

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СТРУКТУРУ И УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23

^{1,2}Смирнова А.С., ¹Почивалов Ю.И., ^{1,2}Панин В.Е., ³Оришич А.М., ³Маликов А.Г.,
²Горбунов А.В.

¹ИФПМ СО РАН, г. Томск, Россия

²НИТПУ, г. Томск, Россия

³ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН,
г. Новосибирск, Россия, E-mail: nasO@mail2000.ru

В настоящее время убедительно показано, что структурное состояние поверхностного слоя оказывает существенное влияние на служебные характеристики конструкционных и функциональных материалов. Поэтому разработка новых методов обработки поверхности и исследование их влияния на структуру и свойства конструкционных материалов является одной из приоритетных задач современного материаловедения. Особенно эффективными эти методы оказываются применительно к сварным соединениям. Использование высокоэнергетических способов обработки поверхности с помощью ультразвуковой механической ковки позволило получить в поверхностных слоях высоконеравновесные структуры с нанокристаллическим размером зерна и увеличить усталостную долговечность сварных соединений конструкционных материалов [1-4].

В настоящем исследовании новые способы обработки поверхностных слоев были применены к сварным соединениям высокопрочного титанового сплава ВТ23, полученных методом электронно-лучевой и лазерной сварки. После сварки сварные соединения подвергали комбинированной ультразвуковой механической ковке в двух режимах (Обработка 1 и Обработка 2).

Структура сварных соединений сплава ВТ23 после электронно-лучевой и лазерной сварки существенно отличается от $\alpha+\beta$ структуры основного материала. Ширина сварного шва при электронно-лучевой сварке достигает ~ 10мм, в околошовной зоне и в зоне термического влияния происходит интенсивный рост зерна вследствие рекристаллизации, формируется неравновесная структура, зерна в сварном шве очень крупные, размером более 500 мкм. После лазерной сварки ширина шва составляет лишь 2 мм. Сварной шов плохо поддается травлению, наблюдается большое количество крупных пор, а зерна достигают ~ 280÷600 мкм с микротвердостью ~3500МПа. После ультразвуковой ковки микротвердость в зоне сварного шва увеличиваться до 3800МПа, либо сохраняются на уровне сварного шва без обработки в зависимости от режимов обработки.

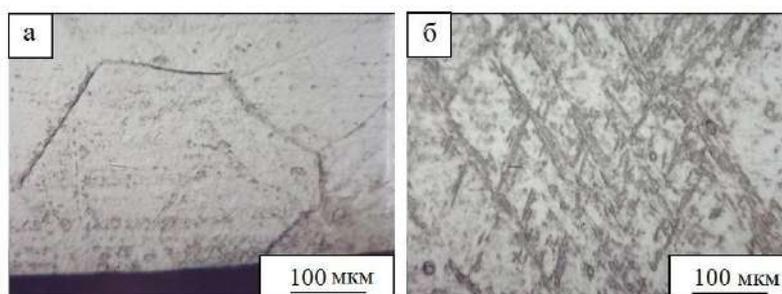


Рисунок 1 – Структура сварных соединений титанового сплава ВТ23 при лазерной сварке:
а) – исходное состояние; б) – после Обработки 2

Для исследования механических характеристик сварных соединений сплава ВТ23 были проведены испытания на растяжение. Механические испытания на растяжение показали, что разрушение сварных соединений после электронно-лучевой сварки проходит по зоне термического влияния. Предел прочности образцов после ультразвуковой ковки остается на уровне прочности исходного сварного соединения, а пластичность возрастает в два раза по сравнению с необработанными образцами, таблица 1. После лазерной сварки прочность сварных соединений выше прочности

основного металла и разрушение всегда проходит по основному металлу, независимо от режима обработки.

Таблица 1 – Механические свойства сварных соединений сплава ВТ23 после обработки

| | Режим обработки | Предел упругости σ_0 , МПа | Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа | Предел прочности σ_B , МПа | Относительное удлинение, % |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Лазерная сварка ВТ23 | Состояние поставки | 250 | 470 | 1119 | 9,97 |
| | Обработка 1 | 241 | 583 | 1149 | 11,21 |
| | Обработка 2 | 197 | 422 | 1100 | 13,01 |
| Электронно-лучевая сварка ВТ23 | Состояние поставки | 238 | 293 | 1046 | 3,72 |
| | Обработка 1 | 284 | 345 | 1014 | 1,22 |
| | Обработка 2 | 246 | 302 | 1105 | 7,13 |

С применением методов рентгеноструктурного анализа, растровой и просвечивающей микроскопии выявлены особенности фазового состава, микроструктуры и разрушения сварных соединений после лазерной и электронно-лучевой сварки и последующей ультразвуковой ковки. После применения комбинированной УЗМК наблюдается изменение интенсивности и сдвиг пиков, что говорит об изменении текстуры и размера элементарной ячейки. В нашем случае увеличивается размер элементарной ячейки, что свидетельствует об образовании дефектных структур. Уширение пиков говорит об уменьшении размеров кристаллов, размер зеренной структуры в процессе УЗМК уменьшился.

