

№1 (40)
2016



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ISSN 2071-9140

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (МАШИНОСТРОЕНИЕ)
- МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ



АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

AVIACIONNYE MATERIALY I TEHNOLOGII

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

СОДЕРЖАНИЕ**CONTENTS**

О.Г. Оспенникова. Тенденции создания жаропрочных никелевых сплавов низкой плотности с поликристаллической и монокристаллической структурой (обзор)	3	O.G. Ospennikova. Tendencies of development of heat-resistant nickel alloys of low density with polycrystalline and single-crystal structures (review)
Д.Е. Каблов, В.В. Сидоров, С.А. Будиновский, П.Г. Мин. Влияние примеси серы на жаростойкость монокристаллов жаропрочного сплава ЖС36-ВИ с защитным покрытием	20	D.E. Kablov, V.V. Sidorov, S.A. Budinovskiy, P.G. Min. The influence of sulfur impurity on heat resistance of single crystals of ZhS36-VI alloy with protective coating
Д.Е. Каблов, В.В. Сидоров, Ю.А. Пучков. Особенности диффузационного поведения примесей и рафинирующих добавок в никеле и монокристаллических жаропрочных сплавах	24	D.E. Kablov, V.V. Sidorov, Yu.A. Puchkov. Diffusion behavior features of impurities and microalloying additives in nickel and single crystal superalloys
Н.И. Колобнев. Жаропрочность алюминиевых деформируемых сплавов	32	N.I. Kolobnev. Heat resistance of wrought aluminum alloys
А.С. Ермолаев, А.М. Иванов, С.А. Василенко, В.С. Бабиков, Р.М. Мубаракшин, Е.В. Кондрашов. Применение лазерных технологий для изготовления и ремонта деталей и узлов газотурбинных двигателей	37	A.S. Ermolaev, A.M. Ivanov, S.A. Vasilenko, V.S. Babikov, R.M. Mubarakshin, E.V. Kondrashov. Laser technologies application for manufacture and repair of parts and assemblies of gas turbine engines
Д.П. Фарафонов, М.Л. Деговец, Р.Ш. Алексина. Металлические волокна из жаростойких сплавов, легированных металлами платиновой группы	44	D.P. Farafonov, M.L. Degovets, R.Sh. Alekshina. The metal fibers of heat-resistant alloys alloyed by platinum group metals
Е.И. Орешко, В.С. Ерасов, Н.Ю. Поджиготов, А.Н. Луценко. Расчет на прочность гибридной панели крыла на базе листов и профилей из высокопрочного алюминий-литиевого сплава и слоистого алюмостеклопластика	53	E.I. Oreshko, V.S. Erasov, N.Yu. Podzhigotov, A.N. Lucenko. Strength calculation of hybrid wing panel on the basis of sheets and profiles from high-strength aluminum lithium alloy and laminated aluminum fiberglass

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

- Н.Н. Блинова, А.А. Беляев. Сравнительные акустические характеристики пористых материалов на основе металлической матрицы** 62 *N.N. Blinova, A.A. Belyaev. Comparative acoustic characteristics of porous materials on the basis of metal matrix*
- Ю.В. Столянков, В.М. Алексашин, Н.В. Антюфеева, Т.М. Щеглова. Оценка стеклообразующей способности металлической системы на основе никеля типа «металл–металлоид»** 66 *Yu.V. Stolyankov, V.M. Aleksashin, N.V. Antyufeeva, T.M. Shcheglova. Glass-forming ability evaluation of the nickel-based «metall–metalloid» system*
- В.А. Кузнецова, И.С. Деев, Л.В. Семенова. Влияние модификации эпоксидных пленкообразующих композиций на их фазовую микроструктуру и адгезию к алюминиевому сплаву** 72 *V.A. Kuznetsova, I.S. Deev, L.V. Semenova. Influence of modification of epoxy film-forming compositions on their phase microstructure and adhesion to aluminium alloy*
- В.Д. Крылов, Н.О. Яковлев, Ю.А. Курганова, О.А. Лашов. Межслоевая трещиностойкость конструкционных полимерных композиционных материалов** 79 *V.D. Krylov, N.O. Yakovlev, Yu.A. Kurganova, O.A. Lashov. Interlayer fracture toughness of structural polymer composites*
- Е.Ф. Волкова. Анализ и итоги Международной конференции «Магний–21. Новые горизонты» (обзор)** 86 *E.F. Volkova. The analysis and results of the International conference «Magnesium–21. Broad horizons» (review)*

