

Вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» з жароміцного сплаву Inconel 718 за технологією селективного лазерного спікання

Воденнікова О. С., кандидат технічних наук, доцент, oksana_vodennikova@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0496-5435>

Коваль М. О.*, інженер-конструктор, im.billyblock@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1152-4654>

Воденніков С. А.** , доктор технічних наук, професор, s_vodennikov@i.ua,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5563-5244>

Запорізький національний університет, Запоріжжя

* АТ «Мотор Січ», Запоріжжя

** Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя

Для вирішення проблем підвищення надійності та ефективності експлуатації авіаційних двигунів у роботі розглянуто як альтернативу традиційним методам отримання авіаційних деталей застосування адитивного виробництва. Адитивні технології дозволяють за даними тривимірної цифрової моделі (CAD/CAM/CAE-системи) створювати складнопрофільні конструкції з високими механічними й експлуатаційними характеристиками, що повинні відповідати стандарту ASTM F2792.1549323-1. Процес адитивного виробництва характеризується послідовністю операцій: побудова цифрової 3D-моделі → вибір адитивної технології та її реалізація → отримання готової деталі. У роботі в умовах АТ «Мотор Січ» запропоновано розглянути можливості вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» з жароміцного нікелевого сплаву Inconel 718 за технологією селективного лазерного спікання в 3D-принтері типу EOS M400. В якості вихідних порошкових матеріалів використовували сферичні порошки на основі нікелю компаній Sino-Euro Materials Technologies of Xi'an Co., Ltd. («Sino Euro», Кунтай) та LPW Technology, Ltd («LPW», Великобританія). Експериментальним шляхом встановлена залежність механічних та жароміцних властивостей сплаву Inconel 718 від напрямку зростання деталі (зокрема, горизонтального напрямку XY та вертикального напрямку Z). Проведено металографічні дослідження зразків сплаву Inconel 718 до та після процесу термообробки. За допомогою програми Unigraphics NX 7.5 виконано моделювання авіаційної деталі, яке починається з побудови ескізу, проєктування цифрової 3D-моделі деталі та її редагування. Показано, що вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» за технологією селективного лазерного спікання характеризується: меншим числом технологічних операцій на виготовлення складної за геометричною конфігурацією деталі; зменшенням до 6 разів браку готової деталі; зменшенням матеріальних витрат на оснащення і додаткову механічну обробку;

зниженням до 12 – 17 % маси деталі порівняно з її стандартним аналогом, отриманим шляхом механічної обробки.

Ключові слова: адитивні технології, селективне лазерне спікання, Inconel 718, 3D-модель, авіаційні деталі.

Відомо, що найважливішими елементами сучасного газотурбінного авіаційного двигуна є камера згоряння, направляючі лопатки турбін, жарові труби та інші деталі, які працюють в окислювальному середовищі при температурах понад 1000 °С [1]. Надійність авіаційних двигунів закладається при проектуванні, забезпечується під час виробництва та підтримується в процесі їх експлуатації [2]. Насамперед надійна робота авіаційних двигунів в умовах впливу високих термомеханічних навантажень можлива тільки при використанні матеріалів з високим рівнем службових характеристик [3].

Так для виготовлення деталей авіаційного призначення широкого застосування набули жаростійкі та жароміцні сталі та сплави, головними функціями яких є забезпечення необхідної конструктивної міцності та корозійної стійкості при високих температурах [4]. Серед жароміцних сплавів на нікелевій основі широкого застосування набули сплави ХН77ТЮР (ЭИ437Б та ЭИ437БУВД), ХН80ТБЮ (ЭИ607), ХН70ВМЮ (ЭИ827), ХН62ВМКТЮБ (ЭП885), ХН55ВМТКЮ (ЭИ929) та інші, серед жаростійких на основі заліза та нікелю – сплави ХН75МБТЮ (ЭИ602), ХН60ВТ (ЭИ868), ХН60Ю (ЭИ559), ХН78Т (ЭИ435), ХН70Ю (ЭИ652) та інші, серед нікель-хромових жароміцних сплавів – Inconel 600, Inconel 650, Inconel 718 та Inconel 939 [5 – 7].

