



УДК 669.187.58

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ И ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИДА ТИТАНА

**В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев,
Д. М. Жиров, А. В. Гнатушенко**

Отработаны технологические режимы выплавки γ -TiAl состава Ti-46,8Al-1Cr-0,2Si способами плазменно-дуговой гарнисажной плавки и плазменно-дугового переплава. Химический состав отливок и слитков соответствует заданному.

Technological conditions of melting of γ -TiAl of Ti-46.8Al-1Cr-0.2Si composition using methods of plasma-arc skull melting and plasma-arc remelting are optimized. Chemical composition of castings is in compliance with the preset one.

Ключевые слова: алюминид титана; плазменно-дуговая гарнисажная плавка; плазменно-дуговой переплав; качество металла

В качестве одного из основных направлений создания материалов для высокотемпературного применения рассматривается разработка титановых сплавов на основе γ -алюминид титана TiAl, которые при малой плотности по показателям жаропрочности значительно превосходят существующие металлические материалы [1, 2]. Важным фактором, сдерживающим широкое использование γ -TiAl в промышленности, является сложность его производства традиционными металлургическими способами. Это связано с большим различием физических свойств, таких как плотность, температура плавления и упругость пара у титана, алюминия и легирующих элементов, необходимостью обеспечения заданного состава металла, его высокой химической и структурной однородности. Кроме того, из-за значительной активности титана необходимо выплавлять γ -TiAl в контролируемой защитной атмосфере. Плазменно-дуговой нагрев позволяет использовать контролируемую атмосферу, плавное регулирование мощности нагрева и давления в камере печи [3], поэтому изучение процесса выплавки γ -TiAl плазменно-дуговым способом является целесообразным.

На основе анализа литературных данных и исходя из соображений экономного легирования в ка-

честве объекта исследований был выбран сплав системы Ti-46,8Al-1Cr-0,2Si (ат. %), имеющий хорошее сочетание механических свойств, сохраняющий высокий уровень прочностных свойств до 850 °С и окислостойкость до 700 °С [2]. Исследованы качество и технологические особенности получения отливок и слитков этого сплава путем плазменно-дуговых способов гарнисажной плавки и переплава.

Для проведения экспериментов по плазменно-дуговой гарнисажной выплавке γ -TiAl подготовлена установка УПП-3, оборудованная литейной оснасткой. Установка укомплектована четырьмя плазмотронами прямого действия ПДМ-7 мощностью по 30 кВт каждый, рассчитанными на значение тока до 500 А, и медным водоохлаждаемым тиглем объемом 1000 см³, который позволяет сливать расплав.

Преимуществом плазменно-дуговой гарнисажной плавки (в сравнении с процессами переплава заготовок) является возможность использования кусковой исходной шихты, в качестве которой служат титан губчатый ТГ-90, алюминий марки АД31Е с содержанием кремния 0,3... 0,7 мас. % (согласно ГОСТ 4784-97), хром марки Х98,5.

Перед экспериментами камеру объемом около 1 м³ вакуумировали, затем заполняли техническим аргоном до избыточного давления 10... 30 кПа, которое поддерживали на протяжении всей плавки. С учетом качества полученного металла и затрат электроэнергии установлено, что плавку целесообразно проводить с применением двух плазмотронов.



Рис. 1. Отливки, полученные при плазменно-дуговой гарнисажной выплавке γ -TiAl



Рис. 2. Излом отливки γ -TiAl

Ток дуги при этом равняется 300... 450 А. При длине дуги 4... 7 см и расходе плазмообразующего газа (аргона) 5 л/мин падение напряжения на дуге составляет 30... 60 В.

При выплавке γ -TiAl из исходной кусковой шихты частицы материала, контактирующие с поверхностью водоохлаждаемого тигля, не переплавляются. Для получения качественного металла необходимо производить повторный переплав. При этом достигается однородность сплава, который имеет мелкозернистую структуру. В случае выплавки из исходной кусковой шихты с использованием полученного ранее гарнисажа необходимой однородности металла удается достичь при первой плавке. При этом отклонения массовых долей титана и алюминия от заданных в разных зонах полученного слитка не превышают 1, хрома — 0,1 %.

