

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti

Plastic forming of aeronautical Al (including Al-Li) and Ti alloys

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego

Title of the innovative solution

Zastosowanie metody DMLS spieku proszku ze stopów tytanu w wytwarzaniu modeli odkuwek elementów konstrukcji lotniczych.

The application of direct metal laser sintering (DMLS) of titanium alloy powder in fabricating models forgings of aircraft structures components.

Krótki opis rozwiązania

Brief description of the solution

Stopy tytanu są powszechnie stosowane w przemyśle lotniczym do wytwarzania tzw. zimnych części silnika. Decyduje o tym bardzo korzystny stosunek masy do wytrzymałości, wytrzymałości do gęstości (współczynnik jakości materiału) oraz odporność na utlenianie. Najczęściej wykorzystuje się stop Ti6Al4V, który poddawany ulepszeniu cieplnemu osiąga wytrzymałość ok. 1200 MPa. Opracowane w Politechnice Rzeszowskiej konstrukcje przekładni lotniczych przewidują zastosowanie odkuwek kół zębatach wykonanych ze stopu tytanu. Do wstępnego etapu weryfikacji fizycznej i badań stanowiskowych wykorzystano prototypy kół zębatach wykonanych technologią laserowego spieku proszku ze stopu Ti6Al4V. Pozwoliło to na optymalizację późniejszego procesu plastycznego kształtowania kół. Proces budowy modelu realizowany jest na platformie roboczej, gdzie proszek rozprowadzany jest kolejno warstwa po warstwie. Wiązka lasera o mocy 200 W spieka warstwę – w pierwszej kolejności obrys przekroju, następnie wypełnia wnętrze przekroju warstwy. Po utwardzeniu platforma robocza obniża się o grubość warstwy (0,03 mm) i następuje ponowne rozprowadzenie proszku. Zgarniacz proszku wyposażony jest w nóż, który podczas nanoszenia kolejnej warstwy ścina nieregularne ziarna spieczone na powierzchni poprzedniej warstwy oraz fragmenty modelu odkształcone termicznie (są to najczęściej niedostatecznie podparte obrzeża modelu). Nadmiar proszku wraz ze wspomnianymi wiórkami trafia do lewej komory. Utwardzanie kolejnej warstwy powoduje nadtopienie warstwy poprzedniej, tworzy się jednolita bryła modelu.

