

конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». М., 2009. с. 99 – 105.

6. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю. Листовой демпфирующий материал для кузовных деталей. Свойства при сдвиговой деформации. / Автомобильная промышленность, 2010, № 10. с. 39 – 40.
7. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (9), 2010. с. 166 – 170.
8. Типалин С.А., Плотников А.А. Влияние клеевого соединительного слоя на процесс вытяжки листового многослойного материала. / Автомобильная промышленность, 2012, № 6. с. 33 – 35.

Применение технологии лазерной сварки при изготовлении сосудов высокого давления из титанового сплава

Кочергин С.А., д.т.н. проф. Саушкин Б.П.
ФГУП НПО «Техномаш», Университет машиностроения
(495)689-95-71, serezhka-kochergin@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы снижения массогабаритных характеристик сосудов высокого давления (СВД) за счет применения тонкостенной металлической оболочки-лейнера из титанового сплава ВТ-1,0. Выявлены основные трудности, возникающие при изготовлении сварных лейнеров из титанового сплава ВТ-1,0. Представлены результаты подбора режимов сварки титанового сплава ВТ-1,0, показано влияние технологии подготовки кромок на качество сварных соединений, а также возможность применения лазерной технологии при сварке лейнера из ВТ-1,0.

Ключевые слова: лазер, лейнер, лазерная сварка, титановый сплав, испытания, качество, мощность излучения, сосуд высокого давления, образец.

Одной из актуальных проблем ракетостроения является снижение массогабаритных характеристик большой номенклатуры сосудов высокого давления (СВД), используемых в изделиях ракетно-космической техники (РКТ) для хранения жидких и газообразных продуктов – компонентов топлива, азота, гелия, аргона и др.

Эффективным способом решения этой проблемы считается использование металлокомпозитных конструкций таких емкостей с неметаллической или тонкостенной металлической оболочкой-лейнером и внешней армирующей стеклопластиковой или углепластиковой намоткой [1].

Наиболее важными требованиями, предъявляемыми к конструкциям СВД, являются: минимальное соотношение веса к объему, максимальная жесткость и прочность, максимальный ресурс работы, высокая надёжность. Эти условия выполняются при применении титановых сплавов в качестве конструкционных материалов для внутренней оболочки.

Вместе с тем при изготовлении тонкостенных сварных металлических лейнеров, прежде всего лейнеров из титановых сплавов, возникает ряд технологических трудностей, многие из которых до настоящего времени не преодолены и до конца не изучены. Прежде всего это связано с химической активностью титановых сплавов к газам, что приводит к образованию пористости и холодных трещин при сварке [2, 3]. Поэтому качество сварных соединений при сварке титана различными методами во многом зависит от технологии подготовки кромок деталей под сварку.

Важным фактором при сварке лейнера является точность сборки и строгое соблюдение допустимых зазоров между кромками деталей.

При создании сварных конструкций СВД из титановых сплавов возможно эффективно

применение лазерной технологии, потому что лазерное излучение обладает рядом уникальных свойств: высокой интенсивностью и монохроматичностью, возможностью достижения высоких значений плотности мощности и высокой локальности воздействия. Все это существенно расширяет технологические возможности его применения [2].

В данной работе рассмотрены вопросы подбора режимов сварки титанового сплава ВТ-1,0, влияние технологии подготовки кромок на качество сварных соединений, а также применение лазерной технологии при сварки лейнера из ВТ-1,0.

При проведении экспериментов использовался волоконный лазер ЛС-1, функционирующий как в модулируемом, так и непрерывном режиме.

Технические характеристики:

Мощность излучения, кВт	1
Длина волны, мкм	1,07
Фокусирующее расстояние линзы, мм	200
Минимальный диаметр пятна, мм	0,1

Выбор оптимального режима сварки титанового сплава ВТ-1,0 проводили на плоских образцах 100×50×1,8 мм без дополнительной подготовки свариваемых кромок.

Для защиты поверхности шва, а также остывающих участков металла шва и околошовной зоны использовали гелий высокой чистоты. Защиту корня шва осуществляли аргоном высокой чистоты и смесью аргона и гелия. При выборе режима варьировались следующие факторы: энергия, частота, длительность импульсов, скорость сварки, диаметр и положение фокального пятна. В таблице 1 представлены некоторые режимы сварки в зависимости от частоты излучения и скорости сварки:

При оценке качества сварных соединений рассматривались: геометрия сварного шва, его механические свойства, наличие внутренних и внешних дефектов.

В результате был выбран оптимальный режим лазерной сварки образцов, однако проведенные результаты рентгенографических исследований показали, что на некоторых образцах имеются дефекты в виде небольших газовых включений пор. Одной из возможных причин появления таких дефектов является некачественная подготовка кромок.

Таблица 1

Режимы лазерной сварки титанового сплава ВТ-1,0

Материал	Толщина листа, мм	Фокусное расстояние, мм	Мощность излучения, Вт	Частота, Гц	Скорость сварки, м/мин	Ширина шва, мм	Защитный газ
Титан ВТ-1,0	1,8	200	1000	50	1	1,5	He+Ar; корень шва He
				100		1	
				200		1,25	
				50	0,48	1,8	
				100		1,5	
				200		1,4	

Для их устранения и улучшения качества сварных соединений из титанового сплава ВТ-1,0 нами рассмотрены различные варианты подготовки кромок свариваемых деталей:

- 1) механическая вырезка (фрезерование) образцов и автоматизированная зачистка поверхности образцов лепестковой металлической щеткой (сталь 12Х18Н10Т);
- 2) механическая вырезка (фрезерование) образцов и электродуговая разрядная очистка в вакууме (технология ЭДРО, опытная установка «ЭДРО-1» ФГУП «НПО «Техномаш»);
- 3) механическая вырезка (фрезерование) образцов и обдувка кромок стеклянными шариками;
- 4) лазерная вырезка образцов сфокусированным лазерным лучом волоконного лазера «ЛС-1» и автоматизированная зачистка поверхности образцов лепестковой металлической щеткой (сталь 12Х18Н10Т).

