

УДК 621.745.5:669.187.2

**Н. И. Левицкий, В. И. Мирошниченко, Т. В. Лапшук,
Е. А. Матвиец, В. С. Голтвяница*, С. К. Голтвяница****

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Запорожский национальный технический университет, Запорожье

**ООО «РИАЛ», Запорожье

КАЧЕСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ TiAl, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКОЙ

Представлены результаты исследований качества литых заготовок из интерметаллидных сплавов TiAl, полученных методом электронно-лучевой плавки при использовании разных типов форм и схем заливки. Показана принципиальная возможность получения плотных и однородных отливок, определены условия реализации такой возможности.

Ключевые слова: электронно-лучевая плавка, электромагнитное перемешивание, интерметаллидный сплав, форма.

Наведено результати досліджень якості литих заготовок з інтерметалідних сплавів TiAl, одержаних методом електронно-променевої плавки при використанні різних типів форм та схем заливки. Показана принципова можливість одержання щільних та однорідних відливок, визначені умови реалізації такої можливості.

Ключові слова: електронно-променева плавка, електромагнітне перемішування, інтерметалідний сплав, форма.

The results of investigation of influence of EB melting technology and different types of moulds and methods of casting on quality of cast billets from TiAl intermetallic compound are represented. The possibility of dense and homogeneous cast parts production are shown and conditions of realization of this possibility are formulated.

Keywords: electron beam melting, electromagnetic stirring, intermetallic compound, mould.

Для нанесения пленок и износостойчивых покрытий методом конденсации металла из плазмы при ионной бомбардировке (метод КИБ, зарубежный аналог – метод PVD) в вакуумных установках типа “Булат-3”, “Булат-20”, “Пуск”, ННВ-6.1, ННВ-6.2, ННВ-6.6 используются литые катоды из сплавов Ti-(36-40) Al. Неудовлетворительное качество катодов приводит к нестабильной работе указанных установок, нарушению вакуума и каплеобразованию. Поэтому к катодам предъявляют следующие требования: плотная литая структура (без усадочных раковин и пористости), низкое содержание неметаллических и металлических примесей, а также однородность химического состава по всему объему слитка [1-3].

Новые методы и прогрессивные технологии литья

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработана технология выплавки интерметаллидных сплавов системы Ti-Al, в которой для получения необходимого стехиометрического состава ввод алюминия в уже наведенную ванну производится на заключительной стадии плавки путем капельного оплавления алюминия за счет электронно-лучевого нагрева [4].

В данной работе изучалась возможность использования электронно-лучевой литейной технологии для получения плотных и однородных литых заготовок из интерметаллидных сплавов TiAl.

Материалы и методика исследования. Опытные плавки проводили на электронно-лучевой установке ЭЛЛУ-4 в медном водоохлаждаемом тигле с системой электромагнитного перемешивания расплава [5]. В качестве шихты использовали слитки сплава Ti-40 Al, а также титановую губку марки ТГ110 и алюминий А6. Заливку сплавов Ti-(40-42) Al осуществляли путем наклона тигля на 90° в форму, расположенную на специальном столике. Конструктивные особенности литейных форм представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики литейных форм

Номер плавки	Литейная форма	Примечания
1	стальной кокиль $\varnothing 87$ мм $h - 270$ мм	-
2	четырёхместный кокиль с осесимметричным размещением «гнезд»	верхняя часть двух «гнезд» (№ 2-1 и 2-2) дополнительно утеплена графитовыми пластинами толщиной 2 мм и двумя слоями графитовой ткани
3	четырёхместный кокиль с радиальным размещением «гнезд»	использовали холодильники: стержень $\varnothing 5$ мм из сплава Ti-32Al (№ 3-1) и проволоку $\varnothing 3$ мм из сплава ВТ1-0 (№ 3-2), а также надставку в виде графитовой трубки $\varnothing 40$ мм, $h 50$ мм (№ 3-3), медный купол, закрывающий форму (№ 3-4)
4	четырёхместный кокиль с радиальным размещением «гнезд»	«гнезда» оснащены медным куполом (№ 4-1), графитовыми трубками-надставками $\varnothing 40$ мм, $h 50$ мм (№ 4-3), $\varnothing 40$ мм, $h 90$ мм (№ 4-4), плоской медной крышкой (№ 4-2)