На сьогодні на ряду з традиційними методами отримання авіаційних деталей (лиття, штамповка) [8, 9] широкого застосування набуває адитивне виробництво [10, 11]. Так адитивні технології дозволяють скоротити час та витрати на отримання нового виробу за рахунок виключення проміжних стадій виготовлення оснащення та прес-форм [12]. Адитивна технологія може бути реалізована на трьох етапах виробництва – цифрової 3D-моделі (CAD/САМ/САЕ-системи) методом пошарового додавання матеріалу, прототипів та деталей, які відповідають всім вимогам конструкторської документації для складних технічних систем на повний ресурс експлуатації [13].

Технологія селективного лазерного спікання (SLS), як і багато інших промислових методик адитивного виробництва використовує в якості матеріалу порошкові суміші і дозволяє створювати металеві об'єкти за лічені години та досягти результату, наближеного до виготовлення виробів методом лиття під тиском [14, 15].

Дослідження можливості вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» для потреб камери згорання двигуна літака з жароміцного сплаву Inconel 18 (NickelAlloy IN718) проводили в умовах АТ «Мотор Січ» за технологією селективного лазерного спікання. В якості SLS-машини використовували 3D-принтер типу EOS M400 (виробництво Німеччини).

Зразки піддавалися гарячому ізостатичному пресуванню з наступною термообробкою відповідно до норм ASM 5662M. Процеси гарячого

ізостатичного пресування (ГП) та термічної обробки після нього проводили згідно режимів [17].

Параметри гарячого ізотермічного пресування:

- початковий тиск – 25 (± 5) МПа;
- нагрів зі швидкістю 8-10 °С/хв до температури 1040 (± 10) °С (витримка 1 година), робочий тиск в посуді високого тиску 120 МПа;
- нагрів зі швидкістю 3-5 °С/хв. до температури 1150 (± 10) °С (витримка 3-4 години), робочий тиск в посуді високого тиску 160 МПа;
- швидкість охолодження до температури 800 °С $\rightarrow$ 60-100 %, далі – не регламентовано.

Термічну обробку після операції ГП виконували в динамічному вакуумі згідно наступного режиму:

- відпал на твердий розчин під впливом температури 954 °С на протязі 1 години на 25 мм товщини $\rightarrow$ охолодження в потоці аргону;
- старіння при температурі 718 °С на протязі 8 годин $\rightarrow$ повільне охолодження в печі до температури 621 °С на протязі сумарного часу зміцнення 18 годин $\rightarrow$ охолодження в потоці аргону.

В якості вихідних порошкових матеріалів використовували металеві порошки на основі нікелю компаній Sino-Euro Materials Technologies of Xi'an Co., Ltd. («Sino Euro») та LPW Technology, Ltd («LPW»). Номенклатура порошків компанії «LPW» для застосування в SLS-машинах повинна відповідати стандартам Європи (ISO 6208, UNS N07718, DIN NiCr19Fe19NbMo3) та США (UNS N07718, AMS 5662, AMS 5664) [16].

Хімічний склад сплаву Inconel 718 [7] визначали методом спектрального та хімічного аналізів.

Механічні властивості зразків визначали аналогічно роботам [17, 18], для цього виготовляли зразки циліндричної (діаметр 14 мм) та прямокутної (з перетином квадрату 16 мм) форм. Дослідженню піддавалися по п'ять зразків, вирощених як в горизонтальному напрямку ХУ, та і в вертикальному напрямку Z.

Жароміцні властивості зразків визначали при температурі 650 °С та прикладеному навантаженні 687 МПа.

Аналіз хімічного складу жароміцного сплаву Inconel 718, отриманого методом селективного лазерного спікання з сферичних порошків виробництва Великобританії (фірми «LPW») та Китаю (фірми «Sino Euro»), показав відповідність хімічного складу нормам ASM 5662M для сплаву Inconel 718 та нормам ТУ 14-1-3905-85 для сплаву ХН45МВТЮБР-ВД (ЭП718-ВД).

Механічні властивості сплаву Inconel 718, отриманого з порошку фірми «LPW» в горизонтальному напрямку ХУ (табл. 1), і в вертикальному напрямку Z (табл. 2) відповідають нормам ASM 5662M.