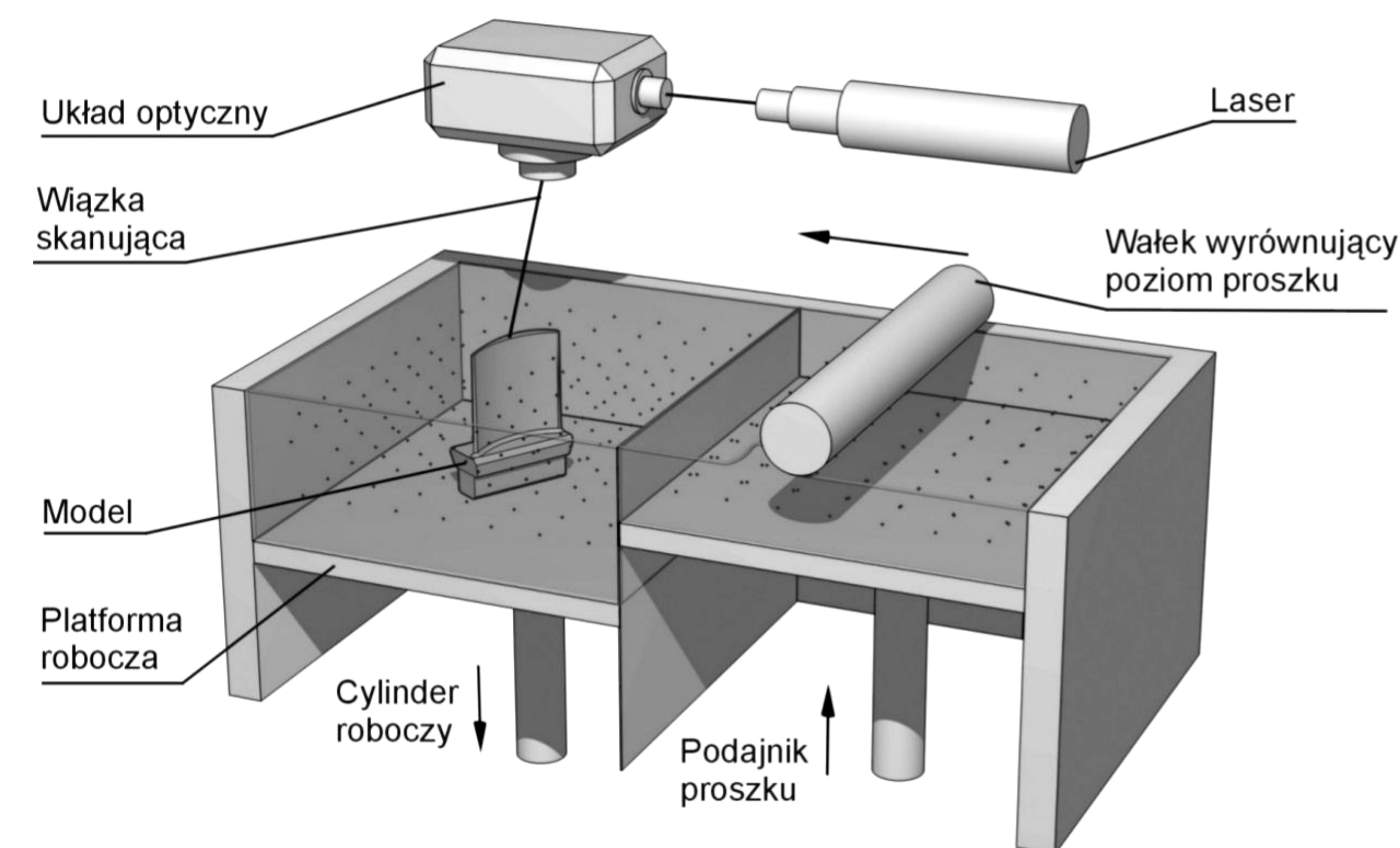
Titanium alloys are commonly used in the aircraft industry for manufacturing of the so-called cold engine parts. This is due to their superior mass-to-strength and strength-to-density (material quality) ratios as well as their oxidation resistance. Ti6Al4V is the most frequently used alloy, which, when toughened, achieves strength of approx. 1200 MPa. The design of a aircraft gears developed at the Rzeszow University of Technology involves the use of forgings of gears made of a titanium alloy. Gear wheel prototypes made with laser sintering technology using Ti6Al4V alloy powder were produced for preliminary physical verification and bench testing. This allowed for the optimization of the subsequent gear wheel plastic-forming process. The model construction process is performed on a work platform, where the powder is distributed layer by layer. A layer is sintered by a 200 W laser beam – at first, the outline of the cross-section, then the interior of the layer's cross-section is sintered. After curing, the work platform is lowered by layer thickness (0.03 mm) and the powder is distributed again. The powder scraper is equipped with a blade, which during the application of the next layer cuts off any irregularly sintered grain on the surface of the previous layer or thermally distorted parts of the model (these usually include insufficiently supported edges of the model). Excess powder with the chips enters the left chamber. The hardening of the layer causes a partial melting of the previous layer, thus providing a uniform body of the model.

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

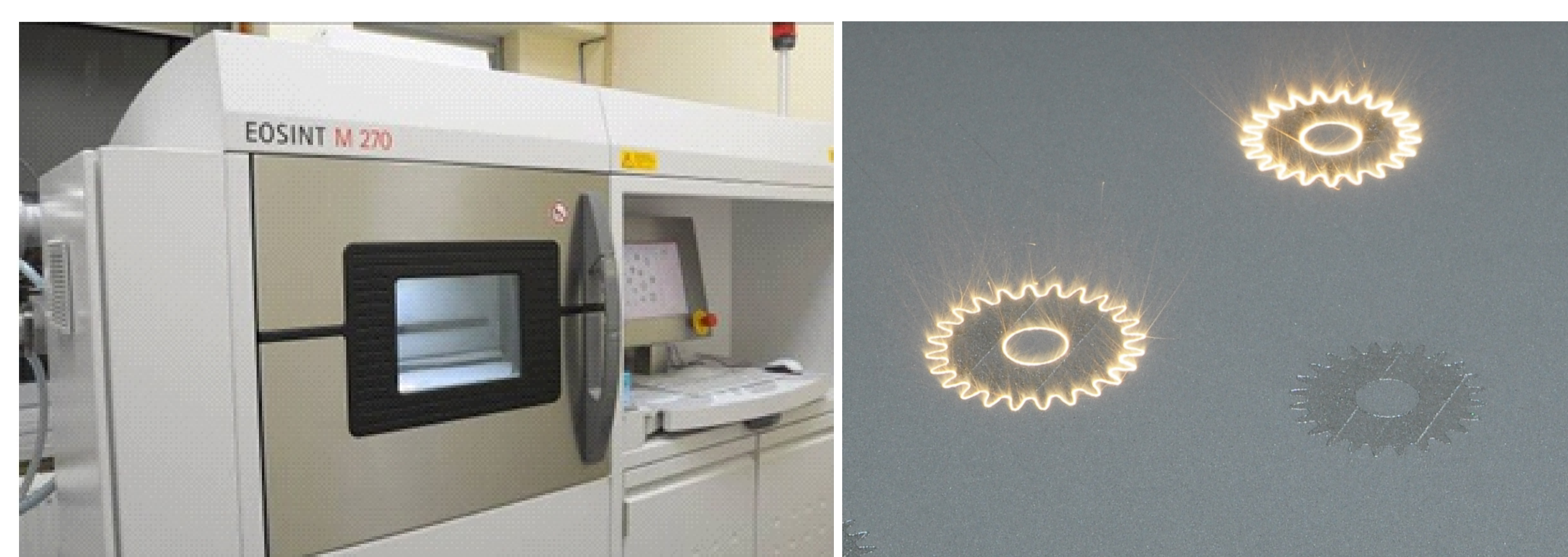
Visualization of the innovative solution

Tab.1. Zestawienie podstawowych danych materiałowych dla proszku EOS Ti64
Tab.1. A summary of basic material data for EOS Ti64 powder

Parametr	Jednostka	Wartość dla proszku EOS Ti64
Grubość warstwy w procesie spieku DMLS	μm	30
Minimalna grubość ścianki modelu w procesie spieku DMLS	mm	0,3 – 0,4
Prędkość spieku modelu (dla standardowych parametrów) w procesie DMLS	mm ³ /s	3
Dokładność odwzorowania modelu CAD w procesie DMLS	μm	30 – 50
Chropowatość powierzchni przed obróbką mechaniczną Ra	μm	9 – 12
Współczynnik sprężystości (Moduł Younga)	GPa	110 ± 7
Wydlużenie przy zerwaniu	%	11 ± 2
Wytrzymałość na rozciąganie w kierunku poziomym	MPa	1160 ± 60
Granica plastyczności (Rp 0,2%) w kierunku poziomym	MPa	1030 ± 70
Twardość wg Vickersa	HV	400 – 430
	HRC	41 – 44
Gęstość	g/cm ³	4,43



