

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Рассматривается процесс лазерной наплавки, как метод восстановления сложных криволинейных поверхностей деталей ГТД. Описан принцип работы данного метода, указаны режимы обработки и характеристики оборудования, изучен материал наплавки. Представлены выбранные поверхности для восстановления: торцы лопаток центробежного колеса (ЦБК) из никелевого сплава, торцы лопаток ЦБК из титанового сплава и поверхности лабиринтных гребешков диска уплотнительного заднего ТСД из никелевого сплава. Как результат, отображены исследования фрагмента ЦБК из сплава на никелевой основе, также отмечено, что диск уплотнительный задний после восстановления методом лазерной наплавки установлен в двигателе Д-18Т. [dx.doi.org/10.29010/085.12]

Ключевые слова: лазерная наплавка; метод восстановления; процесс; поверхность; профиль; торец лопатки; лабиринтные гребешки.

Введение

На сегодняшний день, в авиастроении для ремонта важнейших деталей ГТД и восстановления сложных криволинейных поверхностей при минимальном термическом воздействии на основной металл, крайне привлекателен процесс объемного формообразования методом лазерной наплавки. Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей.

Лазерная наплавка заключается в нанесении материала на поверхность обрабатываемого изделия путем расплавления основы и присадочного материала. В качестве присадки могут использоваться как порошки, так и проволоки.

В настоящее время разработаны и широко применяются в промышленности различные способы наплавки металлов: электродуговая, плазменная, газовая, наплавка ТВЧ, вибродуговая наплавка, электроконтактная и т.д.

Однако к процессу наплавки предъявлен ряд требований, которым не могут удовлетворить традиционные способы [1]:

- обеспечение прочного и надежного сцепления основного и присадочного металлов;
- исключение образования пор и трещин;
- снижение остаточных напряжений и деформаций;
- уменьшение перемешивания металла основы с металлом наплавки;

- обеспечение наплавки с минимальной глубиной проплавления основы;
- возможность осуществления наплавки на изделиях сложной формы.
- исключение выхода геометрических размеров наплавляемой детали за поле допуска вследствие больших тепловых вложений.

В сравнении с традиционными способами лазерная наплавка обладает рядом преимуществ. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева создает возможность проведения процесса при повышенных скоростях обработки. Это, в свою очередь, обуславливает [1]:

- 1) формирование наплавленного слоя с малым коэффициентом перемешивания (0,05...0,15) в результате незначительного подплавления основы (рис. 1);
- 2) высокую степень адгезии наплавляемого материала при небольшом перемешивании с основой;

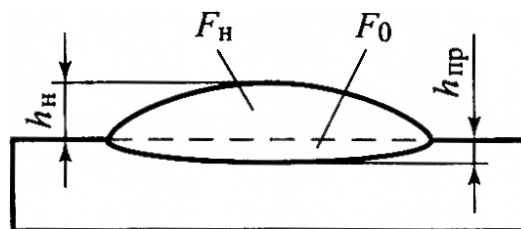


Рис. 1. Схема определения коэффициента перемешивания:
 F_0 — площадь проплавленного основного металла; F_n — площадь наплавленного металла; h_n — высота наплавленного металла; $h_{пр}$ — глубина проплавления

