



ПРОИЗВОДСТВО ПРУТКОВ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ (Обзор)

А.В. ОВЧИННИКОВ

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

Представлено состояние производства полуфабрикатов и изделий из титана и его сплавов в Украине. Пруток из титана и его сплавов является одним из наиболее востребованных полуфабрикатов. В Украине прутки из титана практически не производятся. Для массового его производства необходимо снизить стоимость технологии их получения. Обоснован способ производства прутковых полуфабрикатов с использованием методов порошковой металлургии при использовании порошков с развитой поверхностью и сварки. Рассмотрены особенности применения различных способов сварки, показана перспективность применения сварки давлением. Для производства прутковых полуфабрикатов оптимальной является ротационная сварка трением. Рассмотрены основные проблемы, которые могут возникнуть при сварке трением спеченных заготовок, показана необходимость дальнейших исследований свариваемости данных полуфабрикатов. Библиогр. 51.

Ключевые слова: титан, порошковая металлургия, прессование, спекание, сварка, полуфабрикат, пруток

Одним из наиболее крупных потребителей титана является авиационно-космическая промышленность – производство гражданских и военных самолетов, и эта тенденция только усиливается. Мировое применение титана в авиационно-космической промышленности в 2013 г. составило 46 % [1], а в 2006 г. не превышало 40 % [2]. При этом в конструкциях авиакосмической и ракетной техники до 70 % деталей имеет сечение до 30 мм и до 25 % деталей сечение до 50 мм [3]. Пруток является основным полуфабрикатом для изготовления лопаточных заготовок [4] и крепежных деталей (винты, болты, гайки, заглушки) [5], пружин [6]. Прутки из нелегированного титана применяются для производства гвоздодеров и монтировок для служб МЧС, медицинского инструмента, имплантатов, корпусов и мембран тензорезисторных преобразователей, запорной арматуры и прочих изделий. Для получения полуфабрикатов таких сечений из титановых сплавов, имеющих высокие значения прочности, необходимо проводить деформацию с высокими значениями удельного усилия осадки и при высоких температурах, что вызывает необходимость использования высокоэнергетического и дорогостоящего оборудования, а также приводит к потерям металла при удалении поверхностных слоев [7]. Это частично объясняет факт, что при концентрации в Украине около 20 % мировых ресурсов титана слабо развиты литейное и прокатное производства (производятся только трубы и горячедеформированные прутки диаметром 10...90 мм [8]). В Украине металлический титан в слитках производят ООО «Запорожский

титаномагний комбинат», ГП «Научно-производственный центр «Титан» ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ», ООО «Международная компания «АНТАРЕС» и ООО «Стратегия БМ» в заготовках сечением: круглые слитки диаметрами от 200 до 1100 мм и слябы от 150×500 до 400×1350 мм [9, 10]. Основная часть ресурсов титана экспортируется в виде сырья [11], а отечественная промышленность в основном ориентирована на импорт, что ставит Украину в зависимость от внешних поставщиков полуфабрикатов и готовой продукции из титана и его сплавов [9], тем самым снижает финансовую устойчивость и конкурентоспособность отечественных производителей. В то же время в других странах наблюдается тенденция к концентрации производства и потребления титана внутри страны [12].

Производство изделий и полуфабрикатов кроме стоимости материала включает стоимость технологии их получения и стоимость последующих обработок: термической, механической, деформационной [13]. Высокая стоимость титановых прутков обусловлена сложной технологией их получения [14]. Таким образом, поиск путей снижения цены необходим на всех этапах производства. Применение дешевого материала может снизить стоимость изделий до 20 % [15]. До 14 % себестоимости полуфабрикатов из титановых сплавов приходится на плавку и до 52 % — на получение проката [16], т. е. на технологии получения может приходиться более 65 % себестоимости полуфабрикатов. Поэтому основным путем снижения стоимости полуфабрикатов из титановых сплавов является удешевление технологий их получения,