Розглядаючи механічні властивості сплаву Inconel 718, отриманого з порошку компанії «Sino Euro» встановлено, що в порівнянні з значеннями горизонтальних зразків (напрямок ХУ) для вертикальних зразків (напрямок Z) характерне деяке зниження характеристик міцності (зокрема, σ_b , $\sigma_{0.2}$ – в межах норм ASM 5662M) та підвищення пластичних характеристик (зокрема, δ , Ψ та KCU) (табл. 1). Спостерігається також в вертикальному

Таблиця 1

Механічні властивості сплаву Inconel 718, отриманого з порошків різного виробництва, та норми ASM 5662M в горизонтальному напрямку ХУ

Table 1

Mechanical properties of Inconel 718 alloy, obtained from powders of different production, and the standard ASM 5662M in the XY horizontal direction

№ зразку	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, Дж/см ²	Твердість, НВ
Сферичний порошок компанії «LPW»						
1	1490	1292	22,5	33,4	38,0	429
2	1492	1298	22,0	32,3	37,5	444
3	1488	1278	22,0	36,6	31,0	444
4	1481	1260	21,0	30,0	-	-
5	1493	1286	22,0	36,3	-	-
Сферичний порошок компанії «Sino Euro»						
1	1506	1312	15,2	18,5	120,1	430
2	1506	1316	15,6	15,4	134,8	444
3	1502	1310	20,0	18,8	137,8	444
4	1512	1325	15,2	15,0	-	-
5	1509	1323	16,0	18,7	-	-
Норми AMS 5662M						
	≥1276	≥1034	≥12	≥15	-	≥331

напрямку перевищення ударної в'язкості сплаву Inconel 718 на 10,25 Дж/см² в порівнянні з нормами ТУ 14-1-3905-85 для сплаву ХН45МВТЮБР-ВД (ЭП718-ВД) (табл. 2).

Аналізуючи жароміцні властивості циліндричних термооброблених зразків зі сплаву Inconel 718 встановлено, що (табл. 3):

- час до руйнування зразків з порошків компаній «LPW» та «Sino Euro» в вертикальному напрямку в 1,9 та 1,4 рази вище відповідно, ніж в горизонтальному напрямку;

- для зразків з порошку компанії «Sino Euro» в порівнянні зі зразками з порошку компанії «LPW» час до руйнування у 3,2 та 2,4 рази більше у горизонтальному та вертикальному напрямках відповідно.

Слід зазначити, що шляхом зміни параметрів виготовлення деталей методом SLS легше регулювати структуроутворення металевих виробів в процесі їх виробництва в порівнянні з виробами, отриманими методами лиття та кування.

Металографічними дослідженнями нетравлених шліфів встановлено, що мікроструктура зразків зі сплаву Inconel 718, вирощеного за допомогою технології SLS з порошку компанії «Sino Euro», після термообробки (вздовж ударного зразку) щільна, однорідна та характеризується дрібнозернистою будовою з наявністю макрозерен, що витягнуті в напрямку зростання зразка.

Таблиця 2

Механічні властивості сплаву Inconel 718, отриманого з порошків різного виробництва, та норми ASM 5662M та ТУ 14-1-3905-85 в вертикальному напрямку Z

Table 2

Mechanical properties of Inconel 718 alloy, obtained from powders of different production, and standards ASM 5662M and TU 14-1-3905-85 in the Z vertical direction

№ зразку	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, Дж/см ²	Твердість, НВ
Сферичний порошок компанії «LPW»						
1	1408	1210	24,0	42,2	-	-
2	1408	1197	23,5	39,4	-	-
3	1408	1193	29,0	42,4	-	-
4	1402	1209	26,5	42,2	-	-
5	1414	1200	24,0	42,3	-	-
Сферичний порошок компанії «Sino Euro»						
1	1425	1243	20,0	18,7	13,3	461
2	1428	1237	18,8	21,9	13,8	444
3	1432	1243	12,4	10,9	12,5	461
4	1433	1251	15,6	18,3	-	-
5	1431	1200	16,4	18,5	-	-
Норми AMS 5662M						
	≥ 1241	≥ 1034	≥ 10	≥ 12	-	≥ 331
Норми ТУ 14-1-3905-85						
	≥ 1250	≥ 700	≥ 12	≥ 14	$\geq 3,5$	363-293