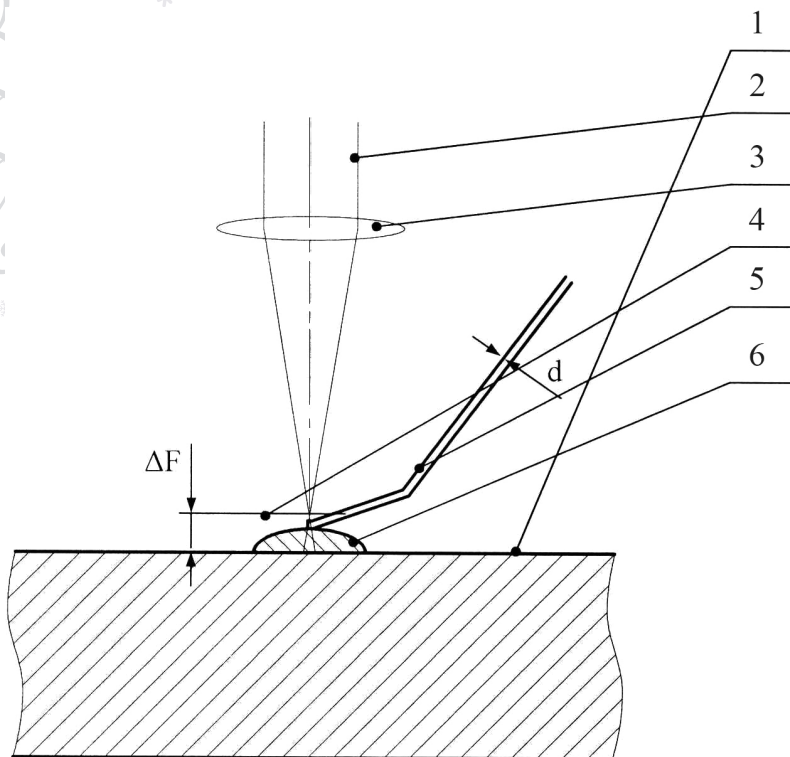


Рис. 2. Схема импульсной лазерной наплавки:

1 – поверхность, подлежащая наплавке; 2 – лазерный луч; 3 – линза; 4 – фокальная плоскость; 5 – присадочный материал; 6 – наплавленный слой [2]

3) минимальное термическое воздействие на основной металл, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения;

4) малые остаточные деформации наплавленных деталей;

5) отсутствие необходимости в последующей термообработке детали, ввиду минимальных термических поводов;

6) возможность наплавки малых поверхностей, соизмеримых с диаметром нагрева в случае применения импульсных и импульсно-периодических лазеров, что в свою очередь значительно упрощает технологические процессы ремонта изделий в сравнении с традиционными методами.

7) возможность локальной обработки поверхности;

8) возможность модификации поверхности;

9) возможность обработки деталей больших габаритов;

10) повышенные свойства наплавленных слоёв.

Таким образом, малые деформации, с одной стороны, и высокие эксплуатационные свойства – с другой, создают предпосылки для применения этого способа не только для получения специальных свойств поверхности изделий, но и при изготовлении деталей машин [1].

Лазерная наплавка по характеру излучения бывает непрерывной и импульсной.

В данной работе использовалась импульсная наплавка. Импульсный лазер отличается большой пиковой мощностью.

Описание применяемого способа импульсной лазерной наплавки

Данный способ импульсной лазерной наплавки металлов реализуют следующим образом – лазерный луч 2 направляют на подлежащую наплавке поверхность 1, и фокусируют линзой 3 таким образом, что положение фокальной плоскости 4 по отношению к наплавляемой поверхности располагается исходя из условия (рис. 2) [2]:

$$\Delta F > d,$$

где ΔF – дефокусировка лазерного луча;

d – диаметр наплавочной проволоки.

Пределы изменения дефокусировки луча лазера определяют наибольшую эффективность импульсной лазерной наплавки поверхности при наименьших энергетических затратах.

Кроме того, при значении дефокусировки луча лазера $\Delta F < d$, может возникнуть брызгообразование жидкой фазы наплавляемого материала. Брызги жидкой фазы металла, попадая на открытые участки поверхности наплавляемой детали, могут прихватываться, что является крайне нежелательным.

Далее, в зону наплавки осуществляют подачу присадочного материала 5, в качестве которого используют проволоку диаметром d , воздействуя на него и зону наплавки импульсным лазерным лучом, при этом каждый импульс выполнен с амплитудной модуляцией мощности лазерного излучения. Присадочная проволока под действием лазерного луча расплавляется и образует наплавленный слой 6.

Предпочтительно, чтобы материал наплавочной проволоки по химическому составу был таким же или близким к материалу, на который осуществляют наплавку.

