопольные изображения структуры сплава АМГ6 - (а, б,) и микродифракция с участка образца (с). Плоскость (110) с параметрами Al и отдельные рефлексы от вторых фаз (указаны стрелками)

После РКУП наблюдается разбиение материала на мелкие разориентированные фрагменты. На микродифракции обнаруживаются рефлексы от ГЦК фазы с параметром решетки, близким к параметру решетки алюминия. Присутствуют отдельные рефлексы от вторых фаз, однако, на изображении структуры частиц вторых фаз практически не наблюдаются. Темнопольный анализ (рисунок б) показал, что большинство границ разориентаций являются малоугловыми (примерно 2-5 градусов). Дислокационная структура изменяется: формируются дислокационные сетки (указаны стрелками на рисунке 7), внутри фрагментов дислокации практически не наблюдаются. Размер фрагментов около 0,5 мкм.

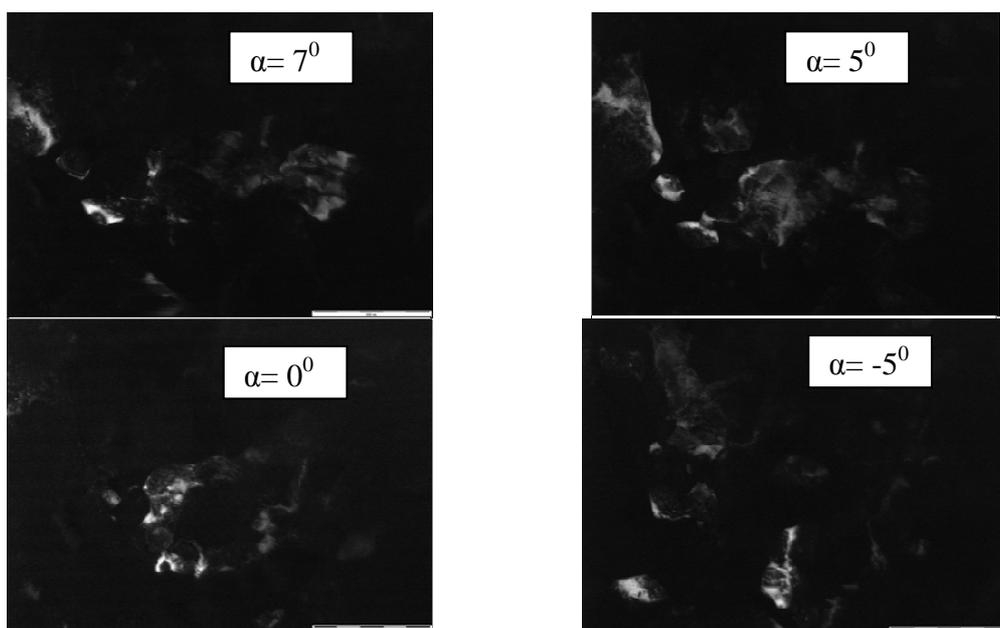


Рис. 6 - Темнопольное изображение структуры сплава АМГ6 в матричном рефлексе (α – показания гониометра)

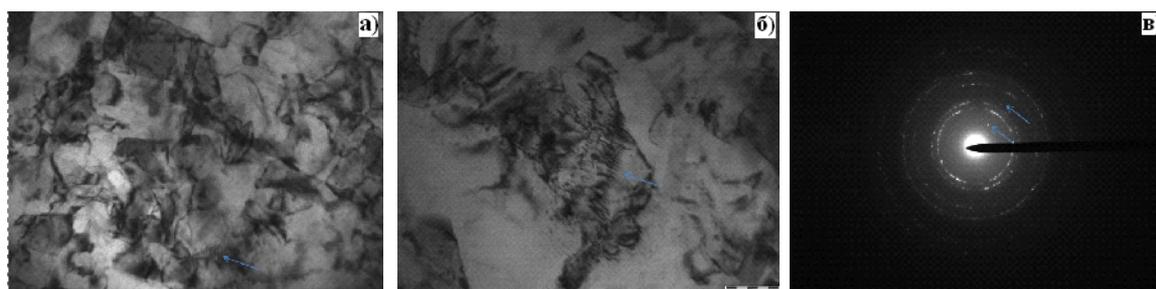


Рис. 7. Светлопольное изображение структуры сплава АМГ6 и микродифракция с участка образца

Заключение

Таким образом, на основании полученных результатов исследования влияния интенсивной пластической деформации на тонкую структуру и механические свойства алюминиевых сплавов можно сделать следующие выводы:

- установлено, что в исходном состоянии в сплаве АМЦ наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $5-10 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$;
- показано, что микродифракционных картинах в сплава АМЦ в объеме зерен наблюдаются равномерно распределенные частицы второй фазы;
- установлено, что в исходном состоянии в сплаве АМГ6 наблюдается высокая плотность хаотично распределенных дислокаций с плотностью $2-6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$;
- определено, что после РКУП дислокационная структура сплавов АМЦ и АМГ6 изменяется: формируются дислокационные сетки, внутри фрагментов дислокации практически не наблюдаются. Размер фрагментов около 0,5 мкм. Темнопольный анализ показал, что большинство границ разориентаций являются малоугловыми;
- определено, что после РКУП-12 сплава АМЦ возрастают его предел прочности от 91 МПа до 297 МПа, а предел текучести от 75 МПа до 297 МПа. После РКУП-12 сплава АМГ6 возрастают его предел прочности от 359 МПа до 565 МПа, а предел текучести от 279 МПа до 565 МПа;
- показано, что после РКУП АМЦ и АМГ6 прочностные характеристики повышаются, пластичность сплавов АМЦ и АМГ6 падает при переходе в ультрамелкозернистое состояние при

РКУП. Значение удлинения до разрушения образцов сплавов АМЦ и АМГ6 уменьшается до 40% и 20%, соответственно.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета Науки МОН РК по теме "Получение субмикроструктурированных алюминиевых сплавов с высокими физико-механическими свойствами методом интенсивной пластической деформации".

Литература.

1. O. Sitdikov, S. Krymskiy, M. Markushev, E. Avtokratova, T. Sakai. Effect of heat treatment on nanostructuring in high-strength aluminum alloy by severe plastic deformation // Rev. Adv. Mater. Sci. -2012. -Vol.31. -P. 62-67;
2. L. L. Rokhlin, N.R. Bochvar, A.V.Sukhanov, N. P. Leonova. Structure and strength properties of the cold-deformed Al-Mg2Si-based alloys with additives of transition metals // Inorganic Materials: Applied Research- 2016.- Volume 7, Issue 5. – P. 682–686;
3. I.G. Brodova, I.G. Shirinkina, O.A. Antonova, E.V. Shorokhov, I.I. Zhgilev. Formation of a submicrocrystalline structure upon dynamic deformation of aluminum alloys // Materials Science and Engineering: A.- 2009.-Volume 503, Issues, -P. 103–105;
4. G. Brodova, A. N. Petrova, S.V. Razorenov, O. P. Plekhov, E. V. Shorokhov. Deformation behavior of submicrocrystalline aluminum alloys during dynamic loading // Russian Metallurgy (Metally).- 2016.- Volume 2016, Issue 4, P. 342–348;
5. Gholinia, P.B. Prangnell, M.V. Markushev. The effect of strain path on the development of deformation structures in severely deformed aluminium alloys processed by ECAE // Acta Materialia-2000.-Volume 48, Issue 5, -P. 1115–1130;
6. G.K.Uazyrkhanova, B.K. Rakhadilov, A.A. Myakinin, Zh.K.Uazyrkhanova. Effect of intensive plastic deformation on microstructure and mechanical properties of aluminum alloys // Materials Science and Engineering -2016, -Volume 142, -P.11-17;
7. M. Skakov, G. Uazyrkhanova, N. Popova, M. Scheffler: Influence of deformation on the phase structure of a 30CrMnSi steel. // Materials testing. – 2013. -Vol.55. -№1. -P.51-54.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРУЗИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ПЕРЕГРЕВА RDF-СЫРЬЯ В ШНЕКОВОМ ПРЕССЕ В ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЯХ YADE И ROCKY

К.В. Епифанцев

Санкт-Петербургский горный университет,

Российская Федерация, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-ая линия, д. 2

epifancew@gmail.com, тел. 89633437759

Аннотация: Из образующихся в России отходов для дальнейшей переработки методом экструзии пригодно от 70 до 73 %, в объёме это 55-56 млн м³. Это связано, прежде всего, с ограниченными возможностями экструдера – используемые материалы для производства шнеков и корпусов неспособны переобработать металлические, изделия, изделия из стекла. Также с целью производства качественного топлива необходима сортировка загружаемой массы с целью уменьшения зольности производимых пеллет Рисунок 1.

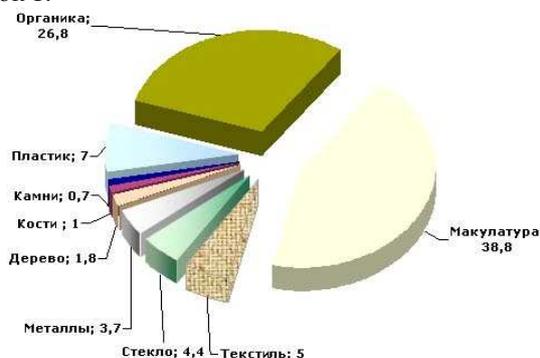


Рис. 1. Усредненный состав отходов при вывозе на полигоны в России службами ЖКХ