

УДК 621.791.05

Канд. техн. наук Г. В. Пухальская¹, И. Б. Марков²

¹Запорожский национальный технический университет, ²АО «Мотор Сич», г. Запорожье

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ3-1

На образцах определены механические свойства сварных соединений по отношению к основному металлу и размеры зон с минимальным уровнем механических свойств.

Ключевые слова: титановые сплавы, сварные соединения, механические свойства, зона снижения свойств, место разрушения.

Повышение ресурса и надежности газотурбинных двигателей (ГТД) является актуальной задачей. Одними из наиболее нагруженных деталей в конструкции ГТД являются детали роторной части компрессора – лопатки вентилятора и компрессора. Лопатки изготавливают из двухфазных титановых сплавов ВТ3-1, ВТ8, ВТ9 и др.

Различные повреждения лопаток в процессе эксплуатации, с учетом высокой стоимости деталей, требуют разработки рациональных технологий ремонта.

Для ремонта повреждений на лопатках необходимо применение сварки.

В данном исследовании рассматривали вариант ремонта лопаток с заменой поврежденного фрагмента. Для обеспечения высокого качества сварных швов, повторяемости процесса, минимальной зоны термического влияния и минимальных деформаций деталей для приварки фрагмента выбран метод электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

Однако двухфазные титановые сплавы являются ограниченно свариваемыми [1], при сварке происходят структурные изменения и снижаются механические свойства. Для обеспечения эксплуатационных свойств восстановленных деталей, актуальной задачей является применение методов упрочнения для сварных соединений [2]. В этой связи необходимо уточнить расположение зон в сварных соединениях, в которых происходит снижение механических свойств, а также определить фактический уровень механических свойств в этих зонах.

В настоящей работе рассмотрены вопросы, касающиеся определения механических свойств в различных зонах сварных соединений.

Методика

Исследования прочностных свойств сварных соединений проводили на образцах, применительно к ремонту лопаток вентилятора из материала ВТ3-1 с заменой поврежденного фрагмента и приваркой вставки методом ЭЛС. Сварку образ-

цов выполняли с двух сторон на установке ЭЛУ-20. Предел прочности определяли на плоских образцах, тип XIII, по ГОСТ 6996-66 [3], при этом испытывали 10 цельных и 10 сварных образцов. Испытания проводили на установке INSTRON-8862 при скорости перемещения захватов 15 мм/мин. Установка оснащена компьютерной системой управления и по результатам испытаний получали графическую зависимость изменения усилия во времени. Также проводили замеры микротвердости на макрошлифах в поперечном сечении сварных соединений. Микротвердость измеряли на микротвердомере ММ7Т фирмы «BUENLER» при нагрузке индентора равной 50 г в течение 10 с.

Результаты исследований и их обсуждение

Так как листы из сплава ВТ3-1 не выпускаются, то изготовление образцов выполняли по технологии, которая соответствовала технологии изготовления лопаток.

Технология включает следующие основные операции:

- порезка исходного прутка на заготовки и подготовка торцев;
- осадка исходных заготовок;
- прокатка на полосы;
- термообработка и удаление поверхностного окисленного слоя;
- изготовление цельных образцов для проведения механических испытаний и заготовок для сварных образцов;
- сварка и термообработка;
- изготовление сварных образцов;

Образцы изготавливали в следующей последовательности:

1. Порезка исходного прутка $\varnothing 45$ мм на мерные заготовки длиной 300 мм на ленточной пиле, снятие фасок на торцах деталей.

2. Предварительная осадка прутков с подогревом до высотного размера 27...29 мм на молоте ковочном.

3. Прокатка в нагретом состоянии предварительно осаженных прутков на полосы в продольном направлении на двухвалковом прокатном стане. Температура начала прокатки $10^{\pm 10}$ °С.

Прутки прокатывались за несколько проходов, с промежуточным подогревом остывших полос на температуру $T = 910^{\pm 10}$ °С, до толщины $5^{+0,5}$ мм, ширина прокатанных полос 65^{+5} мм.