В процессе наплавки, в ванне расплава наплавляемого слоя 6 (рис. 2), происходят взаимодействия наплавленного слоя с материалом основы или детали, при котором наплавляемый материал перемешивается с материалом основы.

Наплавку производят в защитной среде из инертных газов, при этом в качестве инертных газов используют, например, аргон и гелий.

Формирование микроструктуры существенно зависит от термического воздействия на затверде-

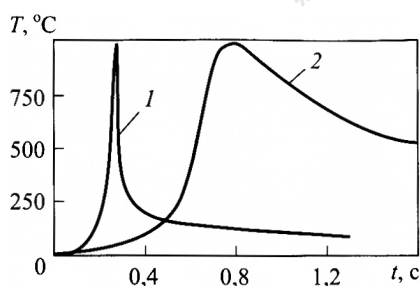


Рис. 3. Термические циклы при различных способах наплавки:
1 – лазерная наплавка непрерывным излучением;
2 – аргодуговая наплавка

вающий металл. Лазерная наплавка характеризуется чрезвычайно высокими скоростями охлаждения, превосходящими на порядок скорости, достигаемые при традиционных методах наплавки (рис. 3) [1].

Постановка задачи

Исследовать процесс импульсной лазерной наплавки, как метод ремонта дорогостоящих авиационных деталей, выведенных из эксплуатации, в следствии износа. Обосновать выбор данного метода для восстановления сложных криволинейных поверхностей важнейших деталей ГТД.

Содержание и результаты исследований

На предприятии ГП «Ивченко-Прогресс» данный способ лазерной импульсной наплавки был выбран для восстановления профиля торцов лопаток центробежного колеса из никелевого сплава, торцов лопаток центробежного колеса из жаропрочного титанового сплава и поверхности лабиринтных гребешков диска уплотнительного заднего из никелевого сплава.

Совместно с фирмой SCHUNK Lasertechnik GmbH (Германия) была разработана методика проведения работ по выполнению наплавки.

На основании выбранного способа восстановления торцов лопаток ЦБК предварительно на ГП «Ивченко-Прогресс» были подготовлены образцы (сектор обода проточной части ЦБК) из сплава на никелевой основе и направлены на фирму SCHUNK для наплавки профиля лопатки.

Наплавка выполнялась на специальном оптоволоконном импульсном диодном лазерном станке модели ACDIS 400 S1 со следующими режимами обработки:

- энергия 14...16 Дж;
- длина импульса 6...8 мс;
- частота 15 Гц.

Для наплавки использовали проволоку из сплава Inconel 625 близкому по химическому составу к основному материалу детали.

Наплавочные материалы на основе никеля в настоящее время нашли широкое применение. Их

классифицируют как коррозионностойкие, жаростойкие, а также жаропрочные с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Такие присадочные материалы имеют низкую температуру плавления (960...1000 °С), что способствует уменьшению термического воздействия на деталь в процессе объемной лазерной наплавки, приводя к значительному снижению уровня остаточных деформаций и напряжений в основе.

По окончании работ, выполненных фирмой SCHUNK, образец (фрагмент ЦБК заднего, представляющий собой лопатку с прилегающей к ней частью полотна) был возвращен на предприятие и направлен на металлургическое исследование для оценки качества выполненной наплавки.

Результаты металлургического исследования показали, что:

1) Качество лазерной наплавки на торце лопатки удовлетворительное. Трещины и другие дефекты в наплавленном материале и околошовных зонах при контроле методом ЛЮМ1-ОВ, визуальном осмотре и микроанализе не обнаружены.

2) Наплавка выполнена за несколько проходов с формированием качественного валика наплавленного металла.

3) Выполненная наплавка не привела к существенному изменению микроструктуры и микротвердости материала околошовных зон, как на фрагменте ЦБК, так и на отдельно представленных шлифах.

4) Высота наплавленного металла, измеренная металлографически, составляла: на фрагменте ЦБК 1,38...1,44 мм, на шлифе 2,07...3,06 мм.

