

Конкурсная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗОН ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ЛОПАТОК ГТД

Аннотация

В данной статье приведен анализ влияния термической обработки на изменение износостойких свойств высокотемпературных припоев на основе никеля после проведения лазерной импульсной наплавки. Сформулированы рекомендации по выбору оптимального материала для восстановления лопаток турбостартера газотурбинного двигателя из сплавов ЖС6-К. Данная работа является продолжением ранее проведенных работ [1,2,3,4].

Ключевые слова

Лазер, наплавка, высокотемпературный припой, свойства, износостойкость, качество.

Введение

В настоящее время актуальной тематикой является восстановление изношенных лопаток компрессора, турбины и турбостартера (ТС) ГТД в связи с многочисленным снятием с изделия при проведении ремонта после наработки по браковочным признакам, таким как: износ, забоина и т.д. Лопатки ГТД чаще всего работают при температурах 800 – 1100 °С, что может также сказываться на прочностных и износостойких характеристиках материала лопатки, в том числе и после восстановительной наплавки. В данной работе приведены результаты исследований по влиянию термической обработки на величину абразивного износа наплавленных порошковых припоев на основе никеля после импульсной лазерной наплавки. Использование указанных припоев при восстановлении изношенной высоты пера лопатки ТС ГТД позволит не только восстановить геометрию, но и повысить износостойкость торца, что увеличит ресурс лопаток по сравнению со вновь изготовленными.

Методики исследований

Импульсная лазерная наплавка производилась на твердотельной лазерной установке модели ALFA-300 производства ООО «ЛазерФорм» на образцы из стали Ст2 размерами 20x20 мм и толщиной 2 мм. Лазерная порошковая наплавка высокотемпературных никелевых припоев ВПр24, ВПр27, ВПр11-40Н и композиционного материала на основе Ni с литым карбидом вольфрама Рок-Дюр 6740 (табл. 1) проводилась методом наплавки в порошковой

ванне [1]. Размеры зоны наплавки составили 10x10 мм и высотой 5 мм. Была проведена лазерная наплавка образцов в количестве 12 шт. (по 3 образца каждого вида) для проведения термических испытаний.

Таблица 1

Химический состав исследуемых материалов (в массовых процентах)

Материал	Раб. Т, °С	Ni	Al	C	Si	Cr	Fe	W	Mo	Co	Ti	B	Pb	Nb
ЖС6К (ТУ 1-809-1025-98)	1000	Основа	5,0-6,0	0,1-0,18	≤0,4	9,5-12,5	≤2,0	4,5-5,5	3,5-4,5	4,0-5,5	2,5-3,2	-	-	-
ВПр27 (ТУ 1-595-4-1021-2007)	1000		1,2-2	0,2-0,4	2-3	8-10	-	9-11	1,5-2,8	9-10	-	1,8-2,5	0,5	1-1,8
ВПр11-40Н (ТУ 1-809-108-91)	900		1,0	0,5-0,6	4-5	14-16	3-5	-	-	4,0-5,5	-	2-3	0,5	-
ВПр24 (ТУ 1-809-838-89)	1050		4-5	0,1-0,15	2-3	6-7	-	8,5-9,5	1,6-2	8,5-9,5	0,3-0,9	0,2-0,35	0,5	10-11
Рок-Дюр 6740 (ТУ 1526-001-86297481-2008)	700		-	В кар-карбидах вольфрама	2-3	12-13	1,8-2,6	32-35	-	0,4-0,8	-	2,5-3	-	-

Для проведения исследований был выбран режим лазерного воздействия, характеристики которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Режим лазерной наплавки

Напряжение на лампе (В)	Частота (Гц)	Длительность импульса (мс)	Пиковая мощность (кВт)	Средняя мощность (Вт)	Диаметр пучка (мм)	Энергия импульса (Дж)	Средняя мощность импульса от максимума (%)
380	5	20	2,22	222	0,6	44,4	84,4

Испытания на абразивный износ были проведены в лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ на установке Универсал-1А собранной на базе сверлильного станка СС-13/350, обеспечивающей через систему датчиков и средств регистрации непрерывный контроль нормальной нагрузки и момента трения.

Испытания на абразивный износ проводились локально в участке зоны наплавки, материал контртела – трубка из стали 40Х (закалка до HRC 46-48) с внешним диаметром 6 мм и толщиной стенки 1 мм. Испытания проводились при нормальной нагрузке в 30 кгс в течение 15 минут с частотой вращения шпинделя 600 об/мин. При испытаниях использовалась алмазная паста АСМ-3/2-НОМГ, соответственно износ образца осуществлялся алмазным порошком дисперсностью 2-3 мкм. Площадь трения составляла $1,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$.

