

**ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ
НОНАСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АЛЮМИНИЙ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ**

Костин И.В., Фролов В.Ф., Ширай А.М.

**научные руководители д-р техн. наук, проф. Мамина Л.И., канд. техн. наук,
ст. пр. Безруких А.И., канд. техн. наук, доц. Баранов В.Н.**

*Сибирский федеральный университет
Институт цветных металлов и материаловедения*

В работе проведена оценка влияния модификаторов, состоящих из титана, технического наноуглерода, борсодержащих солей на макро-, микроструктуру, размер зерна и механические свойства алюминия технической чистоты марки А8.

Ключевые слова:

Модификаторы для алюминиевого производства, модифицирующая способность, микрорентгеноспектральный анализ включений, механоактивация.

Производство алюминия является стратегически важной отраслью экономики России. Материалы на его основе находят широкое применение не только в народном хозяйстве, но и в машиностроении, оборонной промышленности, авиации, электронике, робототехнике, медицине и других важнейших областях. В связи с чем, постоянно идут работы по улучшению механических, физических, технологических свойств.

В данной работе были продолжены исследования по использованию в составах модификаторов для литейного производства композиций природных материалов Красноярского края в активированном состоянии [1,2]. Целью исследования являлась оценка влияния опытных образцов модификаторов, состоящих из титана, технического наноуглерода, борсодержащих солей на макро-, микроструктуру, размер зерна и механические свойства алюминия технической чистоты марки А8.

Объектом исследования являются модифицированные пробы из алюминия марки А8. Химический состав алюминия технической чистоты марки А8 приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав алюминия технической чистоты А8 (ГОСТ 11069-2001),%

Марка	Примесь, не более								Прочие примеси (каждой в отдельности)	Алюминий, не менее
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ga	Ti		
А8	0,10	0,12	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,80

Модификатор вводили в расплав алюминия в количестве 2% от массы металла. Маркировка исследуемых проб и состав модификаторов представлен в таблице 2, где

Сложная борсодержащая соль – СБс. Борсодержащая соль – Бс, технический наноуглерод – Тн1, 3.

Таблица 2

Маркировка образцов и состав модификатора

Маркировка	Состав модификатора, %		
	Ti	Борсодержащие соли	Технический наноуглерод

Мар кировка	Состав модификатора, %		
	Ti	Борсодержащие соли	Технический наноуглерод
00	-	-	-
01	78	СБс, 16	-
02	78	СБс, 16	Тн1, 6
22	78	Бс, 16	Тн3, 12

Макроструктуру образцов изучали с применением сканера и стереоскопического микроскопа Stemi 2000-C, Carl Zeiss.

Количественную оценку макро- и микроструктуры осуществляли в программе для анализа цифровых изображений AxioVizion, Carl Zeiss. Размер зерна определяли методом линейного анализа (по методу секущих).



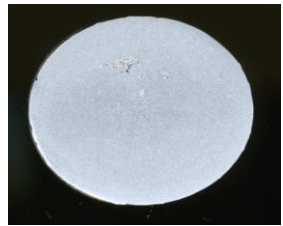

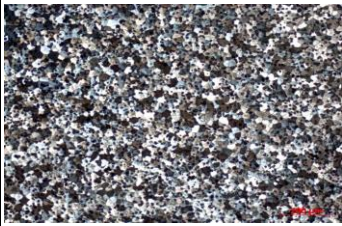
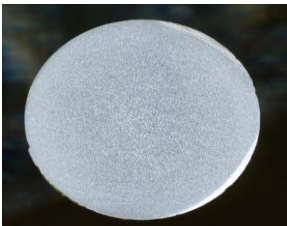

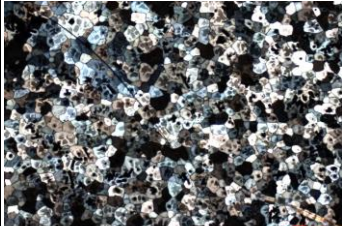
Механические характеристики образцов алюминия определяли по результатам статических испытаний на растяжение цилиндрических образцов типа III с диаметром рабочей части 3 мм и длиной рабочей части 15 мм в соответствии с ГОСТ 1497-84.