Таблиця 3

Порівняння жароміцних властивостей сплаву Inconel 718, отриманого з порошків різного виробництва, та норми ASM 5662M та ТУ 14-1-3905-85

Table 3

Comparison of heat-resistant properties of Inconel 718 alloy obtained from powders of different production, and standards ASM 5662M and TU 14-1-3905-85

Характеристика	Час до руйнування, год	
	порошок компанії «LPW»	порошок компанії «Sino Euro»
Горизонтальний напрямок ХУ	49,3	158,3
Вертикальний напрямок Z	94,4	224
Норми AMS 5662M	23	
Норми ТУ 14-1-3905-85	60	

Спостерігається також незначна мікропористість (як в горизонтальному напрямку XY , так і в вертикальному напрямку Z) з розміром пор до 15 мкм.

Процес вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» з жароміцного сплаву за технологією селективного лазерного спікання передбачає передачу віртуальної геометричної моделі на обладнання, яке, потім, перетворює її в реальний виріб.

Розглядаючи можливості вирощення за допомогою технології SLS авіаційної деталі «Завихрувач», було побудовано цифрову 3D-модель, використовуючи програму Unigraphics NX 7.5 [19]. Побудова тривимірних моделей деталей авіаційних двигунів у середовищі NX7.5 починається зі створення ескізу деталі, використовуючи команду «Ескіз у середовищі задач».

Побудова цифрової 3D-моделі дозволяє виконати моделювання деталі «Завихрувач» в напрямках X , Y , Z та побачити її під різними кутами шляхом команди «Обертання» (рис. 1). Під час проектування вносилися зміни у вихідну геометрію через дерево побудов.

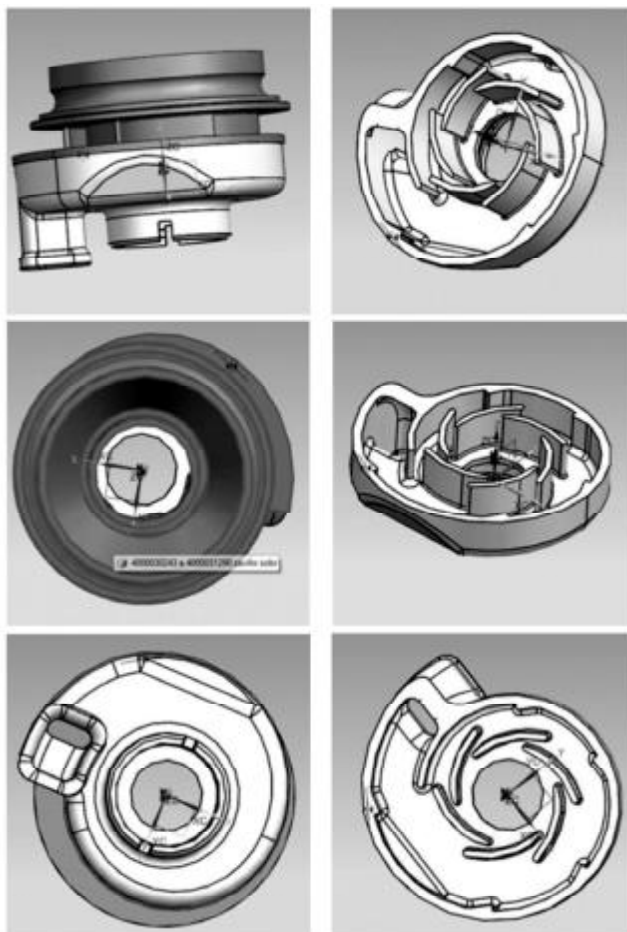


Рис. 1. Цифрова 3D-модель авіаційної деталі «Завихрувач» при різних кутах обертання.

Fig. 1. Digital 3D-model of the aviation spare part «Swirler» at sharp angles of rotation.

для побудови цифрової 3D-моделі використовували значення геометричних розмірів серійної деталі, температурний режим роботи вузла, показники жаростійкості, жароміцності, теплопровідності сплаву та інші показники.

Встановлено, що процес вирощування деталі «Завихрувач» з жароміцного сплаву за технологією селективного лазерного спікання характеризуються меншими числом технологічних операцій (зменшуються витрати на оснащення і додаткову механічну обробку) та спрощується прототипування виробів. При цьому вирощена деталь «Завихрувач» володіє на 12-17 % меншою масою (рис. 2).