но не в ущерб качеству полуфабрикатов [17]. Наиболее перспективными технологиями переработки титанового сырья являются порошковые технологии [18–20]. При этом сокращается количество необходимых операций и применяется высокопроизводительное оборудование [21], при прессовании в необходимые формы детали изготавливаются быстрее, с меньшими обработкой и отходами [22], возможно производить новые материалы с характеристиками, получение которых другими методами зачастую невозможно [18, 23]. Снижение стоимости и повышение технологичности получения полуфабрикатов можно обеспечить путем использования гранульной металлургии [21, 24–26] или еще более экономичных методов порошковой металлургии (ПМ) при использовании порошков с развитой поверхностью [27–29]. Данные технологии успешно применяются для производства деталей в различных отраслях промышленности: автомобиле-, авиадвигателестроение [30]. Однако изготовление длинномерных полуфабрикатов, к числу которых относятся прутки, при производстве методом ПМ весьма проблематично.

Одним из наиболее эффективных и распространенных способов соединения титановых сплавов является сварка [31]. Поэтому проблема получения прутков из спеченного титана может быть решена путем применения прогрессивных технологий сварочного производства [32], причем изготовление изделий медицинского назначения также допускает применение сварки [33]. Технологические возможности процесса сварки и уровень механических свойств сварных соединений оказывают большое влияние на объем промышленного применения титана. Правильный выбор способа сварки обуславливает качество и эффективность выполнения сварного соединения [34, 35]. Одним из основных требований к современным конструкционным титановым сплавам является обеспечение соотношения прочности шва к прочности основного металла не ниже 0,9 [34]. Ранее считалось, что сварка плавлением даже при дополнительном воздействии не способна обеспечить коэффициент прочности сварного соединения более 0,9 [36]. Последние исследования показывают, что коэффициент прочности при аргонодуговой сварке может составлять 0,93...0,97 [31], а при аргонодуговой сварке в щелевые и традиционные разделки с усилением [37] обеспечивается равнопрочность сварных соединений титановых сплавов. Также равнопрочность при сварке плавлением обеспечивается концентрированными источниками нагрева: электронно-лучевой [37–39], лазерной [40, 41] и плазменной сваркой [41]. Однако эти способы имеют ряд технологических и экономических недостатков, присущих всем

способам сварки в жидкой фазе. Способы сварки давлением соединяют заготовки в твердой фазе за относительно короткое время, что позволяет минимизировать указанное влияние и сохранить физико-химические показатели металла шва близкие к основному металлу [42].

В частности, сварка трением позволяет получать качественные сварные соединения из титановых сплавов, механические свойства которых находятся на уровне основного металла [36, 43, 44]; значительно упрощает технологию подготовки под сварку титана и его сплавов по сравнению со сваркой плавлением; снижает влияние подготовки кромки деталей под сварку; исключает возможное негативное влияние присадочной проволоки на качество сварного соединения [35, 45, 46]; допускает отсутствие газовой защиты сварного соединения и детали [47]. При этом нивелируются проблемы значительной усадки и возможности зарождения и распространения трещин в металле зоны термического влияния спеченного материала, подвергнутого сварке плавлением [47].

В то же время использование при сварке сплавов в спеченном состоянии может привести к наличию в сварном шве и околошовной зоне недопустимого количества наследственных дефектов, вызванных несовершенством исходной заготовки [46, 48]. Необходим контроль содержания примесей, попадающих из окружающей среды для предотвращения деградации свойств [49], недопустимо дополнительное насыщение сварного шва по сравнению с основным металлом, кислородом, азотом и водородом [48]. Также пористость может изменить механизм теплопередачи и в конечном итоге параметры сварки [50]. В частности, фракция, размер, распределение и морфология пористости имеют глубокое влияние на свариваемость [47]. Известно, что пористые титановые изделия можно успешно сваривать аргонодуговой сваркой и некоторыми способами сварки давлением [23], но практически нет подобных исследований по сварке трением, в частности, по конвенционной, которая особо актуальна для сварки заготовок в форме тел вращения. В связи с этим, для более широкого применения титана необходимо провести исследование свариваемости, которое имеет особое значение при изготовлении длинномерных полуфабрикатов [39], спеченных титановых заготовок, полученных сваркой трением.

