



УДК 669.295

ПОЛУЧЕНИЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ

А.Е. КАПУСТЯН

Запорожский нац. техн. ун-т МОН Украины. 69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64, E-mail: glotka87@ukr.net

Цель настоящей работы состояла в определении возможности применения конвенционной сварки трением для формирования качественных соединений спеченного титанового сплава при изготовлении длинномерных полуфабрикатов. В качестве исходного материала использовали промышленный порошок титана марки ПТ5 украинского производства. Заготовки для получения прутка получали методом порошковой металлургии, химический состав которых соответствовал титану технической чистоты марки ВТ1-0. Формообразование заготовок диаметром 12 мм, длиной 100 мм проводили путем прессования. Длинномерные полуфабрикаты изготовлены с применением сварки трением на установке МФ-362. Сварку осуществляли без дополнительной защиты. Свариваемость образцов оценивали визуально, путем металлографических исследований и механических испытаний. Анализ макроструктуры сварных соединений позволил установить, что дефектов металлургического характера в сварном шве и зоне термомеханического влияния (ЗТМВ) не обнаружено. В ЗТМВ и сварном шве средний размер пор был меньше, чем в основном металле, также имел место эффект частичного и полного «залечивания» пор. Микрорентгеноспектральным качественным анализом структуры сварного шва установлено, что распределение основных примесных элементов равномерно. Механические испытания исследуемых сварных образцов позволили установить, что уровень их прочностных и пластических характеристик соизмерим с уровнем литого титана ВТ1-0. Показана возможность реализации в промышленных масштабах производства полуфабрикатов из спеченных титановых сплавов. Библиогр. 5, табл. 2, рис. 7.

Ключевые слова: титан, порошковая металлургия, прессование, спекание, сварка трением, полуфабрикат, прутки, прочность, структура

Ранее показана необходимость исследования свариваемости спеченных титановых заготовок, полученных сваркой трением [1].

Цель настоящей работы заключалась в определении технической возможности применения конвенционной сварки трением для формирования качественных соединений спеченного титанового сплава при изготовлении длинномерных полуфабрикатов (прутков).

В качестве исходного материала использовали промышленный порошок титана марки ПТ5 (ТУ 14-10-026-98) производства ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана», ГП «Запорожский металлургический опытно-промышленный завод». Заготовки для получения прутка получали методом порошковой металлургии. Химический состав заготовок соответствовал титану технической чистоты марки ВТ1-0 (ГОСТ 19807-91). Формообразование заготовок диаметром 12 мм, длиной 100 мм (рис. 1, а) проводили путем прессования на гидравлическом прессе с усилием 700 МПа. Спекание проводили в вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16И₃ при температуре 1250±20 °С в течение 3 ч, давление 13,3 Па, охлаждение проводили совместно с печью. Длинномерные полуфабрикаты изготовлены с применением сварки трением на установке МФ-362.

Сварку осуществляли без дополнительной защиты, так как она не оказывает влияния на структуру металла шва [2]. В результате сварки получены прутковые полуфабрикаты диаметром 12 мм и длиной 185...190 мм (рис. 1, б). При сварке на воздухе происходит окисление металла на глубину до 0,5 мм [2], поэтому согласно рекомендаций работы [3], с целью стабилизации механических свойств проводили механическую обработку на токарном станке для снятия поверхностного слоя, насыщенного газом.

Свариваемость образцов оценивали визуально (по наличию и форме выдавленного грата), путем металлографических исследований и механиче-

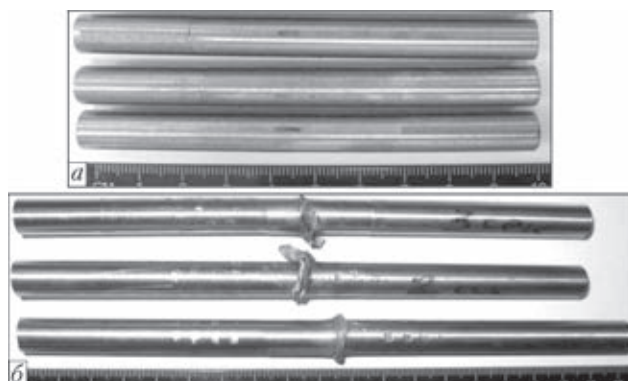


Рис. 1. Заготовки, полученные на основе метода порошковой металлургии: а — прессованные; б — сваренные (прутки)

