



*Consider the process of obtaining an addition alloy products from alloys of titanium-aluminum systems, which includes metallurgical and pulse processing of powder materials.*

А. Ф. ИЛЬЮЩЕНКО, Г. В. КУПЧЕНКО, А. Р. ЛУЧЕНОК, А. А. ЛУЧЕНОК, Н. В. КИРШИНА,  
О. А. ПОКО, А. В. МАЙОНОВ, ОХП «НИИ ИП с ОП» ГНУ «ИПМ»

УДК 621.74

## ЛИТЕЙНО – ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ТИТАН – АЛЮМИНИЙ

### Введение

В промышленности широкое применение находят синтезированные поликомпонентные материалы. К таким материалам, в частности, относятся соединения на основе титана и алюминия, которые обладают рядом особых физико-механических, высокотемпературных и электрических свойств. Они могут быть использованы как конструкционные материалы и материалы покрытий в различных отраслях машиностроения и электротехники.

Однако получение данного класса материалов и изделий из них довольно сложно и сопряжено с большими материальными затратами. При необходимости для литья перегреве расплава происходит испарение, выгорание и окисление компонент материала. Затруднительно введение и точное распределение по объему изделия легирующих добавок.

Применение традиционных методов порошковой металлургии не позволяет получать изделия высокой плотности из порошков данных материалов из-за их высокой твердости и низкой пластичности. При спекании прессовок из смеси порошков титана и алюминия инициируется процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), приводящий к разуплотнению и потере формы прессовки. Этим определяется актуальность разработки новых процессов получения материалов данного класса.

Перспективным для получения поликомпонентных изделий является метод импульсного (ударно-волнового) прессования порошков с использованием энергии бризантных взрывчатых веществ (БВВ). Применение ударно-волнового воздействия для получения композиционных поликомпонентных материалов позволяет формировать изделия из порошков практически любого состава при вы-

сокой (до 99 %) плотности прессовок. Метод применим как для изготовления самостоятельных изделий, так и лигатур для последующей металлургической переработки. Химическая чистота получаемых изделий может быть не хуже химической чистоты исходных материалов. Закрытая пористость прессовок снижает вероятность окисления материала в процессе металлургической переработки. Полученные данным методом лигатуры отличаются точным химическим составом и повышенной активностью, обеспеченной ударно-волновым методом получения.

Предложена технологическая цепочка изготовления изделий из сплавов системы титан-алюминий, включающая получение методом импульсного прессования материалов лигатуры из смеси порошков титана и алюминия заданного состава (возможно введение различных добавок), металлургическую переработку (переплав) порошковой лигатуры, размол в порошок синтезированного материала, импульсное прессование изделий из полученного порошка.

Применяемые методы могут быть использованы при создании широкого спектра материалов, получение которых невозможно никаким другим способом.

### Изготовление порошковой лигатуры системы алюминий–титан

В качестве модельных материалов для получения лигатуры выбраны порошки титана ПТМ ТУ 48–10–22–85 с размером частиц меньше 100 мкм; алюминия АСД-1 ТУ 48–5–226–87 с размером частиц меньше 100 мкм. Порошки в соотношении 45 ат.% Ti + 55 ат.% смешивали в шаровом смесителе со смещенной осью типа «пьяная бочка» в течение 1 ч. Прессование полученной порошковой

смеси проводили по плоской схеме с линейным фронтом детонации [1]. Было использовано взрывчатое вещество аммонит № 6 ЖВ со скоростью детонации порядка 4000 м/с. При этом, по оценочным данным, амплитуда давления составляла 3–7 ГПа, длительность импульса давления – 8–45 мкс.

Максимальная плотность полученных прессовок составила около 99%. Однако из-за сильного разогрева прессуемого материала в процессе импульсного нагружения происходило частичное окисление прессовок с относительной плотностью более 97%.

Исходя из полученных данных, выбран оптимальный режим прессования. Изготовлены экспериментальные образцы порошковой лигатуры алюминий – титан с содержанием титана 45, 50 и 55% и относительной плотностью порядка 95%.

