

УДК 621.791.927.55

doi: 10.32620/aktt.2022.1.07

С. Л. ЧІГИЛЕЙЧИК¹, І. А. ПЕТРИК¹, О. В. ОВЧИННИКОВ², С. В. КИРИЛАХА²¹ АТ «Мотор Січ», Запоріжжя, Україна² НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РЕМОНТІ ДЕТАЛЕЙ ГТД ЗІ СПЛАВУ ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) В УМОВАХ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розроблено технологію ремонту кожуха соплового апарата у складі двигуна Д-18Т адитивним вирощуванням пошкодженої частини методом мікроплазмового наплавлення порошком зі сплаву ЕП648ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ). Традиційно деталь з таким ушкодженням бракувалася. Вартість заміни пошкодженої деталі на нову становить близько 200 тисяч гривень. У статті розглянуто обладнання та особливості технології вирощування методом мікроплазмового багатопроменевого наплавлення. Адитивне вирощування відрізаної пошкодженої частини проводилося на роботизованій установці для мікроплазмового порошкового наплавлення STARWELD 190Н із використанням порошків зі сплаву ЕП648 ВІ з фракцією 63-163 мкм. Після вирощування були виконані термічна обробка (старіння 700 °С, витримка 16 годин), механічна обробка та контроль якості дорожньої частини. Для створення доказової бази з метою визначення можливості установки на двигун відремонтованої деталі був проведений комплекс досліджень, який у себе включав: визначення хімічного складу зразків, вирощених за технологією, аналітичною ремонтній, металграфічні дослідження та механічні випробування. В результаті було встановлено, що хімічний склад наплавленого металу відповідає вимогам технічних умов ТУ 14-1-3046-97 «Прутки з жароміцного сплаву марки ХН50ВМТЮБ (ЕП648), а мікроструктура наплавленого металу після термообробки являє собою γ – твердий розчин з наявністю карбідів, карбонітридів та невеликої кількості γ' фази, що відповідає нормально термообробленому стану сплаву ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) та рівень механічних властивостей вирощених зразків з подальшою серійною термообробкою (старіння 700 °С, витримка 16 годин) не нижче за рівень поковки, що застосовується при серійному виготовленні деталі. Показано економічний ефект від впровадження даної технології, що становить понад 100 тисяч гривень (близько 23% від вартості нової деталі).

Ключові слова: адитивні технології; наплавлення; порошок; технологія; кожух; наплавлений метал; загартування; старіння.

Вступ

Деталі та вузли в процесі роботи авіаційних двигунів отримують значні пошкодження внаслідок дії зносу, корозії, ерозії, перевантажень, пов'язаних з порушенням технічних умов експлуатації, а також попаданням сторонніх предметів у тракт двигуна. Більшість з них, особливо деталі з жароміцних нікелевих сплавів гарячого тракту є дуже дорогими, і заміна їх на нові вимагає значних витрат. Використання існуючих методів ремонту, заснованих на зварюванні, пайці і наплавленні, особливо при напрацюванні більше 3 тис. годин, часто обмежені великими площами пошкоджень і деградації металу в цій зоні. Тому актуальним стає розвиток нових технологій ремонту.

Одним з найперспективніших напрямів розвитку світової промисловості, що швидко розвивається в останні роки, стали адитивні технології (АТ) [1-7]. Серед основних переваг АТ можна виділити те, що

за допомогою автоматизованого комп'ютерного управління з'являється можливість пошарового виготовлення нового виробу або відновлення пошкодженої частини виробу після експлуатації з його тривимірної 3D моделі [8, 9]. Інтерес АТ «МОТОР СІЧ» к АТ, в якості альтернативи традиційним технологіям, таким як кування та лиття, виник давно. Роботи з розроблення, освоєння та впровадження на АТ «МОТОР СІЧ» активно ведуться вже більше 3-х років [10-15]. Першорядним їх завданням було визначення фізико-механічних та службових властивостей вирощених заготовок для створення доказової бази для їх застосування при виготовленні та ремонті деталей ГТД, натомість традиційних технологій (кування та лиття). На даний момент завершено дослідно-випробувальні роботи у напрямі прямого вирощування. (Directed Energy Deposition) заготовок зі жароміцних сплавів на нікелевій основі ЕП648ВІ та ВЖ98ВІ методом мікроплазмового наплавлення. У результаті вдалося отримати механічні

властивості вирощених зразків в умовах випробувань при кімнатній і робочій (500-900 °С) температурі для цих сплавів, які не поступаються, а за деякими параметрами і переважають властивості заготовок, отриманих литтям і куванням, і розробити комплексну технологію ремонту.