4. Изотермический отжиг в камерной электропечи по режиму: $T = 910$ °С, выдержка 1 ч, охлаждение с печью до $T = 750$ °С, выдержка 1 ч, охлаждение на воздухе, стабилизирующий отжиг при $T = 530$ °С.

5. Удаление окисленного слоя, образовавшегося в процессе обработки обдувкой, разрыхлением и травлением.

6. Фрезеровкой изготовили цельные образцы толщиной 2 мм для механических испытаний и заготовки для последующей сварки толщиной 4 мм.

7. Электронно-лучевая сварка образцов. Сварку производили с выводными планками.

8. Отжиг по следующему режиму: 1 ступень – электронно-лучевой отжиг при $T = 910$ °С, выдержка 10 мин, 2 ступень – печной отжиг в защитной атмосфере при $T = 650$ °С.

9. Фрезеровка образцов, толщиной 2 мм для проведения механических испытаний.

В процессе проведения механических испытаний сварных образцов определяли место разрушения по отношению к оси сварного шва (B , мм). При этом установлено (рис. 1), что разрушение сварных образцов происходило в зоне термического влияния.

Результаты механических испытаний цельных образцов приведены в табл. 1.

Результаты механических испытаний сварных образцов приведены в табл. 2.

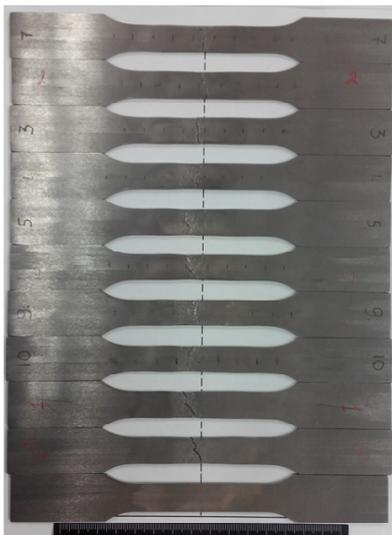


Рис. 1. Внешний вид сварных образцов после разрушения

Таблица 1 – Механические свойства цельных образцов

№ обр.	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
1	113,0	18,0
2	112,0	15,7
3	112,7	17,0
4	114,7	16,7
5	113,9	17,3
6	112,7	17,3
7	113,0	15,7
8	113,8	17,0
9	111,9	16,3
10	114,0	16,3
Средн.	113,2	16,7

Таблица 2 – Механические свойства сварных образцов

№ обр.	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	B , мм
1	108,3	11,7	8,0
2	110,0	6,7	1,0
3	112,6	7,0	3,5
4	109,6	7,3	4,0
5	111,7	7,3	9,0
6	109,8	8,3	7,0
7	109,4	8,0	0,0
8	109,6	10,0	3,8
9	111,1	8,3	3,8
10	112,4	10,0	6,7
Средн.	110,4	8,5	4,68

Для определения протяженности зоны снижения свойств выполнили замеры микротвердости. Замеры выполняли на поперечных макрошлифах, по трем линиям, расположенным на разной высоте, в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.

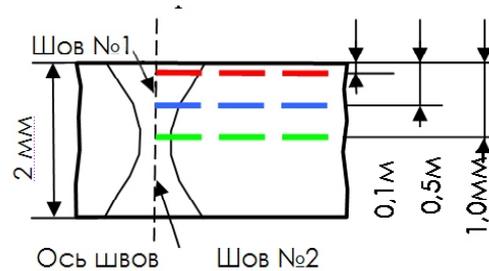


Рис. 2. Схема замеров микротвердости

Результаты замеров микротвердости сварных образцов приведены на рис. 3–5.

Анализ результатов замеров микротвердости показал, что в зоне термического влияния происходит снижение микротвердости до 330HV как относительно сварного шва, имеющего микротвердость порядка 420 HV, так и основного металла, с микротвердостью 370 HV. По результатам замеров, протяженность зоны снижения механических свойств, в поперечном направлении, составляет 1,5...8,0 мм, от оси сварного шва.

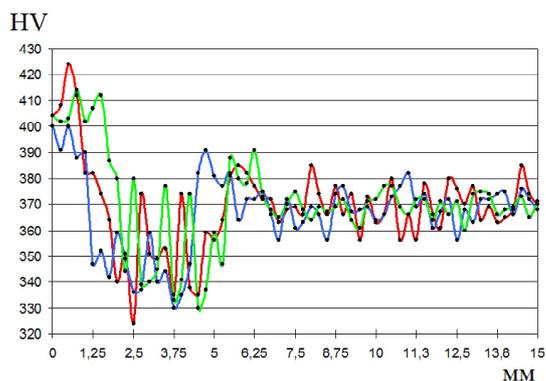


Рис. 3. Результаты замеров микротвердости на образце № 13

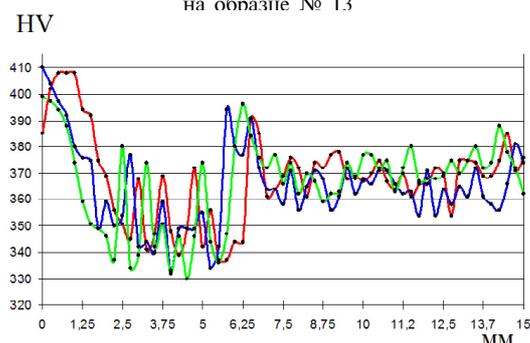


Рис. 4. Результаты замеров микротвердости на образце № 11

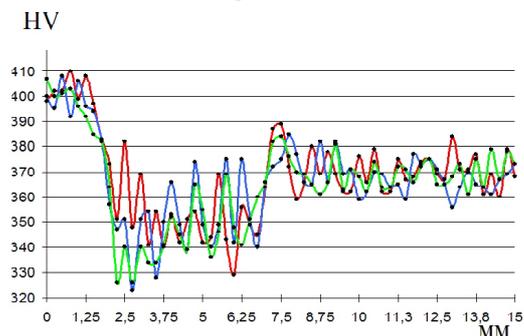


Рис. 5. Результаты замеров микротвердости на образце № 12

Сравнением расположения места разрушения образцов при механических испытаниях с результатами замеров микротвердости установлено, что разрушение образцов происходило примерно по центру зоны снижения механических свойств.

Выводы

Установлены размеры зоны снижения механических свойств для сварных образцов из сплава ВТЗ-1, при этом, протяженность зоны снижения механических свойств в поперечном направлении составляет 1,5...8,0 мм от оси сварного шва.

Определено место разрушения сварных образцов, которое расположено в зоне снижения механических свойств, в среднем, на расстоянии 4,68 мм от оси сварного шва.

Фактическое снижение уровня механических свойств сварных образцов составило: $\sigma_{\epsilon} \sim 3\%$, $\delta \sim 50\%$.

Список литературы

1. Замков В. Н. Металлургия сварки титана и его сплавов / В. Н. Замков. – К. : Наукова думка, 1986. – 240 с.
2. Сайдахмедов Р. Х. Прогрессивные технологии производства конструкций летательных аппаратов из титановых сплавов / Р. Х. Сайдахмедов. – Ташкент : ТГАИ, 2005. – 54 с.
3. Сварные соединения. Методы определения механических свойств: ГОСТ 6996-66. – М. : Стандартиформ, 2006. – 44 с.

Поступила в редакцию 10.05.2016

Пухальська Г.В., Марков І.Б. Визначення механічних властивостей в різних зонах зварних з'єднань з титанового сплаву ВТЗ-1

На зразках визначені механічні властивості зварних з'єднань по відношенню до основного металу і розміри зон з мінімальним рівнем механічних властивостей.

Ключові слова: титанові сплави, зварні з'єднання, механічні властивості, зона зниження властивостей, місце руйнування.

Pukhal'skaya G., Markov I. Determination of welded joints mechanical properties of the ВТЗ-1 titanium alloy in various zones

There were determined the specimen mechanical properties in comparison with the core metal and size of zones with minimum mechanical properties.

Key words: titanium alloys, welded joints, mechanical properties, area reduction properties, place of destruction.