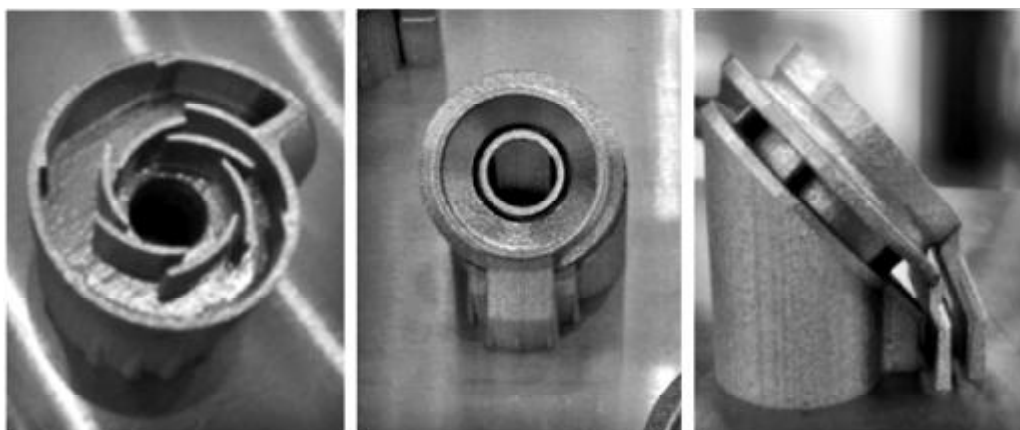


Рис. 2. Авіаційна деталь «Завихрувач», отримана шляхом механічної обробки.

Fig. 2. Aviation part «Swirler», obtained by machining.

Порівняльний аналіз механічних та жароміцних властивостей сплаву Inconel 718, отриманого з порошків компаній «LPW» та «Sino Euro», з нормативними характеристиками ASM 5662M (для сплаву Inconel 718) та ТУ 14-1-3905-85 (для сплаву ХН45МВТЮБР-ВД (ЭП718-ВД)) показав, що для зразків, вирощених в вертикальному напрямку Z, характерне деяке зниження характеристик міцності та підвищення пластичних характеристик в порівнянні з характеристиками зразків, вирощених в горизонтальному напрямку XY. Мікроструктура зразків зі сплаву Inconel 718 після термообробки (вздовж ударного зразка) щільна, однорідна та характеризується дрібнозернистою будовою з наявністю макрозерен, що витягнуті в напрямку зростання зразка.

Таким чином, показана можливість вирощування авіаційної деталі «Завихрувач» з жароміцного сплаву Inconel 718 за технологією селективного лазерного спікання.

Література

1. Плєскач В.М., Ольшанецький В.Ю. Жароміцні композити на металевій, інтерметалідній і керамічній основі // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2019. – № 1. – С. 87-89. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2019-1-14>

2. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
3. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. – М.: Инжмет Инжиниринг, 2001. – 622 с.
4. ГОСТ 5632-2014. Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные; принят 28.03.2014г. протокол № 65-П; введен 01.01.2015г. – М.: Стандартинформ, 2015. – 48 с.
5. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. – М.: Машиностроение, 1998. – 464 с.
6. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы: справочник. – М.: Металлургия, 1983. – 192 с.
7. Инконель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://saturn-sv.ru/inkonel>
8. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2013. – 568 с.
9. Климов Ю.М., Самойлов Е.А., Зезин Н.Л. и др. Детали механизмов авиационной и космической техники: учебное пособие; под ред. Ю.М. Климова, Е.А. Самойлова. – М.: МАИ, 1996. – 344 с.
10. Адитивні 3d технології. Адитивні технології – ривок в майбутнє [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://baxili.ru/uk/business-ideas/additivnye-3d-tehnologii-additivnye-tehnologii-ryvok-v-budushchee-cto.html>
11. Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.com/21865-Additivnye-tehnologii-i-izdeliya-iz-metalla-dovbysh-v-m-zabednov-p-v-zlenko-m-a.html>
12. Gnatenko M., Zhemanyuk P., Petryk I. and etc. Detecting the influence of heat sources on material properties when producing aviation parts by a direct energy deposition method // Eastern-european journal of enterprisetechologies. – 2019. – Vol. 1. – No 1. – pp. 49-55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157604>
13. Каблов Е.Н. Аддитивные технологии – доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект и технологии. – 2015. – № 2 (11). – С. 52-55.
14. Селективне лазерне спікання (Selective Laser Sintering, SLS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pro3d.com.ua/a368590-selektivne-lazerne-spikannya.html>
15. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – 2015. – 220 с.
16. Alloy 718 / Inconel 718 / UNS N07718 / 2.4668 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://emk24.ru/wiki/nikel_i_ego_splavy/alloy_718_inconel_718_n07718_4330575/
17. Vodennikova O.S., Koval M.O., Vodennikov S.A. Investigation of Mechanical Properties and Structure of Inconel 718 Alloy Obtained by Selective Laser Sintering from Powder Produced by 'LPW' // Metallofizica Noveishie Tekhnologii. – 2021. – Vol. 43, Issue 7. – P. 925-937. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.07.0925>
18. Коваль М.О., Воденнікова О.С. Дослідження механічних властивостей та структури сплаву IN718, отриманого методом 3D-принтингу // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 3. – С. 21-29. <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.3.03>
19. Иванов А.В., Заложных И.С., Барбарош К.О. Основы построения трехмерных моделей деталей ракетных двигателей в среде NX7.5: учебное пособие. – Воронеж:

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. – 156 с.

References

1. Pleskach V.M., Olshanetskyi V.Yu., *Novi materialy i tekhnologii v metalurhii ta mashynobuduvanni*, 2019, No. 1, pp. 87-89. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2019-1-14>
2. Kostochkin V.V., *Nadezhnost aviatsionnykh dvigatelei i silovykh ustanovok* (Reliability of aircraft engines and power plants). Moskva: Mashinostroenie, 1976, 248p. [in Russian].
3. Abraimov N.V., Eliseev Yu.S., *Khimiko-termicheskaya obrabotka zharoprochnykh staley i splavov* (Chemical and thermal treatment of heat-resistant steels and alloys). Moskva: Inzhemet Inzhiring, 2001, 622 p. [in Russian].
4. GOST5632-2014, *Nerzhaveyushchie stali i splavy korrozionno-stoykie, zharostoykie i zharoprochnye* (Stainless steels and corrosion resisting, heat-resisting and creep resisting alloys. Grades). Moskva: Standartinform, 2015, 48p. [in Russian].
5. Kablov E.N., Golubovskiy E.R., *Zharoprochnost nikelovykh splavov* (Heat resistance of nickel alloys). Moskva: Mashinostroenie, 1998, 464 p. [in Russian].
6. Maslennikov S.B., *Zharoprochnye stali i splavy: spravochnik* (Heat-resistant steels and alloys: a handbook). Moskva: Metallurgiya, 1983, 192 p. [in Russian].
7. Inkonel (Inkonel). Available at: <http://saturn-sv.ru/inkonel>. [in Russian].
8. Bezyazychnyy V.F., *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: uchebnik dlya vuzov* (Fundamentals of mechanical engineering technology: a textbook for universities). Moskva: Mashinostroenie, 2013, 568p. [in Russian].
9. Klimov Yu.M., Samoylov E.A., Zezin N.L., Efanov V.V., Komkov V.A., Mel'nikov V.M., Mikhaylov Yu.B., Motorin V.N., Pavlov A.D., Samoylov D.E., Syromyatnikov V.S., Timofeev I.A., Churkina T.Yu., *Detali mekhanizmov aviatsionnoy i kosmicheskoy tekhniki: uchebnoe posobie* (Details of the mechanisms of aviation and space technology: a textbook); pod red. Yu.M. Klimova, E.A. Samoylova. Moskva: MAI, 1996, 344 p.[in Russian].
10. *Adytyvni 3d tekhnologii. Adytyvni tekhnologii – ryvok v maibutnie* (Additive 3d technology. Additive technologies are a leap into the future). Available at: <https://baxili.ru/uk/business-ideas/additivnye-3d-tehnologii-additivnye-tehnologii-ryvok-v-budushchee-cto.html>. [in Ukrainian].
11. Dovbysh V.M., Zabednov P.V., Zlenko M.A., *Additivnye tekhnologii i izdeliya iz metalla* (Additive technologies and metal products). Available at: <http://docplayer.com/21865-Additivnye-tehnologii-i-izdeliya-iz-metalla-dovbysh-v-m-zabednov-p-v-zlenko-m-a.html>. [in Russian].
12. Gnatenko M., Zhemanyuk P., Petryk I., Sakhno S., Chigileichik S., Naumik V., Ovchinnikov A., Matkovskaya M., *Eastern-european journal of enterprisetechologies*, 2019, Vol. 1, No 1, pp. 49–55. [in English]. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157604>
13. Kablov E.N., *Intellekt i tekhnologii*, 2015, No. 2 (11), pp. 52–55. [in Russian].
14. *Celektyvne lazerne spikannia* (Selective Laser Sintering, SLS). Available at: <https://pro3d.com.ua/a368590-selektivne-lazerne-spikannia.html>. [in Ukrainian].
15. Zlenko M.A., Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii: posobie dlya inzhenerov* (Additive technologies in mechanical engineering: a guide for engineers). Moskva: GNTs RF FGUP «NAMI», 2015, 220 p. [in Russian].