Постановка задачі

Метою роботи є розробка технології адитивного вирощування методом мікроплазмового наплавлення порошком зі сплаву ЕП648ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) для забезпечення заданого рівня механічних властивостей, необхідних для експлуатації кожуха соплового апарату (СА) у складі двигуна Д-18Т.

Цей вузол працює в умовах гарячого тракту двигуна за температури до 900 °С. Зазвичай при ремонті у разі наявності на поверхні стільникових ущільнень А і Б пошкоджень від врізання гребінців лабіринтних ущільнень глибиною більше 0.8 мм і шириною більше 7.0 мм (рис. 1) проводиться їх заміна. При цьому після видалення стільникових ущільнень перед пайкою нових контролюється розмір Ж. Якщо розмір Ж менше 2.0 мм, то вся деталь бракується. Вартість цієї деталі на даний момент становить близько 200 тис. грн.

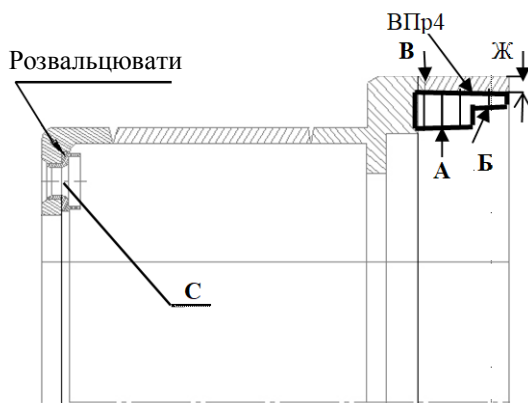


Рис. 1. Дефектація кожуха

Технологія ремонту

Ремонт здійснюється за наступною технологічною схемою:

1. Виробляється розвальцювання деталі поз. С (контровка – 60 шт.).
2. Виробляється сточування стінки поверхню А до розміру, зазначеному на рис. 2.
3. Виробляється вирощування стінки методом мікроплазмового порошкового наплавлення порошком зі сплаву ЕП 648ВІ з фракцією 63-163 мкм. При цьому збірна одиниця встановлюється в планшайбу маніпулятора роботизованої установки STARWELD 190HP. Послідовність виконання наплавлення (про-

ходів) представлена на рис. 3. Усього виконується 16 проходів.

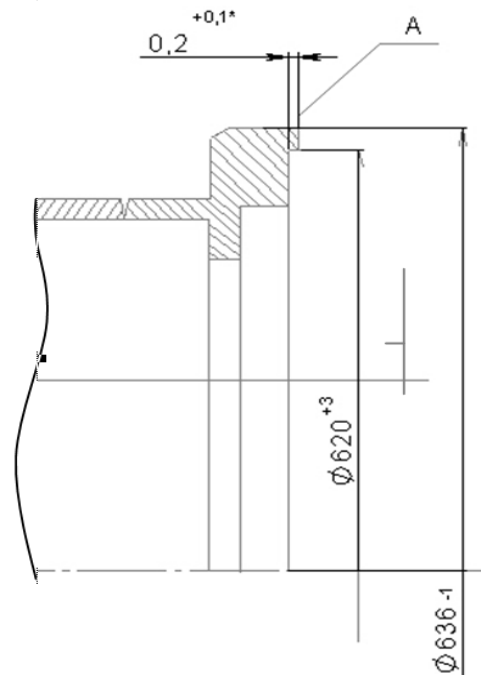


Рис. 2. Підготовка кожуха під наплавлення

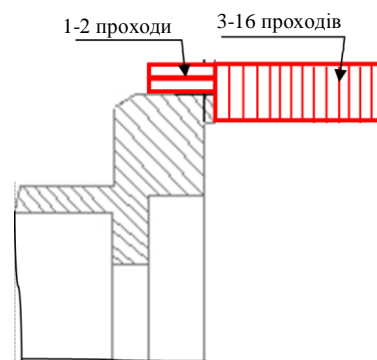


Рис. 3. Послідовність виконання проходів

Наплавлення проводиться на режимах, представлених у табл. 1. При цьому слід звернути увагу, що режими наплавлення на перших п'яти проходах змінювалися. При відпрацюванні і підборі режимів наплавлення на різних проходах враховувалися товщина і висота торця, що наплавляється (відстань від торця до масивної частини деталі).