Анализ химического состава, основного и наплавленного материалов на фрагменте ЦБК проведен спектральным методом на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализаторе Expert 3L. Результаты анализа химического состава приведены в таблице 1, для сравнения приведены справочные данные по химсоставу сплавов.

Как следует из данных таблицы 1, химический состав основного материала фрагмента ЦБК по основным легирующим элементам соответствует никелевому сплаву. Химический состав наплавленного материала с достаточной степенью достоверности соответствует сплаву Inconel 625. Некоторые несоответствия могут быть обусловлены взаимодействием с основным материалом колеса при наплавке.

На основании результатов наплавки торца лопатки на образцах, для дальнейшего проведения полного комплекса работ были выбраны следующие детали:

- Колесо центробежное из сплава на основе никеля (рис. 4);
- Колесо центробежное из сплава на основе титана (рис. 5);

Химический состав основного и наплавленного материала фрагмента колеса центробежного

Исследуемый объект	Элементный состав, %									
	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Nb	Mo	V	W	Al
Основной материал	2,57	10,48	0,5	13,54	59,49	3,0	4,48	0,5	2,33	3,06
Химический состав сплава на основе никеля	2,4-3,0	10,0-12,0	≤1,0	12,5-16,0	Осн.	2,5-3,0	4,0-5,0	0,4-0,8	2,0-3,0	2,8-3,3
Материал наплавки	0,55	17,91	0,35	1,29	62,78	4,1	9,21	-	-	3,39
Химический состав сплава Inconel 625	≤0,4	20,0-23,0	≤0,5	≤1,0	Осн.	3,15-4,15	8,0-10,0	-	-	≤0,4



Рис. 4. Фотографии ЦБК из сплава на никелевой основе после восстановления профиля лопаток методом лазерной наплавки

- Диск уплотнительный задний ТСД из сплава на основе никеля (рис. 6).

Выбранные детали также, как и фрагмент ЦБК, были направлены на фирму SCHUNK (Германия) с координатами профиля до и после наплавки и необходимой величиной припуска. Лазерная наплавка деталей выполнялась по совместно разработанному технологическому процессу.

Величина наплавки была указана с учётом припуска под механическую обработку.

В связи с возникновением технологических проблем при выполнении наплавки образца, необходим внимательный контроль каждого этапа данного процесса и тщательная подготовка деталей перед операцией:

- очистка деталей;
- дефектация, точное определение зон и размеров износа детали;
- контроль профиля детали на соответствие техническим требованиям чертежа.



Рис. 5. Фотографии ЦБК из жаропрочного сплава на основе титана после восстановления профиля лопаток методом лазерной наплавки



Рис. 6. Фотографии диска уплотнительного заднего ТСД из сплава на никелевой основе после восстановления лабиринтных гребешков методом лазерной наплавки

По окончании работ по наплавке ЦБК из никелевого сплава был выполнен визуальный осмотр профиля и контроль координат точек траектории наплавки торцов лопаток. По результатам контроля была обнаружена недостаточная величина наплавки до полного восстановления профиля и припуска под механическую обработку. Недостающая величина наплавки составила 0,3...0,8 мм. На поверхностях имелись цвета побежалости. Также контроль ЛЮМ1-ОВ выявил наличие свечения как по торцу наплавленных лопаток, так и по границе наплавки.

По окончании работ по наплавке ЦБК из жаропрочного титанового сплава был выполнен визуальный осмотр профиля и контроль координат точек траектории наплавки торцов лопаток. По результатам наплавки высота лопаток была достаточная для дальнейшей механической обработки и составила 0,5...2 мм. Однако было отмечено свечение по наплавленным поверхностям лопаток при контроле ЛЮМ1-ОВ, которое может быть удалено дальнейшей окончательной механической обработкой.

По окончании работ по наплавке диска уплотнительного заднего турбины среднего давления была выполнена токарная обработка лабиринтных гребешков с целью получения окончательных размеров профиля. После механической обработки был выполнен контроль их геометрических параметров в трёх сечениях на координатно-измерительной машине «Wenzel», а также контроль ЛЮМ1-ОВ и проведено металлургическое исследование уплотнительного диска.