Выбранный режим сварки образцов:

- мощность, Вт 850;
- скорость, м/мин 0,48;
- частота излучения, Гц 100.

После сварки образцов для оценки механических свойств сварных соединений проводили испытания на разрыв (плоские стандартные образцы) и статический изгиб до разрушения (плоские пластины).

Результаты испытаний приведены в таблице 2.

В дополнение к механическим испытаниям были проведены рентгенографический анализ и металлографические исследования сварных образцов с различными вариантами подготовки кромок, позволившие установить, что:

- для варианта 1 шесть из семи образцов соответствуют требованиям ОСТ 92-1114-80 «Соединения сварные. Общие технические требования», а на одном образце была выявлена цепочка пор диаметром 0,2...0,5 мм,
- для варианта 2 шесть образцов полностью соответствуют ОСТ 92-1114-80, на седьмом мелкая (0,1–0,25 мм) пористость,
- для варианта 3 пять образцов, полностью соответствуют ОСТ 92-1114-80, а на остальных образцах имеется мелкая (0,1–0,3 мм) пористость практически по всей длине шва,
- для варианта 4 все семь образцов полностью соответствуют требованиям ОСТ 92-1114-80 «Соединения сварные. Общие технические требования».

Таблица 2

Результаты механических испытаний образцов сварных соединений с разными способами подготовки кромок

Вариант обработки кромок	Механические свойства		
	предел прочности, σ_B , МПа	предел текучести, σ_T , МПа	максимальный угол загиба, α , град
1	468–485	400–455	95–169
2	476–502	387–454	98–169
3	464–500	424–460	100–164
4	475–490	424–460	100–169

Металлографические исследования показали, что на всех макрошлифах дефекты типа непроваров и микротрещин отсутствуют. Лишь на нескольких образцах были обнаружены отдельные мелкие газовые поры, не приводящие к снижению механических характеристик сварных соединений.

В результате проведенной работы установлено, что по уровню механических свойств из четырех опробованных вариантов подготовки кромок сварных соединений могут быть рекомендованы два: механическая обработка с последующей обдувкой кромок стеклянными шариками (вариант 3) и лазерная вырезка сфокусированным лазерным лучом с последующей обработкой поверхности кромок лепестковой металлической щеткой (сталь 12Х18Н10Т) (вариант 4). С учетом данных рентгеновских и металлографических исследований опытных образцов сварных соединений наилучшим вариантом подготовки кромок следует признать технологию по варианту 4.

Полученные результаты были использованы при отработке режимов сварки лайнеров из титанового сплава ВТ-1,0. Габаритные размеры лайнера составляют: диаметр 360 мм, длина 800 мм, толщина материала в зоне сварки 1,8 мм.

Прихватку и сварку лайнера осуществляли на лазерном технологическом комплексе ЛТКС-1 на базе ЛС-1. Важным фактором при сварке лайнера является точность сборки и строгое соблюдение допустимых зазоров между кромками деталей.

Поэтому прихватку двух обечаек выполняли в специально разработанном бандажном кольце, позволяющем обеспечить необходимые требования по сборке:

- минимальный зазор, мм 0,05;
- минимальные превышения кромок, мм 0,08.

Прихватка выполняется в импульсном режиме в двенадцати точках по всему диаметру. После выполнения прихватки кольцо снимается.

Для удаления газонасыщенной пленки со свариваемых кромок применяли очистку щеткой из нержавеющей стали.

Основные требования, предъявляемые к лазерной сварке лейнера:

- высокая прочность сварных соединений;
- минимальные деформации лейнера после сварки;
- минимальная зона термического влияния, мм.

Для защиты поверхности и корня шва, а также остывающих участков металла шва и околошовной зоны использовался гелий высокой чистоты; обдув корня шва осуществлялся аргоном высокой чистоты или смесью аргона и гелия.

Качество сварных швов оценивалось визуально, а также по результатам механических испытаний, рентгеновского контроля, металлографических исследований.

На рисунке 1 показан лейнер, изготовленный с применением лазерной сварки. По внешнему виду сварных соединений для всех исследованных вариантов подготовки кромок сварные швы формируются без существенных дефектов.



Рисунок 1 – Лейнер, изготовленный с применением лазерной сварки

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлены возможность и целесообразность применения лазерных технологий для резки (раскроя) и сварки сосудов высокого давления из титанового сплава ВТ-1,0. Для реализации лазерных технологий целесообразно использовать отечественные волоконные лазеры последнего поколения с высокой технологической надежностью и КПД. Следует отметить, что полученные результаты могут быть использованы в других областях техники и при обработке других материалов, например, в автомобилестроении [4-6].

Литература

1. Чумадин А.С., Ершов В.И, Барвинок В.А. Теоретические основы авиа и ракетостроения. – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов. – М.: Дрофа, 2005.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрин А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
3. Григорьянц А.Г., Основы лазерной обработки материалов – М.: Машиностроение, 1989.
4. Шандров Б.В., Прогрессивные технологии автомобилестроения/ Журнал автомобильных инженеров, № 6. 2004.
5. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Анализ методов чистовой обработки зубьев цилиндрических колес, применяемых в промышленности. Инженерный журнал. Справочник № 4, 2010 М.: Машиностроение, 21-27 с.
6. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ», 2010. № 1. с. 166-170.