

Методика изготовления пластинчатого теплообменника для малоразмерного газотурбинного двигателя с использованием лазерной сварки

Ремчуков С.С.

*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва*

*При изготовлении пластинчатого теплообменника для малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД) существует ряд проблем, обусловленных необходимостью соединения тонкостенных и разнотолщинных элементов. Исходя из условий эксплуатации теплообменников МГТД, для соединения элементов теплообменника необходимо использовать сварку. На первый план выходит проблема обеспечения герметичности сварных швов.*

*Представлена методика получения герметичного соединения элементов пластинчатого теплообменника подбором режима лазерной сварки.*

*Ключевые слова: лазерная сварка, пластинчатый теплообменник.*

Процесс создания пластинчатого теплообменника включает в себя несколько основных этапов:

1. Изготовление заготовок для создания пластин теплообменника. Данный этап целесообразно выполнять методом лазерной резки ленты малой толщины ( $b \approx 0,2$  мм).

2. Изготовление пластин. Пластины изготавливаются методом холодной листовой штамповки на предварительно созданном штампе.

3. Подготовка поверхностей, по которым будет осуществляться соединение пластин.

4. Соединение пластин и формирование теплообменной матрицы.

Наиболее сложным и трудоемким при этом является четвертый этап. Прежде всего, это связано с тем, что на данном этапе необходимо выполнить сварку тонкостенных ( $b < 1$  мм) и разнотолщинных ( $b_1/b_2 \geq 10$ ) элементов. В данном вопросе нет общего решения, поэтому подход к решению таких сложных задач должен быть уникальным для каждого случая.

К соединениям пластинчатого теплообменника МГТД предъявляются высокие требования. Здесь, помимо обеспечения прочности и долговечности сварного шва при условии цикличности нагружения по давлению и температуре, необходимо обеспечить герметичность соединения. Поэтому, важной задачей является выбор подходящего метода сварки, и, далее, подбор наиболее подходящего режима. Правильный выбор вида и режима сварки позволяет существенно снизить количество брака и продлить жизненный цикл изделия.

При соединении тонкостенных и разнотолщинных деталей особого внимания заслуживает лазерная сварка [1]. Отсутствие механического

воздействия делает метод особенно привлекательным для сварки тонких изделий.

Отработка режимов сварки тонкостенных элементов проводилась при соединении в конверт теплообменника двух пластин толщиной по 0,2 мм, изготовленных из жаропрочного сплава ХН45Ю.

Сварка осуществлялась на лазерном станке с ЧПУ мощностью Р до 300 Вт, характеристики которого вполне подходят для выполнения задачи.

Сварка двух пластин в конверт проводилась по специально предусмотренным и предварительно подготовленным сварочным полкам (рис. 1).



Рисунок 1 – Сварка двух пластин в конверт

Для осуществления плотного прилегания кромок использовалась специальная оснастка (рис. 2). Зажимы обеспечивают фиксацию положения пластин при помощи фиксирующих винтов. Зажимы изготовлены из меди, что обеспечивает повышение интенсивности теплоотвода от места сварки. Возможно дополнительное охлаждение зажимов водой через специальные подводы.

