

ЛИТОЙ АЛЮМО-МАТРИЧНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Терентьев Н.А., Марченко А.А.,
Сибирский государственный университет

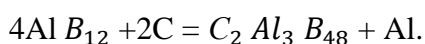
В последнее время в энергетике наблюдается повышенный интерес к термически стабильным проводам, которые должны сочетать высокую электропроводность и достаточную прочность, сохраняющуюся после нагрева вплоть до 300 °С. Поскольку температура начала рекристаллизации нелегированного алюминия типа А5Е и А7Е ниже 250 °С, то технический алюминий для таких проводов не подходит, поэтому в работах Н.А. Белова и А.Н. Алабина было предложено использовать для этих целей алюминиевые сплавы, содержащие до 0,6 % циркония. Известны такие сплавы на основе алюминия систем: Al-Fe-B (Ni), Al-РЗМ, Al- Mq (Cu), Al-Zr и др., которые опробованы в промышленных и полупромышленных условиях для электротехнического назначения. Однако Zr, РЗМ, Ti, Cr, V, и др. значительно уменьшают проводимость алюминия. Степень снижения определяется прежде всего концентрацией этих элементов в алюминии. Например, содержание циркония в Al должно быть не более 0,01%. Если Zr не входит в твердый раствор алюминия, то он незначительно снижает электропроводность. В работах Н.А.Белова и др. установлено так же, что повышенное количество циркония, полностью входящего в состав наночастиц фазы Al_3Zr позволяет не только сохранить нерекристаллизованную структуру при повышенных температурах, но добиться дополнительного упрочнения. Кроме того, в отличие от нелегированного алюминия сплавы, в структуре которых формируются наноразмерная фаза Al_3Zr , сохраняет деформационное упрочнение при повышенных температурах. Однако, в сплавах с повышенным содержанием циркония в процессе первичной кристаллизации образуются грубые кристаллы интерметаллидных фаз, поэтому необходимо повышать скорость кристаллизации с целью образования пересыщенных твердых растворов и проводить последующий длительный отжиг (до 400 часов) для распада пересыщенного твердого раствора и выделения дисперсной метастабильной фазы Al_3Zr сферической формы размером ~ 10нм. Данную технологию крайне затруднительно реализовать, поэтому нами предложен новый способ получения электротехнического алюминия с повышенными характеристиками прочности и электропроводности. В отличие от известных аналогов способ одновременно решает две задачи:

- 1.Повышение электропроводности технического алюминия за счет его рафинирования бором.
2. Упрочнение технического алюминия дисперсными углеродсодержащими боридными фазами типа $C_2 Al_3 B_{48}$, синтезированными непосредственно в расплаве.

Способ получения литого композиционного материала (ЛКМ) осуществляется следующим образом. Проводят нагрев технического алюминия под слоем криолита (Na_3AlF_6) до температуры 950-1000 °С., вводят в него лигатуру Al-B, содержащую 1-1,5 % В, перемешивают расплав с выдержкой 5-10 мин., затем вводят в расплав при температуре 950 °С., реакционную смесь в алюминиевой фольге, состоящую из наноразмерного алмазоуглеродного порошка (НП- Аг) в количестве необходимом для получения заданной концентрации армирующих дискретных керамических частиц и стронций в качестве модификатора в виде лигатуры Al- Sr с целью улучшения пластических свойств материала. После этого проводят необходимую выдержку для

протекания синтеза керамических частиц, а затем проводят разливку при температуре 740-750°C.

В техническом алюминии, применяемом в качестве матричного компонента содержатся примеси Ti и V, которые существенно снижают электропроводность композиционного материала. Введение бора в расплав алюминия в количествах равных половине весового содержания титана и ванадия, способствует образованию мелкодисперсных соединений TiB_2 и VB_2 , которые не растворимы в жидком и твердом алюминии и в меньшей степени оказывают влияние на электропроводность. Добавление бора в большем количестве, чем необходимо для вывода Ti и V приводит к образованию «алмазоподобного бора» ($C_2Al_3B_{48}$) по реакции:



Образование в системе Al - C - B углеродосодержащего борида доказано многими исследователями (см. например Самсонов Г.В. и др. Бориды, М.:Атомиздат, 1975-376с.). Для выяснения влияния синтезированных частиц $C_2Al_3B_{48}$ на электропроводность и физико-механические свойства из полученных литых КМ вырезали образцы, микроструктура которых приведена на рис. 1(а,б).

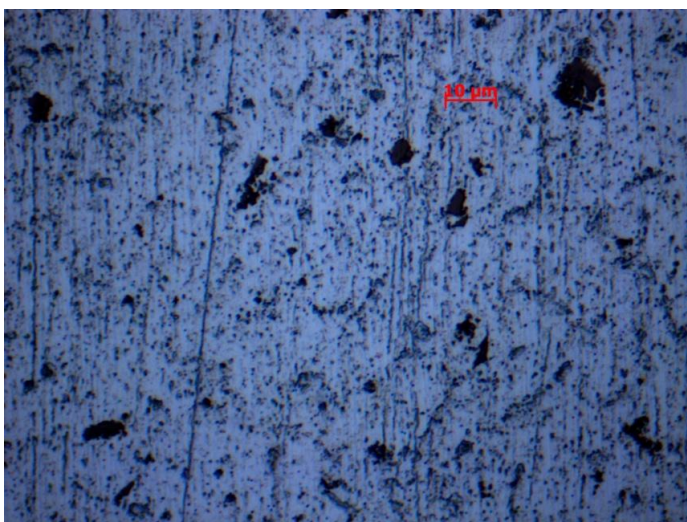


Рис 1 (а)

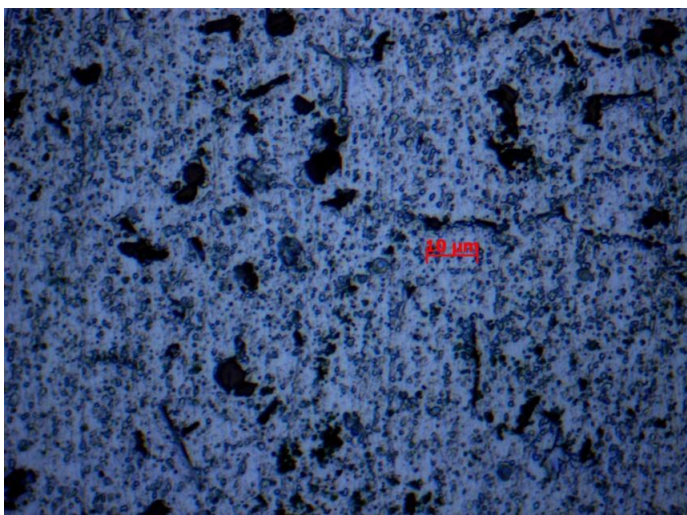


Рис 1 (б)

Видно равномерное распределение упрочняющих керамических частиц в объеме матрицы. Армирующие частицы имеют размер $\leq 1-2$ мкм, преобладающий размер частиц менее 1 мкм и в отличие от известных решений полностью отсутствуют включения игольчатой морфологии.

Механические свойства и электропроводность полученных КМ в литом состоянии и после прокатки (суммарная деформация 60%) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание упрочняющей фазы	Предел прочности σ_b кгс/мм ²		Относительное удлинение δ , %		Удельное электросопротивление, Ом*мм ² /м	
	В литом состоянии	После прокатки	В литом состоянии	После прокатки	В литом состоянии	После прокатки
Исходный алюминий	6,9	14,0	39,6	12,0	0,0301	-
0,1%	8,2	-	25,0	-	0,0285	0,0290
0,3%	8,8	27,5	20,4	7,0	0,0290	0,0293
0,6%	9,0	30,4	20,0	6,1	0,0294	0,0299

С увеличением содержания керамических частиц в КМ до 0,6% предел прочности на разрыв (σ_b) увеличивается более чем на 30%, а после прокатки - более чем в 2 раза по сравнению с деформированным техническим алюминием. Это объясняется высокой адгезионной связью частиц $C_2 Al_3 B_{48}$, когерентных с матрицей и кристаллической

совместимостью со сплавом матрицы. Следует отметить, что даже после высокой степени обжата (более 60%) КМ сохранил достаточную пластичность (6-7%). Существенным отличием от всех известных композиционных сплавов электротехнического назначения разработанных нами материал наряду с повышенной прочностью имеет высокую электропроводность соответствующую стандартам для проводников электрического тока. При обработке расплава технического алюминия бором электропроводность повысилась на 7% и осталась достаточно высокой при упрочнении матрицы дискретными частицами $C_2 Al_3 B_{48}$. Известно, что карбид бора является полупроводником, однако высокая электропроводность в системе С-Al-B связана с декомпенсацией ковалентных связей между атомами бора и углерода из-за наличия атомов алюминия и появлением дополнительных зон проводимости. На данный материал и способ его получения подана заявка на изобретение.