С учетом поставленной цели известных особенностей получения титановых сплавов и существующих у исполнителя технических возможностей был сделан выбор способа плавки и всех необходимых для его атрибутов – оснастки, тиглей и др. Плавильные работы проведены на вакуумной печи ИСВ 0,004 ПИМ1 для плавки и разливки металлов в вакууме. Плавка сплавов проведена в тигле из диоксида циркония, зафутерованного в графито-шамотный тигель.

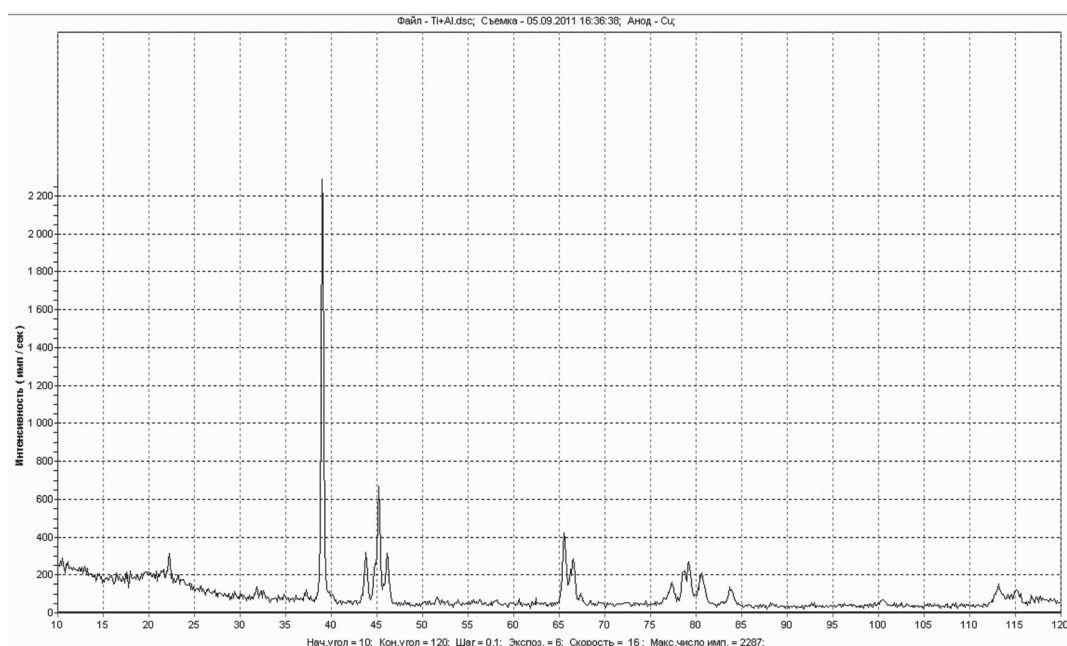
В процессе переплава лигатуры происходит экзотермическая реакция. Она сопровождается быст-



Рис. 1. Внешний вид слитков из алюминидов титана

рым (в течение ~ 30 с) повышением температуры, заметным задымлением над тиглем. Причем повышение содержания титана в сплаве вызывает усиление задымления, т. е. интенсификации экзотермической реакции. После расплавления всего объема лигатуры проводится изотермическая выдержка расплава продолжительностью 2 мин, после чего нагрев отключается и проводится заливка расплава в открытую графитовую изложницу. После остывания изложницы до 300 °С ее вынимают из камеры и извлекают из изложницы. Взаимодействие металла с графитом не наблюдалось. На рис. 1 показан внешний вид слитков.