© А.Е. Капустян, 2015

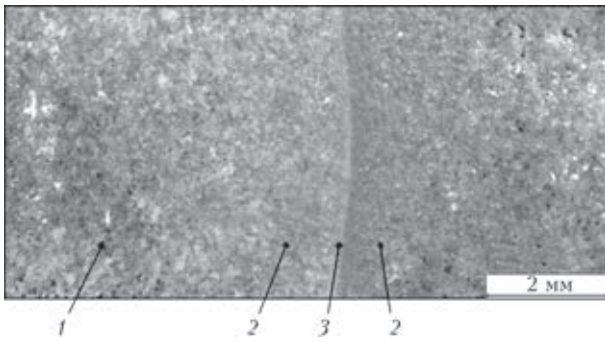


Рис. 2. Макроструктура сварного соединения заготовки из спеченного титана ВТ1-0, полученной сваркой трением: 1 — основной металл; 2 — околошовная зона; 3 — шов

ских испытаний. Микроструктурные исследования проводили на шлифах, изготовленных в поперечном и продольном сечении сварных заготовок с применением инвертированного микроскопа отраженного света «Observer.D1m» и электронного микроскопа JSM-6360LA, оснащенного приставкой для проведения энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Механические испытания проведены на машине ИР-110 в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84 на цилиндрических образцах с рабочей частью диаметром 5 мм.

Визуальный осмотр сваренных заготовок показал, что выдавливание грата происходило по всей окружности стыка, что косвенно свидетельствует

об удовлетворительном формировании шва. В результате осадки каждая из соединяемых заготовок претерпевала одинаковое укорочение 5,0...7,5 мм в зависимости от режимов сварки.

Исследования структуры проведены на травленых шлифах, изготовленных в продольном сечении сварных образцов. Анализ макроструктуры сварных соединений позволил установить, что по месту соединения порошковых заготовок имеет место тонкая светлая полоса сварного шва шириной до 0,3 мм. На расстоянии 2,0...2,5 мм от шва в обеих заготовках образовалась зона без видимых пор, просматривающихся в основном металле образцов (рис. 2). Дефектов металлургического характера в сварном шве и зоне термомеханического влияния (ЗТМВ) не обнаружено.

Микроструктура прессованных заготовок (основной металл сварного образца) характеризовалась наличием разориентированных пластин α -фазы, по телу и границам которых располагались поры округлой и остроугольной формы размерами до 70 мкм (рис. 3, а), в среднем около 35 мкм.

При исследовании сварного соединения установлено, что в металле шва практически отсутствовали поры и структурные составляющие с четко просматриваемыми границами раздела (рис. 3, б). Микроструктура шва представляла собой фрагменты зерен α -фазы размерами до 5 мкм,