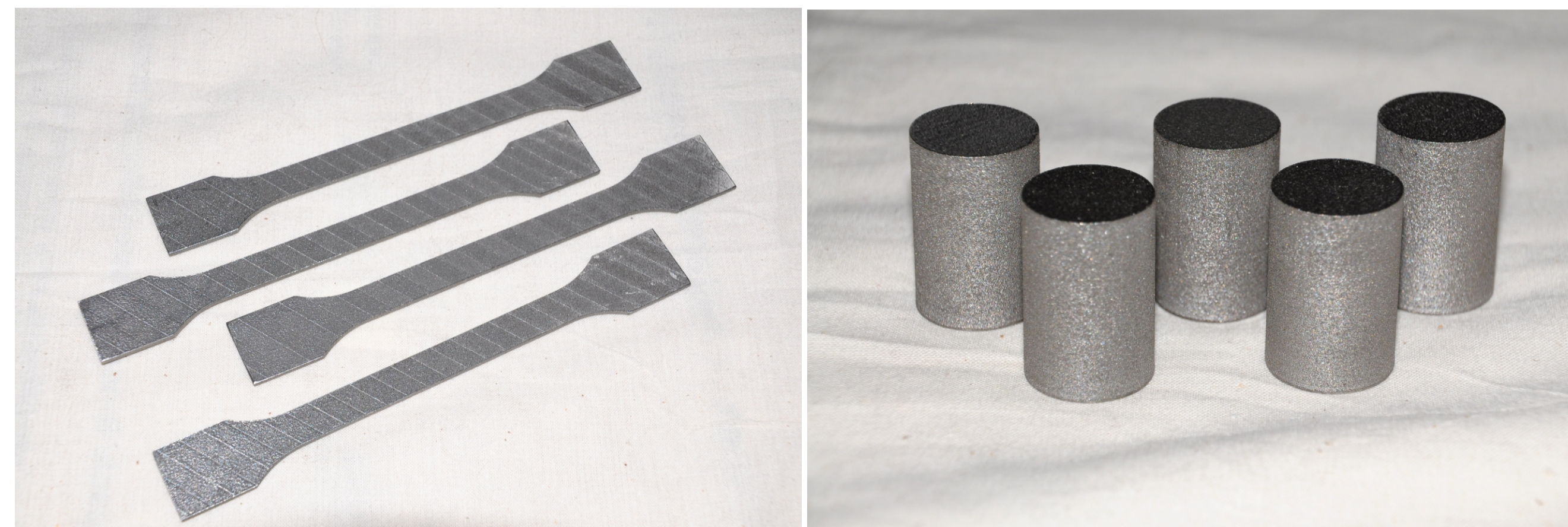
Rys.1. Schemat budowy modelu w procesie spieku proszku ze stopu tytanu
Fig.1. An overview of model fabrication by titanium alloy powder sintering process



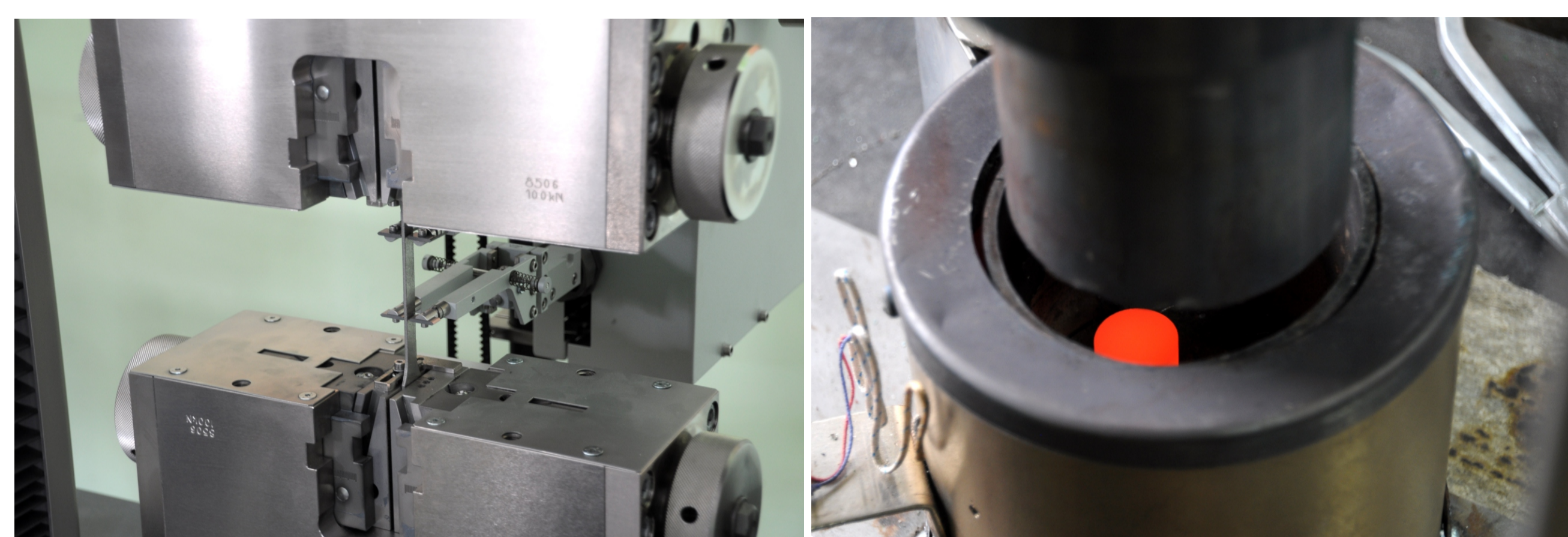
Rys.2. Aparatura EOS Eosint M270. Proces spiekania kolejnej warstwy proszku ze stopu tytanu
Fig.2. EOS Eosint M 270 instrumentation. The process of sintering another layer of titanium alloy powder

