

УДК 621.791.725 : 621.431.75 : 669.018.44

РЕМОНТ ТРЕЩИН НА СЕКТОРАХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ РАЗДЕЛКИ И ЛАЗЕРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ НАПЛАВКИ

© 2020 Е.Н. Голубовский¹, А.А. Паркин², С.С. Жаткин²¹ АО «Металлист-Самара»,² Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 03.04.2020

В данной статье рассматривается процесс ремонта (залечивания) трещин, возникших на секторах лопаток соплового аппарата из материала ЖС6У при эксплуатации турбины высокого давления двигателя Д18Т путем разделки до полного удаления трещины с последующей импульсной лазерной наплавкой по месту разделки. Наплавка производилась с помощью присадочной проволоки св-06Х15Н60М15. Проведены металлографические исследования по местам ремонта, а также контроль зоны лазерной наплавки люминесцентным методом.

Ключевые слова: лазерная наплавка, лопатка, ремонт.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-107-112

ВВЕДЕНИЕ

Узлы и детали ГТД, в том числе лопатки, имеют установленный разработчиком ресурс, после выработки которого они подлежат ремонту. В настоящее время в промышленности применяется ряд технологий наплавки металлов: наплавка штучными электродами, аргонодуговая и газовая, наплавка ТВЧ, микроплазменная наплавка.

Основными недостатками традиционных способов наплавки являются:

- ухудшение свойств наплавленного металла из-за перемешивания с основным;
- деформация изделия, вызываемая высокими погонными энергиями;
- образование трещин в наплавленном слое;
- трудности при осуществлении наплавки малых поверхностей и изделий сложной формы.

В данной работе представлены результаты исследований и испытаний по лазерной наплавке для залечивания трещин в дефектной зоне с целью продления ресурса работы.

Ремонт лопаток в целом включает в себя несколько операций: демонтаж, чистка, дефектация, ремонт дефектов, возникших при эксплуатации, восстановление покрытий, контроль их качества.

Голубовский Евгений Николаевич, инженер отдела Главного металлурга ОАО «Металлист-Самара».

E-mail: choovuchoooyu@gmail.com

Паркин Анатолий Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры литейных и высокоэффективных технологий, Самарский государственный технический университет (СамГТУ). E-mail: laser@samgtu.ru

Жаткин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры литейных и высокоэффективных технологий, Самарский государственный технический университет (СамГТУ). E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru

Литейные сплавы на основе никеля обладают высокой жаропрочностью при средних и высоких температурах, что обуславливает их широкое применение при изготовлении лопаток турбин, а также других фасонных деталей, работающих при температуре до 1000°С.

Технология ремонта трещин на секторах лопаток ТВД (рис. 1) из жаропрочного литейного сплава ЖС6У целесообразно производить путем полного удаления дефекта ручным пневматическим инструментом с использованием концевых фрез с последующей лазерной наплавкой жаропрочного сплава св-06Х15Н60М15 по месту выборки.

Все чаще для ремонта деталей и сборочных единиц ГТД, в том числе лопаток наиболее широко применяется лазерная импульсная наплавка [1,2].

По сравнению с традиционными способами лазерная наплавка обладает рядом преимуществ:

- формирование наплавленного слоя с малым коэффициентом перемешивания в результате незначительного подплавления основы;
- минимальное термическое воздействие на основной металл, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения;
- малые остаточные деформации наплавленных деталей [3].

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для выполнения эксперимента был выбран сектор лопаток с визуально выявленными трещинами из жаропрочного литейного сплава ЖС6У (табл.1).

В качестве наплавочного материала была выбрана проволока Св-06Х15Н60М15 (ЭП-367)

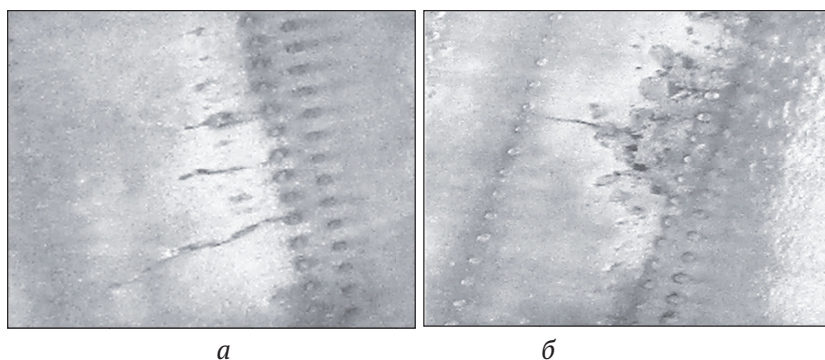


Рис. 1. Трещины на лопатках после эксплуатации
 а – образование трещин на границе канала продува газовой струи;
 б – образование трещин на границе зоны прожога