В таблице 3 приведена макроструктура проб из алюминия А8 после модифицирования. Для образцов с мелким размером зерна дополнительно приведена микроструктура, снятая в поляризованном свете.

Таблица 3

Макроструктура и размер зерна модифицированных проб из алюминия марки

А8

№ проб	Макроструктура		Микроструктура в поляризованном свете, ×100
00			
01			
02			



Макроструктура исходного образца 00, без модифицирования, имеет в периферии пробы зону столбчатых кристаллов, длина которых составляет 4 мм. Появление в пробе столбчатых кристаллов связано с тем, что ее сечение слишком мало, это создает большие градиенты температур и высокие скорости охлаждения, что способствует росту столбчатых кристаллов. Также отсутствие в расплаве при кристаллизации проб активных центров кристаллизации за счет введения модификаторов приводит к образованию значительной зоны столбчатых кристаллов. Центральная зона образца состоит из равноосных кристаллов, средний размер которых составляет 0,6 мм.

Исследование образцов, отлитых с использованием модификаторов имеют более мелкую структуру в сравнении с исходным образцом 00 (без модификаторов). Анализируемые модификаторы оказывают разное модифицирующее действие на алюминий технической чистоты. Модифицирование алюминия исследуемыми модификаторами позволило измельчить размер зерна в 6-26 раз, и получить однородную мезополикристаллическую (МПК) структуру с размером зерна 25-110 мкм.

Максимальное измельчение структуры установлено в образцах 01, 02, 22, которые имеют равномерную мелкокристаллическую структуру со средним размером зерна 30 мкм. Зависимость размера зерна от состава модификатора приведена на рисунке 1.

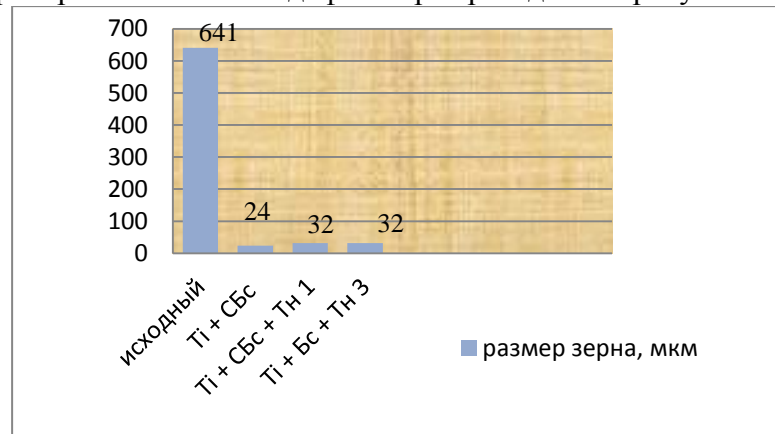


Рисунок 1 – Гистограмма изменения размера зерна от состава модификатора

Механические свойства проб приведены в таблице 4. Изменение временного сопротивления разрыву от размера зерна, характеризующее количественные закономерности в алюминии технической чистоты между этими параметрами, приведено на рисунке 2.

