

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

STUDY OF THE PROCESS OF EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING OF ALUMINUM ALLOY

Найзабеков А.Б.⁽¹⁾, Jiri Kliber⁽²⁾, Андреященко В.А.⁽¹⁾, Radim Kocich⁽²⁾

(1) РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
(2) VSB-Технический университет, Острава, Чешская Республика, Vi-ta.z@mail.ru

This work is dedicated to the research of the influence of equal channel angular pressing to the microstructure and mechanical properties of the alloy based on aluminum. As a result of the carried out research it is found out that there are the properties improvement after ECAP. There by structure and mechanical properties depend on the ECAP route. The ECAP 4 cycles realization provides the formation on uniform ultra fine structure on the B_C route as well as C route. The experiments showed that alloy based on aluminum allows to obtain ultra fine structure (0,8-1,2 μm) already after 2 passes of ECAPB.

Сплавы на основе алюминия имеют принципиальное значение для современного состояния техники и технологии. Использование изделий, изготовленных из сплавов на основе алюминия, позволяет существенно облегчить конструкции и продлить срок их эксплуатации. Одним из важнейших ограничений, препятствующих широкому использованию алюминия в конструкциях и узлах ответственного назначения являются его не высокие механические характеристики по сравнению со стальными аналогами. Для устранения этого недостатка исследователи используют различные технологии,

повышающие механические и эксплуатационные характеристики алюминиевых сплавов. Многие авторы используют для повышения характеристик сплавов равноканальное угловое прессование (РКУП) [1-5].

В данной работе выполнено исследование процесса равноканального углового прессования алюминиевых сплавов, относящихся к разным группам, но имеющих в своем составе Al, Si, Fe и некоторые другие элементы. Химический состав сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Химический состав алюминиевых сплавов

Химический элемент	Al	Si	Mn	Fe	Cu	Ca	Mg	Pb
Содержание в сплаве 1, %	93	0,2	0,55	0,31	3,89	-	0,8	1,25
Содержание в сплаве 2, %	93,72	4,0	1,12	0,5	0,32	0,34	-	-

Сплав 1 относится к деформируемым сплавам, для его упрочнение использовано РКУП в инструменте с углом пересечения каналов 105°, угол скругления 21° [6]. Ранее уже были проведены исследования РКУП сплава той же системы в инструменте с углом пересечения каналов 135° и углом скругления 40° [7, 8], поэтому представляет интерес деформирование в инструменте с меньшими углами. Деформирование образцов сплава 1 осуществлялось по двум маршрутам: с кантовкой образцов после каждого цикла на 180° (маршрут С) и с кантовкой образцов после каждого цикла на 90° (маршрут В_C). Предварительно все образцы были подвергнуты отжигу при температуре 480°C в течение 40 мин [9]. После отжига образцы охлаждались вместе с печью до комнатной температуры. Для эксперимента использовались цилиндрические образцы диаметром 30 мм, длиной 100 мм. Обе партии образцов подвергались 4 циклам РКУП, проведение дальнейшего деформирования невозможно, по причине образования трещин на образцах.

Сплав 2 относят к силуминам, высокое содержание Si (4,0%) существенно затрудняет его деформирование, охрупчивая сплав. В связи с индивидуальными особенностями этого сплава, для его деформирования использован инструмент для РКУП с противодавлением (РКУПП). Противодействие обеспечивается наличием ступени в выходном канале инструмента [10]. Образцы подвергали РКУПП при комнатной температуре, после предварительного отжига при температуре 550°C, температура отжига выбрана из условий, рекомендуемых [9]. Появление видимых трещин непосредственно при РКУПП наблюдается после проведения 3 циклов деформирования, в связи с чем, образцы сплава 2 подвергались 2 циклам РКУПП по маршруту С при комнатной температуре. После проведения деформирования все образцы были разрезаны на темплеты для изучения микроструктуры и механических свойств. На рис. 1-2 приведены изображения микроструктуры сплавов после деформирования, полученные на просвечивающем электронном микроскопе JEM 2100 фирмы JEOL.

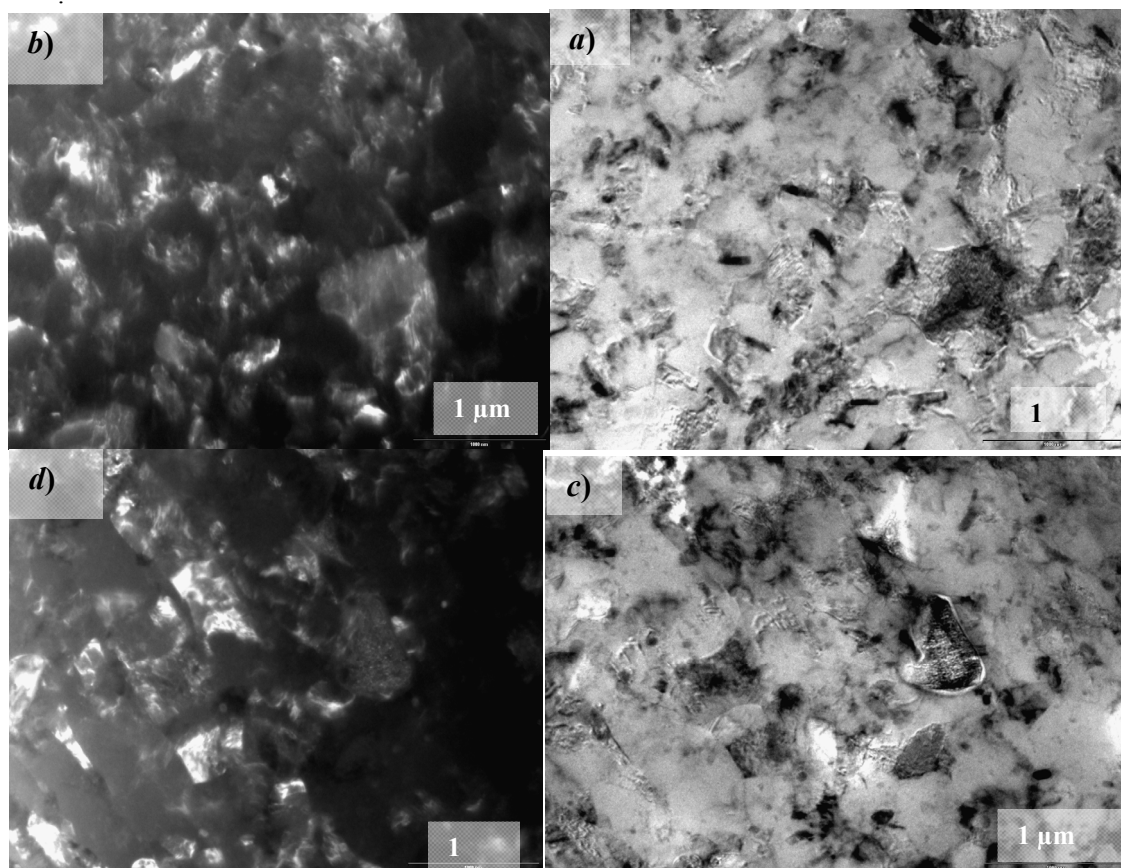


Рис.1. ПЭМ изображения микроструктуры сплава после РКУП *a, b* – после 4 цикла по маршруту B_C , *c, d* – после 4 цикла по маршруту C , *a, c* – светлопольное изображение, *b, d* – темнопольное изображение

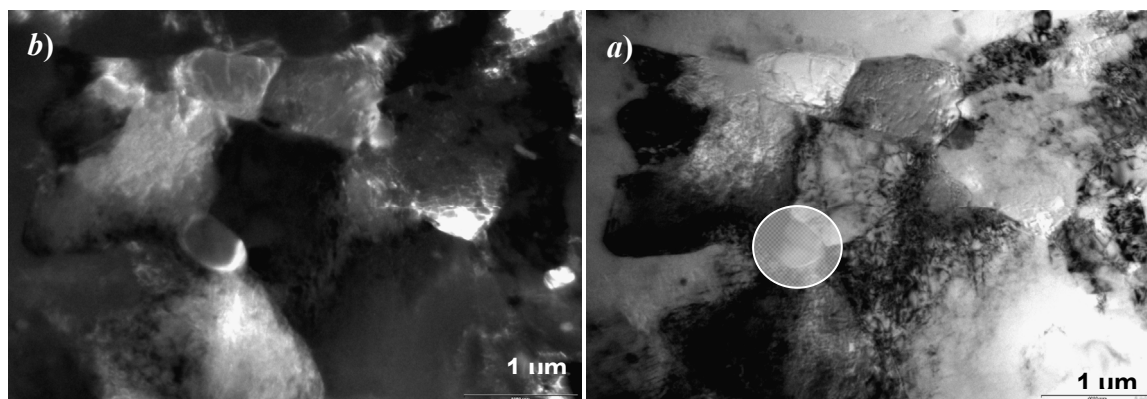


Рис.2. ПЭМ изображения микроструктуры сплава после РКУП 2 цикла, *a*–светлопольное изображение, *b*–темнопольное изображение

Из приведенных фотографий (рис. 1) видно, что в результате проведения 4 циклов РКУП происходит существенное измельчение структурных составляющих с формированием субультрамелкозернистой структуры. При деформировании по маршруту B_C структура металла образована зернами размером $0,6-1\ \mu\text{m}$, по маршруту C – $0,5-0,8\ \mu\text{m}$. Субультрамелкозернистая структура, формирующаяся в результате РКУП по маршруту B_C несколько крупнее, по сравнению

с маршрутом C , но при этом форма зерен и характер их расположения при деформировании по маршруту C соответствует ламинарному типу, тогда как при деформировании по маршруту B_C большинство зерен равноосные.

Проведение уже одного цикла РКУП способствует измельчению зерна. Однако первоначально зерна не имеют равноосной формы. Также наблюдается вытянутость зерен вдоль одного направления. Большое количество мелких включений способствует измельчению

зерен, часто выполняя функцию зародышей или центров формирования мелких зерен.

В результате проведения 2 циклов РКУПП формируется равномерная по всему сечению образца микроструктура. При этом происходит дробление вытянутых после первого цикла РКУПП зерен и некоторый их поворот относительно друг друга. На рис. 2 окружностью указана частица, расположенная на стыке соседних зерен, вероятно, играющая

роль зародыша при дроблении структурных составляющих. В результате уже после 2 циклов РКУПП формируется равномерная субультрамелкозернистая структура с размером зерен 0,8-1,2 μm , при этом наблюдаются некоторые зерна размером менее 0,5 μm .

Результаты определения механических характеристик приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2.

Механические свойства алюминиевого сплава 1 после РКУП

Цикл и маршрут РКУП	После отжига	1 цикл	3 цикла В _С	4 цикла В _С	3 цикла С	4 цикла С
Предел прочности, МПа	194,86	280,3	120,82	215,85	312,12	290,8
Относительное остаточное удлинение, %	4,2	4,7	0,5	1,1	5,7	4,4
Микротвердость, Н _V	68,4	135,3	162,8	129,7	145,6	105,1

По представленным результатам видно, что предел прочности уже после 1 цикла деформирования существенно превышает предел прочности после отжига. Характеристика пластичности также повышается. После проведения 4 циклов по маршруту С наблюдается некоторое снижение прочности и относительного остаточного удлинения, что обусловлено влиянием включений. Значение микротвердости после проведения 1 цикла РКУП превышает значения при отожженном состоянии в ~2 раза.

Также для обоих маршрутов наблюдается рост значений микротвердости до 3 цикла, и некоторое ее снижение после 4 циклов РКУП, что вызвано также влиянием включений.

Как видно из данных, приведенных в таблице, видно, что максимальное значение предела прочности при растяжении алюминиевого сплава достигается после

проведения 3 циклов РКУП с кантовкой вокруг продольной оси на 180° после каждого цикла деформирования. По этой же схеме деформирования наблюдается и максимальное удлинение, которое достигает 5,7%.