Таблица 1. Химический состав литейного сплава ЖС6У (ОСТ 1-90126-85)

Элемент	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Co	Nb	Ti	Al	Ni
Содержание, %	≤1,0	0,13-0,2	≤0,4	≤0,4	8,0-9,5	1,2-2,4	9,5-11	9,0-10,5	0,8-1,2	2-2,9	5,1-6,0	Основа

Таблица 2. Химический состав сварочной проволоки Св-06Х15Н60М15 (ГОСТ 2246-70)

Элемент	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
Содержание, %	≤4,0	≤0,8	≤0,5	1,0-2,0	14,0-16,0	14,0-16,0	Основа

диаметром 0,5мм (табл. 2). Данная проволока, благодаря повышенному содержанию молибдена, обеспечивает измельчение зерна, высокую технологическую прочность соединения при сварке, а также повышает ударную вязкость [4].

Предварительно перед наплавкой трещины были полностью удалены путем разделки металла пневматической машинкой с концевыми фрезами. Полнота удаления трещин контролировалась капиллярным методом ЛЮМ 1-ОВ ОСТ 1 90282-79.

По местам выборок дефектных зон была проведена лазерная наплавка при режимах: диаметр пятна 0,6 мм, длительность импульса

7 мс, частота следования импульса 7 Гц, средняя мощность 79 Вт, пиковая мощность 1,61 кВт, скорость наплавки 2 мм/с.

Временная форма лазерного импульса асимметричная и представлена на рис 2.

Данная форма лазерного импульса обеспечивает плавное нарастание температуры в зоне наплавки, как при наплавке с подогревом, и остывание с замедленной скоростью, что уменьшает вероятность образования микротрещин.

Наплавка проводилась на импульсной лазерной установке ALFA-600 фирмы ООО «ЛазерФорм», характеристики которой приведены в таблице 3.

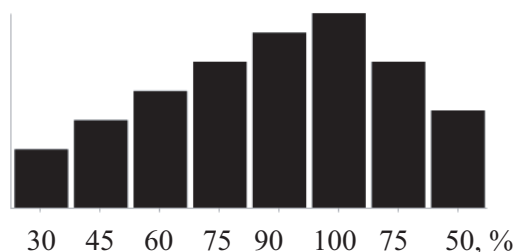


Рис. 2. Распределение энергии в импульсе в процентах от максимальной энергии

Таблица 3. Параметры лазерной установки ALFA-300

Средняя выходная мощность	600 Вт
Максимальная энергия импульса	100 Дж
Длина волны излучения	1064 нм
Диаметр лазерного пучка	0,4 – 2,6 мм
Частота следования импульсов	≤ 100 Гц
Длительность импульса	≤ 20 мс

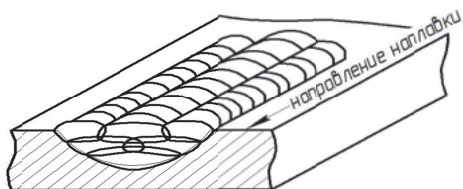


Рис. 3. Схема выполнения лазерной наплавки

Наплавка проводилась в несколько проходов с обязательным усилением наплавленного слоя при ручной подачей проволоки (рис. 3).

Для защиты зоны наплавки использовался аргон. Недостатком настоящей технологии наплавки является ручная подача присадочной проволоки [2].

Для металлографического исследования по местам ремонта были изготовлены микрошлифы, которые были протравлены насыщенным раствором CuSO_4 в HCl . Исследование структуры наплавленного материала проводилось металлографическим методом на микроскопе AxioVert A1 при увеличении $100\times$ с применением программно-аппаратного комплекса Thixomet.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ

На рисунке 4 представлена зона лопатки после выборки дефекта (рис. 4а) и после заварки его лазерной наплавкой (рис. 4б).

