

УДК 621.9.048.7 + 539.512

DOI: 10.17223/00213411/62/8/143

*В.Р. УТЯГАНОВА, А.В. ВОРОНЦОВ, А.А. ЕЛИСЕЕВ, К.С. ОСИПОВИЧ, К.Н. КАЛАШНИКОВ,
Н.Л. САВЧЕНКО, В.Е. РУБЦОВ, Е.А. КОЛУБАЕВ*

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti–6Al–4V, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ *

С использованием электронно-лучевой проволоочной аддитивной технологии по двум режимам, отличающимся величиной тока электронного пучка, получены образцы из сплава Ti–6Al–4V. Проведены исследования структуры, фазового состава и микротвердости образцов. Процесс выращивания происходил с использованием комбинированной подложки из титанового сплава BT1-0 и нержавеющей стали 12X18H10. Показано, что для режима с большим значением тока пучка было характерно образование столбчатых зерен β -фазы с меньшей высотой и шириной по сравнению с режимом с низким током. Данный эффект обсуждается в терминах выравнивания температурного градиента и увеличения скорости охлаждения в процессе выращивания, из-за образования диффузионного соединения между пластинами из титанового сплава и нержавеющей стали, содержащего интерметаллиды Fe_2Ti , FeTi и Cr_2Ti .

Ключевые слова: аддитивная технология, титановый сплав, микроструктура, микротвердость.

Введение

Титановый сплав Ti–6Al–4V широко применяется в авиационно-космической, автомобильной, биомедицинской и химической промышленности благодаря сочетанию высоких прочностных и антикоррозионных свойств [1, 2]. Высокая стоимость деталей из титановых сплавов определяется большим расходом материала при механической обработке. Применение аддитивных технологий позволяет снизить затраты при производстве изделий из титановых сплавов [3] за счет изготовления высокоточных заготовок, которые в дальнейшем требуют минимальной механической обработки. При этом ключевым требованием при изготовлении таких заготовок является сохранение высоких механических характеристик изготавливаемого материала.

Аддитивные технологии, в которых в качестве основного расходного материала используется проволока, обладают высокой производительностью [3], однако существуют некоторые трудности, которые ограничивают их широкое применение для титановых сплавов. Значительный подвод тепла и большой градиент температуры во время процесса выращивания Ti–6Al–4V приводят к образованию длинных столбчатых зерен β -фазы, ориентированных вдоль направления выращивания, перпендикулярно подложке. Формирование крупных столбчатых зерен β -фазы является решающим фактором, определяющим анизотропию механических свойств всего изделия из титанового сплава. При растяжении вдоль направления выращивания (роста) материал обнаруживает тенденцию к более высокой пластичности, но к более низким пределу текучести и прочности, чем при растяжении в направлении, параллельном подложке [4]. Поэтому такая структура материала недопустима для изделий, в которых требуется изотропия механических свойств. Однако структура с крупными столбчатыми зернами β -фазы может быть востребована при изготовлении изделий, требующих существенной анизотропии свойств в одном из направлений (например, таких, как лезвийный инструмент).

К настоящему времени проведено несколько исследований, в которых предпринимались попытки уменьшить размер столбчатых зерен в титановом сплаве, полученном аддитивной технологией. В работе [5] был получен Ti–6Al–4V с мелким размером β -зерна с помощью прокатки роликом под высоким давлением каждого выращенного слоя непосредственно после его нанесения. В [6] авторы применили метод увеличения скорости охлаждения, чтобы уменьшить размер зерен β -фазы. В [7] получили более узкие столбчатые β -зерна путем добавления частиц бора в расплавленную ванну. Не все вышеописанные приемы уменьшения столбчатых зерен применимы в случае электронно-лучевой проволоочной аддитивной технологии, поскольку процесс выращивания изделия происходит в вакуумной камере. Однако эта технология обладает большим потенциалом с

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>