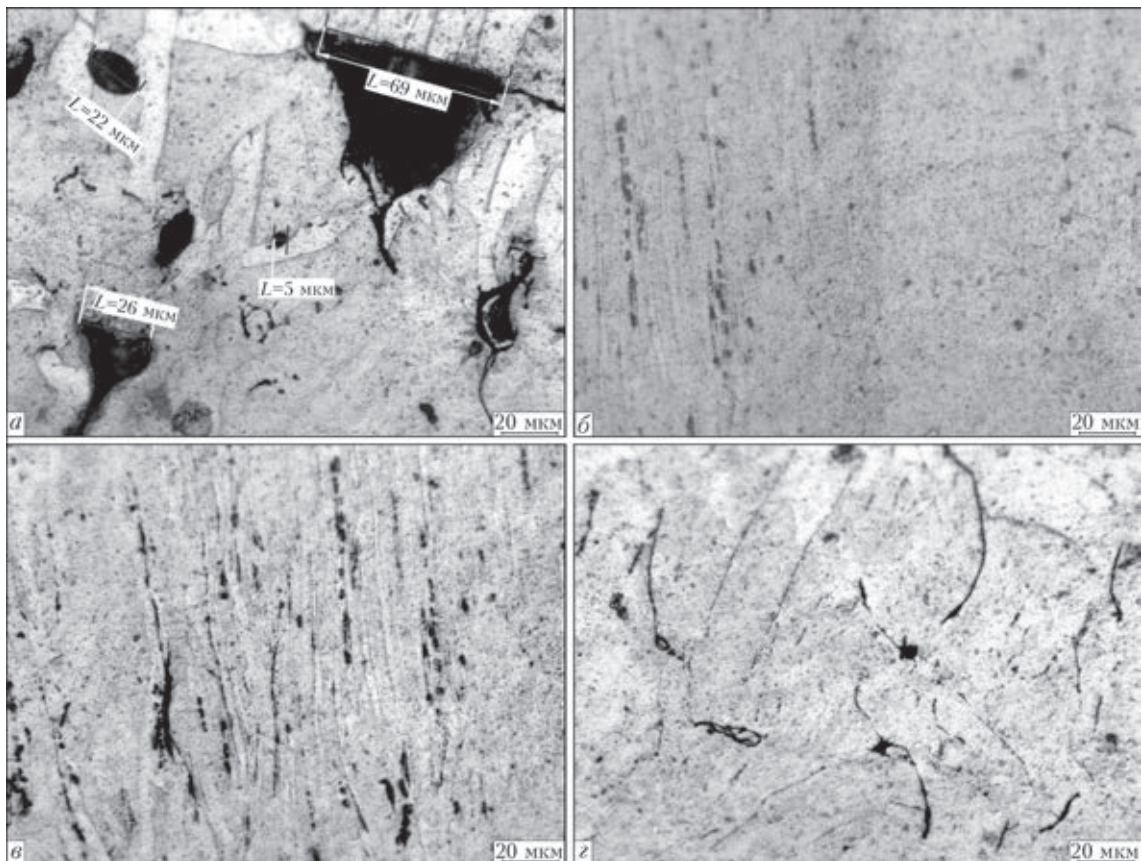


Рис. 3. Микроструктура заготовки из спеченного титана ВТ1-0, полученной сваркой трением: а — основной металл; б — шов; в — ЗТМВ, расположенная возле шва; г — ЗТМВ, расположенная возле основного металла



Таблица 1. Количество некоторых примесей в исследуемых материалах, мас. %

Материал	N	O	Fe
ПТ5 ТУ 14-10-026-98	0,03	–	0,08
Сплав ВТ1-0 ГОСТ 19807-91	0,04	0,2	0,25

образовавшиеся в результате интенсивной деформации металла под действием давления и трения, при этом диаметр обнаруженных пор не превышал 3 мкм, что свидетельствовало об уменьшении пор и возможном их «залечивании» под действием сдвиговой деформации (рис. 3, б).

Следует отметить, что структура ЗТМВ сваренных заготовок имела отличия. ЗТМВ представляла собой тонкопластинчатую структуру и состояла из радиально ориентированных α -пластин шириной до 3 мкм и длиной до 150 мкм, по границам которых располагались вытянутые поры размерами около 15 мкм.

Формирование радиальной ориентировки и «залечивание» пор вызвано действием осевой силы при осадке и температуры (рис. 3, в). Аналогичный эффект наблюдается при обработке прутков и литых деталей из титановых сплавов методами интенсивной пластической деформации или в газостате [4].

В то же время ЗТМВ, расположенная возле основного металла заготовки, состояла из пластин α -фазы искаженной формы размерами около 10×50 мкм, поры в данной зоне имели серповидную форму (см. рис. 3, г) и располагались произвольно, кроме этого в структуре присутствовали единичные округлые поры диаметром 4...5 мкм.