Наплавлення проводиться з коливальними рухами плазматрона щодо наплавлюваної поверхні. Зовнішній вигляд напавленої деталі представлений на рис. 4.

4. Виробляється термообробка: старіння (700±10) °С, витримка – 16 годин, охолодження на повітрі.

Таблиця 1
Режими мікроплазмового порошкового наплавлення
при відновленні стінки

Параметри	№ проходу				
	1	2	3	4	5-16
Струм наплавлення, А	70-75	65-70	58-62	55-60	50-55
Діаметр вольфрамового електрода, мм	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Діаметр плазмоутворюючого сопла, мм	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Час імпульсу, мс	300/160	300/160	300/160	300/160	300/160
Струм імпульсу, А	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Швидкість наплавлення, м/сек.	1.6	1.7	1.75	1.8	1.8
Витрата пілотного газу (аргон), л/хв	0.8-1.0	0.8-1.0	0.8-1.0	0.8-1.0	0.8-1.0
Витрата захисного газу (аргон), л/хв	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12
Витрата плазмоутворюючого газу (аргон) л/хв	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8
Витрата транспортного газу (аргон), л/хв	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Висота наплавленого шару, мм	1.2	1.2	1.7	1.6	1.5
Витрата порошку, г/хв	3.5-3.7	3.2-3.6	3.0-3.4	2.7-3.2	2.5-3.0
Фракція порошку, мкм	63-160	63-160	63-160	63-160	63-160

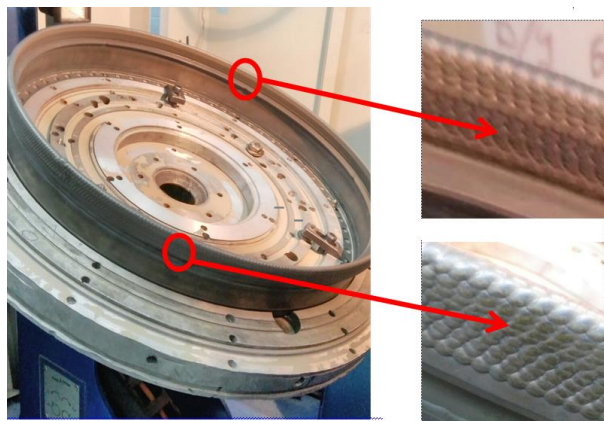


Рис. 4. Зовнішній вигляд відновленого кожуха

5. Виконується механічна обробка, яка забезпечує різностінність Ж не більше 0.5 мм.

6. Виробляється капілярний контроль збірної одиниці по Ø632 і Ø627 мм і на прилеглих поверхнях за ГОСТ 190282-79. Рівень чутливості II. Тріщини не допускаються.

Результати досліджень

Для підтвердження працездатності відновленої деталі було проведено комплекс досліджень зразків, вирощених за технологією, аналогічною ремонтній. При цьому встановлено:

– хімічний склад наплавленого металу відповідає вимогам технічних умов ТУ 14-1-3046-97 «Прутки з жароміцного сплаву марки ХН50ВМТЮБ (ЕП648);

– мікроструктура наплавленого металу після термообробки являє собою γ – твердий розчин з наявністю карбідів, карбонітридів та невеликої кількості γ' фази (рис. 5) і відповідає нормальному термообробленому стану сплаву ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ).

– рівень механічних властивостей вирощеного сплаву з подальшою серійною термообробкою (старіння 700 °С, витримка 16 годин) не нижче рівня поковки, що застосовується при серійному виготовленні деталі та становить (середні значення):

– у поперечному напрямку: $\sigma_b=800.7$ МПа; $\sigma_{0.2}=504.7$ МПа; $\delta=40.2\%$; $\psi=32.6\%$;

– у поздовжньому напрямку: $\sigma_b=783.0$ МПа; $\sigma_{0.2}=580.2$ МПа; $\delta=17.5\%$; $\psi=18.5\%$.

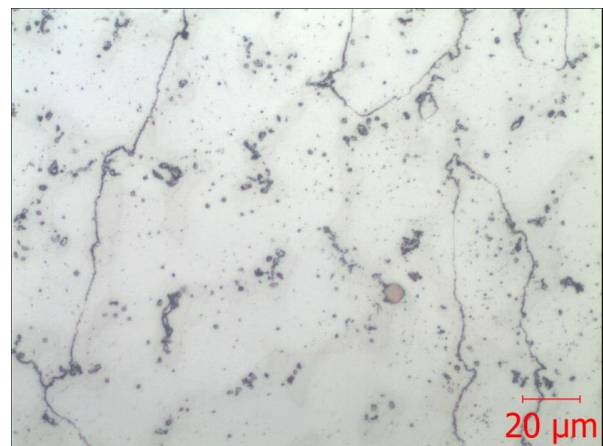


Рис. 5. Мікроструктура матеріалу зразків зі сплаву ЕП648ВІ після термообробки

Економічна ефективність

Витрати на ремонт кожуха СА двигуна Д-18Т за цією технологією становлять близько 23% від вартості деталі. При цьому економічний ефект ремонту – понад 100 тис. грн.

Висновки

Впровадження адитивних технологій на АТ «МОТОР СІЧ» дозволило підвищити ремонтпридатність відповідальних вузлів із жароміцних нікелевих сплавів та знизити витрати на ремонт. Так, на прикладі ремонту кожуха СА двигуна Д-18Т показано, що економічний ефект від ремонту 1 вузла складає понад 100 тис. грн.

Література

1. Петрик, И. А. Разработка порошков титановых сплавов для аддитивных технологий применительно к деталям ГТД [Текст] / И. А. Петрик, А. В. Овчинников, А. Г. Селиверстов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 8 (125). – С. 11–16.
2. Глотка, О. А. Аналіз вітчизняних жароміцних порошків на нікелевій основі, які застосовуються в адитивних технологіях [Текст] / О. А. Глотка // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2016. – № 2. – С. 39–42.
3. Нестеренков, В. М. Применение аддитивных электронно-лучевых технологий для изготовления деталей из порошков титанового сплава BTI-0 [Текст] / В. М. Нестеренков, В. А. Матвейчук, М. О. Русыник // *Автоматическая сварка*. – 2017. – № 3(762). – С. 5–10.
4. Янко, Т. Б. Титан в аддитивных технологиях [Текст] / Т. Б. Янко // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения. Тезисы докладов*. – Дніпро, 2018. – С. 217–221.
5. Application of Domestic Heat-Resistant Powders in Additive Techniques [Text] / O. A. Glotka, O. V. Ovchinnikov, V. I. Degtyaryov, S. A. Kameneva // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. – 2018. – Vol. 56. – P. 726–732. DOI: 10.1007/s11106-018-9948-2.
6. Composition, Structure, and Properties of Sintered Sintered Silicon-Containing Titanium Alloys [Text] / I. O. Bykov, A. V. Ovchinnikov, D. V. Pavlenko, Z. V. Lechovitzer // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. – 2020. – Vol. 58. – P. 613–621. DOI: 10.1007/s11106-020-00117-w.
7. Вплив мікроструктури на корозійну тривкість у кислотних середовищах титанових сплавів, одержаних за порошковою технологією [Текст] / Д. Г. Саввакін, О. О. Стасюк, І. М. Погрелюк, Х. С. Шляхетка, С. М. Ткаченко, О. О. Осипенко // *Metallophysics and Advanced Technologies*. – 2020. – Vol. 42, No. 10. – P. 1347–1362. DOI: 10.15407/mfint.42.10.1347.
8. Литунов, С. Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 [Текст] / С. Н. Литунов, В. С. Слободенюк, Д. В. Мельников // *Омский научный вестник*. – 2016. – № 1 (145). – С. 12–17.
9. Чемодуров, А. Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения [Текст] / А. Н. Чемодуров // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2016. – № 8. – С. 210–217.
10. Detecting the influence of heats sources on material properties when production a aviation parts by a direct energy deposition method [Text] / M. Gnatenko, P. Zhemaniuk, I. Petrik, S. Sakhno, S. Chigileichik, V. Naumyk, O. Ovchinnikov, M. Matkovska // *Eastern-european journal of enterprise technologies*. – 2019. – Vol. 1, No. 12(97). – P. 49–54. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.157604.
11. Gnatenko, M. Influence of sources of heating and protective gases on the properties of the material obtained by the direct deposition [Text] / M. Gnatenko, V. Naumyk, M. Matkovska // *Materials Science and Technology*. – 2019. – P. 68–74. DOI: 10.7449/2019/MST_2019_68_74.
12. Гнатенко, М. О. Оценка возможности изготовления и ремонта деталей методом аддитивных технологий из алюминиевых сплавов [Текст] / М. О. Гнатенко, Ю. А. Марченко, Т. И. Митина // *Процессы литья*. – 2018. – № 4 (130). – С. 56–61.
13. Оценка возможности применения технологии послойного формирования способом плазменной наплавки деталей из титановых сплавов узлов вертолетов ГТД [Текст] / И. А. Петрик, С. Л. Чигилейчик, Т. А. Митина, Ю. А. Марченко, М. О. Гнатенко // *Современная электрометаллургия*. – 2018. – № 3 (132). – С. 45–51.
14. Гнатенко, М. О. Виявлення впливу джерел нагріву і захисних газів на властивості матеріалу під час виготовлення авіаційних деталей методом прямого вироцування [Текст] / М. О. Гнатенко // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2019. – № 3(86). – С. 33–36.
15. Гнатенко, М. О. Прочностной расчет авиационной детали крышки редуктора, полученный методом аддитивного выращивания [Текст] / М. О. Гнатенко, В. В. Наумик // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2019. – № 1. – С. 74–78.