Результаты исследований и их обсуждение. Рентгеновским просвечиванием слитка плавки № 1 выявили закрытую усадочную раковину $\varnothing 5$ мм глубиной ~ 8 мм, расположенную в 5 мм от его верха (рис. 1). Следует отметить, что недостатками изготовления заготовок из слитка TiAl являются **трудоемкость этой операции, особенно при больших диаметрах обрабатываемых изделий, а также опасность образования в них трещин из-за повышенной хрупкости таких материалов.**

Поскольку во всех слитках плавки № 2, полученных заливкой в четырехместный

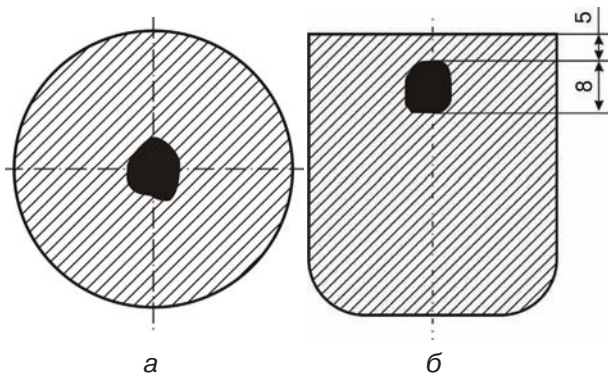


Рис. 1. Результаты рентгеновского просвечивания образца плавки № 1: а – вид сверху; б – вид сбоку



Рис. 2. Внешний вид части слитка № 2-3

кокиль с осесимметричным расположением гнезд, при визуальном осмотре усадочные раковины обнаружены не были, можно предположить, что они не открытые, а закрытые (рис. 2).

Далее слиток № 2-4 подвергли электронно-лучевому нагреву с целью обнаружения и заваривания этого дефекта (рис. 3, в). Результаты исследований показали, что остальные три заготовки (№ 2-1, 2-2, 2-3) были поражены литейными дефектами почти по всей рабочей высоте (рис. 3, а, б).

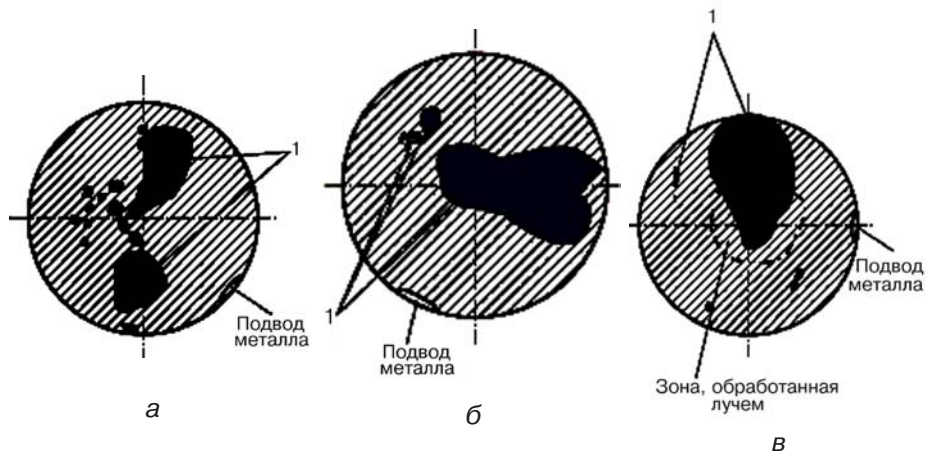


Рис. 3. Результаты рентгеновского просвечивания образцов № 2-1 (а), 2-2 (б), 2-4 (в): 1 – усадочная раковина; а, в – вид сверху; б – вид сбоку

Что касается заготовки № 2-4, то при ее механической (токарной) обработке наблюдались скалывания (рис. 4).

Среди способов получения слитков плавки № 3, залитых в четырехместный кокиль с радиальным расположением гнезд с внутренними холодильниками для ускоренного охлаждения кристаллизующихся массивных частей отливок (№ 3-1 и 3-2), а также с графитовой надставкой (№ 3-3) и медным куполом (№ 3-4), самым эффективным, с точки зрения величины и размещения усадочной раковины, оказалось оснащение формы медным куполом. В данном случае размер раковин не превышал 7 мм, глубина распространения – 10 мм (рис. 5).