Актуальность работ в данном направлении predetermined национальными и мировыми стратегиями и тенденциями развития авиационной, космической, ядерной, химической, медицинской и др. отраслей, активно потребляющих продукцию из титана и его сплавов [51].

Таким образом, анализ состояния производства прутковых полуфабрикатов сечением до 50 мм и изделий и его сплавов в Украине показал зависимость страны от внешних поставщиков. Обоснован эффективный способ снижения стоимости прутковых полуфабрикатов из титановых сплавов путем усовершенствования технологии их получения. Отмечена актуальность получения прутков из титана в Украине из спеченных титановых заготовок с использованием методов порошковой металлургии и сварки. Определена необходимость проведения дальнейших исследований по определению свариваемости спеченных титановых сплавов.

1. *Ледер О.О., Курочкин Д.А., Алабушева М.О.* Состояние мирового титанового рынка в 2013 г. и тенденции его развития // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2014 в СНГ», Нижний Новгород, 25–28 мая 2014 г.
2. *Теслевич С.М., Шварцман Л.Я., Жигунов Н.Н.* Основные направления в стратегии развития исследовательских работ по усовершенствованию технологии производства титановых полуфабрикатов и изделий на КП «ЗТМК» // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ», Ялта, 15–18 апр. 2007 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 25–33.
3. *Хорев А.И.* Фундаментальные и прикладные работы по термической и термомеханической обработке титановых сплавов для авиационной и ракетно-космической техники // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 314–321.
4. *Формирование структуры в процессе изотермической штамповки лопаточных заготовок из (α + β) жаропрочных титановых сплавов / Н.А. Ночовная, А.Ю. Изотова, Н.В. Моисеев, О.С. Кашапов // Там же. – С. 38–40.*
5. *Иванова Л.А., Курдюмов А.С., Травин В.В.* Опыт применения высокопрочных титановых сплавов в энергетическом оборудовании // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2009 в СНГ», Одесса, 17–20 мая 2009 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 46–60.
6. *Каличенко М.С., Саватеева Г.В., Петрень М.Г.* Исследование возможности применения холодной деформации и ее влияние на структуру и механические свойства прутков из сплава ТС6 // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 189–193.
7. *Деформируемость титановых сплавов при нормальной и повышенных температурах / С.В. Скворцова, Д.А. Дзюнович, А.В. Шалин и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 361–363.*
8. *Сайт производственного объединения «ОСКАР». Режим доступа <http://oscar-tube.com>*
9. *Галецкий Л.С., Ремезова Е.А.* Роль минерально-ресурсной базы титана Украины в мире // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 22–27.
10. *Сайт международной компании «АНТАРЕС». Режим доступа <http://www.antares.com.ua/ru/index.html>*
11. *Новый этап в развитии минерально-сырьевой базы и титановой промышленности Украины / Л.С. Галецкий, Е.А. Ремезова, Э.Ш. Когон, Н.Н. Черниенко // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 7–11.*