Для получения слитков необходимо сливать сплав в изложницу. Оптимальным является режим, при котором работают все четыре плазмотрона установки. Это дает возможность равномерно распределить тепловую нагрузку по всей поверхности ванны. Радиальное расположение плазмотронов приводит к вращению расплава в тигле, что способствует усреднению температуры сплава и его химического состава. При оптимальном режиме работы плазмотронов ток составляет 250... 400 А при падении напряжения на дуге 30... 50 В. Длительность плавки слитка массой около 3 кг равняется 10 мин. Перед сливом металла избыточное давление повышали до 50 кПа для получения более плотной структуры. Слив металла осуществляли с помощью поворотного механизма, обеспечивающего наклон тигля. Продолжительность слива сплава составляет около 5 с.

Из-за конструктивных особенностей установки УПП-3 невозможно осуществлять обогрев металла при наклоненном тигле, поскольку металл в нем быстро остывает, коэффициент слива не превышает 36 % и существенно зависит от степени заполнения тигля. Сплав сливали в графитовую изложницу с нанесенным слоем оксида алюминия для предупреждения взаимодействия металла с углеродом. По-

лученные отливки (рис. 1) имеют мелкозернистую структуру, которая несколько укрупняется ближе к центру (рис. 2).

В таблице приведен химический состав отливки γ -TiAl, определенный с помощью микрорентгеноспектрального анализа. В целом состав металла отвечает расчетному при шихтовке. Отклонение распределения элементов по высоте и поперечному сечению является незначительным и типичным при формировании отливок.

Для плазменно-дугового переплава подготовили прессованные заготовки, исходными материалами для которых служили титан губчатый ТГ-90, алюминий в гранулах марки «Ч», хром марки Х98,5, кремний с содержанием примесей менее 1 мас. %.

Для получения слитка алюминид титана печь УПП-3 переоборудовали, вместо тигля установили проходной медный водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 100 мм. Прессованные заготовки загружали в колонну с механизмом подачи, расположенную в верхней части камеры. Для вытягивания слитка использовали нижний шток, на который крепили водоохлаждаемый поддон с зацепом в виде «ласточкин хвост», с помощью которого слиток удерживали на нем и вытягивали вниз. Согласованность работы механизмов подачи заготовки и вытя-

Химический состав отливки и слитка γ -TiAl, полученных плазменно-дуговым способом				
Место отбора проб	Массовая доля элементов, %			
	Ti	Al	Cr	Si
Низ отливки (центр)	66,14	32,3	1,40	0,16
Низ отливки (край)	65,84	32,6	1,40	0,16
Верх отливки (край)	65,47	33,1	1,26	0,17
Низ слитка	64,70	33,5	1,50	0,17
Верх слитка	65,30	33,1	1,50	0,12
Расчетный состав при шихтовке	65,40	33,1	1,35	0,15



Рис. 3. Слиток γ -TiAl, полученный при плазменно-дуговом переплаве прессованной заготовки

гивания слитка позволяют осуществлять непрерывный процесс переплава.

Перед экспериментами по плазменно-дуговому переплаву, как и при плазменно-дуговой гарнисажной плавке, камеру вакуумировали, затем заполняли техническим аргоном до избыточного давления 10... 30 кПа, которое поддерживали на протяжении всего процесса. Переплав осуществляли с применением всех четырех плазмотронов. Ток дуги каждого составлял 350... 450 А. При длине дуги 5... 8 см и расходе плазмообразующего газа (аргона) 5 л/мин падение напряжения на дуге равнялось 40... 60 В.

Для предупреждения прогара поддона в момент включения плазмотронов на него укладывали куски сплава, полученного при плазменно-дуговой гарнисажной выплавке γ -TiAl. После их расплавления начинали передвижение заготовки и штока. В процессе плавки заготовку подавали между плазмотронами. При вхождении в зону действий плазменных дуг она оплавлялась, и капли металла попадали в ванну. При такой схеме расположения заготовка экранирует излучение плазменных струй и расплава. В результате она принимает на себя большую часть излучения, что в итоге приводит к уменьшению энергии, необходимой для ее плавления. Средняя скорость переплава составляла 3... 4 мм/мин и ограничивалась скоростью вытягивания, поскольку скорость переплава заготовки может быть выше. Слиток необходимо вытягивать медленно для поддержания некоторого объема ванны с целью обеспечения однородности слитка и предотвращения разрыва внешнего твердого слоя и пролива расплава.