16. Alloy 718 / Inconel 718 / UNS N07718 / 2.4668. Available at: https://emk24.ru/wiki/nikel_i_ego_splavy/alloy_718_inconel_718_n07718_4330575/. [in Russian].
17. Vodennikova O.S., Koval M.O., Vodennikov S.A., *Metallofizika Noveishie Tekhnologii*, 2021, Vol. 43, Issue 7, pp. 925–937. [in English]. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.07.0925>
18. Koval M.O., Vodennikova O.S., *Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnolohiya*, 2020, No. 3, pp. 21– 29. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.3.03>
19. Ivanov A.V., Zalozhnykh I.S., Barbarosh K.O. *Osnovy postroeniya trekhmernykh modeley detaley raketnykh dvigateley v srede NX7.5: uchebnoe posobie* (Fundamentals of construction of three-dimensional models of rocket engine parts in the environment NX7.5: a textbook). Voronezh: FGBOU VPO «Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet», 2014, 156 p. [in Russian].

Одержано 23.12.21

Vodennikova O. S., Koval M. O., Vodennikov S. A.

Creating of aviation part «Swirler» from Inconel 718 heat-resistant alloy by the technology of selective laser sintering

Summary

In order to solve the problems of improving the reliability and efficiency of aircraft engines, the paper considers as an alternative to traditional methods of obtaining aviation parts using additive production. According to the three-dimensional digital model (CAD/CAM/CAE-systems), additive technologies allow creating complex structures with high mechanical and operational characteristics. They must be complied with the standard ASTM F2792.1549323-1. The process of additive production is characterized by a sequence of operations: construction of a digital 3D-model → the choice of additive technology and its implementation → obtaining the finished part. In the work it is proposed to consider the possibility of growing the aircraft part «Swirler» from heat-resistant nickel alloy Inconel 718 by selective laser sintering technology in a 3D-printer type EOS M400 under the conditions of JSC «Motor Sich». Spherical nickel-based powders from Sino-Euro Materials Technologies of Xi'an Co., Ltd. were used as starting powder materials. (Sino Euro, China) and LPW Technology, Ltd (LPW, UK). The dependence of the mechanical and heat-resistant properties of the Inconel 718 alloy on the direction of growth of the part (in particular, the horizontal direction XY and the vertical direction Z) was established experimentally. Metallographic studies of Inconel 718 alloy samples before and after the heat treatment process were performed. With the help of Unigraphics NX 7.5, the modeling of an aircraft part was performed, which begins with the construction of a sketch, design of a digital 3D-model of the part and its editing. It is shown that the cultivation of the aviation part «Swirler» by the technology of selective laser sintering is characterized by: a smaller number of technological operations for the manufacture of «complex» in the geometric configuration of the part; reducing up to 6 times the lack of finished parts; reduction of material costs for equipment and additional machining; reduction to 12-17 % of the weight of the part in comparison with its metal analogue obtained by machining.

Keywords: additive technologies, selective laser sintering, Inconel 718, 3D-model, aviation part.