

УДК 621.74

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПРИ ИСПРАВЛЕНИИ ЛИТЬЕВЫХ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ

Сотов А. В., Агаповичев А. В., Носова Е. А., Смелов В. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Литейные жаропрочные сплавы на никельхромовой основе являются в настоящее время широко распространенными сплавами, применяемыми для литья деталей с жаропрочными свойствами используемых в ГТД.

Метод литья по выплавляемым моделям, благодаря преимуществам по сравнению с другими способами изготовления отливок, получил широкое распространение. Применение этого метода обеспечивает получение из любых литейных сплавов сложных по форме отливок, массой от нескольких граммов до десятков килограммов со стенками, толщина которых менее 1 мм [1].

Технология литья по выплавляемым моделям даёт возможность изготавливать сложные тонкостенные конструкции, объединять различные детали в узлы, уменьшая массу и габариты изделий, создавать детали (например, охлаждаемые лопатки со сложными лабиринтными полостями газового тракта), невыполнимые другим методом обработки [2].

В данной работе описывается метод исправления брака отливки статора турбины малоразмерного ГТД с использованием технологии импульсной лазерной наплавки. Статор турбины был изготовлен методом литья по выплавляемым моделям с использованием технологии быстрого прототипирования.

Применение технологий быстрого прототипирования позволило перейти на новый уровень проектирования и изготовления деталей различной сложности в различных отраслях промышленности.

Основными причинами возникновения брака в отливках являются нетехнологичность конструкции деталей, несовершенство технологического процесса, нарушение технологии и недоброкачество технологических материалов [3]. Исправление дефектов отливок целесообразно производить, если затраты на эту работу меньше стоимости изготовления отливки вновь.

Анализ отливки статора турбины малоразмерного ГТД показал, что на поверхности отливки присутствуют открытые полости усадочного происхождения с шероховатой поверхностью. Появление таких полостей вызвано наличием труднопитаемых расплавом при кристаллизации массивных узлов, сочетающихся с тонкими стенками и рёбрами (лопатками), а также переходами от массивных частей к тонким.

Для устранения данного дефекта было предложено использование технологии импульсной лазерной наплавки с подачей присадочного материала в виде проволоки. Недостатком данной технологии является ручной способ подачи проволоки, где оператор установки вручную подводит присадочный материал к месту обработки. Лазерная наплавка позволяет расширить зоны ремонта деталей вследствие минимизации зон термического влияния. При устранении дефектов литейных деталей использовалась методика, созданная ранее в работах [4, 5].

На первом этапе работы по восстановлению была проведена предварительная подготовка поверхности детали под наплавку, в частности проводилась оценка начального состояния восстанавливаемой поверхности (шероховатость, твёрдость),

очистка от загрязнений. После предварительной подготовки был проведён подбор наплавляемой проволоки под основной материал отливки. В получении требуемого химического состава наплавленного слоя металла данный этап является важным, так как позволяет обеспечить требуемые свойства восстанавливаемой поверхности.

На следующем этапе по восстановлению литьевых деталей был проведён подбор параметров процесса импульсной лазерной наплавки. Основными параметрами процесса являются энергия и длительность импульсов, диаметр сфокусированного излучения, частота следования импульсов, положение фокального пятна относительно поверхности наплавляемой детали. [4] Непосредственно наплавку проводили на технологической установке HTS-300M, включающей в себя импульсный твердотельный лазер на YAG:Nd с длиной волны излучения 1,06 мкм, длительность импульса излучения от 0,2 до 20 мс, частота следования импульсов излучения от 1 до 20 Гц, диаметр сфокусированного пучка от 0,2 до 2 мм. Результат наплавки образцов отливки детали представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Отливка статора турбины с наплавкой

Следующим этапом работы после выполнения лазерной наплавки было проведение экспериментов по определению качества наплавленного материала. В частности, были проведены металлографические исследования и замер твёрдости в зоне наплавки и основного материала отливки турбины. Для этого были изготовлены поперечные микрошлифы трёх образцов из отливки детали:

- образец № 1 – образец с наплавкой, не прошедший термической обработки;
- образец № 2 – образец, в котором наплавка производилась после термической обработки материала основы;
- образец № 3 – наплавка материала производилась на термически необработанный материал основы, после чего была произведена термическая обработка образца вместе с наплавкой.

Термическая обработка заключалась в нагреве образцов до 1200°C, его выдержки в течение одного часа и охлаждение с печью.

При внешнем осмотре наплавленных соединений образцов № 1, № 2, № 3 отливки турбины трещин, несплавлений и других дефектов не обнаружено.

При микроисследовании на образце № 1 (рисунок 2, а) видна граница раздела материала основы и наплавки. В наплавочном материале видны трещины размером 0,6 мм и толщиной 1,5 мкм. Распространение трещин происходит от поверхности раздела материала вглубь наплавленного слоя, наблюдается переходная зона шириной 25-50 мкм.