Замер глубины износа наплавленных образцов (до и после проведения термообработки) проводился с помощью механического профилографа по 16 точкам (рис.1).

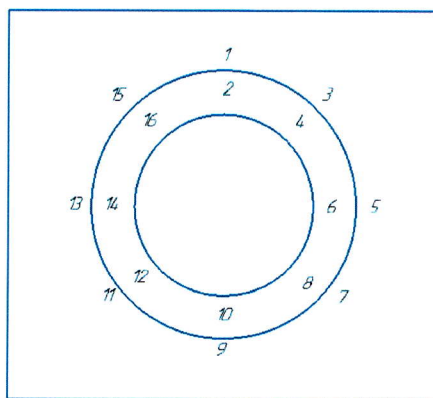


Рис.1. Последовательность замера глубины абразивного износа

Термообработка образцов после лазерной наплавки производилась в вакуумной электропечи сопротивления СНВЭ-2.4.2/16-2 до температуры 900°C с выдержкой 1, 2 и 3 часа.

Результаты исследований и их анализ

В данной работе проводились испытания на абразивный износ зон лазерной наплавки всех исследуемых материалов до проведения термической обработки и после нее.

Образцы после проведения испытаний показаны на рисунке 2.



Рис. 2. Образцы после испытаний на абразивный износ

На рисунках 3-6 показаны фотографии зон абразивного износа наплавленных образцов после термической обработки.

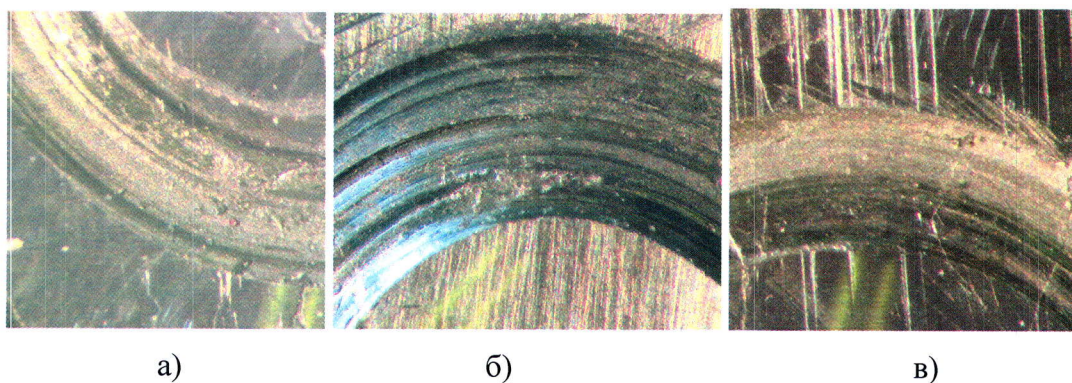


Рис. 3. Зоны износа ВПр24: а) после термической обработки 1 час; б) после термической обработки 2 часа; в) после термической обработки 3 часа. Увеличение 32х.

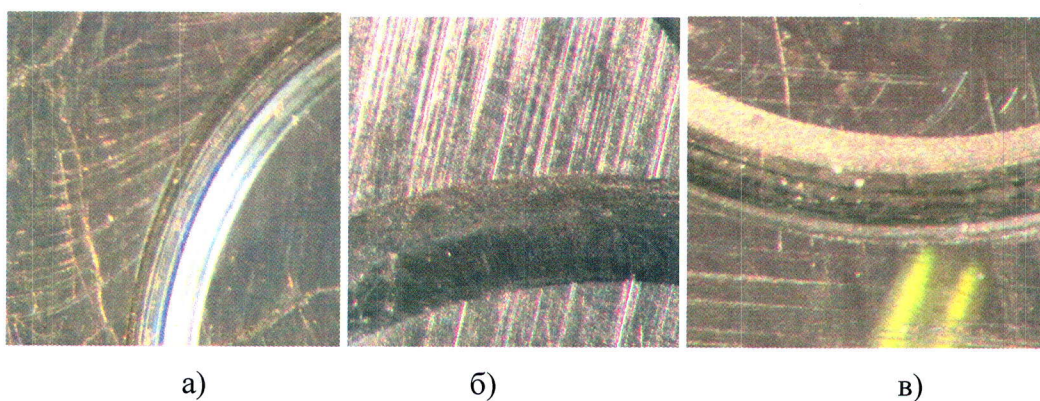


Рис. 4. Зоны износа ВПр27: а) после термической обработки 1 час; б) после термической обработки 2 часа; в) после термической обработки 3 часа. Увеличение 32х.

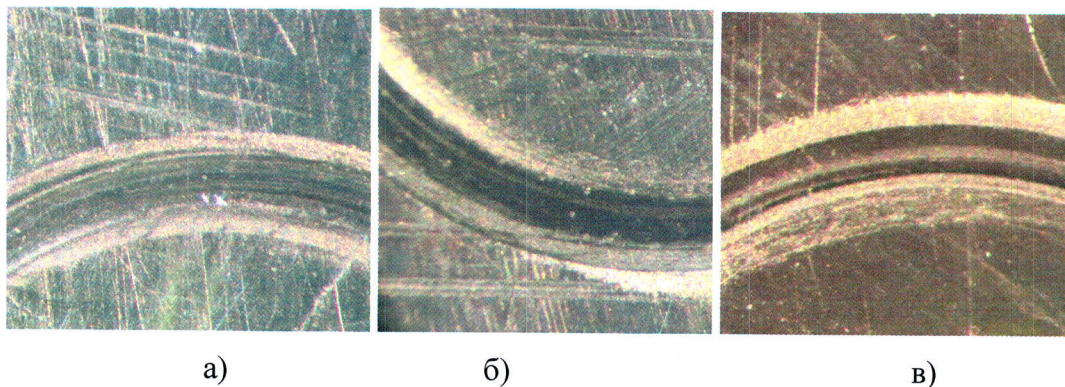


Рис. 5. Зоны износа ВПр11-40Н: а) после термической обработки 1 час; б) после термической обработки 2 часа; в) после термической обработки 3 часа. Увеличение 32х.

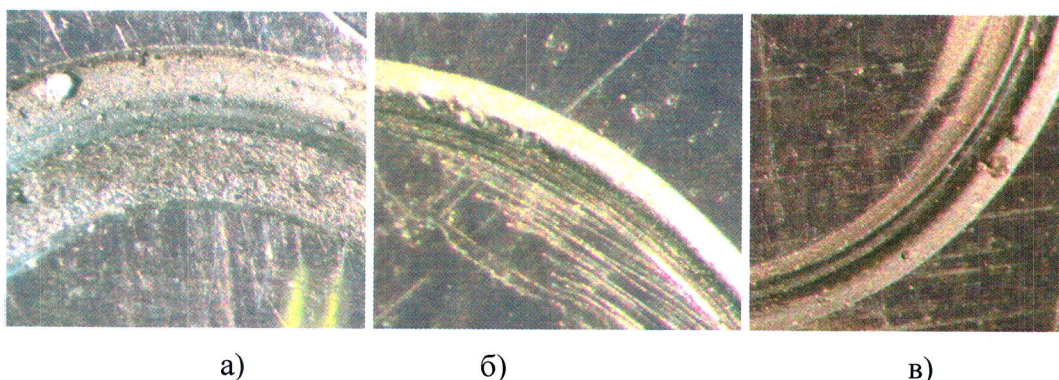


Рис. 6. Зоны износа Рок-Дюр 6740: а) после термической обработки 1 час; б) после термической обработки 2 часа; в) после термической обработки 3 часа. Увеличение 32х.

При проведении испытаний на абразивный износ наплавленного образца из ВПр24, происходило схватывание наплавленного слоя с ответной деталью (рис. 4а). С ростом времени термообработки этот процесс проявляется все меньше (рис. 4б,в). При испытаниях наплавленного образца из Рок-Дюр 6740 происходило выкрашивание карбидов вольфрама (рис. 7а). С ростом времени термообработки до 2-х и 3-х часов выкрашивание уменьшается (рис. 7б,в), что может быть связано с распадом и измельчением крупных карбидов в процессе термообработки. У наплавленных образцов из ВПр27 и ВПр11-40Н износ во всех режимах термообработки протекал равномерно и видимых отклонений не наблюдается.

В таблице 3 приведены результаты исследований на абразивный износ наплавленных образцов и материала лопатки до проведения термической обработки [2,3,4].

Таблица 3

Скорость износа исследуемых материалов
до проведения термической обработки

Материал	Скорость износа, мкм/час
ЖС6-К (материал лопатки)	324±31
ВПр11-40Н	115±11
ВПр24	474±32
ВПр27	236±50
Рок-Дюр 6740	162±15

Как видно из таблицы, наибольший износ наблюдается для материала лопатки и порошка ВПр24, содержащим незначительное количество углерода (табл. 1) и, как следствие, минимальное количество карбидов. Наибольшей стойкостью к абразивному износу характеризуются припой ВПр11-40Н и композиционный порошковый материал Рок-Дюр 6740.

В таблице 4 приведены результаты исследований на абразивный износ наплавленных образцов после проведения термической обработки (1,2 и 3 часа).

Таблица 4

Скорость износа наплавленных материалов
после термической обработки

Наименование	Время термической обработки	Скорость износа, мкм/час
ВПр24	1	1462±325
ВПр24	2	644±158
ВПр24	3	255±52
ВПр27	1	83±10
ВПр27	2	75±11
ВПр27	3	67±13
ВПр11-40Н	1	109±37
ВПр11-40Н	2	78±21
ВПр11-40Н	3	50±7
Рок-Дюр 6740	1	298±77
Рок-Дюр 6740	2	127±31
Рок-Дюр 6740	3	114±24

Следует отметить, что после термообработки в течение 1 часа у ВПр24 и Рок-Дюр 6740 скорость износа стала выше, чем до термообработки. Особенно резко возросла скорость износа у ВПр24 (практически в 3 раза), что может быть связано с распадом карбидов. Для по-

рошков ВПр11-40Н и ВПр27 увеличения скорости износа не наблюдается. После проведения термообработки в течение 2 и 3 часов у наплавленных образцов из материалов ВПр24 и Рок-Дюр 6740 наблюдается постепенное уменьшение скорости абразивного износа. При этом абразивный износ после 3 часов термической обработки у этих материалов становится ниже, чем у материала лопатки ТС ГТД НК-12МП.

У наплавленных образцов из материалов ВПр27 и ВПр11-40Н после проведения термообработки во всех режимах наблюдается уменьшение скорости абразивного износа по сравнению со значениями до термообработки. При этом с ростом времени термообработки скорость износа падает в меньшей степени, чем у ВПр24 и Рок-Дюр 6740, что свидетельствует о более высокой устойчивости сформированных структур при наплавке ВПр27 и ВПр11-40Н. Однако, в целом величина скорости износа у данных материалов всегда ниже, чем у наплавленных ВПр24 и Рок-Дюр 6740 и она в 3-6 раз ниже значения абразивного износа материала лопатки.

Необходимо учесть, что после механической обработки припуска остается малая зона наплавленного слоя. При восстановлении лопаток материалом Рок-Дюр 6740, его неравномерно распределенная карбидная фаза (WC/W_2C) может оказаться в малом количестве в износостойком слое, что снизит общую стойкость детали к абразивному изнашиванию.

Выводы

По результатам исследований влияния термической обработки на локальный абразивный износ наплавленных импульсным лазерным воздействием высокотемпературных порошковых материалов ВПр24, ВПр27, ВПр11-40Н и Рок-Дюр 6740 установлено:

1) В процессе испытаний образца с наплавленным ВПр24, происходило схватывание наплавленного слоя с ответной деталью. С ростом времени термообработки этот процесс проявляется все меньше. При испытаниях наплавленного образца из Рок-Дюр 6740 происходило выкрашивание карбидов вольфрама. С ростом времени термообработки до 2-х и 3-х часов выкрашивание уменьшается (рис. 7б,в), что может быть связано с распадом и измельчением крупных карбидов в процессе термообработки. У наплавленных образцов из ВПр27 и ВПр11-40Н износ во всех режимах термообработки протекал равномерно и видимых отклонений не наблюдается.

2) Для наплавленных порошков ВПр24 и Рок-Дюр 6740 после термообработки в течение 1 часа скорость износа стала выше, чем до термообработки, что может быть связано с распадом первичных карбидов. После проведения термообработки в течение 2 и 3 часов у наплавленных образцов из материалов ВПр24 и Рок-Дюр 6740 наблюдается постепенное

уменьшение скорости абразивного износа. При этом абразивный износ после 3 часов термической обработки у этих материалов становится ниже, чем у материала лопатки ТС ГТД НК-12МП.

3) На основе проведенных испытаний на локальный абразивный износ установлено, что припой ВПр11-40Н и ВПр27 обладают приемлемой износостойкостью и сохраняют свои свойства после термической обработки. Таким образом, согласно полученным результатам, для последующего восстановления лопаток лучше всего подходят высокотемпературные порошковые припои на основе никеля ВПр27 и ВПр11-40Н.

Список использованных источников

1. Климов В.Г., Жаткин С.С., Щедрин Е.Ю., Когтева А.В. Особенности восстановления геометрии пера газотурбинного двигателя методом лазерной порошковой наплавки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-4. – С. 782-788.
2. Климов В.Г., Жаткин С.С., Баранов Д.А., Дяговцов И.А., Хакимов А. М. Использование высокотемпературных порошковых никелевых припоев в качестве износостойких наплавки на торец пера лопатки турбины // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18, № 1 (2).
3. Хакимов А. М., Климов В.Г., Жаткин С.С. Исследование влияния присадочных материалов на структуру и свойства зон лазерной наплавки лопаток ГТД // Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции / Отв. редактор А.Ф. Денисенко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 262 с.: ил.
4. Хакимов А. М., Климов В.Г., Жаткин С.С., Баранов Д.А., Дяговцов И.А., Попов А.С., Пескова А.В. Исследование влияния присадочных материалов на структуру и свойства зон лазерной наплавки лопаток ГТД // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19, № 1 (2).