Таким образом, металлографическое исследование позволило установить, что в металле ЗТМВ средний размер пор был меньше, чем в основном металле, также имел место эффект частичного и полного «залечивания» пор. В сварном шве поры практически отсутствовали, а остаточные поры имели на порядок меньшие размеры, чем в основном металле.

Микрорентгеноспектральным качественным анализом шва и зон с обеих сторон шва установлено, что распределение основных примесных элементов равномерно (рис. 4). Микрорентгеноспектральным количественным анализом шва и зон с обеих сторон шва (рис. 5) установлено, что количество основных примесных элементов не превышает требований ГОСТ для сплава ВТ1-0 (табл. 1).

Следовательно, сварка трением без газовой защиты спеченного титана не приводит к насыщению сварного шва и металла ЗТМВ газами из окружающей атмосферы.

Механические испытания исследуемых сварных образцов позволили уста-

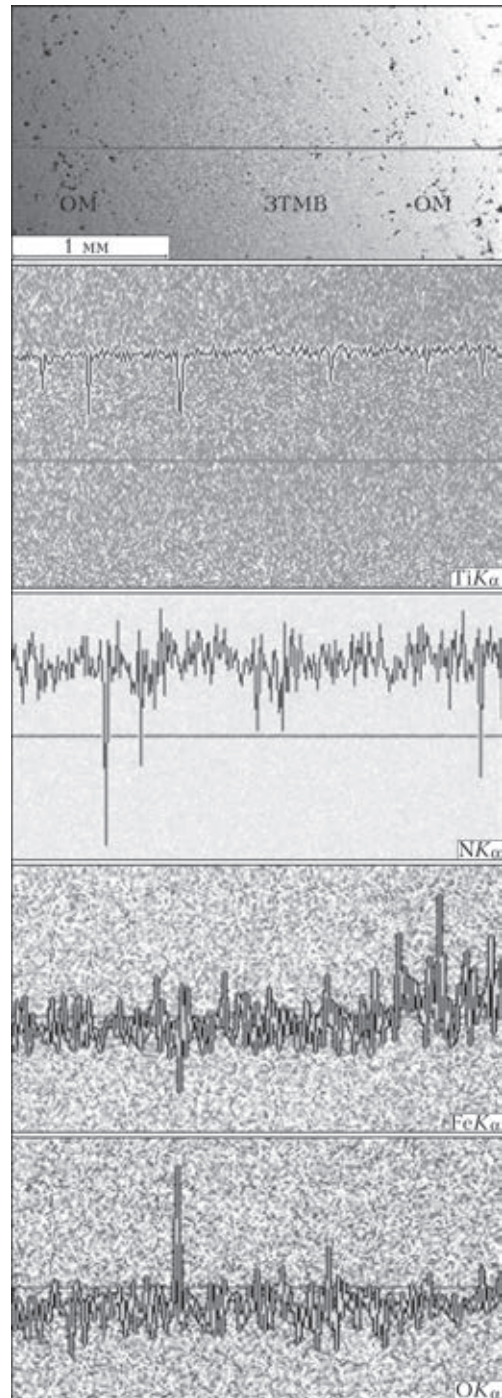


Рис. 4. Макроструктура сварного соединения спеченного сплава ВТ1-0 (а) и распределение элементов (Ti, N, Fe, O) новить, что уровень их прочностных характеристик соизмерим с уровнем литого титана ВТ1-0 (табл. 2), более низкая пластичность обусловлена тем, что разрушение образцов в большинстве случаев происходило вне зоны сварного шва – по

Таблица 2. Механические свойства сварной заготовки из сплава ВТ1-0, полученного на основе метода порошковой металлургии

Состояние материала	Механические свойства		
	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Спеченная сварная заготовка из титана ВТ1-0 (разрушение вне шва)	322...338	7...9	14...18
Литой сплав ВТ1-0 [5]	340...390	7...17	33...40