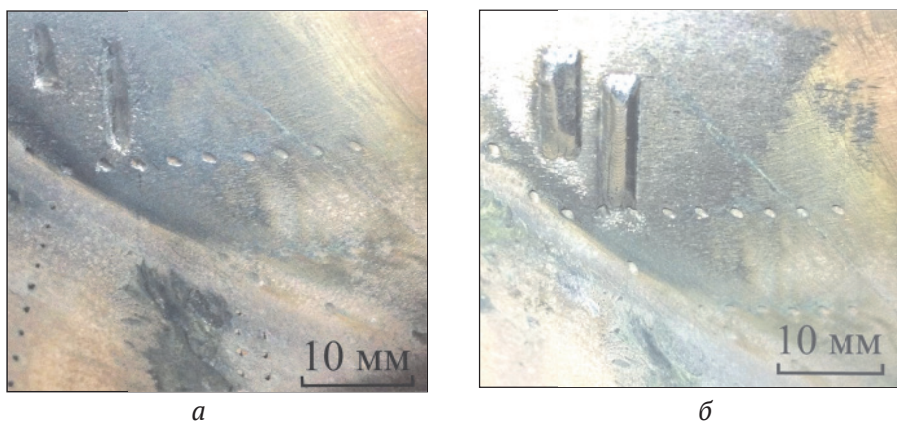


Рис. 4. Внешний вид лопатки по месту дефектов (трещин) после выборки и после наплавки: а – зона разделки; б – зоны наплавки

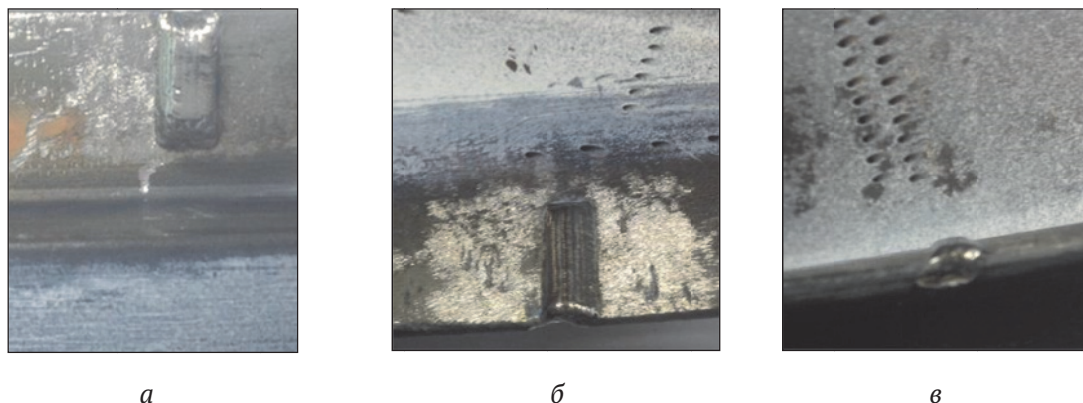


Рис. 5. Внешний вид лазерной наплавки, выполненной по месту сквозной трещины: а – вид с наружной стороны; б – вид со стороны профиля пера лопатки; в – вид сверху пера

Из рисунка видно, что при заданных режимах лазерного воздействия с коэффициентом перекрытия импульсов 0,5-0,6 обеспечивается хорошее качество наплавки.

На стенке лопатки наблюдались сквозные трещины, которые дорабатывалась в 2 этапа.

На первом этапе выполнялась разделка трещины с одной стороны на глубину 0,8 мм, что примерно равно половине толщины стенки лопатки по месту дефекта. По месту разделки выполнена лазерная импульсная наплавка по схеме и на режиме, аналогичном для полностью удаленной трещины.

На втором этапе трещина была разделана с обратной стороны до полного ее удаления. При этом полнота удаления контролировалась контролем ЛЮМ-10В. Затем по месту выборки произведена наплавка лазером (рис. 5).

При внешнем осмотре зон лазерных наплавок трещин, несплавлений и других дефектов не обнаружено. Также по данным люминесцентного контроля дефектов в наплавленном и основном металле по месту доработки не обнаружено.