12. *Направления снижения себестоимости титана / В.И. Ивашенко, И.Ф. Червонный // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2009 в СНГ», Одесса, 17–20 мая 2009 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 87–91.*
13. *Перспективы и возможности создания экономнолегированных бета-титановых сплавов / А.А. Ширяев, Н.А. Ночовная, А.А. Бурханова, В.Г. Анташев // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 14–18.*
14. *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.
15. *Вторичное титановое сырье: эффективность использования и рафинирование / Г.А. Колобов, К.А. Печерица, В.В. Павлов и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 119–121.*
16. *Анализ тенденций развития технологий, производства и потребления титана / В.В. Тэлин, В.И. Ивашенко, И.Ф. Червонный и др. // Титан. – 2005. – № 2(17). – С. 62–68.*
17. *Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей компрессора / В.Г. Анташев, О.С. Кашапов, Т.В. Павлова, Н.А. Ночовная // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ», Ялта, 15–18 апр. 2007 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 22–24.*
18. *Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы титана Украины / Л.С. Галецкий, Е.А. Ремезова, Э.Ш. Когон, Н.Н. Черниенко // Там же. – С. 34–38.*
19. *Ставицкий Ю.Л.* Апробация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии // Там же. – С. 73–77.
20. *Зячор И.В., Кучук-Яценко С.И.* Сварка трением жаропрочной стали, полученной технологией литья порошков под давлением, со сталью 40X // Автомат. сварка. – 2012. – № 9. – С. 5–14.
21. *Тэлин В.В., Теслевич С.М., Шварцман Л.Я.* Разработка новых экономичных процессов и оборудования на КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ», Ялта, 15–18 апр. 2007 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 60–64.
22. *Selcuk C., Bond S., Woollin P.* Joining processes for powder metallurgy parts: a review // Powder Metallurgy. – 2010. – № 53(1). – P. 7–11.
23. *Опыт получения порошков титана, порошковых титановых изделий и материалов / В.А. Дрозденко, В.А. Павлов, Э.Д. Тер-Погосьянц и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ», Ялта, 15–18 апр. 2007 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 149–155.*
24. *Терновой Ю.Ф., Пацетнева Н.Н., Воденников С.А.* Полуфабрикаты и изделия из распыленных металлических порошков. – Запорожье: Изд-во Запорож. гос. инж. акад., 2010. – 184 с.
25. *Москвичев Ю.П., Панин В.И., Агеев С.В.* Гранульные композиты и эффективность их применения // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 41–47.
26. *Влияние термоводородной обработки на формирование структуры порошковых материалов из титановых сплавов / В.С. Спектор, Ю.Э. Рунова, Г.Т. Занетдинова и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 345–347.*
27. *Ивакишин О.М., Саввакин Д.Г., Матвийчук М.В.* Апробация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 322–328.
28. *Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии / И.О. Быков, А.В. Овчинников, С.И. Давыдов и др. // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 1-2(80-81). – С. 65–69.*