Внешний осмотр показал, что по мере увеличения количества титана в сплаве качество поверхности ухудшается. На слитках с 45 и 50 ат.% тита-



A Aluminum Titanium	
Formula	Al <sub>2</sub> Ti

B Aluminum Titanium	
Formula	Al <sub>11</sub> Ti <sub>5</sub>

Рис. 2. Гифрактограмма лигатуры алюминий – титан

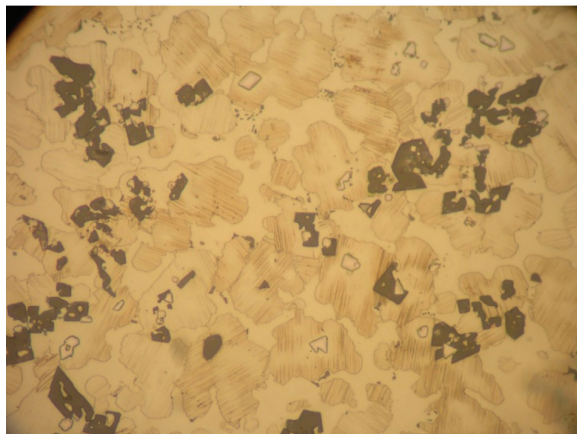


Рис. 3. Микроструктура лигатуры Al-Ti (45 ат.% Ti и 55 ат.% Al). ×200

на поверхность гладкая и ровная с небольшими участками пленки оксида титана. Слиток с 55 ат.% титана наиболее хрупкий – он треснул во время извлечения из изложницы. Его поверхность неровная, полностью покрытая рыхлым оксидным налетом. Аналогичный налет наблюдался на стенках камеры.

Исследование фазового состава синтезированного материала (45% Ti) показало, что в исходном материале содержится два интерметаллида:  $Al_2Ti$  и  $Al_{11}Ti_5$  (рис. 2). Микроструктурные исследования также показали, что материал имеет двухфазное строение (рис. 3).

После переплава слитки подвергали дроблению в порошок и рассеву на ситах. Получен порошок интерметаллида системы титан – алюминий.

На рис. 4 приведены данные гранулометрического состава порошковой шихты. Как видно из рисунка, в порошковой шихте интерметаллида алюминий – титан, полученной размолотом слитка лигатуры, преобладают крупные частицы больше 160 мкм.

Порошок интерметаллида системы титан-алюминий использовали для получения заготовок мишеней для вакуумного распыления. Заготовки мишеней прессовали по плоской схеме с линейным фронтом детонации. Получены изделия, с относительной плотностью порядка 91%.

Однако материал прессовок отличается высокой твердостью более 400 кгс/мм<sup>2</sup> и хрупкостью, что приводит к выкрашиванию частиц при последующей механической обработке и не позволяет получить изделия с необходимой для эксплуатации шероховатостью поверхности.

Для улучшения механических свойств материала предложено в состав порошковой шихты перед прессованием вводить определенное количество порошка пластичной компоненты (титана), что позволит улучшить прессуемость и обрабатываемость порошкового материала, а также в ши-

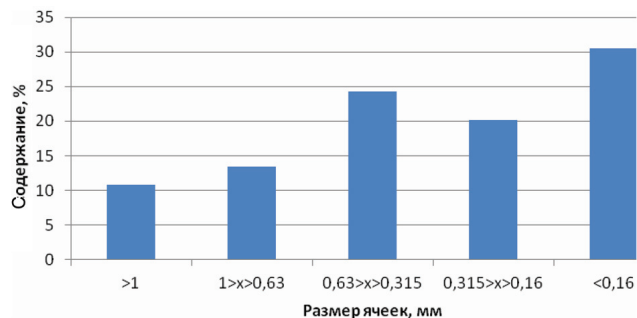


Рис. 4. Массовая доля порошка по размерам

роких пределах корректировать химический состав изделий. Возможно введение в шихту для прессования и других легирующих элементов.

Для проведения исследований полученный порошок интерметаллида системы титан – алюминий смешивали с порошком титана с размером частиц меньше 200 мкм в соотношениях, приведенных в таблице.

