

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Materiały lotnicze o zaawansowanej strukturze (monokryształ, krystalizacja kierunkowa)

Aeronautical materials of advanced structure (monocrystal, directional crystallization)

Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego

Title of the innovative solution

Kontrola zanieczyszczeń pierwiastkami z grupy żelaza materiałach stosowanych na rdzenie i formy ceramiczne metodą spektrometrii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR).

Ceramic cores and moulds iron type impurities contamination control by electron paramagnetic resonance (EPR).

Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Wykrywanie zanieczyszczeń które posiadają niesparowany spin elektronowy: jony z grupy żelaza, metale przejściowe, wolne rodniki oraz defekty i domieszki np. azot w diamencie o bardzo niewielkiej zawartości. Metoda EPR jest jedną z najczulszych metod. Można badać materiały proszkowe, ciecze lub kryształy. Można wykrywać zmiany wartościowości, uzyskiwać informacje o wiązaniach chemicznych i oddziaływaniach jonu z siecią. Opracowano prostą metodykę pomiarów zanieczyszczeń w oparciu o charakterystyczne linie widma EPR.

Detection of impurities which have an unpaired electron spin: ions from the iron group, transition metals group, free radicals, and defects and impurities, eg. low nitrogen content in a diamond. EPR is one of the most sensitive methods. One can explore powder materials, liquids or crystals, detect valence changes and get information about chemical bonds, and ion interaction with the lattice. Simple methodology for measurement of impurities based on EPR spectra characteristic lines have been developed.

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego

Title of the innovative solution

Metoda badania doskonałości struktury monokryształów

Single crystals structure excellence test method

Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Rozwiązanie polega na opracowaniu konstrukcji urządzenia wykorzystującego promieniowanie rentgenowskie oraz metodyki badań doskonałości krystalicznej odlewów z nadstopów niklu o mikrostrukturze monokrystalicznej. W tym celu został skonstruowany dyfraktometr rentgenowski, który umożliwił wyznaczenie wartości parametrów charakteryzujących doskonałość monokryształów.

The solution is a development of X-ray equipment and methodology for single-crystal microstructure excellence investigation of nickel-based superalloys castings. For this purpose X-ray diffractometer was designed, which allows to determine the parameters characterizing excellence of single-crystals.

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego

Title of the innovative solution

Lejna mieszanina formierska do produkcji warstw przymodelowych ceramicznych form odlewniczych na osnowie tlenku itru oraz spoiwa zawierającego nanocząstki tlenku glinu

Liquid moulding mixture for production of ceramic shell moulds near-model layer based on yttrium oxide and a binder containing nanoparticles alumina

Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Lejna mieszanina formierska do produkcji ceramicznych form odlewniczych na bazie mieszaniny proszków o różnej wielkości cząstek Y2O3 o granulacji (200 oraz 325 mesh) dodawanych w proporcjach 50%-50% wag, albo 35%-65% wag, albo 65%-35% wag, wodnego nanokompozytu zawierającego koloidalny Al2O3 o średniej wielkości cząstek 5 nm - 100 nm i zawartości Al2O3 40% wagowych, jednego spoiwa w ilości 6% + 15% objętościowo w stosunku do ilości wodnego nanokompozytu zawierającego koloidalny Al2O3 wybranego z grupy: wodorozpuszczalny poli(alkohol winylowy) o stopniu hydrolizy 77 - 88% i ciężarze cząsteczkowym 14000 g/mol - 130000 g/mol albo wodorocieńczalna dyspersja polimerowa poli(akrylowa) albo poli(uretanowa) o temperaturze zeszklenia -60 °C do +50°C i zawartości fazy stałej w dyspersji 16 - 50% wagowych, środka antypienicznego w ilości 0,010-0,075 % objętościowo w stosunku do ilości dwóch spoiw, środka zwilżającego w ilości 0,010-0,075% objętościowo w stosunku do ilości dwóch spoiw, przy czym udział fazy stałej wynosi 70-85% wagowych a udział mieszaniny proszków o różnej wielkości cząstek Y2O3 o granulacji (200 oraz 325 mesh) dodawanych w proporcjach 50%-50% wag, albo 35%-65% wag, albo 65%-35% wag.