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

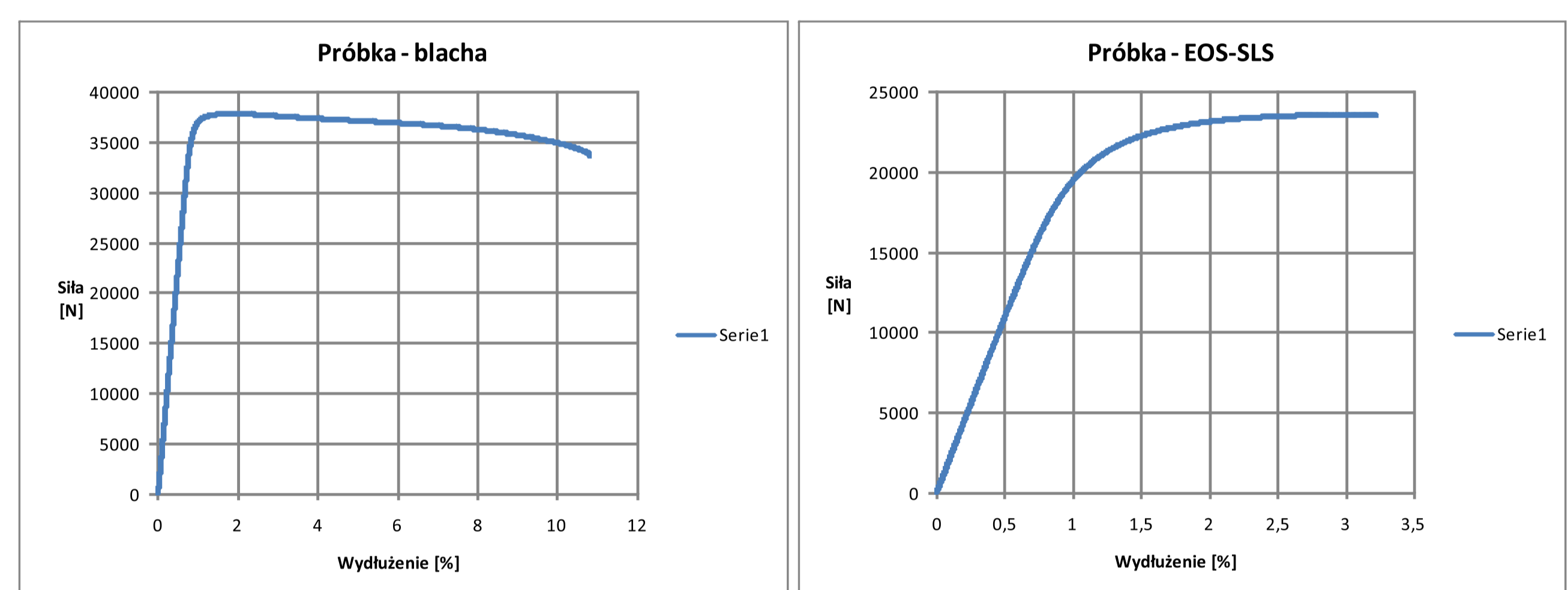
Visualization of the innovative solution



Rys.3. Modele DMLS do próby rozciągania i spęczania
Fig.3. DMLS models for the tensile test, and for the upsetting test