Дополнительно для сравнения с лазерной наплавкой на части разделок по местам трещин была выполнена ручная аргодуговая наплавка неплавящимся электродом на режиме:

сварочный ток 40 А, время импульса 0,2 сек, время паузы 0,2 сек, защитный газ — аргон.

Наплавка выполнялась на сварочном аппарате EWM Tetric-300 с присадочным материалом Св-06Х15Н60М15 в виде проволоки диаметром 1,2 мм. При люминесцентном контроле ЛЮМ-10В выявлены выступания пентранта (специальное индикаторное вещество, применяемое в люминесцентной дефектоскопии и проникающее в дефекты материала под действием сил капиллярности) по границам подварки.

При металлографическом исследовании шлифов по месту лазерной наплавки установлено, что трещин в зоне наплавки и околосшовной зоне не имеется, многослойность отсутствует. Наплавка с одной стороны (рис. 6), либо последовательная наплавка с двух сторон с подачей присадочного материала обеспечивает отсутствие трещин (рис. 7).

В то же время при подварке лазерным лучом без разделки и подачи присадочного материала (собственным металлом) в зоне плав-

ления возникли трещины. При выполнении первого прохода лазерным лучом по материалу лопатки без подачи присадочной проволоки (рис. 8) в переплавленном основном материале возникают усадочные трещины, развивающиеся как в зоне плавления, так и ниже в твердом материале лопатки.

Таким образом, оптимально выбранный режим лазерного воздействия обеспечивает минимальное подплавление основного материала, а используемая присадка с высоким содержанием Мо препятствует образованию трещин в зоне наплавки.

На микрошлифе, вырезанном по месту, подваренному с помощью аргодуговой сварки, выявлены трещины (рис. 9), вызванные, вероятно, большими сварочными напряжениями.

При аргодуговой наплавке наблюдается образование трещины на границе зоны наплавки в материале лопатки, которая наиболее вероятно вызвана значительными сварочными напряжениями, а также трещины в верхней части наплавленной зоны.



Рис. 6. Внешний вид травленого шлифа лазерной наплавки, выполненной по месту несквозной трещины

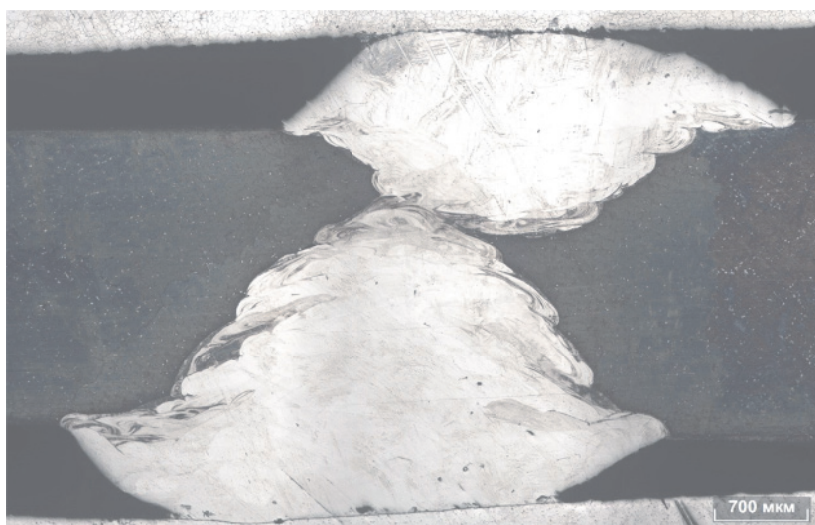


Рис. 7. Внешний вид травленого шлифа лазерной наплавки, выполненной по месту сквозной трещины

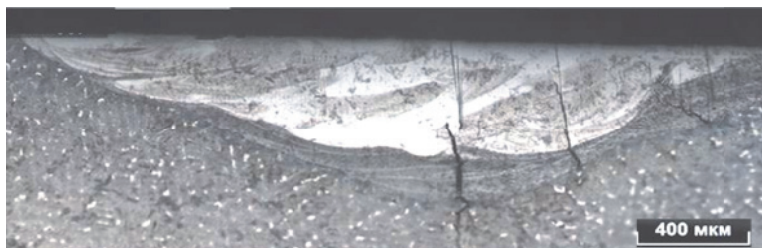


Рис. 8. Зона лазерного плавления с выполнением одного прохода без подачи присадочного материала