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego

Title of the innovative solution

Technologia nanoszenia cienkich warstw dwutlenku cyrkonu na powierzchni rdzeni ceramicznych przeznaczonych na łopatkę turbin silników lotniczych.

Zirconium dioxide thin film deposition technology on the surface of the ceramic cores intended for aircraft engine turbine blades.

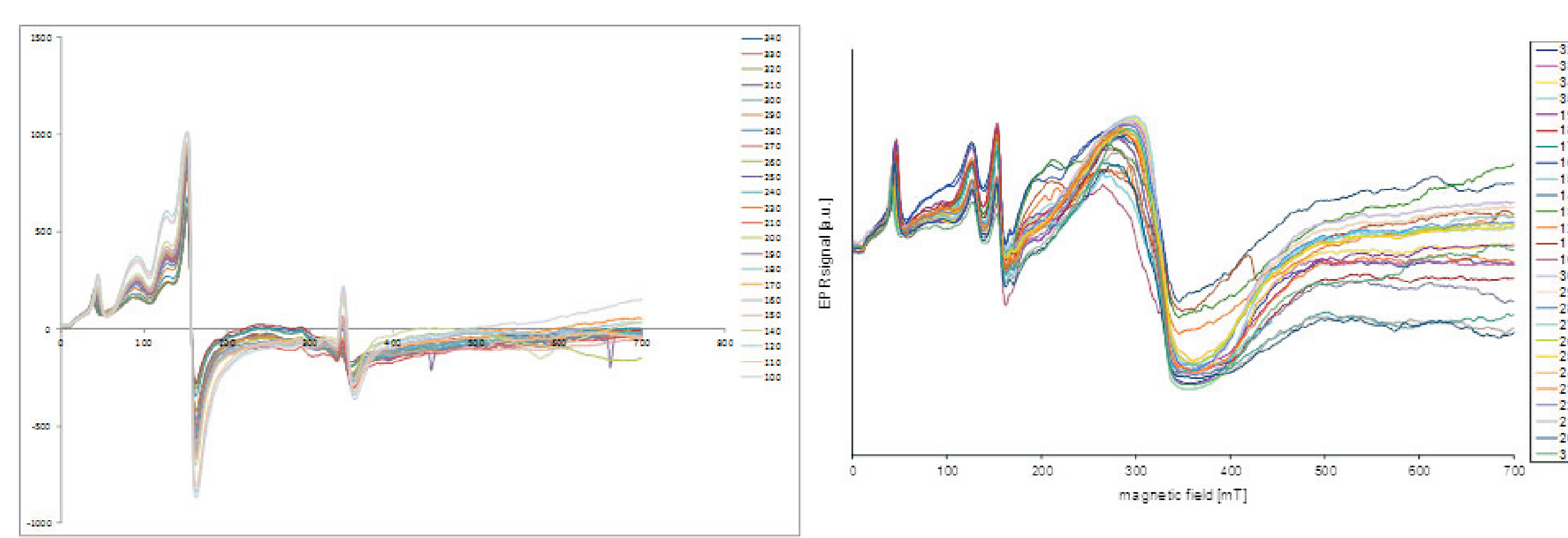
Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Idea rozwiązania jest nanoszenie cienkiej warstwy ceramicznej na powierzchni rdzeni przeznaczonych do wytwarzania łopatek turbin silników lotniczych przy użyciu metod cienkowarstwowych. Warstwy te mają na celu poprawić gładkość powierzchni rdzeni ceramicznych a co za tym idzie gładkość powierzchni kanałów wewnętrznych łopatek. Do realizacji tego celu jest używany proszek dwutlenku cyrkonu stabilizowany tlenkiem itru (YSZ). Jest to materiał charakteryzujący się wysoką ogniotrwałością wynoszącą 1800°C. Ponadto materiał ten charakteryzuje się bardzo małą chropowatością w przypadku otrzymywania metodami cienkowarstwowymi Ra < 1µm. Przy użyciu tego proszku wytwarzana jest zawieszina z etanolem oraz nośnikiem w skład, którego wchodzi etyloceluloza jako spoiwo i bis(zetylohexylo)ftalan jako plastyfikator. Warstwy przy użyciu tej zawiesziny są nanoszone na powierzchni rdzeni ceramicznych przy użyciu metod cienkowarstwowych Dip Coating i Ink Jet Printing (IJP). Metoda IJP polega na rozpyleniu nad substratem przy użyciu dyszy elektromagnetycznej wykonanej zawiesziny proszku ceramicznego. Dysza ma średnicę rzędu kilkudziesięciu do stu mikrometrów a zawieszina jest rozpylana w postaci kropelek o średnicy od kilkunastu do kilkudziesięciu mikrometrów z częstotliwością do kilkunastu kiloherców (rys. 1-2). W metodzie Dip Coating warstwa uzyskiwana jest poprzez zanurzenie ze stałą prędkością całego elementu, bądź jego fragmentu, w zawieszinie. Element pozostaje zanurzony w zawieszinie przez pewien ustalony czas a następnie jest powoli ze stałą prędkością wyciągany na zewnątrz. Osadzenie warstwy następuje w trakcie procesu przetrzymywania i wyciągania elementu. Po naniesieniu rdzenie z warstwami są suszone i spiekane w elektrycznym piecu wysokotemperaturowym. W porównaniu do rdzeni bez naniesionej warstwy wartość chropowatości powierzchni rdzeni jest o 36 (ink jet printing) i 40% (dip coating) mniejsza (tab. 1, rys. 3). Dodatkowo warstwy te zwiększają ogniotrwałość rdzeni podczas zalewania stopem oraz w przypadku przetapiania stopów ze znaczną zawartością niklu, aluminium, chromu i tytanu znacznie ograniczają korozję redukującą dwutlenku krzemu (główny składnik rdzenia ceramicznego).

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

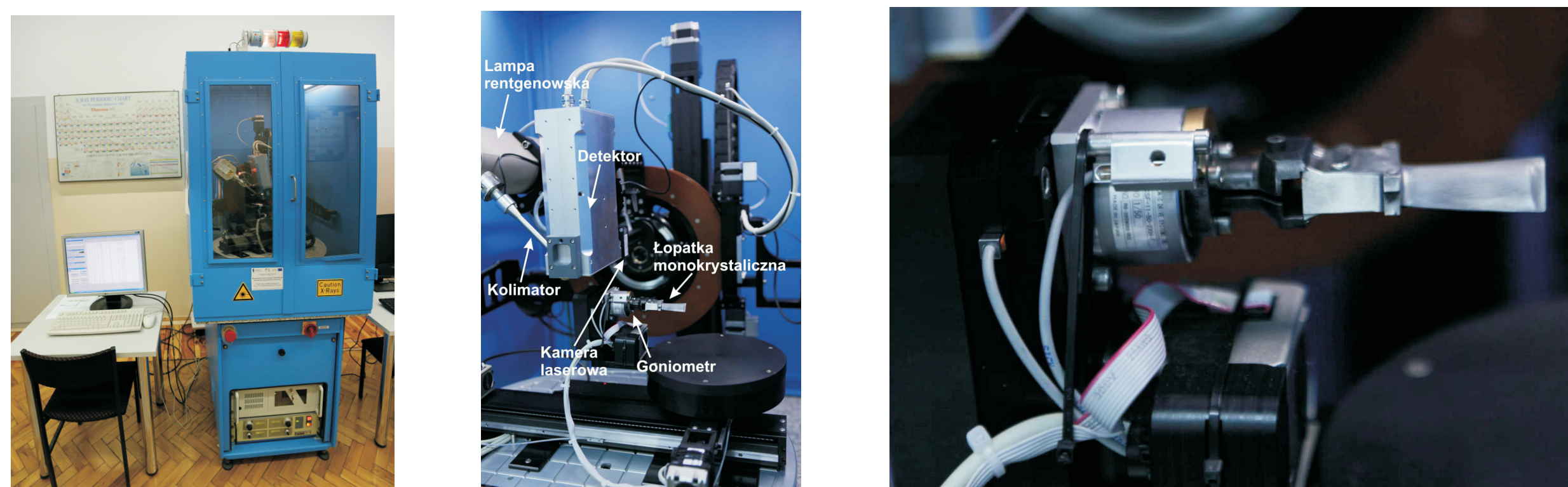
Visualization of the innovative solution



Wykresy EFG
EFG diagrams

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

Visualization of the innovative solution



Rys. 1. Dyfraktometr rentgenowski firmy EFG do badania orientacji krystalicznej nadstopów niklu

Fig. 1. X-ray diffractometer by EFG company for nickel-based superalloys crystal orientation investigation

Rys. 2. Podstawowe zespoły dyfraktometru EFG do badania orientacji krystalicznej nadstopów niklu

Fig. 2. Basic components of EFG diffractometer for nickel-based superalloys

Rys. 3. Goniometr dyfraktometru EFG do badania orientacji krystalicznej nadstopów niklu

Fig. 3. The goniometer of the EFG diffractometer for nickel-based superalloys crystal orientation examination

Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Liquid moulding mixture for production of ceramic casting moulds based on mixture of powders of different Y2O3 particle sizes with a grain size of 200 and 325 mesh, added in proportions of 50% -50% by weight, or 35% -65% by weight, or 65% -35% by weight, aqueous nanocomposite comprising colloidal Al2O3 having an average particle size of 5 - 100 nm and an Al2O3 content of 40% by weight, a binder in an amount of 6 to 15% by volume to compare to the amount of aqueous nanocomposite comprising colloidal Al2O3 selected from the group of water-soluble poly (vinyl alcohol) characterized by a degree of hydrolysis of 77 - 88% and a molecular weight of 14,000 - 130,000 g/mol or waterborne dispersion polymer poly (acrylate) or poly (urethane) characterized by a glass transition temperature of -60 to 50 °C and a constant 16 - 50% by weight solid phase content, antifoaming agent in an amount of 0,010-0,075% by volume of two adhesives, moistening agent in an amount of 0,010-0,075% by volume of the amount of the two binders, where proportion of the solid phase is 70-85% by weight and the proportion of a mixture of powders to Y2O3 different particle sizes of a 200 and 325 mesh grain size added in a proportions of 50% - 50% by weight, or 35% -65% by weight, or 65% -35% by weight.

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

Visualization of the innovative solution



Krótki opis rozwiązania

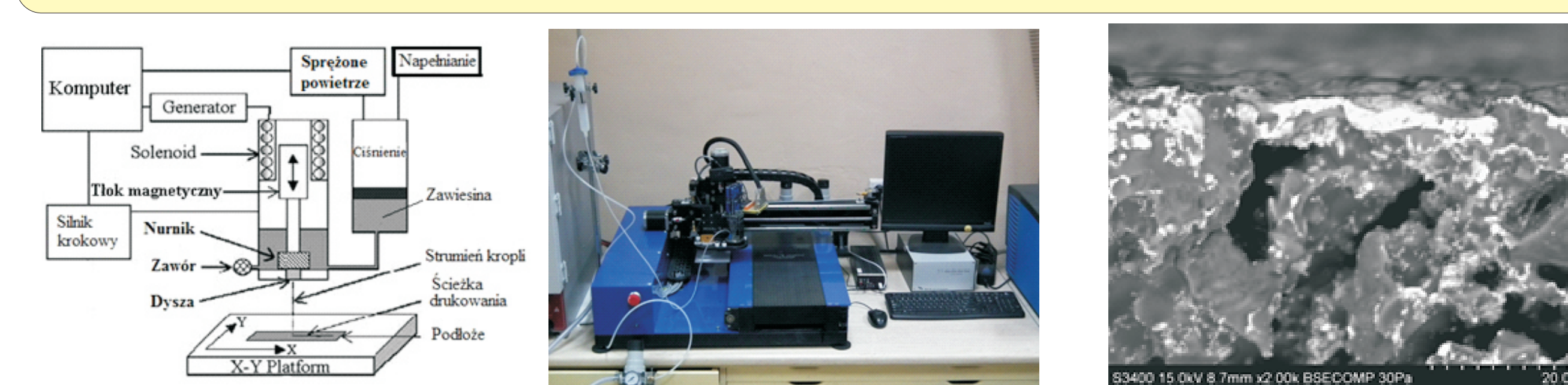
Brief description of the solution

The idea behind the solution is to apply a thin ceramic layer on the surface of the core for the manufacture of aircraft engine turbine blade. These layers are intended to improve the surface smoothness of the ceramic cores, and thus the smoothness of the surface of internal passages of the blades. To accomplish this is to use a powder of yttrium stabilized zirconia (YSZ). This material is characterized by high refractoriness of 1800 °C. In addition, this material has a very low roughness in case of Ra < 1 µm. With use of this powder slurry is produced, which is based on ethanol, and the carrier in a composition including cellulose as a binder and bis (zetylohexylo) ftalanate as a plasticizer. The slurry layers are applied on the surface of the ceramic core using Dip-coating and Ink Jet Printing (IJP) methods. IJP method involves spraying of the substrate using electromagnetic nozzle. The nozzle has a diameter of several tens to one hundred micrometres and the slurry is sprayed in the form of droplets with a diameter of several to several tens of micrometres with several kilohertz frequency (Fig. 1-2). In the Dip-coating method layer is obtained by immersing in the slurry of whole element or fragment thereof with a constant speed. The element is immersed in the slurry for a predetermined time and is then slowly pulled at a constant speed. The deposition of layer occurs in the process of holding and pulling of the element. After application, the layered cores are dried and sintered in an electric high-temperature furnace. Compared to cores without coating, surface roughness is by 36% (IJP), and 40% (Dip-coating) lower (Tab. 1, Fig. 3). In addition, these layers increase heat resistance of the cores during casting, and in case of alloys remelting, with a significant content of nickel, aluminum, chromium and titanium significantly reduce the silica reduction corrosive processes (main component of the ceramic core).

Tab. 1 Wyniki badań chropowatości powierzchni i deformacji rdzeni z naniesioną i spieczoną warstwą

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

Visualization of the innovative solution



Rys. 1. Schemat metody Ink Jet Printing

Fig. 1. Ink Jet Printing scheme

Rys. 2. Urządzenie do Ink Jet Printingu

Fig. 2. Ink Jet Printing device

Rys. 3. Powierzchnia przekroju rdzenia z naniesioną warstwą YSZ wypalony metodą Dip Coating z warstwą YSZ wypalony w temperaturze 1300°C.

Fig. 3. The cross-sectional area of the core with applied YSZ coating by Dip-coating method sintered at 1300 °C.

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego

Advantages and restrictions of innovative solution

Możliwość pomiarów zanieczyszczeń na poziomie dotychczas niemożliwym do detekcji w oparciu o standardowe metody pomiarowe. Ograniczeniem jest możliwość badań materiałów które mają niezerowy wypadkowy spin. The possibility of impurities content measurement at a level previously impossible to detect using standard methods of measurement. Limitation is testing of materials with a non-zero resultant spin.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki

Examples of application in aviation and other branches

Możliwe zastosowania metody EPR w szerokim zakresie obejmującym sektory: lotniczy, motoryzacyjny, biotechnologiczny, ceramiczny, chemiczny, tworzyw sztucznych, kosmetyczny, spożywczy, farmaceutyczny.

Possible applications of EPR method in a wide range of sectors including: aerospace, automotive, biotechnology, ceramics, chemicals, polymers, cosmetics, food and pharmaceuticals.

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego

Advantages and restrictions of innovative solution

Zaletą opracowanego urządzenia i dedykowanej metodyki wykonywania pomiarów jest nieniszcząca metoda badań (dotychczas stosowane są metody niszczące – wymagane jest przygotowanie próbek metodami cięcia, szlifowania i polerowania). Opracowana metodyka badań umożliwia ocenę doskonałości krystalicznej odlewów z nadstopów niklu bez konieczności przygotowywania próbek do badań oraz skracając czas ich wykonania.

Ograniczeniem są wymiary badanych wyrobów (100 x 100 x 20 mm) The advantage of developed equipment and dedicated measurement is a non-destructive testing method (yet destructive methods are used – specimens preparation by cutting, grinding and polishing is required). Developed methodology allows assessment of crystal excellence of castings made of nickel-based superalloys without preparation of test samples what shortens the time of their preparation.

Dimensions limitation of the test products (100 x 100 x 20 mm)

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki

Examples of application in aviation and other branches

Rozwiązanie może być zastosowane do badań wyrobów o mikrostrukturze monokrystalicznej (np. łopatki turbin wysokiego ciśnienia silników lotniczych, elementy monokrystaliczne stosowane w przemyśle motoryzacyjnym, itp.)

The solution can be used to study products of single-crystal microstructure (eg. Aircraft engine high pressure turbine blades, single-crystal elements used in the automotive industry, etc.).

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego

Advantages and restrictions of innovative solution

Możliwość wytwarzania form ceramicznych, które w kontakcie z reakcyjnymi stopami niklu i tytanu nie powodują reakcji chemicznej, co zmniejsza wady w odlewie oraz koszty obróbki końcowej produktu. Produkcja tylko jednej warstwy tzw. przymodelowej (pierwszej), która ma bezpośredni kontakt z odlewaniem stopem z powodu większej ceny w porównaniu ze stosowanymi obecnie proszkami ceramicznymi.

The possibility of production of ceramic moulds, which in contact with the reactive nickel and titanium based alloys do not cause any chemical reaction, what reduced amount of defects in the casting and machining cost of the final product. Manufacturing of only one so-called near-model layer (first), which has direct contact with the cast alloy, due to higher prices compared with currently used ceramic powders.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki

Examples of application in aviation and other branches

Odlewanie precyzyjne części silników i maszyn

Investment casting of engines and machines elements

Tab. 1 Wyniki badań chropowatości powierzchni i deformacji rdzeni z naniesioną i spieczoną warstwą dwutlenku cyrkonu

Tab. 1 Test results of surface roughness and the deformation of the cores with deposited and sintered layer of stabilized zirconia

Coating method	Surface roughness [µm]	The deflection of the core during sintering [mm]
No coating	2,5	0,05
Ink Jet Printing	1,6	0,05
Dip coating	1,4	0,05

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego

Advantages and restrictions of innovative solution

Poprawa jakości powierzchni wewnętrznych kanałów łopatek turbin co przełoży się bezpośrednio na zmniejszenie wystąpienia defektów powierzchniowych a to z kolei spowoduje poprawę bezpieczeństwa użytkowania silników lotniczych. Zmniejszenie brakowości wytwarzanych łopatek turbin silników lotniczych co przełoży się na zmniejszenie kosztów jednostkowych produkcji łopatek.

Ograniczeniem jest możliwość badań materiałów które mają niezerowy wypadkowy spin.

Improvement of the quality of internal surfaces of turbine blades channel which translate directly into reduction of surface defects and improvement of operational safety of aircraft engines. Reducing of defected aircraft engine turbine blades translate into a reduction in unit production costs of the blades.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki

Examples of application in aviation and other branches

Przemysł lotniczy. Odlewania precyzyjna łopatek turbin silników lotniczych. Przemysł energetyczny. The aviation industry. Aircraft engine turbine blades foundry. Energy industry.