Таблица 4

Размер зерна и механические свойства проб

Маркировка образцов	Средний размер зерна, мкм	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %

00	641	58	17
01	24	101	34
02	32	86	21
22	32	82	39

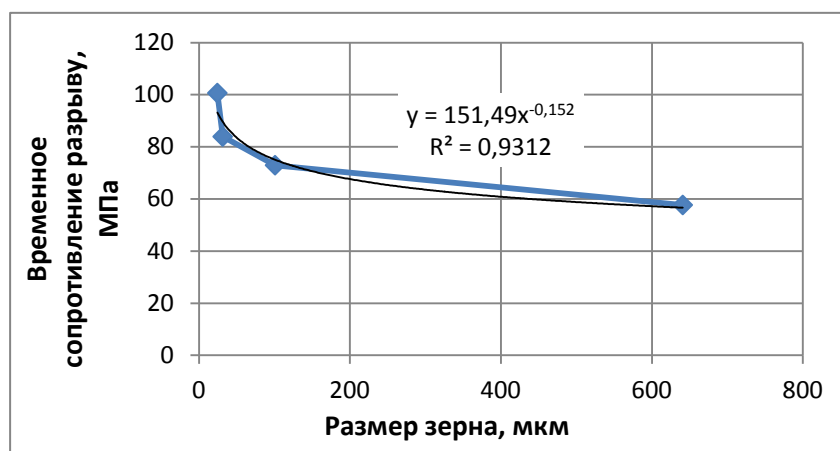


Рисунок 2 – Зависимость временного сопротивления разрыву алюминия А8 от размера зерна

Анализ графической зависимости показал, что между пределом прочности алюминия А8 и размером зерна наблюдается нелинейная связь. Количественная закономерность между размером зерна и временным сопротивлением разрыву алюминия марки А8 описывается степенной моделью. С увеличением величины зерна падают прочностные свойства алюминия: изменение размера зерна в интервале 20-40 мкм приводит к резкому снижению предела прочности ~ на 30 МПа, с дальнейшим укрупнением размера зерна на 60 мкм происходит менее значительное падение прочности ~ на 15 МПа. Модифицирование приводит к комплексному улучшению механических свойств алюминия. Измельчение структуры наряду с повышением прочностных свойств на 40-70 %, приводит к увеличению относительного удлинения в среднем в 2 раза.

Модифицирование алюминия лигатурами, содержащими титан, технический нанокремний, борсодержащие соли помимо измельчения размера зерна и повышения комплекса механических свойств будет благоприятно влиять на технологические свойства: улучшать обрабатываемость давлением слитков, а также снижать горячеломкость при литье.

Выводы

1. Модифицирование алюминия исследуемыми модификаторами позволило измельчить размер зерна в 6-26 раз, и получить однородную мезополикристаллическую (МПК) структуру с размером зерна 25-110 мкм.

2. Определены количественные закономерности между размером зерна и временным сопротивлением разрыву алюминия марки А8. Изменение предела прочности описывается степенной моделью с отрицательным коэффициентом b – измельчение структуры приводит к увеличению прочностных свойств.

3. Установлено, что модифицирование углеродсодержащими модификаторами измельчает зерно и повышает комплекс механических свойств алюминия технической чистоты: временное сопротивление разрыву возросло в среднем на 40 %, при этом пластичность выросла в 2 раза.

4. Металлографическое исследование проб показало, что лучшую модифицирующую способность имеет графитсодержащий модификатор под номером

22, после модифицирования алюминия в микроструктуре проб не обнаружено избыточных интерметаллидных включений, резко измельчается зерно с 640 до 30 мкм (более чем в 20 раз) и повышается комплекс механических свойств: временное сопротивление разрыву увеличилось с 60 до 80 МПа (на 40 %), относительное удлинение возросло с 17 до 39 % (более чем в 2 раза).

Список литературы

[1] Мамина Л.И., Дибров И.А. Опыт перспективы освоения нанотехнологий в литейном производстве // Литейщик России. 2009. № 7. С. 37-42.

[2] Мамина Л.И., Дибров И.А., Ресурсосберегающие технологии наноструктурирования материалов и изделий с целью освоения сырьевой базы Восточносибирского региона для литейного производства // Литейное производство сегодня и завтра: труды 9-й междунар. науч.-практ. конф., посв. 20-летию образования РАЛ, 10-летию создания журнала «Литейщик России» 20-22 июня 2012 г. Санкт-Петербург, 2012. С. 48-69.