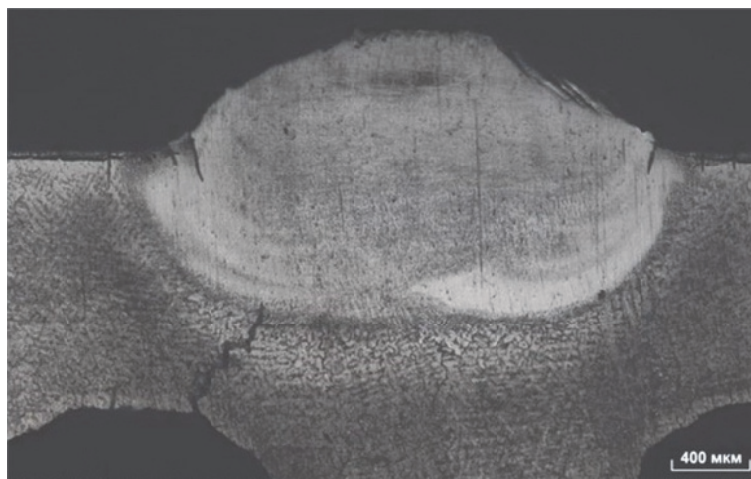


Рис. 9. Внешний вид шлифа зоны аргонодуговой подварки

ВЫВОДЫ

1. При лазерной заварке без присадочного материала в зоне заварки и в материале лопатки происходит образование трещин, что может быть связано с высокими скоростями охлаждения.

2. Предложен режим лазерной импульсной заварки трещин в лопатке из материала ЖС6У с предварительной ее разделкой и подачей в процессе наплавки присадочного материала в виде проволоки Св-06Х15Н60М15. При этом обеспечивается минимальное подплавление основного материала, а используемая присадка с высоким содержанием Мо препятствует образованию трещин в зоне наплавки.

3. По сравнению с ремонтом трещин аргонодуговой сваркой, лазерная импульсная подварка обеспечивает более высокое качество.

4. По результатам работ была разработана технология ремонта трещин на лопатках из материала ЖС6У.

5. Исходя из полученных результатов, можно заключить, что ремонт трещин на лопатках из материала ЖС6У методом выборки и последующей импульсной лазерной наплавки является перспективным и требует дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Климов В.Г. , Жаткин С.С. , Щедрин Е.Ю. , Когтева А.В. Особенности восстановления геометрии пера лопатки газотурбинного двигателя методом лазерной порошковой наплавки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2(4), С. 782-788.
2. Сотов А.В. , Смелов В.Г. , Носова Е.А. , Косырев С.А. Импульсная лазерная наплавка лопаток газотурбинных двигателей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6(4), С. 973-977.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов [под ред. А.Г. Григорьянца]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 665 с.
4. Сорокин Л.И., Лукин В.И., Багдасаров Ю.С. Свариваемость литейных жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6 // Сварочное производство. 1997. № 6. С. 12-18.

**REPAIR OF CRACKS ON SECTORS OF GAS-TURBINE ENGINE SHOVELS
BY METHOD OF CUTTING AND LASER PULSE CLADDING**

© 2020 E.N. Golubovskiy¹, A.A. Parkin², S.S. Zhatkin²

¹ JSC «Metallist-Samara», Samara

² Samara State Technical University

In this article the process of repair (curing) of the cracks which arose on sectors of shovels of the nozzle device from the material ZhS6U at operation of the turbine of high pressure of the D18T engine by cutting till complete removal of a crack with the subsequent pulse laser cladding in the place of cutting is considered. Cladding was made by means of an additive wire sv-06kh15n60m15. Metalgraphic researches on places of repair as well as control of the laser cladding zone were conducted by a luminescent method. *Keywords:* laser cladding, shovel, repair.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-107-112

Evgeny Golubovsky, Engineer of the Department of the Chief Metallurgist of JSC «Metallist-Samara».

Anatoly Parkin, Doctor of Technics, Professor of the Faculty of Engineering, Metallurgy and Transport, Samara State Technical University (SamSTU). E-mail: laser@samgtu.ru

Sergey Zhatkin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Department of Founding and High-Performance Processes, Samara State Technical University (SamSTU). E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru