

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭВТЕКТИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Al-Ca-Mn-Fe-Zr-Sc ПОСЛЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Рогачев С.О.¹, Наумова Е.А.^{1,2}, Карелин Р.Д.^{1,3}, Андреев В.А.^{3,4},
Перкас М.М.³, Юсупов В.С.³, Хаткевич В.М.¹

¹НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

²МГТУ «Станкин», г. Москва, Россия

³ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва, Россия

⁴ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», г. Москва, Россия

E-mail: csaap@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ. Новые многокомпонентные эвтектические сплавы на основе системы Al-Ca весьма перспективны для практического применения. Эти сплавы обладают малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, высокотехнологичны при литье, а в отожженном состоянии легко деформируются, несмотря на высокую долю интерметаллидных фаз в структуре. В процессе деформации можно дополнительно повысить прочностные свойства сплавов, что делает их использование в современной технике более эффективным. Известно, что получение в алюминиевых сплавах ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния методами больших пластических деформаций существенно повышает комплекс их механических свойств. Перспективным методом, позволяющим получать УМЗ структуру в массивных образцах алюминиевых сплавов, является равноканальное угловое прессование (РКУП). В данной работе изучено влияние теплового РКУП на структуру и механические свойства эвтектического алюминиевого сплава на базе Al-Ca.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ. Использовали эвтектический алюминиевый сплав Al-3.5%Ca-0.9%Mn-0.5%Fe-0.1%Zr-0.1%Sc в литом состоянии. РКУП проводили на образцах диаметром 20 мм и длиной 100 мм в изотермических условиях при температуре 400 °С, используя маршрут B_c , угол пересечения каналов 110° и число проходов $N = 6$.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Структура сплава в исходном литом состоянии состояла из крупных дендритов на основе твердого раствора (Al) со средним размером 16 ± 2 мкм и эвтектики на основе [(Al) + Al_4Ca] с размером частиц 1–3 мкм (рис. 1а). В структуре сплава выявлено небольшое количество первичных крупных частиц типа $Al_6(Mn, Fe)$ размером до 5 мкм, расположенных в областях эвтектики (рис. 1б).

В результате РКУП в сплаве внутри исходных крупных зерен сформировалась развитая субструктура с высокой плотностью дислокаций с выделением наноразмерных частиц $Al_6(Mn, Fe)$ и Al_3Sc размером ~20 нм (рис. 1в, г, рис. 2). В структуре также наблюдались измельченные первичные частицы $Al_6(Mn, Fe)$ размером 0.1–0.2 мкм и Al_4Ca размером 0.4–1 мкм.

Пределы текучести и прочности сплава исходного состояния составили 112 ± 5 и 181 ± 1 МПа, соответственно, при относительном удлинении 11 ± 1 % (рис. 3).

Пределы текучести и прочности сплава после РКУП в продольном направлении составили 196 ± 9 и 272 ± 1 МПа, соответственно, при относительном удлинении 8.5 ± 0.5 %. Пределы текучести и прочности сплава после РКУП в поперечном направлении составили 220 ± 2 и 262 ± 1 МПа, соответственно, при относительном удлинении 12.5 ± 0.5 % (рис. 3).

Таким образом, прочностные свойства сплава после РКУП увеличились в 1.5–2.0 раза, а относительное удлинение уменьшилось в 1.3 раза в случае продольного образца и слабо изменилось в случае поперечного образца по сравнению с исходным литым состоянием.

Механизм разрушения образцов после РКУП преимущественно вязкий ямочный (рис. 4).

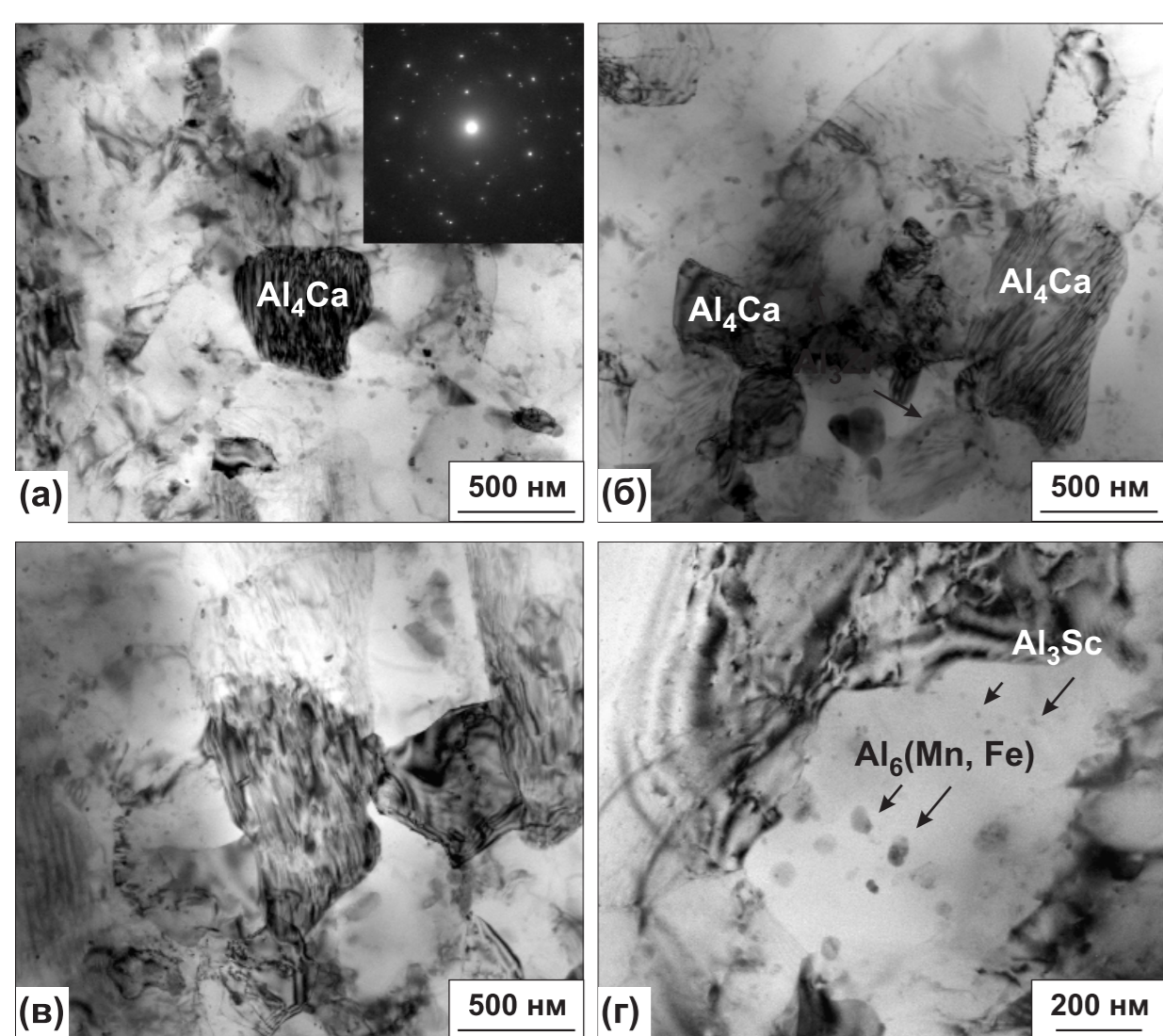


Рис. 2. Структура Al-сплава после РКУП (ПЭМ)

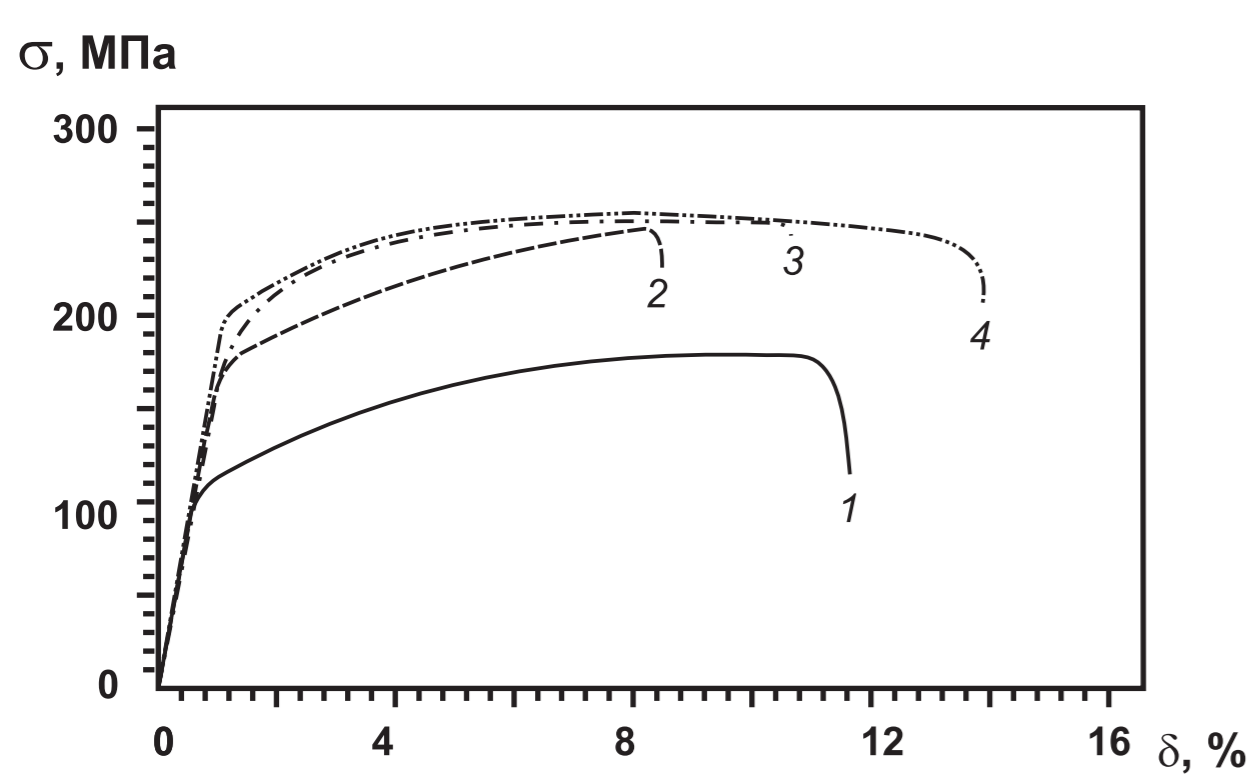


Рис. 3. Диаграммы деформации Al-сплава:

1 - в литом состоянии;
2 - после старения при 400 °С, 30 мин;
3 - после РКУП в продольном направлении;
4 - после РКУП в поперечном направлении

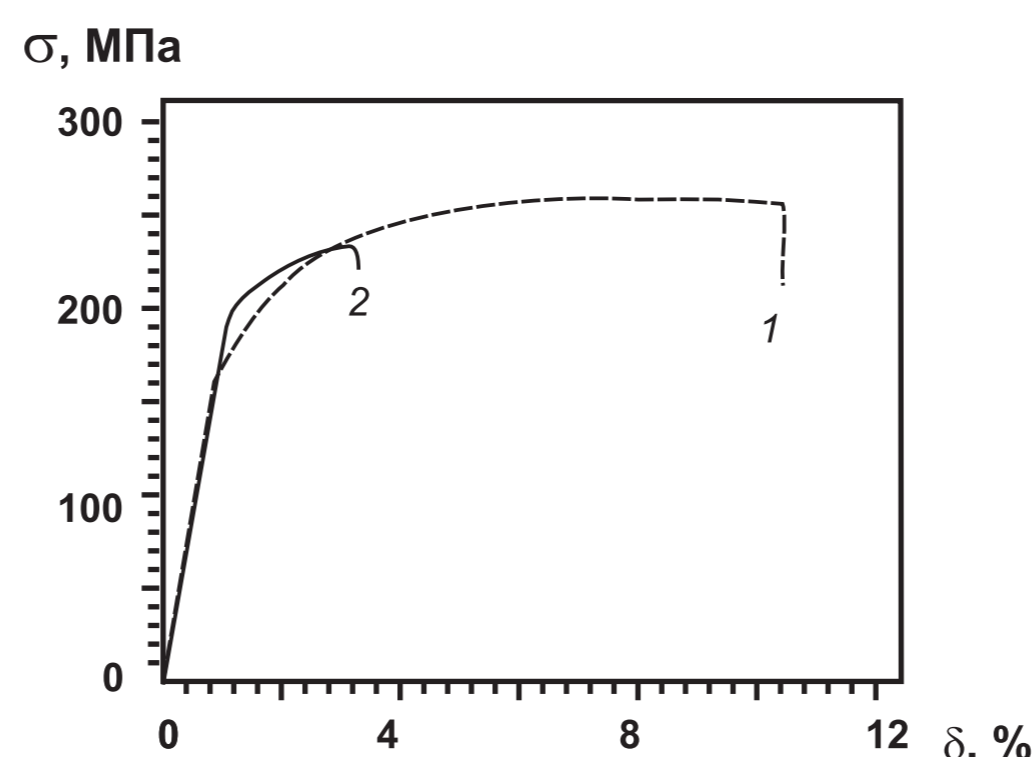


Рис. 5. Диаграммы деформации Al-сплава после РКУП и отжига при 400 °С, 1 ч :
1 - продольное направление; 2 - поперечное направление

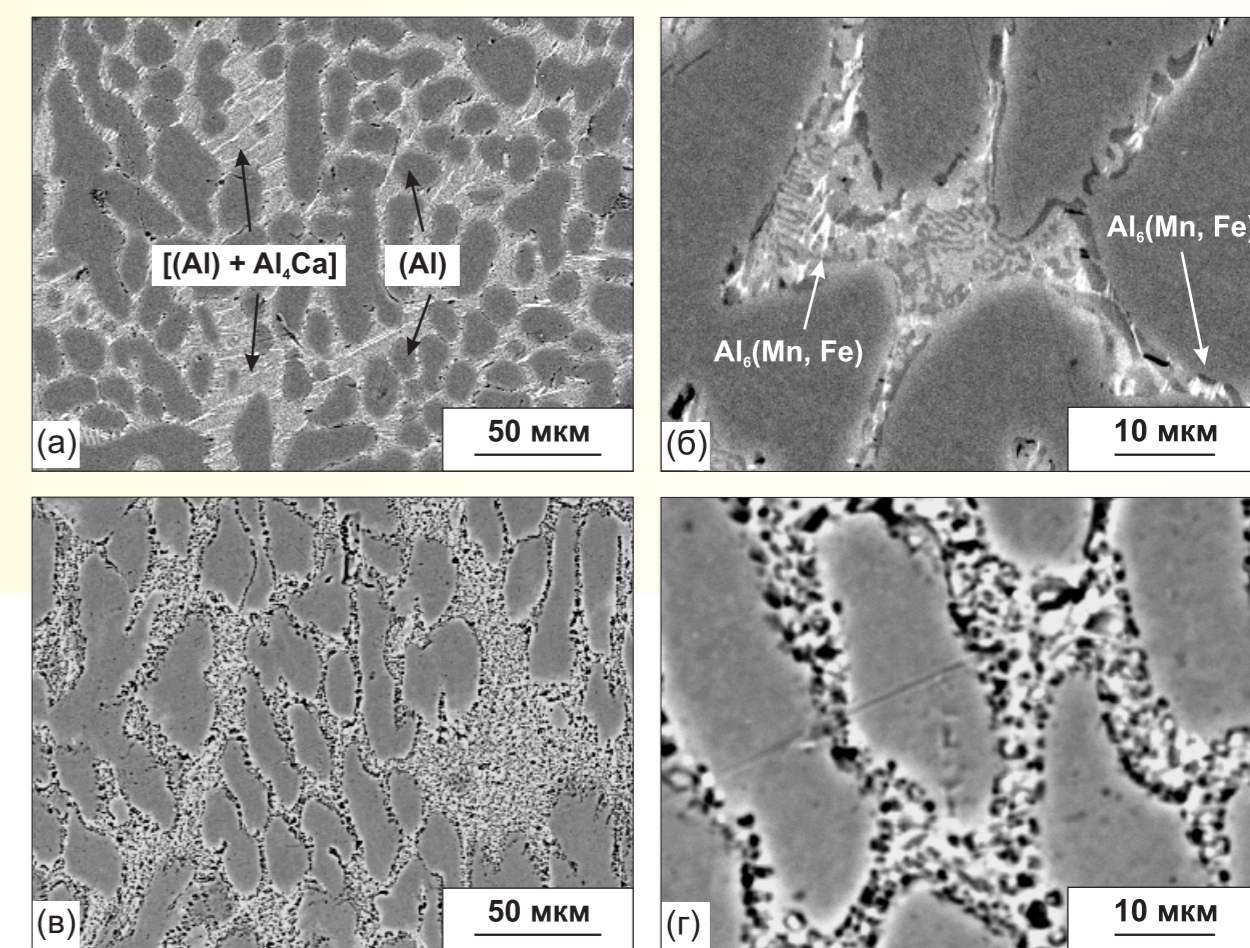


Рис. 1. Структура Al-сплава в литом состоянии (а, б) и после РКУП (в, г) (СЭМ)

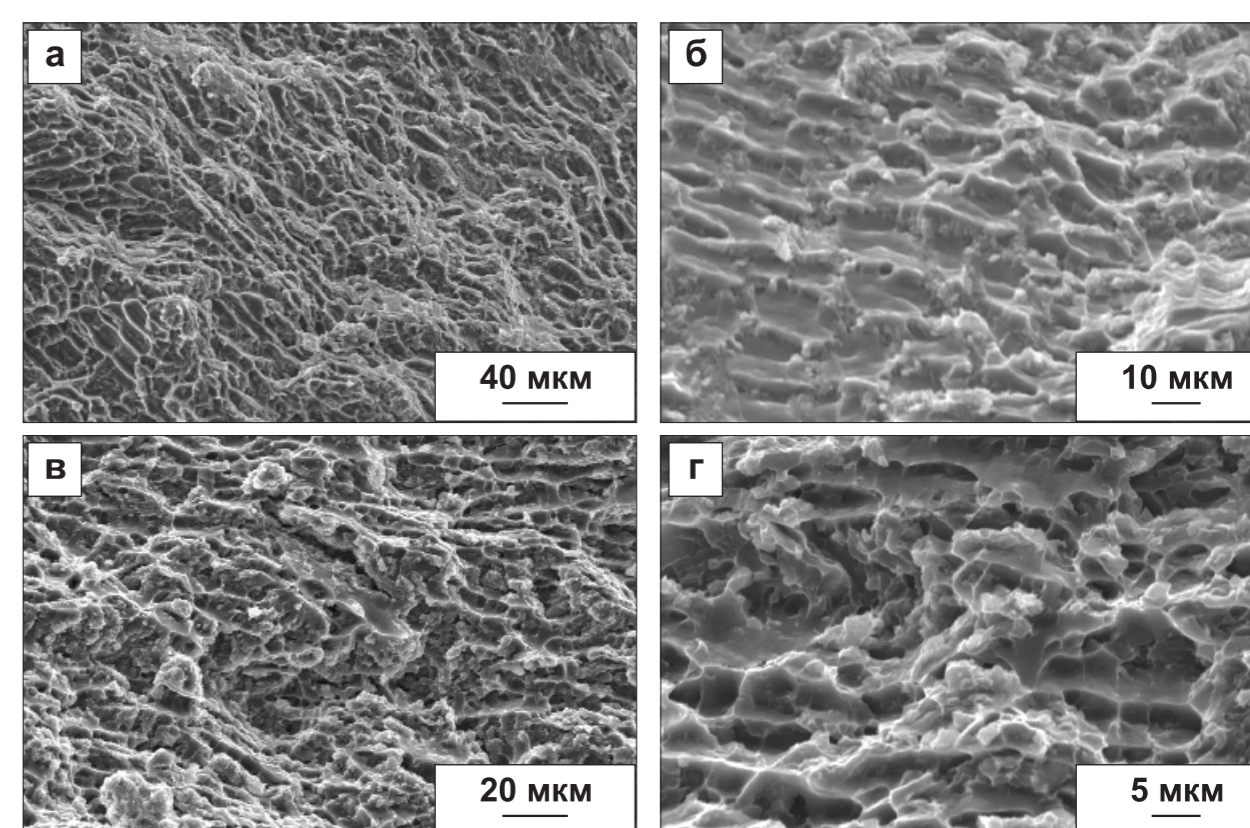


Рис. 4. Поверхности изломов разрывных образцов Al-сплава в литом состоянии (а, б) и после РКУП (в, г)

Постдеформационный отжиг при 400 °С, 1 ч приводит к некоторому снижению прочностных свойств как продольных, так и поперечных образцов и в то же время существенно снижает пластичность поперечных образцов (рис. 4 и 5).