В таблице 3 показано значение механических свойств для образцов после проведения отжига и последующего РКУПП при 20°С. Образцы показывают существенный рост характеристики прочности уже после первого цикла деформирования. После второго цикла РКУПП наблюдается снижение прочности. Повышение предела прочности после 1 цикла деформирования сопровождается падением характеристики пластичности, в дальнейшем наблюдается скачкообразное повышение относительного остаточного удлинения после 2 цикла РКУПП. Для сплава 2 также как и сплава 1 наблюдается рост значений микротвердости с увеличением количества циклов деформирования.

Таблица 3.

Механические свойства алюминиевого сплава 2 после РКУПП

Цикл и маршрут РКУП	После отжига	1 цикл	2 цикл
Предел прочности, МПа	386,36	414,26	370,84
Относительное остаточное удлинение, %	18,25	16,07	20,64
Микротвердость, Н _V	85,6	135,3	162,8

Выводы: В результате проведенных исследований выявлено, что в результате проведения РКУП сплава на основе алюминия происходит существенное измельчение микроструктуры. Проведение 4 циклов РКУП обеспечивает формирование субультрамелкозернистой структуры как по маршруту В_С, так и по маршруту С.

В результате деформирования в инструменте для РКУПП со ступенью в выходном канале наблюдается существенное измельчение зерен уже после 1 цикла деформирования. После двух циклов деформирования размер зерен составляет 0,8-1,2 мкм, с некоторыми зернами менее 0,5 мкм. При этом структура формируется равномерная и равноосная. Включения выполняют функцию центров формирования субультрамелких зерен.

В первом и втором случаях наблюдается повышение механических характеристик сплавов. При этом изменение механических характеристик коррелирует с изменением микроструктуры.

Литература

1. Effect of SPD and friction stir welding on microstructure and mechanical properties of Al–Cu–Mg–Ag sheets I. Nikulin, S. Malopheyev, A. Kipelova, R. Kaibyshev *Materials Letters* 66 (2012) 311–313
2. Microstructural characterization and mechanical properties of nanostructured AA1070 aluminum after equal channel angular extrusion B. Tolaminejad, K. Dehghani *Materials and Design* 34 (2012) 285–292
3. Influence of the supersaturated silicon solid solution concentration on the effectiveness of severe plastic deformation processing in Al–7 wt.% Si casting alloy C.M. Cepeda-Jiménez, J.M. García-Infanta, A.P. Zhilyaeva, O.A. Ruano, F. Carreno *Materials Science and Engineering A* 528 (2011) 7938–7947
4. Structure and wear of Al surface layers reinforced with AlCuFe particles using ultrasonic impact peening: Effect of different particle sizes B.N. Mordyuk, M.O. Iefimov, K.E. Grinkevych, A.V. Sameljuk, M.I. Danylenko *Surface & Coatings Technology* 205 (2011) 5278–5284
5. Severe wear of a near eutectic aluminium–silicon alloy Anirban Mahato, Nisha Verma, Vikram Jayaram, S.K. Biswas *Acta Materialia* 59 (2011) 6069–6082
6. The influence equal channel angular pressure to the microstructure and phase composition of the alloy based on aluminum/Abdrahman Naizabekov, Violetta Andreyachshenko, Jiri Kliber, Radim Kocich//XIII International scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering, Czestochowa 2012. p 438–441.
7. Найзабеков А.Б., Андреященко В.А. Изменения микроструктуры алюминиевого сплава под действием пластической деформации//Технология производства металлов и вторичных материалов №1 (19) Февраль, 2011, с 206–211
8. Naizabekov A., Andreyachshenko V.: The Technology of equal angle backpressure extrusion for deformation iron and aluminium Alloys, Proc. 3rd Int. Conf., Nanocon (Czech Republic) 2011, p. 246–252.
9. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. *Материаловедение* – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.: ил.
10. Инновационный патент РК №22896 «Устройство для углового прессования» А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев, В.А. Андреященко. опубл. 15.09.2010 г.