29. Влияние структуры конструкционных титановых сплавов на изменение деформационного упрочнения в области локальной пластической деформации / О.М. Ивасишин, П.Е. Марковский, Д.Г. Саввакин и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 287–296.
30. Яковлев М.Г., Жуплов М.В. Повышение производительности и качества обработки дисков ГТД из гранульных материалов за счет применения оптимальных режимов резания // Сб. докл. Междунар. научно-техн. конф. «Климовские чтения-2014: перспективы направления развития авиадвигателестроения». В 2-х т. Т.1. – СПб.: Скифия-принт, 2014. – С. 281–291.
31. Сопротивление усталости сварных соединений опытного титанового сплава Т-110 / С.Л. Антонюк, В.Н. Король, А.Г. Моляр и др. // Автомат. сварка. – 2004. – № 2. – С. 28–32.
32. Hamill J. Weld techniques give powder metal a different dimension // Metal Powder Report. – 2007. – № 5. – С. 22–31.
33. Тополюк В.Ф., Ахонин С.В., Григоренко Г.М. Новые титановые биосовместимые сплавы в ортопедии и стоматологии // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 173–176.
34. Хорев А.И. Влияние комплексного легирования на механические свойства сварных соединений // основного металла (α' + β)- и β -титановых сплавов // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 29–34.
35. Блащук Б.Е., Шеленков Г.М. Сварка плавлением титана и его сплавов (Обзор) // Автомат. сварка. – 2005. – № 2. – С. 38–46.
36. Влияние параметров режима сварки трением на структуру и механические свойства соединений титанового сплава ВТ3-1 / А.Г. Селиверстов, Ю.М. Ткаченко, Р.А. Куликовский и др. // Там же. – 2013. – № 1. – С. 29–34.
37. Кузнецов С.В., Леонов В.П., Михайлов В.И. Сопротивление деформированию и разрушению зон сварных соединений титановых псевдо- α -сплавов в условиях повышенных температур // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 180–188.
38. Электронно-лучевая сварка листового технического титана ВТ1-0, упрочненного азотом в процессе дугошлакового переплава, и свойства полученных соединений / В.Я. Саенко, А.А. Полишко, В.А. Рябинин, С.Н. Степанюк // Автомат. сварка. – 2014. – № 11. – С. 50–53.
39. Структура и свойства сварных соединений титановых сплавов, легированных кремнием / Л.И. Маркашова, С.В. Ахонин, Г. М. Григоренко и др. // Там же. – 2012. – № 11. – С. 7–17.
40. Особенности лазерно-дуговой сварки титановых сплавов / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, С.В. Ахонин и др. // Там же. – 2012. – № 12. – С. 36–40.
41. Шабдинов М. Л., Измаилова Г. М., Джемилев Э. Ш. Перспективные аспекты использования лазерной термической технологии для сварки и резки титановых сплавов // Вісн. Хмельниць. нац. ун-ту. – 2011. – № 5. – С. 31–34.
42. Особенности формирования структурной и химической неоднородности в сварных соединениях экспериментальных титановых сплавов системы Ti–Si–X, выполненных прессовой сваркой / Т.Г. Таранова, Г.М. Григоренко, С.В. Ахонин и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 214–220.
43. Исследование механических свойств сварных соединений сплава ВТ3-1, выполненных сваркой трением / А.Г. Селиверстов, И.А. Петрик, Ю.М. Ткаченко и др. // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2011. – № 4(26). – С. 41–44.
44. Петрик И.А., Селиверстов А.Г., Овчинников А.В. Повышение свойств сварных соединений роторных деталей из титановых сплавов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 8(115). – С. 25–29.
45. Блащук Б.Е. Титан: сплавы, сварка, применение // Автомат. сварка. – 2004. – № 3. – С. 39–46.
46. Плотность металла швов на техническом титане ВТ1-0, выполненных различными способами сварки / Т.В. Голуб, О.Н. Кашевская, В.Н. Замков и др. // Там же. – 1990. – № 11(452). – С. 31–33.
47. Edmilson Otoni Correa (2011). Weldability of Iron Based Powder Metal Alloys Using Pulsed GTAW Process, Arc Welding, Prof. Wladislav Sudnik (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/arc-welding/weldability-of-iron-based-powder-metal-alloys-using-pulsed>.
48. Влияние факторов отжига на усталостную долговечность сварных соединений титановых сплавов ВТ1-0 и ПТ7М / А.Т. Пичугин, В.Н. Федирко, А.Г. Лукьяненко, И.Г. Лавренко // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ», Ялта, 15–18 апр. 2007 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 431–440.
49. Перспективы использования сплавов, полученных по гидридной технологии, для потребностей медицины / Д.Г. Саввакин, М.В. Матвийчук, Н.М. Гуменяк, Д.И. Карпинец // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2011 в СНГ», Львов, 25–28 апр. 2011 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 183–186.
50. The effect of voltage on the arc stud welding of microwave sintered Fe+Al powder mixture / Ş. Talaş, M. Doğan, M. Çakmakçaya, A. Kurt // Materials Research. – 2014. – Vol. 17. – № 3.
51. Информационно-прогнозные структуро-литологические цифровые модели титан-циркониевых россыпных месторождений / Д.П. Хрущов, А.П. Лобасов, Е.А. Ремезова и др. // Сб. тр. Междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ», Донецк, 26–29 мая 2013 г. – Киев: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины. – С. 83–91.

Поступила в редакцию 15.12.2014

Международная конференция «Наплавка — Наука. Производство. Перспективы»

15–17 июня 2015

Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

Тел./факс: (044) 200-82-77, 200-54-84, 200-63-02

<http://pwi-scientists.com/rus/surfacing2015>