

УПРОЧНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МИКРОЛЕГИРОВАНИЕМ

© Е. А. Ханейчук, Н. Е. Калинина

Дніпропетровський національний університет

Розглянуто проблеми мікролегування спеціальних алюмінієвих сплавів типу В93-В95 системи Al-Zn-Mg-Cu. Представлено результати досліджень, що пояснюють принцип зміцнення сплавів досліджуваної системи.

Проблемы легирования, в том числе многокомпонентного, в последнее время достаточно освещались в литературе. Однако при этом очень мало затрагивались вопросы изменения структуры и свойств при легировании малыми, иногда даже гомеопатическими, количествами элементов, т. е. вопросы так называемого микролегирования. В то же время микролегирование является мощным фактором, влияющим на изменение условий кристаллизации, строение пограничных зон и объема зерна, получение однородной структуры и т. п.

Редкоземельные элементы в значительных масштабах используются в черной металлургии для раскисления, модифицирования и легирования различных сталей и сплавов. Известно, что РЗМ проявляют исключительно большое химическое сродство к металлоидам. Взаимодействуя с этими элементами, РЗМ способствуют удалению или перераспределению вредных примесей.

Легирование скандием алюминиевых сплавов

оказывает большое влияние на структуру и свойства. Кристаллическая структура, параметры решетки скандия, а также условия его плавления и полиморфного превращения представлены в табл. 1, 2.

Добавка скандия приводит к измельчению литого зерна, повышению прочностных и в некоторых случаях пластических свойств слитков и деформированных полуфабрикатов, возрастанию устойчивости против коррозионного растрескивания и значительному улучшению свариваемости. Природа влияния скандия на структуру и свойства алюминиевых сплавов исследована недостаточно. В частности, в литературе практически нет сведений и кинетике и особенностях распада твердого раствора скандия в алюминии в слитках, хотя именно характер этого распада определяет структуру и свойства деформированных полуфабрикатов.

Исследовали алюминиевые сплавы типа В93-В95 системы Al-Zn-Mg-Cu. Химический состав исследу-

Таблица 1. Кристаллическая структура и параметры решетки РЗМ

Элемент	Чистота, %	Температурный интервал существования, °С	Модификация	Тип кристаллической решетки	Параметр a	Параметр c
Скандий	99.6	до 1450	α -Sc	ГПУ	35.031 ± 0.004	55.509 ± 0.004
Скандий		1450—1530	β -Sc	—	33.090 ± 0.001	52.733 ± 0.06
Скандий		до 1475	α -I	ГПУ	36.474 ± 0.007	57.306 ± 0.008

Таблица 2. Условия плавления и полиморфного превращения РЗМ

Элемент	Температура плавления, °С	Теплота плавления, кДж/моль	Температура полиморфного превращения, °С
Скандий	1530 ± 5	17.56	$\alpha - \beta$ 1450

Таблица 3. Химический состав алюминиевых сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu

Сплав	Содержание элементов, % мас.						
	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Ti
B93-B96	основа	5.0—7.8	1.6—2.4	0.8—2.0	0.12—0.20	0.25—0.30	0.07

емых сплавов представлен в табл. 3.

Упрочняющее воздействие скандия на алюминий и его сплавы превосходит подобный эффект от введения всех известных и используемых на практике легирующих элементов. Исследовали особенности распада твердого раствора скандия в алюминии с целью оценки температурно-временных параметров гомогенизации.

Анализ результатов исследований показал, что началу распада твердого раствора скандия в алюминии предшествует малый инкубационный период, а распад происходит с высокой скоростью. Так, при температуре 450—500 °С (температурный интервал гомогенизации алюминиевых сплавов) инкубационный период Al-Sc-сплава составляет около 10 с. Средняя скорость распада твердого раствора скандия в алюминии в этом температурном интервале на 4 порядка превышает скорость для сплавов системы алюминий-магний.

С понижением температуры отжига скорость распада твердого раствора скандия в алюминии резко уменьшается, а инкубационный период резко возрастает. При температуре 230—250 °С инкубационный период в 60 раз выше, чем при температуре 450—500 °С, а средняя скорость распада твердого раствора уменьшается на 6 порядков.

При этом выделяются чрезвычайно дисперсные частицы сферической формы стабильной фазы ScAl_3 , полностью когерентные матрице. Это обусловлено практически одинаковыми параметрами кристаллических решеток стабильной фазы ScAl_3 и алюминия. Величина критического зародыша фазы ScAl_3 очень мала, и процесс гомогенного зарождения осуществляется легко. Частицы фазы ScAl_3 , которые выделяются из многочисленных центров, чрезвычайно дисперсны.

Распад твердого раствора скандия в алюминии обуславливает значительное упрочнение алюминиевых сплавов исследуемой системы. Прочностные свойства исследуемых сплавов определяется как непосредственно упрочняющим действием дисперсных частиц фазы ScAl_3 , так и наличием субструк-

туры с повышенной плотностью дислокаций в субграницах.

Изменение прочностных характеристик полуфабрикатов из сплавов B93-B95 в зависимости от режимов гомогенизации в значительной степени определяется размерами вторичных выделений фазы ScAl_3 . Увеличение частиц фазы ScAl_3 от 9 до 25 нм приводит к снижению предела текучести примерно в 1.5 раза; дальнейший рост частиц оказывает незначительное влияние на прочностные характеристики. При увеличении диаметра частиц от 45 до 215 нм предел текучести уменьшается примерно в 1.1 раза.

Проведенный анализ влияния режимов гомогенизации слитков на упрочнение сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu за счет выделения частиц фазы ScAl_3 не учитывает количество и морфологии β -фазы, которая вносит незначительный вклад в упрочнение исследуемых сплавов, однако существенно влияет на коррозионную стойкость сплавов этой системы. Кроме того, мелкозернистая структура, получаемая благодаря воздействию скандия, способствует легкому формированию преимущественных ориентировок при деформации и типовом воздействии на деформированный полуфабрикат.

Кинетика рекристаллизации алюминиевых сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu определяется вторичными интерметаллидами скандия. На основе проведенных исследований сделан вывод об оптимальном содержании скандия в алюминиевых сплавах системы Al-Zn-Mg-Cu.

HARDENING OF SPECIAL ALUMINIUM ALLOYS BY MICRODOPING

E. A. Khaneychuk, N. E. Kalinina

Problems of microdoping special aluminium alloys of B93-B96 type of the Al-Zn-Mg-Cu system are analysed. The results of the investigations explained the principles of hardening the alloys in the research system are represented in this article.