



УДК 669.187.826

ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА СИСТЕМЫ TiAl С ДОБАВКАМИ БОРА И ЛАНТАНА СПОСОБОМ ЭЛПЕ

Н. П. Тригуб, Е. А. Аснис, В. А. Березос,
А. Ю. Северин, Н. В. Пискун, И. И. Статкевич

Разработана технология электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью интерметаллида TiAl с введением в него в процессе плавки бора и лантана из гексаборида лантана. Изучены микроструктура и фрактография полученных слитков.

Разработана технология электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью интерметаллида TiAl с введением в него в процессе плавки бора и лантана из гексаборида лантана. Изучены микроструктура и фрактография полученных слитков.

Ключевые слова: интерметаллид системы TiAl; электронно-лучевая плавка; гексаборид лантана; металлографические исследования

Для развития современной техники требуется создание материалов, способных эффективно работать в условиях длительного циклического воздействия высокотемпературных агрессивных сред. Большой резерв повышения значений эксплуатационных характеристик конструкций заключается в создании сплавов интерметаллидных соединений с высоким уровнем жаростойкости и термической стабильности, а также в усовершенствовании технологии их получения.

Титановые сплавы на основе упорядоченных интерметаллидных соединений TiAl и Ti₃Al являются важным классом конструкционных сплавов с уникальным набором физических и механических свойств. Они характеризуются повышенной жаропрочностью, низкой плотностью, высоким модулем упругости и хорошим сопротивлением окислению в интервале температур 550... 850 °C [1], поэтому являются перспективными жаропрочными материалами для применения в аэрокосмической технике и энергетическом машиностроении.

В состав интерметаллида TiAl входит титан (около 50 %), а также легирующие элементы (ниобий, церий, хром, ванадий и др.), характеризующиеся высокой химической активностью к газам и примесям при повышенных температурах, в результате

чего необходимо проводить процесс плавки в защитной атмосфере или в условиях вакуума.

Способ электронно-лучевой плавки (ЭЛП) интерметаллидов систем TiAl и Ti₃Al является весьма перспективным, позволяющим обеспечивать высокую степень удаления вредных примесей (рис. 1). Применение промежуточной емкости при электронно-лучевой плавке способствует рафинированию, усреднению химического состава и удалению включений высокой и низкой плотности [2]. Процесс получения слитков γ -алюминид титана способом электронно-лучевой плавки подробно описан в работе [3].

Низкая пластичность (менее 1 %) при комнатных температурах [4] значительно усложняет технологическую обработку интерметаллидных сплавов и является основным препятствием на пути к широкому применению их в промышленности. В настоящее время ведутся работы по определению легирующих элементов для сплавов на основе интерметаллидных соединений TiAl и Ti₃Al, способствующих увеличению их пластичности.

Для улучшения пластических свойств интерметаллидов системы TiAl в качестве легирующего элемента вводят небольшое количество (от 0,1 до 0,5 мас. %) бора, который повышает температуру перехода в однофазную α -область и снижает температуру перехода из однофазной α - в двухфазную α + β -область, т. е. действует как β -стабилизирующий элемент [5].



Рис. 1. Процесс плавки интерметаллида TiAl

При электронно-лучевой плавке затруднительно вводить бор в выплавляемый интерметаллид TiAl, поскольку под воздействием электронно-лучевого нагрева при расплавлении бора, имеющего высокую упругость пара при плавлении, происходит его сильное испарение, а также распыление и унос частиц при его введении в шихту виде порошка. Поэтому для этой цели применили гексаборид лантана LaB₆, имеющий значительно меньшую упругость пара при плавлении, чем бор, и уменьшающий его испарение.

Кроме того, таким образом можно вводить в сплав лантан, что также способствует повышению пластичности выплавленного интерметаллида при горячей деформации [6].

Цель работы заключалась в проведении исследований и разработке технологии получения слитков интерметаллидного сплава Ti-28%Al-X (X=Nb, Zr, Cr) с дополнительным легированием бором и лантаном при электронно-лучевой плавке с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ).

Опытные плавки слитков диаметром 165 мм интерметаллида TiAl проводили на установке УЭ-208М. Переплавливали шихту титанового сплава ВТ1-0, технически чистого алюминия, электролитического хрома, ниобия и циркония. Гексаборид лантана вводили в шихту в виде цилиндрических прессовок, полученных прессованием порошка LaB₆ в специальной пресс-форме. Готовые прессовки гексаборида лантана помещали между тугоплавкими компонентами шихты с тем, чтобы избежать прямого воздействия на них электронно-лучевого нагрева и возможности испарения. При подготовке шихты легирующие элементы с высокой упругостью пара (хром и алюминий) шихтовали с учетом потерь на испарение.