По результатам измерения величины гребешков, имелись отклонения по ширине вершин и углу наклона. Однако ширина гребешка и наружные диаметры гребешков находились в поле допуска согласно требованиям технического задания.

Согласно металлургическим исследованиям, имелись свечения по обработанным поверхностям гребешков при контроле ЛЮМ1-ОВ с допустимыми величинами согласно требованиям технического задания.

Выводы

Исследован процесс импульсной лазерной наплавки, как метод восстановления сложных криволинейных поверхностей деталей ГТД. Отображены результаты металлургических исследований фрагмента ЦБК из сплава на никелевой основе и диска уплотнительного заднего ТСД из сплава на никелевой основе. Представлены режимы обработки, характеристики оборудования и изучен материал наплавки.

В процессе работы обнаружены как преимущества данного метода, так и проблемные технологические и металлургические моменты, требующие доработки. С технологической стороны отмечена необходимость в усовершенствовании технологии наплавки для получения более равномерного нанесения наплавляемого материала и обеспечения необходимого припуска под дальнейшую окончательную механическую обработку, с металлургической стороны существует необходимость в устранении дефектов наплавки, вызывающих свечение наплавленного слоя при ЛЮМ-контроле.

Как результат проведенной работы, с целью проверки работоспособности, диск уплотнительный задний после восстановления лабиринтных гребешков методом лазерной наплавки был установлен в двигателе Д-18Т.

Перспектива дальнейшей работы заключается в изучении целесообразности внедрения технологического процесса восстановления поверхностей деталей ГТД методом лазерной импульсной наплавки на производственных мощностях ГП «Ивченко-Прогресс».

Аббревиатуры

ГТД – газотурбинный двигатель
ЦБК – центробежное колесо
ТСД – турбина среднего давления.

Литература

- [1] Технологические процессы лазерной обработки: Учеб.пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.: ил.
- [2] Пат. 2502588 Российская Федерация, МПК В23К26/34. Способ импульсной лазерной наплавки металлов / Чирков А.М., Орехов А.В., Корякин Д.В., Герман Л.Г., Маняк В.; заявитель и патентообладатель ООО Вятский машиностроительное предприятие «Лазерная техника и технологии» заявл.05.04.2011; опубл.27.12.2013.

Kondratyuk E. V.¹, Manyak V.², Aleynikov M. N.¹, Yemelyanova L. L.¹

¹ Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A. G. Ivchenko. Ukraine, Zaporozhye

² SCHUNK Lasertechnik GmbH. Germany, Lauffen/Neckar

GTE PARTS RESTORATION BY LASER CLADDING METHOD

The laser cladding process as restoration method of GTE parts complicated curvilinear surfaces are considered. Laser cladding principle of operation is described, processing conditions and laser characteristics are indicated, the laser cladding material is analyzed. The selected surfaces for restoration are presented: the impeller blade edges from nickel alloy, the impeller blade edges from titan alloy and surfaces of labyrinth comb of rear-sealing disk from nickel alloy. As a result, investigation of impeller fragment from nickel alloy is depicted in this paper; the rear-sealing disk after restoration by laser cladding method has been mounted in engine D-18T is described as well. [dx.doi.org/10.29010/085.12]

Keywords: laser cladding; method; restoration; process; surface; blade end; blade profile; labyrinth comb.

References

- [1] Tehnologicheskie processy lazernoj obrabotki: Ucheb.posobie dlja vuzov / Pod red. A.G. Grigorjanca. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Э. Baumana, 2006. – 664 p.: il..
- [2] Pat. 2502588 Rossijskaja Federacija, MPK V23K26/34. Sposob impulsnoj lazernoj naplavki metallov / Chirkov A.M., Orehov A.V., Korjakin D.V., German L.G., Manjak V.; zajavitel i patentoobladatel' LTD Vjatskij mashinostroitel'noe predprijatje «Lazernaja tehnika i tehnologii» zajavl. 05.04.2011; opubl. 27.12.2013.