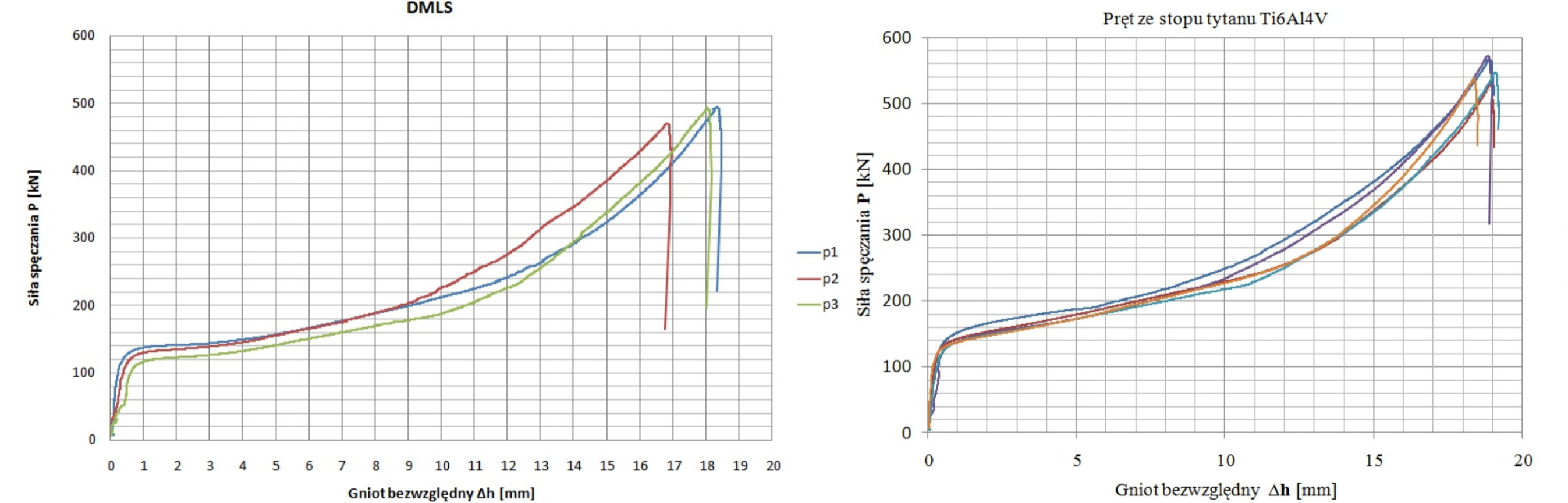
Rys.4. Rozciąganie i spęczanie próbek ze stopu Ti6Al4V
Fig.4. Tensile and upsetting test of Ti6Al4V alloy samples



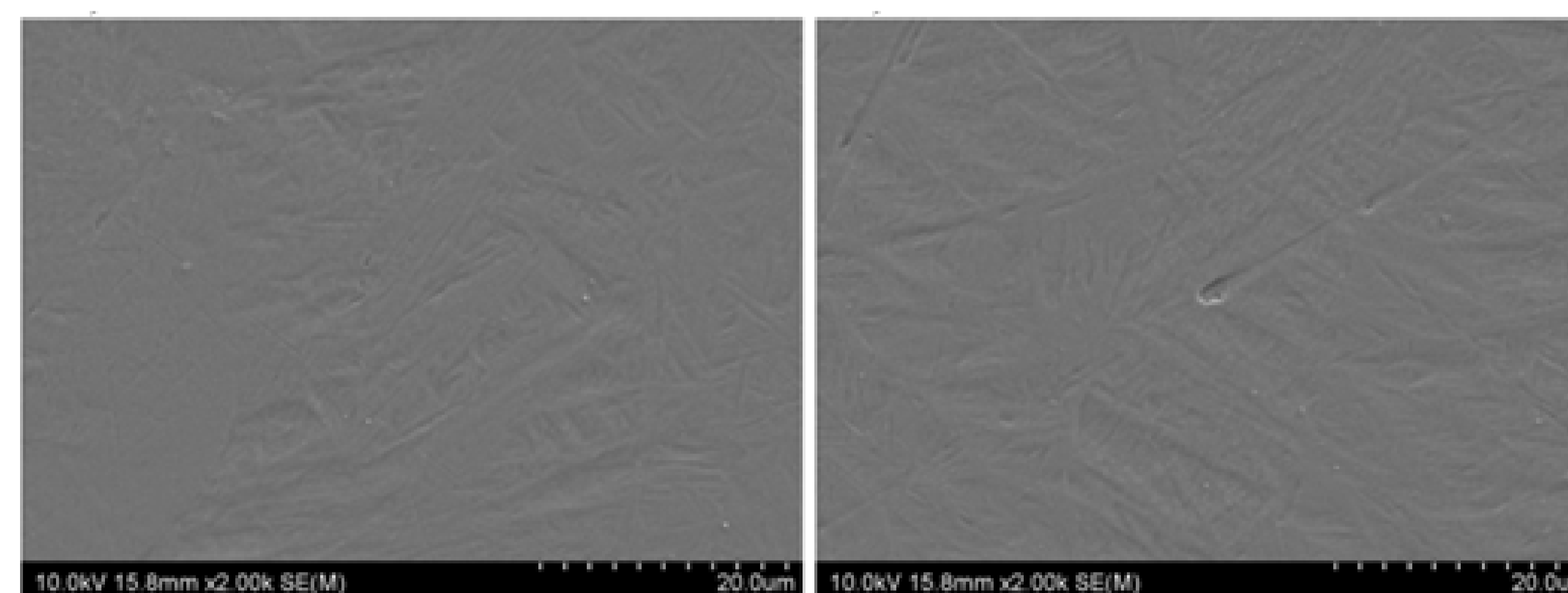
Rys.5. Charakterystyka rozciągania dla blachy ze stopu Ti6Al4V oraz dla modeli DMLS
Fig.5. Tensile characteristics of samples made of Ti6Al4V alloy sheet and DMLS models

