

УДК 669.295:669.018.62

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

А. А. Скребцов, асп., А. В. Овчинников, к. т. н., доц., А. Е. Капустян, н. с.,
И. О. Быков, инж. угмет, А. Г. Селиверстов, вед. инж. угмет

Запорожский национальный технический университет

Актуальность

Высокая коррозионная стойкость титана и его сплавов во многих агрессивных средах [1, 2] делают его наиболее предпочтительным материалом для областей промышленности, в которых применяются последние. Для деталей общепромышленного назначения используют низколегированные α -титановые сплавы или технический титан. Изделия в основном получают методами деформационной обработки и литьем. При этом коэффициент использования материала не превышает 0,25 – 0,50, что повышает себестоимость.

Экономически и технологически более целесообразно получать эти изделия методом порошковой металлургии (МПМ). Во-первых, коэффициент использования материала достигает 0,95 [3] при соответствии уровня механических свойств и типа структуры спеченных порошковых изделий литым. Во-вторых, исключаются операции переплава титана губчатого и связанные с этим вопросы эксплуатации специальных энергоёмких вакуумных плавильных печей. Недостатками МПМ являются плотность изделий в пределах 70-95 % [2] и невозможность получения изделий сложной геометрии, например краны запорной арматуры, за один проход на простом оборудовании.

Последнюю проблему можно решить путем разбивки детали на простые элементы, полученные МПМ и соединённые с использованием технологий сваривания, т.к. α -титановые сплавы обладают хорошей свариваемостью [4, 5]. Однако, в связи с пористостью спеченных элементов, полученные сварные соединения имеют нестабильные механические свойства [3, 4], т.к. концентрация и геометрия пор существенно влияет на свойства изделия [6], являясь концентратором напряжений и определяя характер разрушения сварного соединения. Использование в качестве основы гидрированного титана вместо традиционного порошка титана обеспечивает лучшую однородность конечного материала и плотность до 99 % [7]. Данные по свариваемости сплавов, полученных из такого сырья отсутствуют. Поэтому в настоящей работе ставилась цель исследовать структуру сварных соединений спеченных титановых сплавов для определения влияния вида основы и структуры спеченных сплавов на механические свойства сварных соединений при статических нагрузках.

Материалы и методики

В качестве исходного сырья использовали порошки титана марки ПТ-5 и гидрированного титана губчатого. Фракция порошков $-0,50/+0,16$. Из порошков МПМ получали сплавы марок ВТ1-0 [8] и 2М2А [9, 10] в виде пластин

Строительство, материаловедение, машиностроение

размером 105x30x2 мм. Размеры пластин выбраны с учетом минимизации потерь на механическую обработку при получении разрывных образцов для определения стандартных механических свойств согласно [11].

Образцы маркировали согласно данным таблицы 1.

Таблица 1

Используемые материалы

Маркировка	Исходный материал	Марка сплава после спекания
I	ПТ-5	BT1-0
II	ПТ-5	2M2A
III	Гидрированный титан губчатый	BT1-0

Для сравнения результатов параллельно исследовался литой титан марки BT1-0.

Технология получения титановых сплавов МПМ включает операции шихтоподготовки, формообразования шихты в матрице путем прессования и последующего спекания заготовок.

Прессование проводили на гидравлическом прессе с давлением порядка 590 МПа [12].

Спекание проводили в вакуумной электропечи модели СНВЭ-1.3.1/16И₃. Спекание включало: нагрев, отжиг и выдержку. Выбор температуры и времени выдержки проводился согласно с требованиями к структуре спекаемых изделий. В нашем случае температура спекания 1200...1300° С в течение 3 часов. Вакуум 13,3 Па. Охлаждение образцов производили вместе с печью в вакууме.

Химический состав спеченных образцов контролировали методом спектрометрического анализа при помощи оптико-эмиссионного спектрометра SpectroMAx фирмы Spectro, согласно ГОСТ 19863-91.

