

СТРУКТУРА И УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА ВТ23, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ

*СМИРНОВА А.С.^{1,2}, ГОРБУНОВ А.В.², МАЛИКОВ А.Г.³, ПАНИН В.Е.^{1,2},
ПОЧИВАЛОВ Ю.И.¹, ОРИШИЧ А.М.³*

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
2/4, просп. Академический, г. Томск, 634055, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
30, пр. Ленина, г. Томск, 634050, Россия

³Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
4/1, ул. Институтская, г. Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: nasO@mail2000.ru

На сегодняшний день существует проблема получения прочных сварных соединений титановых сплавов: образование большого количества пор в сварном шве и выделение нежелательных фаз при сварке титановых сплавов [1]. Актуальной задачей является исследование структуры сварных соединений, подбор оптимальной обработки, а также определение условий трещинообразования [2].

Целью работы является исследование особенностей механических, структурных изменений в титановых сплавах по зонам сварных соединений (шов, зон термического влияния), полученных при использовании лазерной сварки и влияние формирующейся структуры на уровень прочности и трещиностойкости этих соединений.

В исследовании сварного соединения высокопрочного титанового сплава ВТ23, полученных с помощью лазерной сварки, были применены новые способы обработки поверхностных слоев [3]. После лазерной сварки, сварные соединения дорабатывали комбинированной ультразвуковой механической ковкой (УЗМК) в двух режимах обработки (Обработка 1 и Обработка 2). Для исследования использовались двухсторонние лопатки толщиной 2 мм из титанового сплава ВТ23 с рабочей частью 2x10x50 мм.

С помощью лазерной сварки с использованием CO₂ лазера, разработанного в лаборатории лазерных технологий ИТПМ СО РАН (скорость сварки V_{св} ~ 54 м/ч), были получены сварные соединения. Комплекс оборудования для ультразвуковой механическойковки применялся для обработки поверхности сварных соединений, который включает в себя: генератор ИЛ4, осуществляющий выработку тока частотой 25 кГц мощностью 630Вт и рабочий инструмент, преобразующий электрические колебания в механические.

Структура сварных соединений сплава ВТ23 после лазерной сварки существенно отличается от $\alpha+\beta$ структуры основного материала. Зерна в основном материале имеют форму сплюснутых пластин сильно вытянутых в направлении проката. Неравновесная крупнозернистая структура на основе α – фазы в сварном шве формируется после лазерной сварки с размером зерна до ~ 600x280 мкм, ширина сварного шва составляет ~ 1,6-2 мм. После применения Обработки 2 формоизменение кристалла реализуется посредством деформационного двойникования. На раннем этапе пластической деформации у α -Ti возникают двойники деформации и, после модифицирования поверхностных слоев при помощи ультразвуковой механическойковки, в сварном шве возникают двойники деформации размером ~80x300 мкм.

Возникновение неоднородного распределения V, Cr и Mo в сварном соединении резко увеличивает прочность, но в то же время хрупкость β -фазы. После применения Обработки 1 микротвердость в зоне сварного соединения повышается с ~3400 МПа до ~3800 МПа. После применения Обработки 2 микротвердость в сварном шве опускается до уровня основного материала и составляет ~3400 МПа.

Механические исследования характеристик сварных соединений сплава ВТ23 были выполнены путем растяжения. Механические испытания на растяжение показали, что прочность сварных соединений после лазерной сварки выше прочности основного материала и

разрушение образцов всегда проходит по основному материалу и не зависит от режима обработки.

Исследование тонкого поверхностного слоя, методом электронной микроскопии, показало, что в $\alpha+\beta$ титановом сплаве ВТ23 типично наличие пластинчатой структуры с размером зерен $\sim 1,5-4$ мкм. После лазерной сварки структура в сварном шве разнотермическая, вблизи зоны сплавления мелкозернистая глобулярная структура размером $\sim 1-3$ мкм, а в центре сварного шва ВТ23, после Обработки 2, внутри крупных зерен идет измельчение структуры с формированием большого количества дислокаций и $\alpha+\beta$ пластин титана размером $\sim 0,3-1$ мкм.

Излом сварного соединения после лазерной сварки и малоцикловых усталостных испытаний в исходном состоянии характеризует собой квазискл с тремя характерными зонами разрушения: фокус излома, зона медленного распространения разрушения и зона лавинного разрушения. На поверхности разрушения образцов наблюдаются: усталостные бороздки с террасами и ступеньками сдвига; храповый узор; вторичные трещины на фоне усталостных бороздок; волокнисто-полосчатый рельеф излома, образованный путем зарождения, роста и слияния продольных микропустот в процессе быстрого разрушения.

После проведенных малоцикловых усталостных испытаний, эффективность использования комбинированной обработки в сочетании с УЗМК поверхностных слоев, показывает повышение усталостных характеристик сварных соединений. После применения Обработки 2 сварные соединения, полученные с помощью лазерной сваркой, позволяют поднять усталостную долговечность образцов в 3 раза.

Список литературы

1. Пугачева Н. Б., Антенорова Н. П., Сенаева Е. И. / Исследование свойств и структур лазерных сварных соединений сплава Al–Mg–Li / Физика металлов и металловедение. – 2015. - Т. 116. – № 12. – С. 1319–1329
2. Панин В.Е., Каблов Е.Н., Почивалов Ю.И., Колобнев В.В. Влияние наноструктурирования поверхностного слоя алюминий – литиевого сплава 1424 на механизмы деформации, технологические характеристики и усталостную долговечность. Повышение пластичности и технологических характеристик // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т. 15. – № 6. – С. 107– 111.
3. Аношкин Н.Ф., А.Ф.Белов. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. – М.:Металлургия, 1980г. - 464с.