

“Zastosowanie metody druku 3D do wytworzenia elementu silnika tłokowego z Inconelu 738LC”

Celem doktoratu było opracowanie wytycznych technologicznych wytwarzania komory spalania wstępnego w spalinowym silniku tłokowym firmy Jenbacher 6 metodą przyrostową ze stopu INC738LC.

Cel ten postawiony przez firmę General Electric wynika z założenia, że dotychczasowy materiał (Nimonic 81) i technologia wytwarzania (odlewanie) tego elementu zastąpi się innym materiałem (INC738LC) i sposobem wytwarzania konkurencyjnym do dotychczasowego (przyrostowym).

Spodziewane korzyści to wydłużenie czasu eksploatacji części silnika poprzez:

- Zmianę sposobu wytwarzania na oszczędniejszy w stosunku do odlewania (obniżenie kosztów i skrócenie czasu wytwarzania)
- Polepszenie właściwości użytkowych, w szczególności:
 - Parametrów wytrzymałościowych w temperaturze podwyższonej
 - Żaroodporności

Aby zrealizować cel pracy zaplanowano do wykonania szereg zabiegów technologicznych prowadzących do otrzymania części silnika o założonych parametrach eksploatacyjnych.

W początkowym etapie realizacji badań dokonano optymalizacji procesu wytwarzania przyrostowego części silnika metodą DMLS. Otrzymany element spełniał wymogi wymiarowe, a powstałe niewielkie różnice w geometrii wynikały z konieczności zastosowania obróbki po-procesowej. Aby osiągnąć założone właściwości eksploatacyjne konieczne było przeprowadzenie następujących obróbek (zabiegów) po procesie drukowania (po-procesowych):

- Obróbki cieplnej,
- Zagęszczenia (ściskania) izostatycznego,
- Naniesienia warstwy żaroodpornej.

Po każdym z tych zabiegów technologicznych przeprowadzono badania właściwości użytkowych obrabianego elementu silnika.

Analiza właściwości użytkowych wskazuje, że ich założony poziom uzyskuje się już po zastosowaniu obróbki cieplnej elementu wydrukowanego (odniesione do stanu odlewane).

Zagęszczenie izostatyczne (HIP) elementu po wydruku i obróbce cieplnej powoduje istotną zmianę w rozkładzie naprężeń resztkowych. Po procesie HIP wartość naprężeń ma korzystny charakter ściskający na poziomie – 500 MPa. Z kolei naniesienie warstwy Ni-Al metodą CVD powoduje istotny wzrost żaroodporności w stosunku do stanu po obróbce cieplnej, a w szczególności do stanu odlewane.

Uzyskane wyniki badań mechanicznych i żaroodporności materiału drukowanego (INC738LC) z późniejszą obróbką cieplną wskazują na zwiększenie właściwości eksploatacyjnych wytworzonej części w stosunku do materiału referencyjnego (INC738LC - stan odlewany) oraz dotychczas stosowanego (Nimonic 81)

Słowa kluczowe: Inconel 738LC; Nimonic 81; Druk 3D; Bezpośrednie Spiekanie Laserowe Metali (DMLS); komora spalania wstępnego; silnik; odlew; Prasowanie Izostatyczne na gorąco (HIP); Osadzanie chemiczne z fazy gazowej (CVD).

Promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Mizera

Doktorant: Mgr inż. Brygida Zimowska

Promotor pomocniczy: dr inż. Kinga Wawer

“The use of the 3D printing method to produce a piston engine element from Inconel 738LC”

The aim of the doctorate was to develop guidelines for production of prechamber to combustion piston engine to Jenbacher 6 from Inconel 738LC nickel alloy powder using the DMLS technique. This goal set by the General Electric company assumes that the existing material (Nimonic 81) and manufacturing technology - casting of this element will be replaced by a material and a production method that is competitive to the current one.

The expected benefits are extending the service life of pre-chamber by:

- Change of the production method to be more economical in relation to casting (lowering costs and shortening the production time)
- Improvement of functional properties, in particular:
 - Strength parameters at elevated temperature
 - Heat resistance

In order to achieve the aim of the work, a series of technological procedures were planned to be performed, leading to obtaining engine parts with the assumed operating parameters.

At the initial stage of the research implementation, the DMLS method of additive manufacturing of engine parts was optimized. The obtained element met the dimensional requirements, and the resulting slight differences in geometry resulted from the necessity to use post-process treatment. To achieve the assumed operational properties, it was necessary to carry out the following treatments after the printing process (post-processing):

- Heat treatment
- Hot isostatic Pressing
- Applying a heat resistance layer

After each of these technological treatments, tests of the condition and functional properties of the processed engine element were carried out.

The analysis of the functional properties (strength parameters, hardness, residual stresses and heat resistance) show that their improvement is obtained after applying heat treatment of the printed element (related to the cast condition).

The isostatic pressing (HIP) of an element after printing and heat treatment causes a significant change in the distribution of residual stresses. After the HIP process, the stress value has a favourable compressive character at the level of - 500 MPa. In turn, applying the Ni-Al heat resistance layer by CVD method causes a significant increase in heat resistance compared to the condition after heat treatment, in particular to the cast material.

The obtained results of mechanical tests and heat resistance of the printed material (INC738LC) with subsequent heat treatment indicate an increase in the operational properties of the manufactured part compared to the reference material (INC738LC - cast condition) and the one used so far (Nimonic 81)

Key words: Inconel 738LC; Nimonic 81; 3D Printing; Direct Metal Laser Sintering (DMLS); pre-chamber; engine; casting; Hot Isostatic Pressing (HIP); Chemical Vapour Deposition (CVD).