Сварные соединения (рис. 1) получали методом аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, с присадкой прутка из проволоки BT1-0св ГОСТ 21.265-87. Режим сварки образцов: диаметр присадки 2 мм, $I_{св.} = 180$ А, $U_{св.} = 10$ В, $V_{св.} = 0,24$ м/мин, диаметр вольфрамового электрода 2 мм [13]. Перед сваркой производили разделку кромок в соответствии с [14]. После сварки усиление шва снималось.

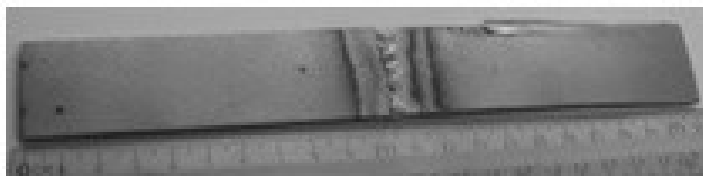


Рис. 1. Внешний вид сварного соединения

Микроструктурный анализ образцов проводили с использованием микроскопа «НЕОРНОТ–32» при увеличениях от $\times 100$ до $\times 500$ раз.

Результаты и их обсуждение

Исследование микроструктуры спеченных образцов позволило установить, что их структура представляет собой α -фазу характерную для α -титановых сплавов с наличием пор размерами от 8 до 17 мкм (рис. 2) поры в образцах III (рис. 2г) имели более сферодизированную форму.

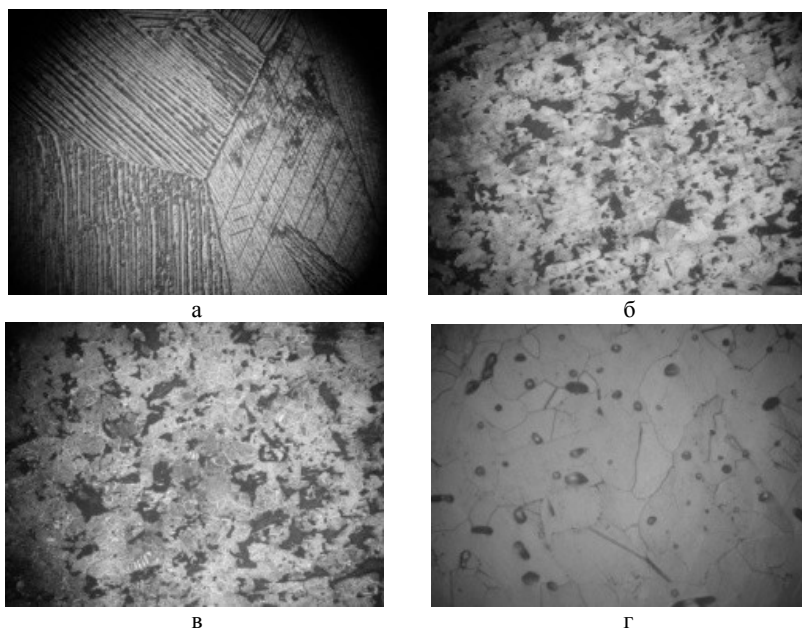


Рис. 2. Микроструктура образцов до сварки $\times 100$: а – литой титан ВТ1–0; б – образец I; в – образец II; г – образец III

Микроструктура сварных соединений (рис. 3, 4) типична структуре α -титановых сплавов. В сварном шве и зоне термического влияния (ЗТВ) установлен рост зерна, а также наличие пор, что является следствием пористости основного металла. При этом в ЗТВ поры более крупные и менее равномерно распределены, чем в шве. Укрупнение пор, по-видимому, произошло вследствие роста зерен под действием термического цикла сварки при температурах выше 1300°C . При росте зерен происходило перемещение мелких пор, находящихся по границам зерен, и их коагуляция. Данная тенденция характерна для всех типов образцов. Образцы III имели поры более сферодизированной формы, чем поры в остальных образцах [15]. Из рисунка 3 и 4 следует, что поры в шве имели меньший размер, чем в ЗТВ.