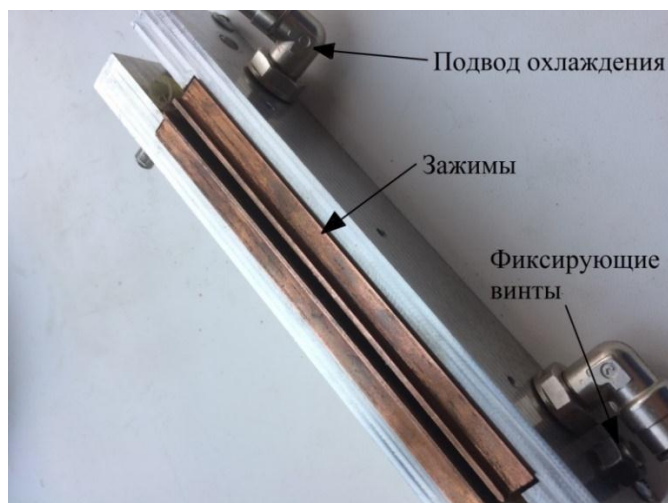


Рисунок 2 – Оснастка для сварки конверта теплообменника

Для получения герметичного сварного шва необходим подбор индивидуального режима сварки для каждой конкретной задачи [2]. На этапе подбора режима лазерной сварки деталей необходимо варьировать параметры, влияющие на качество шва. Такими параметрами являются напряжение  $U$ , частота  $\nu$  и длительность импульсов  $\tau$ , диаметр пятна  $D$ , шаг импульсов  $t$ . При необходимости получения глубокого проплавления металла следует увеличивать длительность импульсов при сохранении невысоких значений напряжения. Результаты подбора режима для получения качественного сварного шва (рис. 3) представлены в таблице 1.

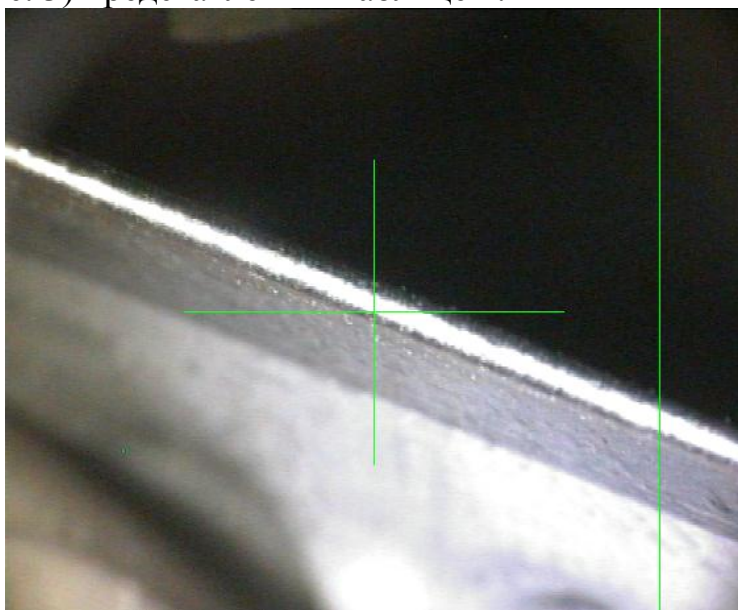


Рисунок 3 – Сварной шов двух пластин одинаковой толщины

Таблица 1

Режим сварки двух пластин в конверт теплообменника

№	Наименование параметра	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1	Напряжение	$U$	В	210
2	Частота	$\nu$	Гц	10
3	Длительность	$\tau$	с	0,01
4	Диаметр пятна	$D$	мм	0,3
5	Шаг импульсов	$t$	мм	0,1

Отработка режима сварки разнотолщинных элементов осуществлялась путем приваривания в полость конверта вставки толщиной  $b = 2$  мм (рис. 4).

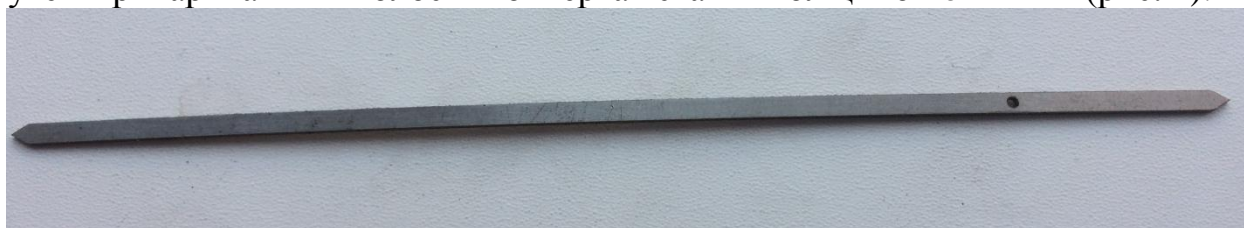


Рисунок 4 – Вставка для заполнения входной полости конверта

Вставки повторяют профиль входа в конверт для обеспечения полной герметичности изделия. Для сварки разнотолщинных материалов подобран индивидуальный режим (табл. 2), который позволил получить высокое качество сварного шва (рис. 5). Сварка разнотолщинных элементов теплообменника необходимо осуществлять с большей, по сравнению со сваркой тонкостенных элементов, мощностью излучения. Кроме того, луч необходимо сместить в сторону детали большей толщины, для чего следует увеличить диаметр пятна.

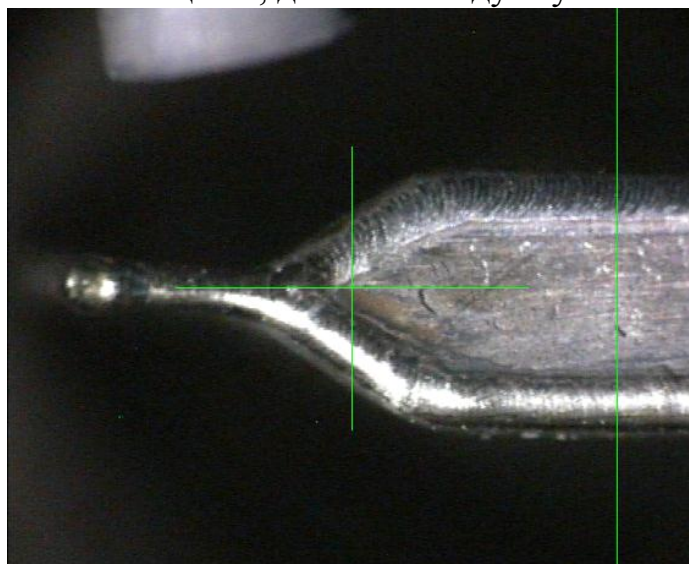


Рисунок 5 – Сварное соединение изделий разной толщины

Таблица 2

Режим сварки конверта теплообменника и вставки большей толщины

№	Наименование параметра	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1	Напряжение	U	В	240
2	Частота	$\nu$	Гц	10
3	Длительность	$\tau$	с	0,0007
4	Диаметр пятна	D	мм	0,35
5	Шаг импульсов	t	мм	0,1

Для проведения экспериментальных исследований по подтверждению прочности и герметичности сварных соединений во вставку предварительно была вварена трубка для подвода сжатого воздуха от компрессора (рис. 6).

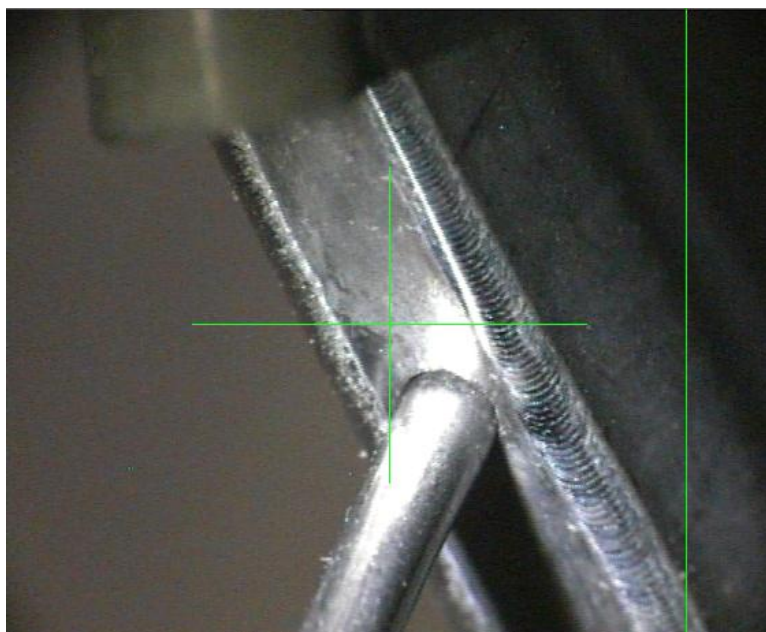


Рисунок 6 – Место приваривания трубки подвода сжатого воздуха

На рисунке 7 представлен конверт теплообменника, подготовленный к проведению испытаний. Сжатый воздух компрессором подавался через трубку 1 в конверт 2, стягиваемый по среднему сечению специальной оснасткой 3. Конверт располагался в емкости с водой для обеспечения возможности оперативной фиксации протечки и установления ее местоположения.

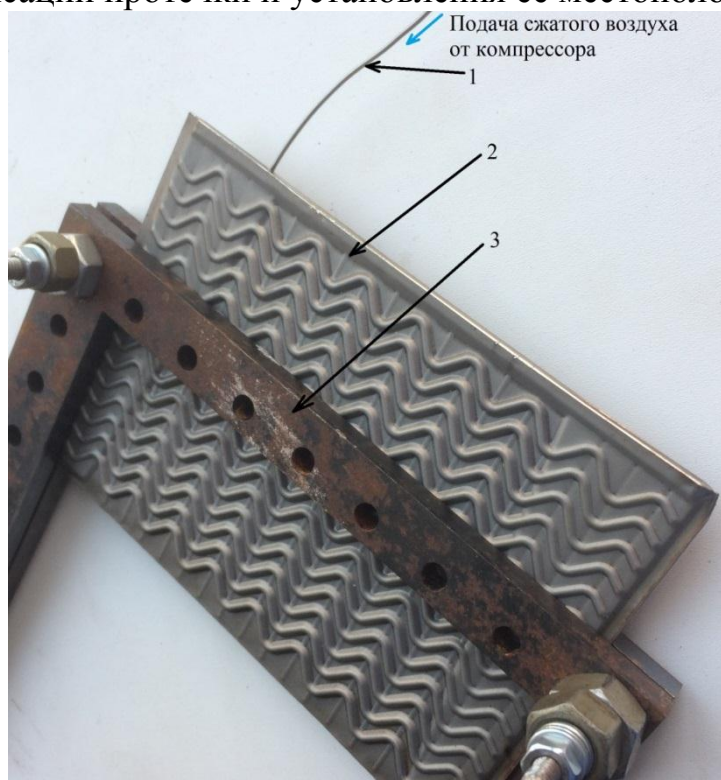


Рисунок 7 – Схема проведения эксперимента

Компрессор обеспечивает давления до 8 атм. Эксперимент проводился с постепенным увеличением давления, начиная с атмосферного.

Подача начальных малых давлений подтвердила герметичность конструкции при отсутствии высоких нагрузок. Далее осуществлялось постепенное увеличение давления в конверте. Конверт сохранил прочность герметичность до давления 4 атм. Дальнейшее увеличение нагрузок нецелесообразно ввиду условий работы теплообменников МГТД [3]. Образец после проведения испытаний представлен на рисунке 8. Механические деформации конверта, представленные на рисунке 8, не являются показательными вследствие компенсации раздувающих нагрузок в системе теплообменника (каждый конверт окружен двумя конвертами с таким же давлением).



Рисунок 8 – Конверт после проведения испытаний

В работе осуществлен подбор режимов лазерной сварки тонкостенных и разнотолщинных элементов пластинчатого теплообменника МГТД из жаропрочного сплава.

Проведенные испытания подтвердили прочность и герметичность сварных швов при давлениях до 4 атм., что делает метод применимым для изготовления теплообменников МГТД.

Научный руководитель: Ярославцев Н.Л.

#### Библиографический список

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 663 с.
2. Ремчуков С.С., Ярославцев Н.Л., Судас С.А., Породнова О.В. Обеспечение герметичности сварного шва конверта пластинчатого теплообменника подбором режима лазерной сварки // Авиация и космонавтика - 2018: Тезисы 17-ой Международной конференции. 2018. С. 106-107.
3. Ремчуков С.С., Данилов М.А., Чистов К.А. Автоматизированное проектирование и расчет пластинчатого теплообменника для малоразмерного газотурбинного двигателя // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 3. С. 116-123.