References

1. Petrik, I. A., Ovchinnikov, A. V., Seliverstov, A. G. Razrabotka poroshkov titanovykh splavov dlya additivnykh tekhnologii primenitel'no k detalyam GTD [Developing powders of titanium alloys for additive technologies as applied to gas turbine engine parts]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya – Aerospace technic and technology*, 2015, no. 8(125), pp. 11–16.
2. Glotka, O. A. Analiz vitchyznyanykh zharomitsnykh poroshkov na nikel'nyy osnovi, yaki zastosovuyut'sya v additivnykh tekhnolohiyakh [Analysis of domestic heat-resistant powders on a nickel basis, which are used in additive technologies]. *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2016, no. 2, pp. 39–42.
3. Nesterenkov, V. M., Matveychuk, V. A., Rusynik, M. O. Primenenie additivnykh elektronno-luchevykh tekhnologii dlya izgotovleniya detalei iz poroshkov titanovogo splava VT1-0 [Application of additive electron-beam technologies for the manufacture of parts from titanium alloy powders VT1-0]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 2017, no. 3 (762), pp. 5–10.
4. Yanko, T. B. Titan v additivnykh tekhnolohiyakh [Titanium in additive technologies]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: Starodubovskie chteniya. Tezisy dokladov – Construction, materials science, mechanical engineering: Starodubovskie readings. Abstracts of reports*, Dnipro, 2018, pp. 217–221.
5. Glotka, O. A., Ovchinnikov, O. V., Degtyaryov, V. I., Kameneva, S. A. Application of Domestic Heat-Resistant Powders in Additive Techniques. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2018, vol. 56, pp. 726–732. DOI: 10.1007/s11106-018-9948-2.
6. Bykov, I. O., Ovchinnikov, A. V., Pavlenko, D. V., Lechovitzer, Z. V. Composition, Structure, and Properties of Sintered Silicon-Containing Titanium Alloys. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2020, vol. 58, pp. 613–621. DOI: 10.1007/s11106-020-00117-w.
7. Savvakina, D. G., Stasiuk, O. O., Pohrelyuk, I. M., Shlyakhetka, K. S., Ovchinnikov, O. V., Tkachenko, S. M., Osypenko, O. V. Vplyv mikrostruktury na korozivnu tryvkist' u kyslotnykh seredovyshchakh tytanovykh splaviv, oderzhanykh za poroshkovoyu tekhnolohiyeyu [Influence of Microstructure of Titanium Alloys Produced with Powder Technology on Their Corrosion Resistance in Acid Environments]. *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2020, vol. 42, no. 10, pp. 1347–1362. DOI: 10.15407/mfint.42.10.1347.
8. Lytunov, S. N., Slobodenyuk, V. S., Mel'nykov, D. V. Obzor y analiz additivnykh tekhnolohyy. Chast' 1 [Review and analysis of additive technologies. Part 1]. *Omskiy nauchnyy vestnyk – Omsk Scientific Bulletin*, 2016, no. 1 (145), pp. 12–17.
9. Chemodurov, A. N. Prymenenye additivnykh tekhnolohyy v proyzvodstve yzdeley mashynostroyeniya [The use of additive technologies in the production of mechanical engineering products]. *Yzvestiya TuhHU. Tekhnicheskyye nauky – Izvestiya TugSU. Technical science*, 2016, no. 8, pp. 210–217.
10. Gnatenko, M., Zhemanyuk, P., Petryk, I., Sakhno, S., Chigileichik, S., Naumik, V., Ovchinnikov, A., & Matkovskaya, M. Detecting the influence of heat sources on material properties when production of aviation parts by a direct energy deposition method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, vol. 1, no. 12 (97), pp. 49–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.157604.
11. Gnatenko, M., Naumik, V., Matkovska, M. Influence of sources of heating and protective gases on the properties of the material obtained by the direct deposition. *Materials Science and Technology*, 2019, pp. 68–74. DOI: 10.7449/2019/MST_2019_68_74.