В исходном состоянии излом сварного соединения после малоцикловых усталостных испытаний представляет собой квазискл с тремя характерными зонами разрушения. Первая зона - четко различимый фокус излома, с рубцами, веерообразно расходящимися в направлении развития разрушения (фронт зарождения и распространения трещины). В этой зоне наблюдаются межзеренные фасетки в виде многоугольников, образовавшиеся при разрушении по границам зерен, рисунок 2а. Вторая зона – зона относительно медленного распространения разрушения. В результате разрушения сформировалась небольшая зона волокнисто-полосчатого рельефа излома с желобками, образованными путем слияния и роста микропустот около вытянутых структурных неоднородностей сварного шва в процессе пластического течения металла. Третья зона – зона лавинного разрушения. На поверхности разрушения образцов наблюдаются усталостные бороздки с террасами и ступеньками сдвига, храповый узор, вторичные трещины на фоне усталостных бороздок, желобки образованные путем зарождения, роста и слияния продольных микропор в процессе быстрого разрушения. После комбинированной УЗМК увеличивается доля вязкого чашечного излома (рис. 2б) и становится более протяженной зона волокнисто-полосчатого рельефа (рис. 2в), что свидетельствует о большей релаксационной способности обработанного материала.

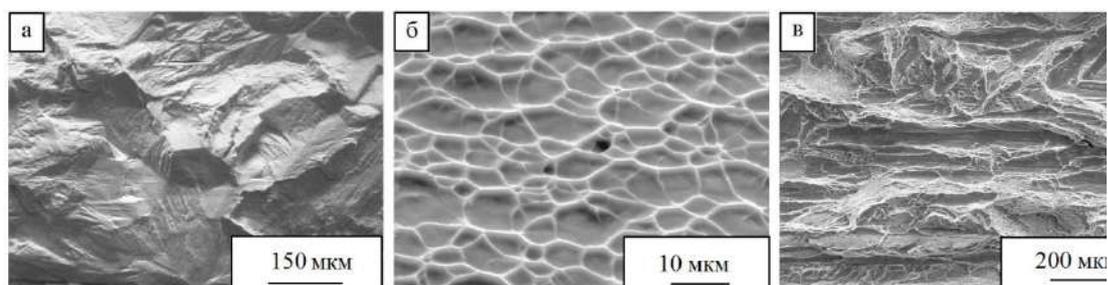


Рисунок 2 – Излом сварного соединения титанового сплава ВТ23 после малоцикловых усталостных испытаний: а) – исходное состояние; б) в) – после Обработки 2

После УЗМК обработки формоизменение кристалла реализуется посредством деформационного двойникования, рисунок 3с. В центре сварного шва после обработки внутри крупных зерен идет измельчение структуры с формированием большого количества дислокаций и тонких $\alpha+\beta$ пластин, рисунок 3с.

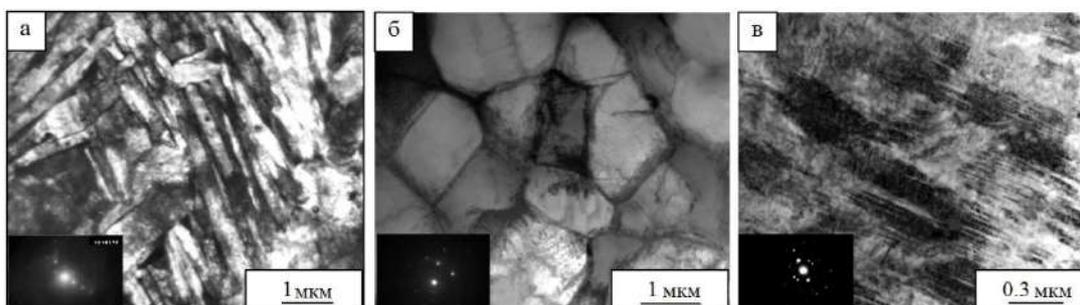


Рисунок 3 – Формирование дефектной структуры (б и в) в тонком поверхностном слое сварного соединения титанового сплава BT23, выполненного методом лазерной сварки: а) – исходный сплав BT23; б) – зона сплавления; в) – сварной шов с Обработкой 2

Применение ультразвуковой ковки сварных соединений, полученных электронно-лучевой и лазерной сваркой, позволило повысить усталостную долговечность образцов сварных соединений сплава BT23 после лазерной сварки с 6370 до 20900 циклов и с 54600 циклов до 77100 циклов для электронно-лучевой сварки. Таким образом, применение ультразвуковой ковки дает возможность существенно поднять усталостные и механические характеристики сварных соединений. На основании полученных данных обсуждаются механизмы повышения усталостных характеристик исследуемого сплава после применения комбинированной ультразвуковой обработки.

Список литературы:

1. Панин В.Е., Каблов Е.Н., Плешанов В.С., Клименов В.А., Иванов Ю.Ф., Почивалов Ю.И., Кибиткин В.В., Напряшкин А.А., Нехорошков О.Н., Лукин В.И., Сапожников С.В. // Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 / Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 85–96.
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. 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.
4. Лясоцкая В.С. // Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / под ред. Б.А. Колачева – М.: Экомет, 2003. – 352 с.