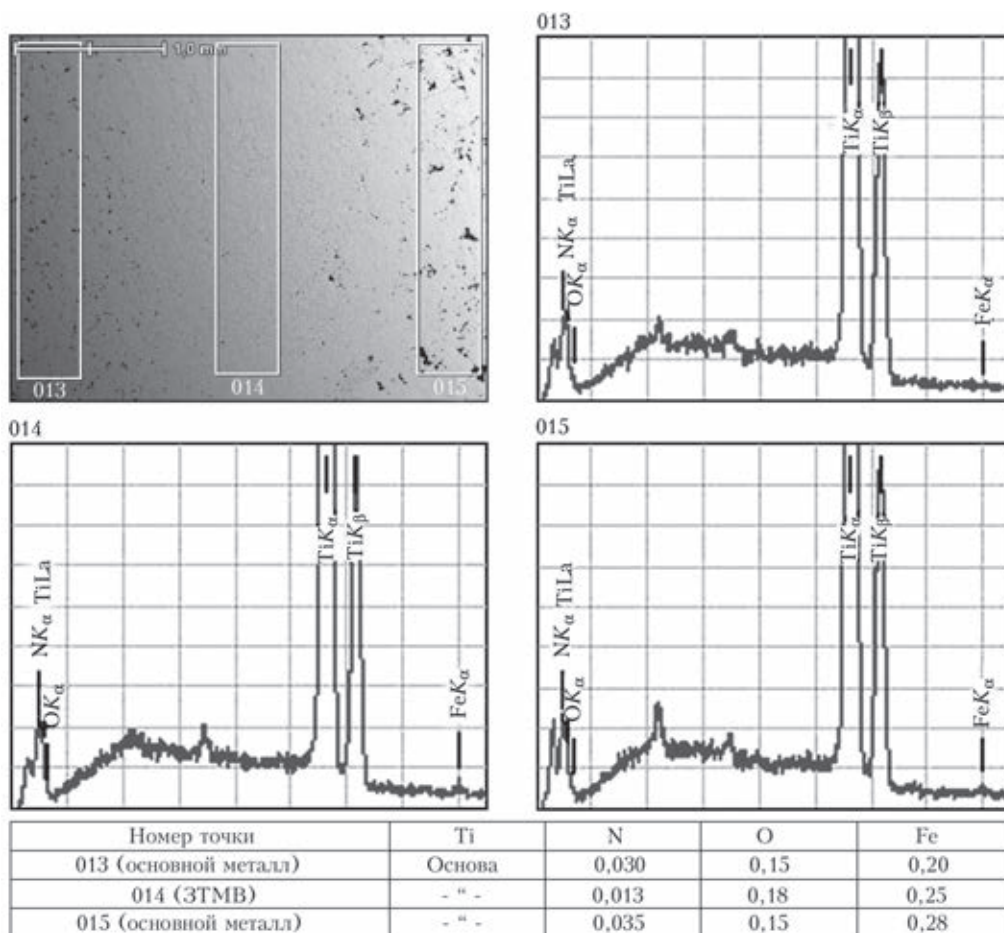


Рис. 5. Количественное распределение элементов в образцах титана VT1-0

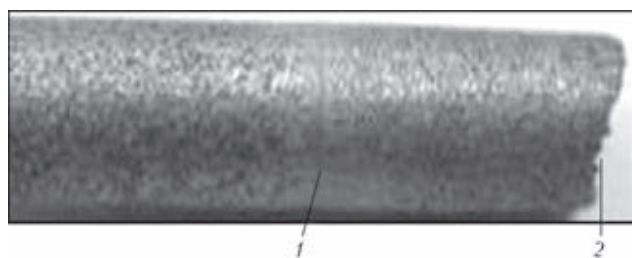


Рис. 6. Вид образца после испытаний на растяжение: 1 — сварной шов; 2 — зона разрушения

основному металлу, в котором наблюдалось большое количество пор, снижающих деформационную способность металла (рис. 6).