Полученный при переплаве заготовки слиток имеет качественную поверхность, в отличие от нижней зоны (рис. 3, справа), которая формировалась при расплавлении помещенного на поддоне металла. Размер зерна слитка определяли путем измерения среднего условного диаметра зерен согласно ГОСТ 5639–82, он соответствует номеру 1 (рис. 4). Анализ химического состава, определенный с помощью рентгенофлуоресцентного метода (таблица), свидетельствует об удовлетворительной однородности слитка. Таким образом, получать слитки γ -TiAl удовлетворительного качества можно путем однократного плазменно-дугового переплава прессованной заготовки.

В процессах дробления титановой губки, ее транспортировки, изготовления расходуемых электродов, при длительном хранении возможна адсор-

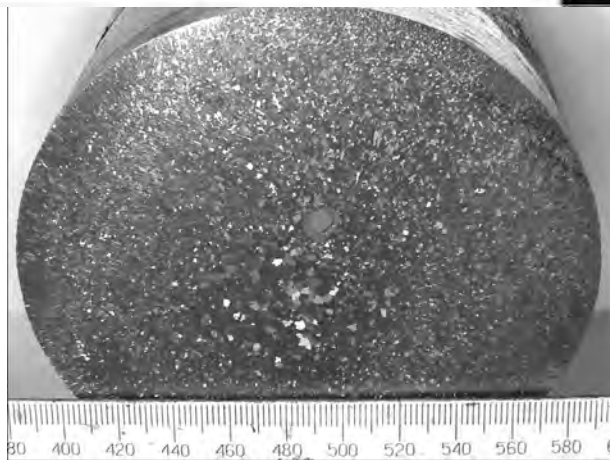


Рис. 4. Макроструктура слитка γ -TiAl

бция атмосферных газов и влаги развитой поверхностью губчатого титана и остатками солей хлора. Эти примеси могут стать причиной повышенного содержания в металле водорода, кислорода и азота [4]. Одной из задач переплава заготовки, спрессованной из губчатого титана, является удаление из металла водорода [5]. Поэтому при выплавке γ -TiAl из шихты, содержащей титановую губку, необходимо уделять внимание поведению этого газа и его соединений.

Присутствие водорода в атмосфере вызвано тепловым воздействием на стенки камеры и плазмотронов, а также на переплавляемую заготовку. В результате нагрева влага отрывается со стенок и попадает в объем установки. Часть ее попадает на расплавленный металл, разлагается на кислород и водород [6].

Концентрацию водорода в атмосфере печи определяли методом хроматографического анализа с помощью прибора «Газохром 3101». Его тарировку проводили с использованием газовой смеси, содержащей 1 об. % водорода в аргоне. Перед началом плавки стенки плавильной камеры, корпусов плазмотронов, медного тигля или кристаллизатора тщательно очищали от возгонов, образовавшихся при предыдущей плавке.

При плазменно-дуговой гарнисажной выплавке γ -TiAl происходит быстрое расплавление большей части шихты. В случае использования исходной титановой губки при общей массе загрузки 1,75 кг концентрация водорода в камере достигает 1,5 об. % (рис. 5, кривая 1), а при повторном переплаве сплава массой 3,5 кг — 0,3... 0,8 об. % (рис. 5, кривые 2, 3). Можно сделать вывод, что при повторном переплаве основным источником водорода в камере является влага, адсорбированная на поверхности оборудования. Большая концентрация водорода в атмосфере камеры при выплавке γ -TiAl из исходной шихты вызвана выделением его соединений из титановой губки при нагреве. Таким образом, можно утверждать об удалении водорода в условиях плазменно-дуговой гарнисажной плавки.

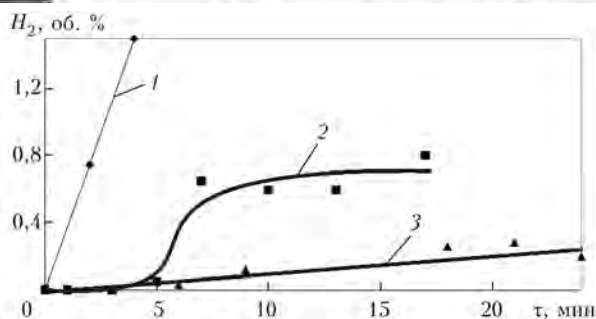


Рис. 5. Содержание водорода в камере печи при плазменно-дуговой гарнисажной выплавке γ -TiAl: 1 — переплав исходной шихты; 2, 3 — повторные переплавы

При плазменно-дуговом переплаве заготовки нагрев и расплавление шихты, содержащей титановую губку, осуществляются постепенно по длине заготовки (700 мм). Поэтому возрастание концентрации водорода в атмосфере печи происходит медленнее, чем при плазменно-дуговой гарнисажной плавке (рис. 6). После достижения максимума (около 0,5 об. %) концентрация водорода начинает снижаться. Такое его поведение согласуется с данными о плазменно-дуговом переплаве прессованной заготовки титана [6], что объясняется уменьшением содержания влаги и водорода в камере благодаря ее продувке плазмообразующим газом [7]. Поэтому по окончании выделения основного объема соединений водорода его содержание в атмосфере камеры начинает уменьшаться. Массовая доля водорода в полученном слитке, определенная аппарате «LECO», как в верхней, так и в нижней частях составляет около 0,006 %.