Tab.2. Wyniki rozciągania próbek ze stopu Ti6Al4V
Tab.2. Results of the tensile test of Ti6Al4V alloy samples

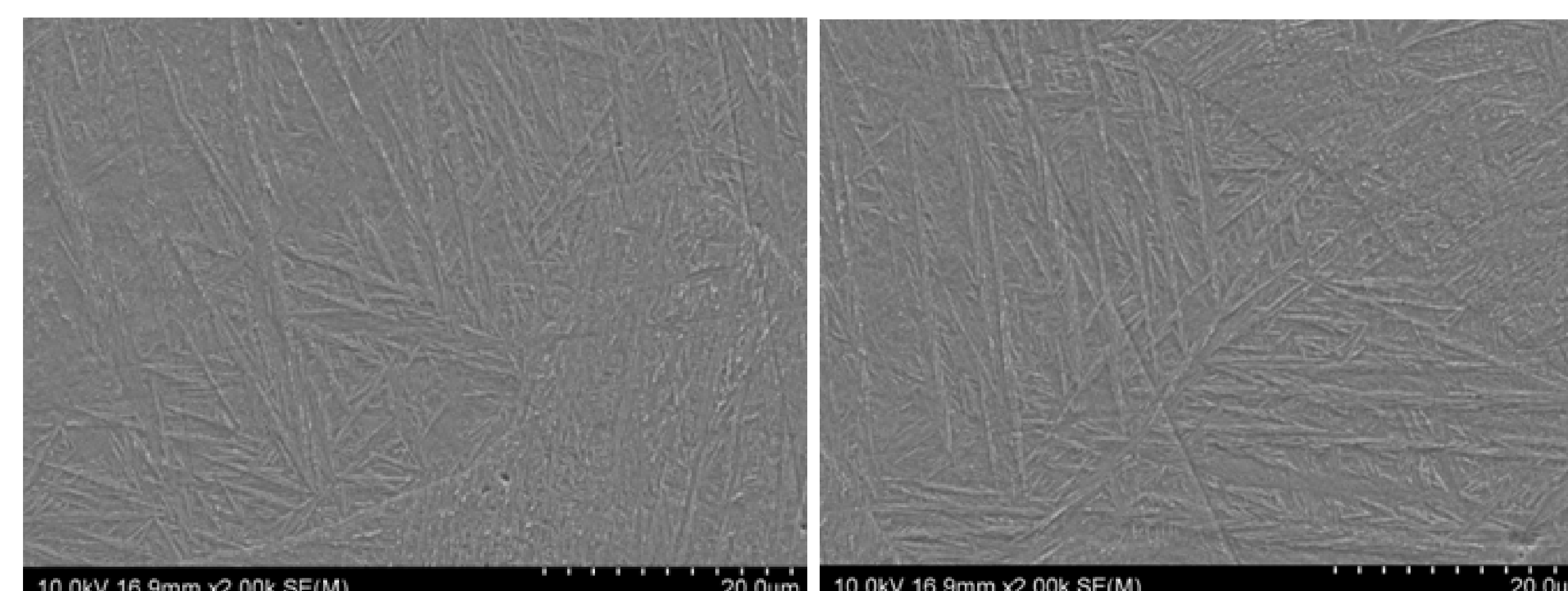
Próbka (przekrój)	E _{mod} GPa	F przy 0,2% plast. wydł. N	F _{max} N	dL (plast.) przy F _{max} mm	dL przy F _{max} mm	F _{rozryw} N	dL przy zerw. mm	Wytrzymałość na rozciąganie R _m MPa
Blacha (40 mm ²)	137,687	37 403,351	37 925,902	0,449	0,910	33 657,098	5,398	948,148
DMLS (20 mm ²)	110,382	20 556,364	23 593,920	0,950	1,485	23 552,393	1,613	1179,696