12. Gnatenko, M. O., Marchenko, Yu. A., Mitina, T. I. Otsenka vozmozhnosti izgotovleniya i remonta detalei metodom additivnykh tekhnologii iz aluminievnykh splavov [Evaluation of the possibility of manufacturing and repairing parts using additive technologies from aluminum alloys]. *Protsessy lit'ya – Casting processes*, 2018, no. 4 (130), pp. 56–61.
13. Petrik, I. A., Chigileichik, S. L., Mitina, T. A., Marchenko, Yu. A., Gnatenko, M. O. Otsenka vozmozhnosti primeneniya tekhnologii posloinogo formirovaniya sposobom plazmennoi naplavki detalei iz titanovykh splavov uzlov vertoletov GTD [Evaluation of the possibility of using the technology of layer-by-layer formation by plasma surfacing of parts from titanium alloys of helicopter GTE units]. *Sovremennaya elektrometallurgiya – Modern electrometallurgy*, 2018, no. 3 (132), pp. 45–51.
14. Gnatenko, M. O. Vyyavleniya vplyvu dzherel nahryvu i zakhysnykh haziv na vlastyvoli materialu pid chas vyhotovlennya aviatsiynykh detaley metodom pryamoho vyroshchuvannya [Detection of the influence of heat sources and protective gases on the properties of the material during the manufacture of aviation parts by direct cultivation]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv – Metallurgy and heat treatment of metals*, 2019, no. 3 (86), pp. 33–36.

15. Gnatenko, M. O., Naumyk, V. V. Prochnostnoi raschet aviatsionnoi detali kryshki reduktora, poluchennyi metodom additivnogo vyrashchivaniya [Strength calculation of an aircraft part of a gearbox cover obtained by additive growing]. *Novi materialy i*

tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering, 2019, no. 1, pp. 74–78.

Надійшла до редакції 18.12.2022, розглянута на редколегії 16.02.2022

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД ИЗ СПЛАВА ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. Л. Чигилейчик, И. А. Петрик, А. В. Овчинников, С. В. Кирилаха

Разработана технология ремонта кожуха соплового аппарата (СА) в составе двигателя Д-18Т аддитивным выращиванием поврежденной части методом микроплазменной наплавки порошком из сплава ЕП648ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ). Традиционно деталь с таким повреждением браковалась. Стоимость замены поврежденной детали на новую составляет около 200 тысяч гривен. В статье рассмотрены оборудование и особенности технологии выращивания методом микроплазменного многослойного наплавления. Аддитивное выращивание удаленной поврежденной части изготовлялось на роботизированной установке для микроплазменного порошкового наплавления STARWELD 190Н с использованием порошков из сплава ЕП648 ВІ с фракцией 63...163 мкм. После выращивания была сделана термическая обработка (старение при температуре 700 °С с выдержкой в течение 16 часов), механическая обработка и контроль качества доращенной части. Для создания доказательной базы с целью определения возможности установки на двигатель отремонтированной детали был проведен комплекс исследований, который в себя включал: определение химического состава образцов, выращенных по технологии, аналогичной ремонтной, металлографические исследования и механические испытания. В результате, было установлено, что химический состав наплавленного металла соответствует требованиям технических условий ТУ 14-1-3046-97 «Прутки из жаропрочного сплава марки ХН50ВМТЮБ (ЕП648), микроструктура наплавленного металла после термообработки представляет собой γ - твердый раствор с присутствием карбидов, карбонитридов и небольшого количества γ' фазы, уровень механических свойств выращенного сплава с дальнейшей термообработкой (старение при температуре 700 °С с выдержкой в течение 16 часов) не ниже уровня поковки, которая применяется при серийном изготовлении детали, что отвечает нормально термообработанному состоянию сплава ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ). Полученный экономический эффект от внедрения данной технологии составляет более 100 тысяч гривен (около 23% от стоимости новой детали).