По сравнению со слитком № 3-4 в остальных слитках (№ 3-1, 3-2, 3-3) размер раковин был намного больше (13-20 мм), как и глубина распространения (25-30 мм). Разница, очевидно, связана с дополнительным нагревом верхней части заготовки вследствие высокой отражательной способности медного купола, чем создаются условия направленной кристаллизации.

С целью оценки степени воспроизводимости результатов была проведена плавка № 4. Как и в слитках серии плавки № 3, наилучшие



Рис. 4. Внешний вид слитка № 2-4 после механической обработки

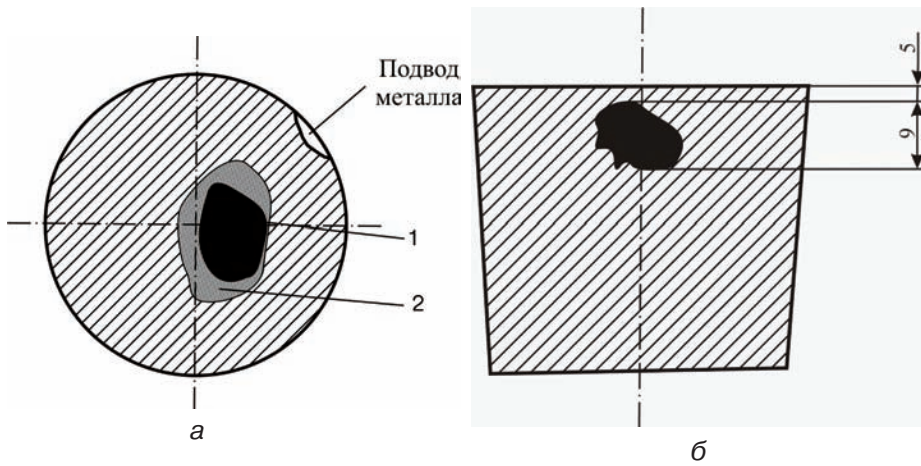


Рис. 5. Результаты рентгеновского просвечивания образца пл. № 3-4: 1 – усадочная раковина, 2 – рассеянная пористость; а – вид сверху, б – вид сбоку

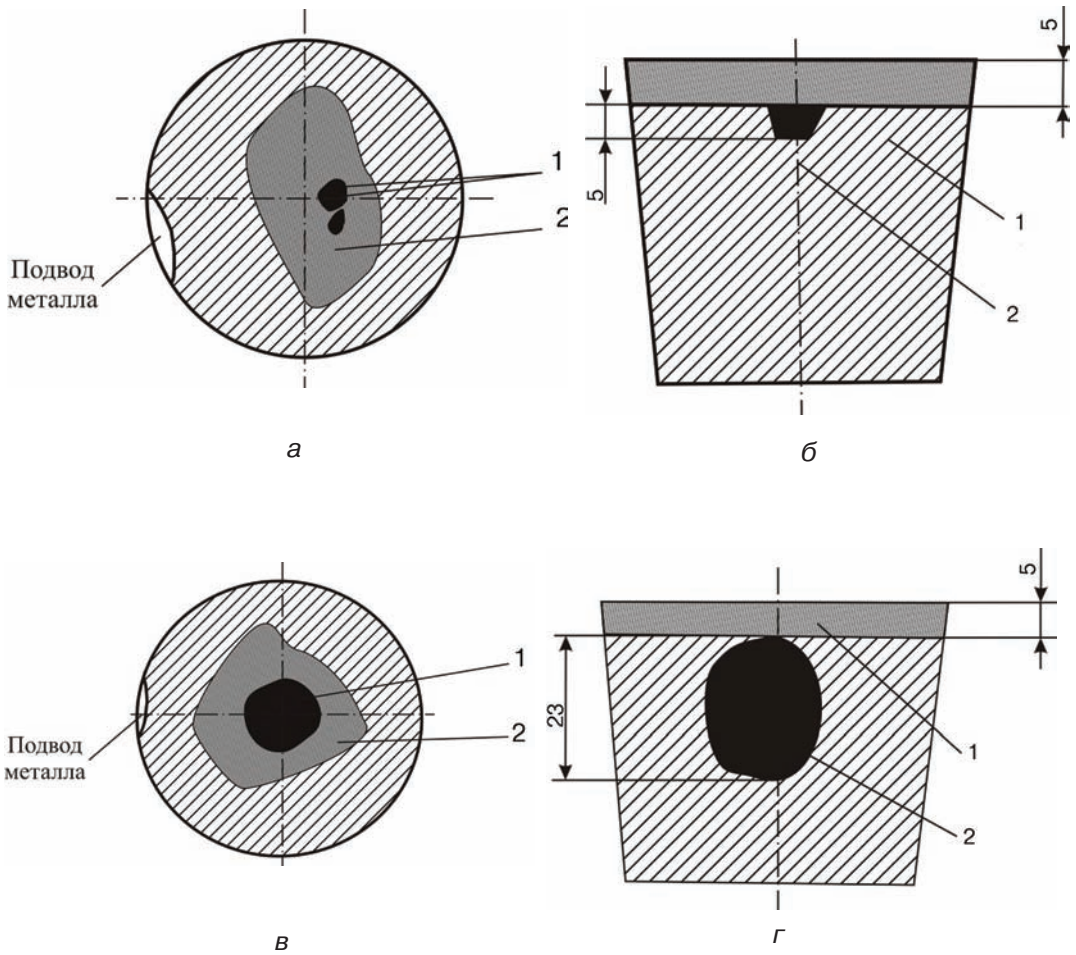


Рис. 6. Результаты рентгеновского просвечивания образцов № 4-1 (а, б) и 4-3 (в, г): 1 – усадочная раковина; 2 – рассеянная пористость; а, в – вид сверху; б, г – вид сбоку

Новые методы и прогрессивные технологии литья

результаты были получены при использовании медного купола (рис. 6, а, б), поскольку величина усадочной раковины и рассеянной пористости в слитке № 4-1 была минимальной и составляла соответственно 5 и 5 мм. Таким образом, при общей высоте заготовки 60 мм только в случае с медным куполом-отражателем удалось получить практически бездефектную заготовку высотой 50 мм.

Спектральным методом определили, что алюминий равномерно распределялся по сечению отливок (табл. 2) – его отклонение не превышало 1 %, что еще раз показывает безусловное преимущество выплавки сплавов в условиях электронно-лучевой плавки с электромагнитным перемешиванием расплава.

Таблица 2. Химический состав сплавов TiAl, полученных электронно-лучевой плавкой

Номер плавки	Общий слив, кг	Содержание Al, %мас.		Примечания
1	11,6	33,3	33,5	вторичный переплав сплава Ti-40 Al
2	9,6	39,2	38,9	Ti-губка – 60 %; Al – 40 %
3	7,8	35,0	35,4	вторичный переплав сплава Ti-42 Al
4	9,6	38,2	38,4	Ti-губка – 60 %; Al – 40 %

Выводы

Таким образом, электронно-лучевым переплавом можно получить плотные и однородные отливки из сплавов Ti-(40-42) Al без газоусадочных дефектов, используя медный купол, размещаемый непосредственно над стальным кокилем, в который производится заливка сплава.



Список литературы

1. Барвинок В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
2. Голтвяница С. К., Голтвяница В. С., Цивірко Е. І. Отримання щільних та однорідних виливків зі сплаву титан-алюміній // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2006. – № 1. – С. 57-59.
3. Голтвяница В. С., Цивірко Е. І., Голтвяница С. К. Ливарні дефекти виливків з титанового сплаву Ti-36 Al // Вестник двигателестроения. – 2006. – № 2. – С. 185-187.
4. Ладохин С. В., Левицкий Н. И. Опыт получения интерметаллидов титана методом электронно-лучевой гарнисажной плавки // Проблемы современного материаловедения. – Гомель: ИММС НАНБ, 2008. – С. 14-20.
5. Ладохин С. В., Левицкий Н. И., Дамкросгер Б., Вильямсон Р. Влияние электромагнитного перемешивания на электронно-лучевую гарнисажную плавку титана и его сплавов // Металл и литье Украины. – 1996. – № 11-12. – С. 39-43.

Поступила 16.03.2009