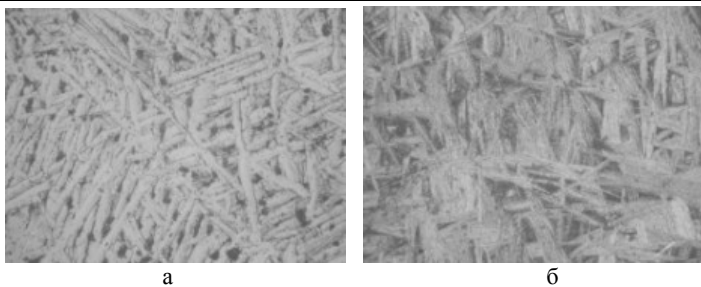


Рис. 3. Микроструктура сварного шва, $\times 500$: а – образец I; б – образец II.

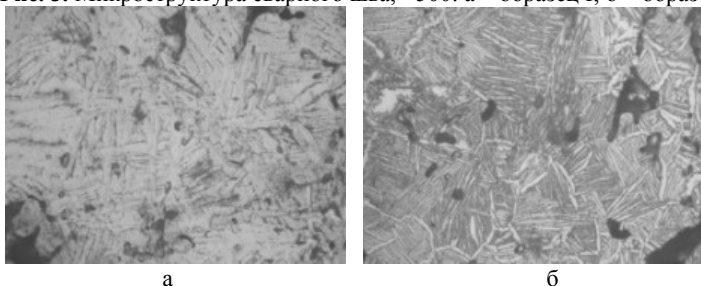


Рис. 4. Микроструктура зоны термического влияния, $\times 500$: а – образец I; б – образец II.

Механические испытания исследуемых сварных образцов позволили установить, что уровень их свойств соизмерим с уровнем свойств литого металла (рис. 5). Механические свойства литого титана взяты из [1].

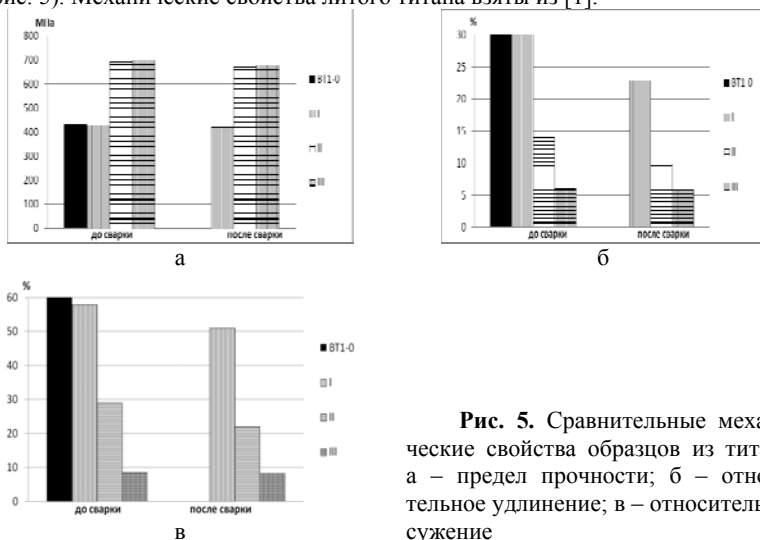


Рис. 5. Сравнительные механические свойства образцов из титана: а – предел прочности; б – относительное удлинение; в – относительное сужение

Из анализа результатов испытаний сварных соединений следует, что имел место больший разброс свойств, чем для спеченных образцов без сварки (рис. 5). Разрушение, в большинстве случаев, происходило по ЗТВ. Это можно объяснить тем, что в данной зоне происходит изменение структуры, а именно увеличение размеров зерен и укрупнение размеров пор.

Сварные образцы III имели более стабильные свойства, чем остальные. Это обусловлено равномерностью распределения пор и большей степенью их сферодизации.