Ключевые слова: аддитивная технология; наплавление; порошок; технология; кожух; наплавленный металл; закалка; старение.

EXPERIENCE IN IMPLEMENTING ADDITIVE TECHNOLOGIES DURING REPAIR OF GTE PARTS FROM ALLOY EP 648 VI (KhN50VMTYUB-VI) UNDER CONDITIONS OF SERIAL PRODUCTION

S. Chigileychik, I. Petrik, A. Ovchinnikov, S. Kyrylakha

Technology has been developed for repairing the nozzle assembly (SA) casing in the D-18T engine by additively growing the damaged part by microplasma surfacing with a powder of EP648VI (KhN50VMTYUB-VI) alloy. Traditionally, a part with such damage was rejected. The cost of replacing a damaged part with a new one is about 200 thousand hryvnias. The article discusses the equipment and features of the growing technology using the method of microplasma multilayer surfacing. Additive growth of the cut-damaged part was carried out on a STARWELD 190 H robotic installation for microplasma powder surfacing using EP648 VI alloy powders with a 63–163 micron fraction. After growing, heat treatment (aging at 700 °C, exposure for 16 hours), mechanical processing, and quality control of the grown part were carried out. To create an evidence base to determine the possibility of installing a repaired part on the engine, a set of studies was carried out, which included the determination of the chemical composition of samples grown using a technology similar to repair, metallographic studies, and mechanical tests. As a result, it was found that the chemical composition of the deposited metal meets the requirements of the technical

specifications TU 14-1-3046-97 "Bars made of heat-resistant alloy grade KhN50VMTYUB (EP648), and the microstructure of the deposited metal after heat treatment is a γ - solid solution with the presence of carbides, carbonitrides and a small amount of γ' phase, which corresponds to the normally heat-treated state of the EP 648 VI (KhN50VMTYUB-VI) alloy and the level of mechanical properties of the grown alloy with subsequent serial heat treatment (aging at 700 ° C, holding for 16 hours) not lower than the level of the forging used at serial production of a part. The economic effect of the introduction of this technology is shown, which is more than 100 thousand hryvnias (about 23% of the cost of a new part).

Keywords: additive technology; deposition; powder; technology; casing; deposited metal; tempering; aging.

Чигилейчик Сергій Леонідович – начальник бюро зварювання АТ «Мотор Січ», Запоріжжя, Україна

Петрик Ігор Андрійович – канд. техн. наук, головний зварювальник АТ «Мотор Січ», Запоріжжя, Україна.

Овчинников Олександр Володимирович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна.

Кирилаха Світлана Вікторівна – асп. каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна.

Sergey Chigileychik – Head of the Welding Bureau of Motor Sich JSC, Zaporozhye, Ukraine,
e-mail: tb.ugmet@motorsich.com, ORCID: 0000-0002-2372-9078.

Igor Petrik – candidate of technical sciences, chief welder of Motor Sich JSC Zaporozhye, Ukraine,
e-mail: tb.ugmet@motorsich.com, ORCID: 0000-0001-6600-1661.

Alexander Ovchinnikov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Equipment and technology of welding production, NU" Zaporozhye Polytechnic " Zaporozhye, Ukraine,
e-mail: kafedra_otzv@zntu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5649-1094.

Svitlana Kyrylakha – PhD student of the Department "Equipment and technology of welding production, NU" Zaporozhye Polytechnic " Zaporozhye, Ukraine,
e-mail: lanakirilaha@gmail.com.