Рис. 2. Слиток интерметаллида TiAl после двойного переплава

После загрузки шихты установку вакуумировали. В начале шихту сплавляли в промежуточную емкость, а затем жидкий металл периодически сливали в медный водоохлаждаемый кристаллизатор (рис. 1) до получения слитка необходимой высоты.

На рис. 2 представлен выплавленный слиток.

С использованием метода химического анализа исследовали состав интерметаллида TiAl. Отбор проб производили вдоль слитка на глубине 10 мм от поверхности, а в радиальном направлении (поперек слитка) — на радиусах 70, 50 и 30 мм. Исследовали три зоны — верхнюю, нижнюю и середину слитка. Содержание лантана определяли в тех же зонах способом спектрального анализа. Результаты химического анализа интерметаллида TiAl, легированного дополнительно бором и лантаном, представлены в таблице.

Исследовали микроструктуры слитков с добавками бора и лантана (рис. 3, а) и без них (рис. 3, б).

Как правило, микроструктура интерметаллидных сплавов на основе γ -TiAl + α_2 -Ti₃Al характеризуется вытянутыми колониями пластинчатых структур, от длины которых и расстояния между ними зависят пластические свойства интерметаллидов, а также зарождение и развитие трещин в этом материале в процессе его охлаждения.

Микроструктура слитков TiAl, не содержащих бор, состоит из (γ + α_2) пластинчатых колоний с выделениями β -фазы, но значительно более крупными зернами с длиной ламелей 40 мкм и расстоянием между ними 5,7 мкм.

Химический состав интерметаллида TiAl

№ пробы	Массовая доля элементов, %				
	Al	Nb	Zr	Cr	Ti
1	30,2	10,89	2,99	3,01	55,8
2	28,3	11,26	3,07	2,87	55,6
3	28,8	11,85	3,22	2,87	55,7

Примечания: 1. Исследования проводили в ИЭС им. Е. О. Патона под руководством канд. хим. наук С. С. Огняника.

2. В состав интерметаллида TiAl каждой пробы дополнительно входило 0,1 В и 0,01 La.

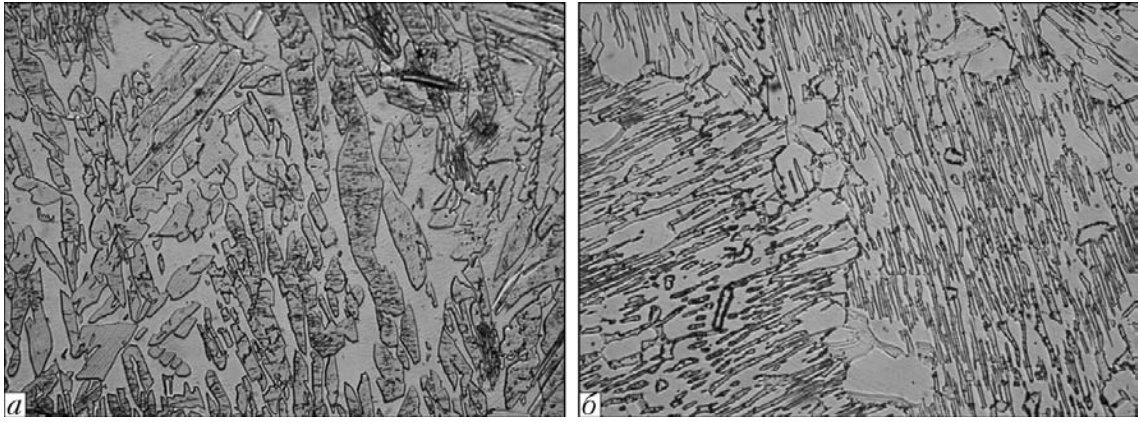


Рис. 3. Микроструктуры ($\times 500$) сплава интерметаллида TiAl, легированного бором и лантаном (а) и без них (б)