**Экспериментальные образцы из лигатуры на основе Al-Ti с различной концентрацией титана**

Номер образца	Сплав
1	$Al_3Ti + 15\% Ti$
2	$Al_3Ti + 25\% Ti$
3	$Al_3Ti + 35\% Ti$
4	$Al_3Ti + 50\% Ti$

Количество пластичного порошка титана было выбрано исходя из соображений получения шихтового материала, приблизительно соответствующего по общему составу ряду интерметаллидов  $TiAl_3$ ;  $TiAl$ ;  $Ti_2Al_3$ ;  $Ti_3Al$ .

Полученная шихта прессовалась зарядом взрывчатого вещества аммонит № 6ЖВ. Подрыв проводили по схеме с линейным фронтом детонации. Были изготовлены прессовки с относительной плотностью 90–92%.

На рис. 5 приведена зависимость относительной плотности прессовок от содержания пластич-

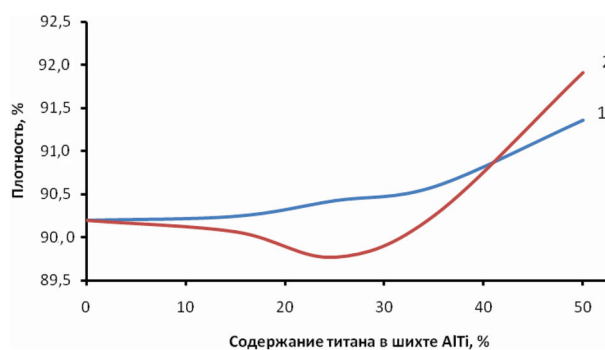


Рис. 5. Зависимость плотности прессовок из порошковой шихты  $Al_3Ti + Ti$  от содержания титана: 1 – плотность образцов до спекания; 2 – плотность образцов после спекания

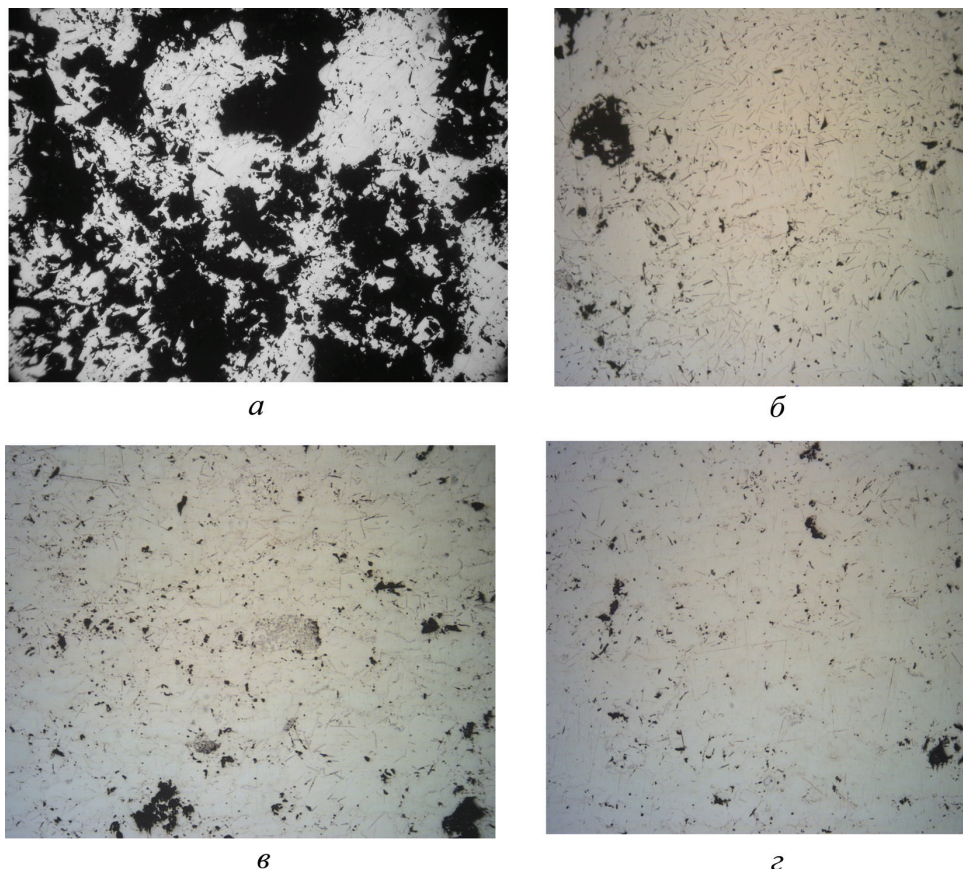


Рис. 6. Микроструктура образцов на основе  $Al_3Ti + Ti$ : *а* – сплав  $Al_3Ti$  без добавок; *б* – сплав  $Al_3Ti + 25\% Ti$ ; *в* – сплав  $Al_3Ti + 35\% Ti$ ; *г* – сплав  $Al_3Ti + 50\% Ti$ .  $\times 50$

ной компоненты (титана). Из рисунка видно, что увеличение содержания порошка пластичной компоненты приводит к монотонному повышению плотности прессовки от 90,2 до 92 % при идентичных условиях прессования.

Прессовки спекали в вакуумной электропечи СНВ 1.3,1/20-И1 в вакууме  $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при температуре 1250 °С. Выдержка на режиме 1 ч, охлаждение вместе с печью.

Как видно из рисунка, добавки до 15 вес.% титана не оказывают существенного влияния на изменение относительной плотности прессовок в процессе спекания при данной температуре и времени выдержки.

При повышении концентрации титана в шихте до 25–35% происходит снижение плотности прессовок до 89,5%, обусловленное, очевидно, появлением диффузионной пористости. При увеличении концентрации титана до 50% плотность спеченных образцов повышается до 92%.

В отличие от спекания однокомпонентных систем, где диффузионные процессы, как правило, способствуют уплотнению, гетеродиффузия в многокомпонентных системах может приводить к торможению процесса усадки [2]. Но в данном случае с ростом содержания титана диффузионные процессы начинают

преобладать над гетеродиффузионными, что сопровождается увеличением плотности.

Микроструктурные исследования (рис. 6) показали уменьшение пористости образцов пропорционально увеличению содержания титана в области концентрации до 50% по сравнению с образцом № 1 (без добавок титана). Очевидно, пластичная компонента (титан) предотвращает выкрашивание хрупкой компоненты в процессе получения микрошлифа, что позволяет сделать предположение об

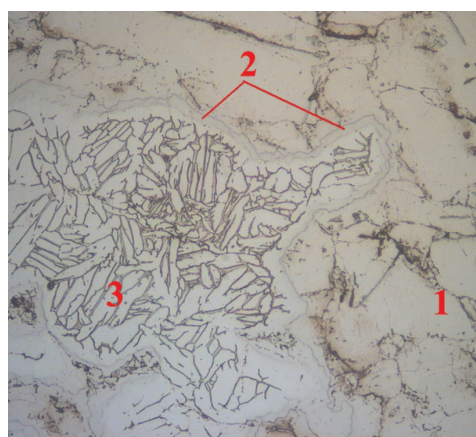


Рис. 7. Микроструктура прессовки из шихты  $Al_3Ti + 50\% Ti$  после спекания: 1 –  $Al_3Ti$ ; 2 – граница зоны диффузии; 3 – зерно титана.  $\times 200$

улучшении обрабатываемости полученного материала уже в области концентрации титана 15–25%.

Анализ микроструктуры спеченного образца (рис. 7) показал наличие областей частичного взаимодействия между титаном и интерметаллидом фазы  $TiAl_3$ , сформированных в процессе спекания, отсутствие областей диффузионной пористости.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования порошковой лигатуры системы титан-алюминий для выплавки сплавов, а затем с добавками пластичной компоненты для получения мишеней для вакуумного распыления и других изделий широкого диапазона составов.

#### Литература

1. К р у п и н, А. В. Обработка металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, М. Р. Крестев. М.: Metallurgy, 1991.
2. А н ц и ф е р о в, В. И. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. И. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин, С. С. Кипарисов: М.: Metallurgy, 1987.