Содержание азота и кислорода в слитке от нижней к верхней части снижается соответственно от 0,022 до 0,017 и от 0,380 до 0,176 мас. %. Уменьшение вызвано вероятным снижением концентрации этих газов в атмосфере печи из-за их взаимодействия с металлами и продувки камеры аргоном.

Массовая доля азота и водорода в полученном слитке отвечает требованиям, предъявляемым к титану и его сплавам [4, 8]. Содержание кислорода в нижней части слитка превышает регламентированное, однако оно может быть снижено путем прогрева камеры перед переплавом и промывки ее атмосферы аргоном.

Выводы

1. Отливки γ -TiAl, полученные при плазменно-дуговой гарнисажной плавке из кусковой шихты со сливом металла в изложницу, отвечают заданному химическому составу. Отклонение содержания эле-

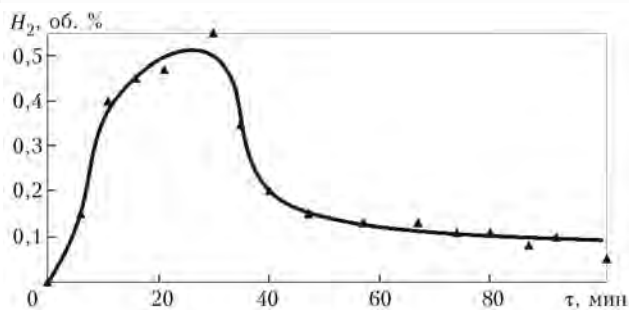


Рис. 6. Содержание водорода в камере печи при получении слитка γ -TiAl путем плазменно-дугового переплава прессованной заготовки

ментов является незначительным и типичным при формировании отливок.

2. Способом плазменно-дугового переплава прессованных заготовок можно получать слитки γ -TiAl с качественной поверхностью. Анализ химического состава свидетельствует об удовлетворительной однородности слитка.

3. При плазменно-дуговой выплавке γ -TiAl удаляется водород, источником которого является адсорбированная влага. Содержание азота, кислорода и водорода в полученном слитке соответствует требованиям, предъявляемым к титану и его сплавам.

1. *Интерметаллидное жаропрочение сплавов титана, получаемых способом магнитоуправляемой электрошлаковой плавки* / Я. Ю. Компан, А. Т. Назарчук, Д. А. Петров и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 1. — С. 3–11.
2. *Ильин А. А., Колачев Б. А., Польшкин И. С.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. — М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. — 520 с.
3. *Григоренко Г. М., Шейко И. В.* Индукционная плавка металлов в холодных тиглях и охлаждаемых секционных кристаллизаторах. — Киев: Сталь, 2006. — 320 с.
4. *Протокилов И. В.* Дегазация электрода, спрессованного из губчатого титана, в процессе вакуумирования камерной печи ЭШП // Современ. электрометаллургия. — 2012. — № 1. — С. 12–15.
5. *Исследование состава газовой атмосферы при индукционной плавке в секционном кристаллизаторе губчатого титана* / М. Л. Жадкевич, И. В. Шейко, С. М. Теслевич и др. // Там же. — 2004. — № 3. — С. 37–41.
6. *Исследование состава газовой фазы при плазменно-дуговой плавке титана из прессованной заготовки* / М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, В. В. Тэлин и др. // Там же. — 2004. — № 4. — С. 24–28.
7. *Динамика состава атмосферы крупнотоннажной печи У-600 при плазменно-дуговом переплаве конструкционных сталей с рециркуляцией газа* / А. А. Ждановский, Ю. В. Латаш, О. С. Забарилло и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1984. — № 20. — С. 92–96.
8. *ГОСТ 19807–91.* Титан и сплавы титановые деформируемые. — Введ. 01.07.92.

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

Поступила 28.05.2012