При изучении структуры на образце № 2 (рисунок 2, б) наблюдается чёткая граница разделов материалов, граница «основной материал – наплавка» чистая, имеется металлическая связь. В материале наплавки трещин не наблюдается. В образце со стороны основного материала наблюдается более светлая переходная зона. Ширина переходной зоны со стороны основного материала составляет 50-100 мкм.

На образце № 3 (рисунок 2, в) чёткая граница раздела материалов отсутствует, трещины в наплавленном слое также отсутствуют, несплошностей и несплавлений не обнаружено.

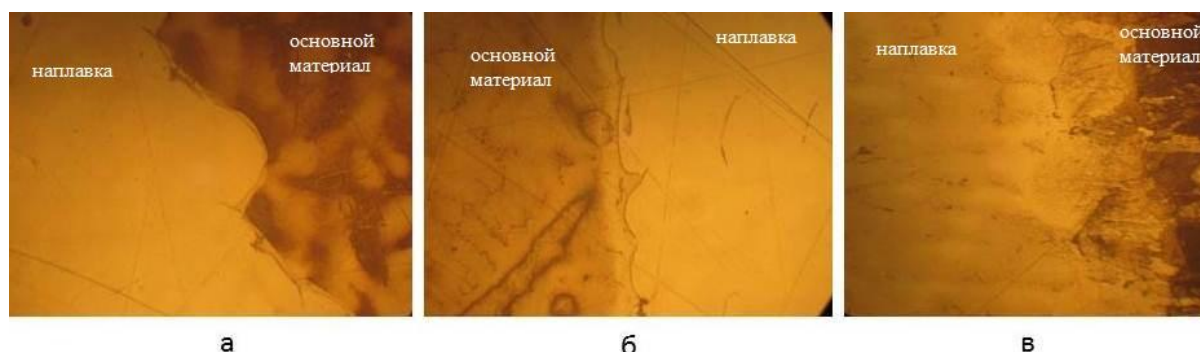


Рис. 2. Структура основного материала и материала наплавки:

а - образец с наплавкой, не прошедший термической обработки;
 б – образец с наплавкой после термической обработки материала основы; в – образец с наплавкой после термической обработки материала основы и наплавленного слоя

Для измерения микротвёрдости был использован микротвёрдомер ПМТ-3 с нагрузкой 100 г. Замер микротвёрдости проводился в поперечных сечениях микрошлифов в зоне наплавленного материала и – для сравнения – в основном материале образцов отливки турбины (в том числе в зоне термического влияния). Результаты значений замера твёрдости представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты замера микротвёрдости «основной материал – наплавка»

Поверхность замера	Твёрдость, HRC		
	образец №1	образец №2	образец №3
Зона наплавки	69, 78, 62	43, 58, 44	62, 60, 61
Зона термического влияния	69, 78, 82	46, 57, 49	66, 65, 68
Основной материал	56, 58, 56	56, 65, 58	55, 53, 56

Анализ полученных значений показал, что твёрдость наплавленного слоя в образцах № 1, № 3 выше твёрдости основного металла отливки статора турбины. В образцах № 1, № 2 микротвёрдость по зонам наплавки неоднородная, имеются участки с повышенными значениями. Образец № 3 имеет достаточно равномерное распределение микротвёрдости по сечению.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы.

- Проведена работа по исправлению литьевых дефектов деталей методом лазерной наплавки на импульсной технологической установке HTS-300M.

- Образец № 3 имеет более качественную структуру, трещины, несплавления не обнаружены, микротвёрдость с равномерным распределением значений по сечению «основной материал-наплавка».

- Примененная в работе методика по разработке технологического процесса лазерной наплавки позволила осуществить получение высококачественного соединения (наплавка + основной материал) при исправлении литьевых дефектов деталей.

Благодарности

Работы, указанные в статье, выполнены на оборудовании ЦКП САМ-технологий работниками ЦКП (уникальный шифр соглашения RFMEFI59314X0003).

Библиографический список

1. Балякин А. В., Смелов В. Г., Агаповичев А. В. Разработка методики литья из жаропрочных сплавов сложных деталей малоразмерных газотурбинных двигателей с применением аддитивных технологий//Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2014. – № 5 (47). – С. 190-196.

2. Smelov V.S., Agapovichev A.V., Balaykin A.V. Production technology of the internal combustion engine crankcase using additive technologies // Modern Applied Science. 2015 Vol. 9 № 4. С. 335-343.

3. Smelov V.S., Agapovichev A.V., Balaykin A.V., Agapovichev A.V. Application of additive technologies in the production of aircraft engine parts // Modern Applied Science. 2015 Vol. 9 № 4. С. 151-159.

4. В. А. Барвинок, В. Г. Смелов, А. В. Сотов, С. А. Косырев. Восстановление торца пера лопатки ГТД методом импульсной лазерной наплавки//Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2014. – № 3. – С. 161-165.

5. Smelov V. G., Sotov A. V., Kosirev S. A. Development of process optimization technology for laser cladding of GTE compressor blades // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9, No. 10, October 2014.

6. Dong, Wei (2004). Mechanism Governing Nitrogen Absorption by Steel Weld Metal during Laser Welding. Metallurgical and Materials Transactions, 35B, 2, 331-338.