

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ
ДВУХНИТОЧНОЙ ПЛАВКОЙ ПРОВОЛОКИ**

Лю Юаньсюнь^a, студент гр. А2-48,
Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., д.т.н., доц.,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ^aliuyuanx110@163.com

Аннотация: Интерметаллические соединения TiAl являются наиболее перспективными материалами для двигателей благодаря своей низкой плотности (3,3–4,2 г/см³), стойкости к высокотемпературному окислению, высокой прочности и высокому модулю упругости. В данной работе используется метод двойной подачи проволоки для получения интерметаллических соединений TiAl с определенным соотношением состава путем управления различными скоростями подачи проволоки и улучшения микроструктуры интерметаллических соединений TiAl методом направленного затвердевания для улучшения свойств материала.

Ключевые слова: направленное затвердевание, интерметаллические соединения TiAl, двухниточная плавкая проволока.

Abstract: TiAl intermetallic compounds with low density (3.3–4.2g/cm³), high temperature oxidation resistance, high strength and high modulus of elasticity are the most promising materials for engines in order to reduce energy consumption and increase service temperature. In this paper, a dual filament feeding method is used to study the improvement of the TiAl intermetallic compound by controlling different filament feeding speeds to obtain a specific composition ratio, and improving the microstructure of the TiAl intermetallic compound to improve the material properties through the directional solidification technique.

Keywords: directional solidification, TiAl intermetallic compounds, double stranded fusible wire.

С развитием науки и техники традиционные материалы и технологии обработки больше не могут соответствовать сложным условиям эксплуатации, спрос на материалы с более высокими эксплуатационными характеристиками и специальными функциями становится все более актуальным, в аэрокосмической области срочно необходимы материалы с высокой термостойкостью, низкой плотностью, сверхвысокой прочностью и высоким модулем упругости для снижения веса конструкции двигателя, повышения температуры сгорания, для достижения цели повышения эффективности[1]. Интерметаллические соединения титан-алюминий относятся к классу материалов с высокой прочностью, низкой плотностью и хорошими механическими свойствами при высоких температурах, что делает их кандидатами для широкого спектра применений в аэрокосмической и энергетической отраслях. Однако хрупкость и низкая вязкость титано-алюминиевых интерметаллидов ограничивают их практическое применение.

Для улучшения микроструктуры интерметаллических соединений титан-алюминий обычно используются два метода: термомеханическая обработка для уменьшения размера зерен в ламелях и направленная кристаллизация для устранения поперечных границ зерен с целью улучшения свойств материала, однако термомеханическая обработка требует больших затрат энергии, не позволяет значительно улучшить пластичность при комнатной температуре и склонна к образованию трещин. Контролируя поперечные границы зерен перпендикулярно направлению главных напряжений, направление оптимальной ориентации выравнивается с направлением несущей нагрузки, тем самым улучшая вязкость разрушения, прочность при ползучести и теплостойкость интерметаллического соединения титан-алюминий.

В данном исследовании направленного затвердевания интерметаллических соединений титан-алюминий, изготовленных методом электронно-лучевой добавки, что позволяет эффективно контролировать кристаллическую ориентацию и микроструктуру интерметаллических соединений, тем самым улучшая их механические свойства и стойкость к окислению.

В данной работе используется режим двойной подачи проволоки для получения экспериментального материала, что достигается путем управления скоростью подачи проволоки для получения материалов различного состава. Скорость подачи проволоки может быть рассчитана с помощью следующего уравнения.

$$E_x = \frac{\sum WFS_i D_i^2 \rho_i E_{xi}}{\sum WFS_i D_i^2 \rho_i}, \quad (1)$$

$$A_x = \frac{E_x/M_x}{\sum E_x/M_x}, \quad (2)$$

где E_x и A_x – массовая доля и атомная доля основных элементов, соответственно; E_{xi} ($i = 1, 2, \dots, n$) – массовая доля элемента в различных проволоках, массовая доля элемента; WFS_i – скорость подачи проволоки в мм/мин; D_i – диаметр проволоки в мм; ρ_i – проволока плотность проволоки в г/см³; M_x – относительная атомная масса элемента.

Проектный состав должен быть на 5–10 % выше фактического состава из-за значительной потери алюминиевых элементов в процессе электронно-лучевого аддитивного производства.

В экспериментальном процессе ускоряющее напряжение установлено на 30 кВ, скорость печати не превышает 5 мм/с, диаметр фокусирующей катушки 5 мм, а вакуум в печатной камере составляет 5×10^{-2} Па. Одиночный проход осаждения охлаждается в течение примерно 60 с, затем стол опускается, и осаждение продолжается, чтобы фокус электронного луча находился на поверхности компонента добавки до завершения осаждения. Дальнейшие процессы охлаждения материала требуют секционного охлаждения в вакуумной среде, с 2-3 ч охлаждения в высоком вакууме и 10–15 ч выдержки в низком вакууме [2].

Экспериментальные результаты показывают, что использование этого метода позволяет получить интерметаллическое соединение титан-алюминий хорошей формы с хорошим межслойным сплавлением, отсутствием таких дефектов, как пористость и окисление материала. На рисунке 1 показано изображение кристаллической фазовой организации.



Рис. 1. Кристаллическая фазовая организация

Список используемых источников:

1. Liu C.T. Ordered Intermetallics / C.T. Liu, J.O. Stiegler, F.H. Froes // ASM International, Metals Handbook, Tenth Edition. – 1990. – V.2. – pp. 913–942.
2. Liu Y. Investigation of the structure and phase composition of intermetallics of the ti-al system obtained by ebm / Y. Liu, Z. Hu // Перспективы развития фундаментальных наук. – 2022. – С. 139–141.

КОНСТРУИРОВАНИЕ БЛОКА ПРИВОДА РОЛИКОВ УСТАНОВКИ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ПОРШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Е.Д. Петрова^а, студент гр. 1043, А.С. Андреев^б, студент гр. 1043,
Научный руководитель: Сапожков С.Б., д.т.н., проф., Зернин Е.А., к.т.н., доц.
ФГБОУ ВО Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41
E-mail: ^аpetrowa.ket@yandex.ru, ^бorc@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается конструкция блока привода роликов установки по изготовлению порошковой проволоки, а также представлен экономический расчет себестоимости блока изготовления из листового прокатного металла.

Ключевые слова: установка, порошковая проволока, формировочные ролики, сварка, сварочные прихватки.