Заключение

В ходе проведенной работы установлено, что концентрация и геометрия пор существенно влияет на свойства материала, уровень свойств сварных соединений соизмерим с уровнем свойств основного металла. Для повышения уровня механических свойств сварных соединений необходимо стремиться к сферодизации и снижению концентрации пор в основном материале, сварном шве и ЗТВ. Этим условиям удовлетворяет гидрид титана. При использовании порошков марки ПТ, сферодизацию и снижение концентрации пор можно достигнуть путем оптимизации состава, размера и морфологии исходного сырья и легирующих элементов, а также режимов технологии получения изделий из спеченных титановых сплавов.

Использованная литература

1. Глазунов С.Г. Титановые сплавы. Конструкционные титановые сплавы [Текст] / Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. – М.: Металлургия, 1974. – 368с.
2. Ивасишин, О.М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения [Текст] / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, К.А. Бондарева, В.С. Моксон, В.А. Дузь // Наука та інновації. Інноваційні проекти Національної академії наук України. – 2005. - №2 – Том 2 – С. 44 – 57.
3. Опыт получения и прессования титановых порошков [Текст] / Гопиенко Л.И., Живовой Л.И., Павлов В.А. и др.; под ред. С.Н. Касаткина. – М.: Цветметинформация, 1970 – 79с.
4. Welding and Heat Treating [Electronic resource]: Titanium - Welding and Heat Treating. – access mode: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1245>.
5. Titanium Welding Practices [Electronic resource]: Titanium 101: Best TIG (GTA) Welding Practices. – access mode: <http://www.millerwelds.com/resources/articles/TIG-gtaw-titanium-welding>.
6. Дорофеев Ю.Г. Конструкционные порошковые материалы и изделия [Текст] / Ю.Г. Дорофеев, Л.Г. Мариненко, В.И. Устименко. – М.: Металлургия, 1986. – 144с.

7. Ивасишин О.М., Саввакин Д.Г., Матвийчук М.И., Тэлин В.В., Шварцман Л.Я., Давыдов С.И., Ставицкий Ю.Л. Аprobация порошков гидрированно-го титана производства КП «ЗТМК» в технологический процессах порошковой металлургии. Международная конференция «Ti-2007 в СНГ» Сборник трудов. Украина, г. Ялта 15–18 апреля 2007 года. Киев 2011.
8. ГОСТ 19807-91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 3с.
9. Анохин В.М. Титановые изделия из порошков [Текст] / Анохин В.М., Огнев Р.К., Саливон В.П // Центральный научно-исследовательский институт экономики и информации цветной металлургии Производство легких цветных металлов и электродной продукции. – 1984. - №2. – с. 23 – 25.
10. Пат. 1589490 RU, МКП5 В22F3/12, В22F1/02. Способ получения заготовок из порошков титановых сплавов [Текст] / Антонов В.В., Макогон В.Ф., Самойлов О.И. и др.; заявитель и патентообладатель Антонов В.В., Макогон В.Ф., Самойлов О.И. и др. НИИ технологии и организации производства двигателей; заявл. 16.03.1989; опубл. 15.01.1994.
11. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 30с.
12. Ивасишин, О.М. Титановые пористые проницаемые материалы, полученные из смеси порошковых компонентов TiH_2 и $Al(C_5H_7O_2)_3$ [Текст] / О.М. Ивасишин, А.Г. Моляр, М.В. Матвийчук, Е.А. Мазуренко, С.Л. Врочинский, А.М. Медведев // Международная конференция «Ti-2011 в СНГ»: сб. науч. тр. Украина, г. Львов 25–28 апреля 2011 года. - Киев 2011. – С 19-21.
13. Петрик, И.А. Процеси відновлення зварюванням та паянням лопаток газотурбінних двигунів з важко зварюваних сплавів на нікелевій та титановій основі [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.03.06: захищена 10.10.2007: утв. 10.10.2007 / Петрик Игорь Андреевич. – Киев, 2007.
14. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 30с.
15. Быков И.О., Овчинников А.В., Давыдов С.И., Дрозденко М.В., Леховицер З.В. Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии. Теория и практика металлургии. Общегосударственный научно-технический журнал. Национальная металлургическая академия Украины. Днепропетровск 2011.