В целом, значения механических свойств сварного шва заготовок спеченного титана VT1-0 находились на уровне свойств литого титана, а предел прочности шва превышал прочность спеченного титана, поскольку в шве формировалась дисперсная микроструктура с единичными порами.

На основании проведенных экспериментов были получены заготовки серийных размеров (диаметр 40 мм, длина 700 мм).

Таким образом, показана возможность реализации в промышленных масштабах производства полуфабрикатов из спеченных титановых сплавов. Это дает основание для более широкого применения спеченных титановых сплавов в виде свар-

ных длинномерных полуфабрикатов, обеспечивая внедрение титана в новые, масштабные области техники.

Выводы

1. Реализована конвенционная сварка трением заготовок из спеченного сплава VT1-0.

2. Показана техническая возможность применения конвенционной сварки трением для формирования качественных соединений спеченного титанового сплава при изготовлении длинномерных полуфабрикатов.

3. В результате металлографического исследования установлено, что ширина сварного шва составляла 0,08...0,25 мм, ширина ЗТМВ – 2...2,5 мм. В сварном шве практически отсутствовали поры, диаметр остаточных пор не превышал 3 мкм, в ЗТМВ — до 5 мкм, ширина частично захлопнутых пор составляла не более 3 мкм, в то время как в основном металле максимальный диаметр пор находился в пределах 70 мкм.

4. Установлены закономерности распределения элементов (азота, кислорода, железа) в сварном шве и показано, что при сварке без дополнительной защиты не происходит дополнительного газонасыщения.



5. Установлено влияние структуры на механические свойства сварных соединений пористых материалов. Обоснована целесообразность применения конвенционной сварки трением для получения равнопрочных соединений. Уровень механических свойств сварного соединения спеченных титановых сплавов находился на уровне литого титана VT1-0 и составлял: $\sigma_B = 322...338$ МПа, $\delta = 7...9$ %, $\psi = 14...18$ %.

6. Заготовки можно успешно отправлять в переплавы.

1. *Овчинников А.В.* О возможности производства прутков из спеченных титановых сплавов с использованием методов сварки // Автомат. сварка. – 2014. – № 1. – С. 50–53.

2. *Влияние* параметров режима сварки трением на структуру и механические свойства соединений титанового сплава VT3-1 / А.Г. Селиверстов, Ю.М. Ткаченко, Р.А. Куликовский и др. // Автомат. сварка. – 2013. – № 1. – С. 29–34.
3. *Большаков М.В., Черницын А.И.* Структура и свойства титанового сплава ОТ4, а также его соединений, выполненных сваркой трением // Свароч. пр-во. – 1974. – № 7 (452). – С. 40–42.
4. *Овчинников А.В.* Применение титановых сплавов с субмикроструктурной структурой для восстановления деталей роторной части ГТД // Автомат. сварка. – 2012. – № 2. – С. 21–25.
5. *Коваленко Т.А., Овчинников А.В.* Влияние исходной структуры на механизмы разрушения и механические свойства субмикроструктурного титана // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2010. – № 1. – С. 72–80.

Поступила в редакцию 15.12.2014

ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ МОНИТОРИНГ —
СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Энергетика — стратегически важная отрасль промышленности Украины, однако большая часть существующих объектов энергетики построена еще в СССР, и в настоящее время нуждается в серьезной модернизации. Одна из приоритетных научно-технических задач в отрасли — продление ресурса оборудования и вывод его из эксплуатации по фактическому состоянию. Эффективным средством решения этой задачи является создание информационно-измерительных систем непрерывного мониторинга, позволяющих контролировать работоспособность оборудования непосредственно в процессе эксплуатации с оценкой его фактического состояния. Современное развитие средств вычислительной техники, радиоэлектроники, прикладной математики, техники испытаний, науки о прочности материалов и механики сплошной среды позволяют решить эту задачу на достаточно высоком уровне.