7. Братухин А.Г., Фридляндер И.Н. Конструкционные алюминий-литиевые сплавы пониженной плотности // Авиационная промышленность. 1987. №2. С. 43–46.
8. Бочвар А.А. Металловедение. М.: Металлургиздат, 1956. 494 с.
9. Петров Д.А. Вопросы теории сплавов алюминия. М.: Оборонгиз, 1951. 255 с.
10. Лужников Л.П. Деформируемые алюминиевые сплавы для работы при повышенных температурах. М.: Металлургия, 1965. 245 с.
11. Промышленные алюминиевые сплавы: справ. изд. 2-е изд. М.: Металлургия, 1984. 528 с.
12. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: справ. изд. 2-е изд. М.: Металлургия, 1984. 408 с.
13. Осипов К.А. Вопросы теории жаропрочности металлов и сплавов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 288 с.
14. Лившиц Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Машгиз, 1956. 352 с.
15. Электронная структура переходных металлов и химия их сплавов. Пер. с англ. М.: Металлургия, 1966. 230 с.
16. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах. Пер. с англ. М.: Металлургиздат, 1960. 322 с.
17. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1979. 640 с.
18. Оглодков М.С., Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Алексеев А.А., Лукина Е.А. Влияние термомеханической обработки на свойства и структуру сплава системы Al–Cu–Mg–Li–Zn // Авиационные материалы и технологии. 2010. №4. С. 7–11.
19. Фридляндер И.Н., Грушко О.Е., Антипов В.В., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Алюминийлитиевые сплавы / В кн. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 2007. С. 163–171.
20. Антипов В.В., Колобnev Н.И., Хохлатова Л.Б. Развитие алюминийлитиевых сплавов и многоступенчатых режимов термической обработки // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 183–195.
21. Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Антипов В.В., Каимова С.А., Рудаков А.Г., Оглодков М.С. Влияние коррозионной среды на скорость роста трещины усталости в алюминиевых сплавах // Авиационные материалы и технология. 2011. №1. С. 16–20.
22. Лощинин Ю.В., Пахомкин С.И., Фокин А.С. Влияние скорости нагревания при исследовании фазовых превращений в алюминиевых сплавах методом ДСК // Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 3–6.

УДК 669-1

А.С. Ермолаев¹, А.М. Иванов¹, С.А. Василенко¹,
В.С. Бабиков¹, Р.М. Мубаракшин², Е.В. Кондрашов¹

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-37-43

Рассмотрены примеры применения лазерного раскюя, трехкоординатной лазерной резки, сварки и порошковой наплавки LMD (Laser Metal Deposition) при изготовлении различных компонентов авиационного двигателя и ремонте ответственных деталей из жаропрочных никелевых и титановых сплавов компрессора высокого давления и камеры сгорания, описаны преимущества, которые способствуют внедрению лазерной обработки в производство.

Ключевые слова: лазерная адаптивная наплавка, ремонт, блинк, лопатка, компрессор высокого давления, лазерная сварка, перфорация отверстия, технология.

Examples of application of 3D laser cutting, weldings and laser powder cladding LMD (Laser Metal Deposition) in manufacturing of various components of the aviation engine and repair of responsible parts from heat resisting nickel and titanium alloys of the high pressure compressor and the chamber of combustion are considered, the advantages allowing to achieve introduction of laser processing in manufacture are described.

Keywords: laser adaptive cladding, repair, blisk, blade, high pressure compressor, laser welding, punching of an aperture, technology.

¹Открытое акционерное общество «Авиадвигатель» [Open Joint Stock Company «Aviadvigatel»]
E-mail: office@avid.ru

²Общество с ограниченной ответственностью «Урал Инженеринг Консалтинг» [Limited Liability Company «Ural Engineering Consulting»] E-mail: zpt@uralinco-centr.ru

Введение

Лазерные технологии находят все более широкое применение, открывая новые возможности высококачественной, производительной, экономичной объемной резки и сварки сложных деталей из алюминия, титана, конструкционной и легированной стали, для термической обработки и наплавки деталей с целью их упрочнения и ремонта. Основные преимущества лазерных технологий: высокая гибкость процесса, возможность обработки нежестких конструкций из труднообрабатываемых материалов, уменьшение затрат на подготовку производства, устранение ряда вспомогательных операций и технологической оснастки. Наряду с областями, где применяют стандартные машины для двух- и трехкоординатной лазерной обработки, существует широкий спектр задач, для решения которых технологическая система должна характеризоваться как специальными свойствами, так и возможностью быстрой переналадки. В этих случаях необходимы гибкие, соответствующие требованиям установки, которые должны быть изготовлены на базе агрегатно-модульной конструкции с включением специальных компонентов. Принцип модульности и гибкости необходимо применять по отношению к следующим основным характеристикам и элементам лазерной установки [1]:

– параметрам рабочего пространства;

- кинематике пространственных перемещений лазерного инструмента и детали;
- системам передачи и фокусировки лазерного луча;
- рабочим инструментам, оптике для резки, сварки, термообработки и наплавки;
- параметрам управления процессом, таким как рабочий и защитный газы, специальный сварочный флюс;
- системам дозирования и подачи порошка для наплавки; системе адаптивного контроля процесса для взаимного определения детали, инструмента и зоны обработки в пространстве;
- вспомогательным средствам автоматизации для расширения технологической системы и интеграции новых элементов, например вращательных столов с вертикальной и горизонтальной осью вращения.

Высокий уровень гибкости и широкий спектр технологических возможностей особенно актуальны при производстве прототипов новых изделий, например, при производстве деталей и узлов газотурбинного двигателя (ГТД). Требования к технологиям производства ГТД постоянно возрастают, прежде всего, из-за ужесточения конструктивных, прочностных, динамических, температурных, весовых и других критериев. В этой связи к числу наиболее важных технологических задач при изготовлении прототипа ГТД, для ре-

ностью ранее применяемой электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

Результаты

Результаты выполненной работы показывают, что лазерная сварка в сравнении с ЭЛС существенно снижает продолжительность машинной сварки и трудоемкость подготовительных работ – не требуется большого количества специальной оснастки, а также отсутствует необходимость применения вакуумных камер и т. п.

Обсуждение и заключения

В результате проведенной работы показана эффективность применения модульной лазерной установки и реализуемых на ее базе технологий при производстве деталей и узлов авиационного двигателя. Лазерная резка, сварка и наплавка жаропрочных никелевых, титановых сплавов позволяет оптимизировать производственный процесс, снизить трудоемкость изготовления деталей и узлов авиационного двигателя и продлить ресурс деталей благодаря внедрению технологий ремонта.

Показана возможность применения техноло-

гии лазерной адаптивной наплавки LMD для ремонта лопаток моноколес компрессора и отработана технология восстановления входной кромки лопатки сектора моноколеса.

Применение лазерной резки отверстий обеспечивает:

- минимальную зону термического влияния;
- автоматизацию процесса при обработке сложных объемных заготовок без применения специальной дорогостоящей оснастки и быстроизнашиваемых дорогостоящих инструментов;
- возможность получения методом перфорации отверстий с минимальным диаметром 0,4 мм.

Лазерная резка отверстий имеет на порядок более высокую производительность в сравнении с электроэррозионной и электрохимической обработкой, обеспечивает технические требования по качеству.

Применение лазерной сварки повышает производительность процесса сварки комплекта форсунок в 5 раз по сравнению с ЭЛС, снижает трудоемкость процесса и время подготовительных работ и обеспечивает требуемое качество сварного шва. Уменьшается количество требуемой оснастки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мубаракшин Р.М., Бенцингер М. Гибкий лазерный модуль // Сварочное производство. 1996. №3. С. 25–29.
2. Келбасса И., Гассер А., Виссенбах К. Лазерное напыление как метод ремонта дисковых лопаток из титановых и никелевых сплавов, используемых в авиационных двигателях / В сб. трудов I Тихоокеанской междунар. конф. по применению лазеров и оптики. 2004.
3. Шмотин Ю.Н., Старков Р.Ю., Данилов Д.В., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Новые материалы для перспективного двигателя ОАО «НПО „Сатурн“» // Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 6–8.
4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
5. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 664 с.