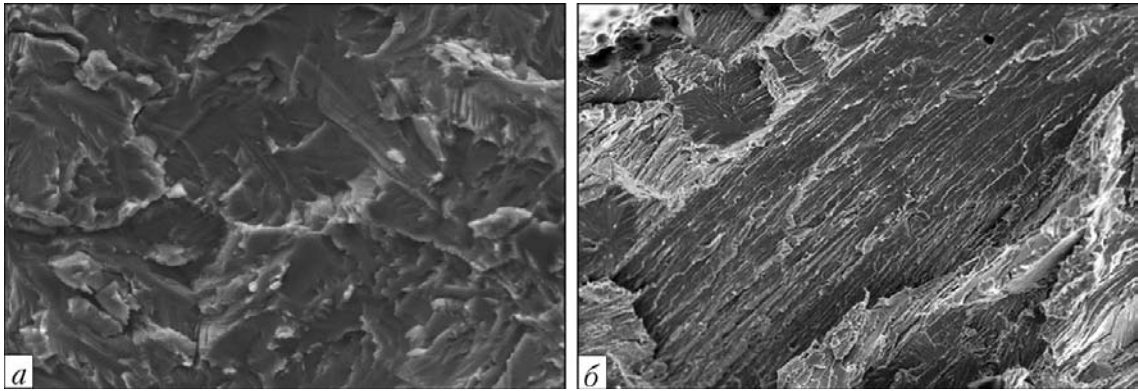


Рис. 4. Фрактограммы ($\times 220$) изломов интерметаллида TiAl, легированного бором и лантаном (а) и без них (б)

Добавление в сплав небольшого количества бора способствует уменьшению размера колоний (длины ламелей и расстояния между ними). При кристаллизации он образует мелкодисперсные бориды (преимущественно TiB_2 [5, 7]), которые могут как измельчать микроструктуру слитка, так и эффективно сдерживать рост зерен при нагреве в α -области, особенно после горячей деформации.

Исследование микроструктуры полученного слитка показало, что она является типичной для литого сплава интерметаллида и состоит из мелких зерен с пластинчатыми колониями ($\gamma+\alpha_2$) со средней длиной ламелей 25 мкм и расстоянием между ними 2,7 мкм, светлых слоев β -фазы и темных участков γ -зерен, расположенных вдоль границ колоний. Количественный микрорентгеноспектральный анализ показал, что светлые области обогащены ниобием, который является β -стабилизатором. Можно предположить, что выявленная светлая фаза является β -фазой.

Проведенные металлографические исследования показали, что введение 0,1 мас. % бора в сплав способствует уменьшению длины ламелей пластинчатых колоний и расстояния между ними примерно в 2 раза. Кроме того, на электронном сканирующем микроскопе JOEL выполнены фрактографические исследования образцов интерметаллида TiAl без бора и с добавками бора, которые показали, что в образцах интерметаллида, содержащего бор, излом имеет чешуйчатую структуру с гребешками отрыва, характерными для вязкой составляющей. В изломах же образцов без бора обнаружен выраженный

транскристаллитный ручейстый излом по механизму скола, характерного для хрупкого разрушения.

На рис. 4 представлены фрактограммы изломов образцов в сплаве интерметаллида TiAl с бором и лантаном (рис. 4, а) и без них (рис. 4, б).

Таким образом, разработанная технология и опытные плавки слитков интерметаллида системы TiAl способом ЭЛПЕ, а также проведенные металлографические исследования показали перспективность использования данного способа для получения качественных слитков алюминидов титана, легированных бором и лантаном.

1. Иванов В. И., Ясинский К. К. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов Ti_3Al и TiAl для работы при температурах 600...800°C в авиакосмической технике // Технология легких сплавов. — 1996. — № 3.
2. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорекреационных металлов. — Киев: Наук. думка, 2008. — 311 с.
3. Жук Г. В., Тригуб Н. П., Замков В. Н. Получение слитков γ -алюминидов титана способом ЭЛПЕ // Современная электрометаллургия. — 2003. — № 4. — С. 20–22.
4. Пластическая и сверхпластическая деформация сплавов на основе Ti_3Al / С. И. Михайлов, С. Г. Глазунов, Г. А. Павлов и др. // Авиац. пр-сть. — 1991. — № 4. — С. 37–39.
5. Новые подходы к разработке сплавов на основе фаз γ -TiAl + α_2 - Ti_3Al / Р. М. Имаев, В. М. Имаев, Т. Г. Хисматуллин и др. // Физика металлов и металловедение. — 2006. — 102, № 1. — С. 114–122.
6. Структура и некоторые свойства литых сплавов на основе TiAl, легированных V, Nb, Ta, Hf, Zr / К. Б. Поварова, О. А. Банных, И. В. Буров и др. // Металлы. — 1998. — № 3. — С. 31–40.
7. Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных материалов. — М.: Наука, 1975. — С. 270.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 20.05.2011