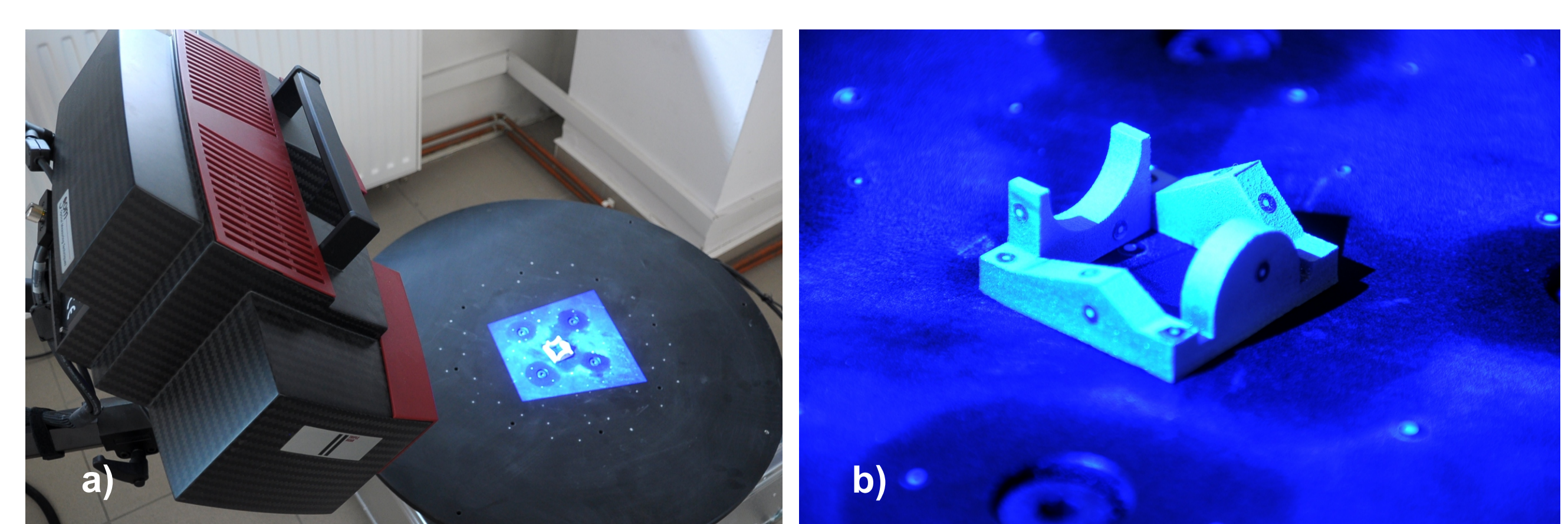
Rys.6. Charakterystyki spęczania dla modeli DMLS oraz dla próbek z tytanowego pręta
Fig.6. Upsetting characteristics of DMLS samples and Ti6Al4V alloy bar samples



Rys.7. Powierzchnia próbki polerowanej przy powiększeniu 2000x
Fig.7. Surface of a polished sample at 2000x magnification



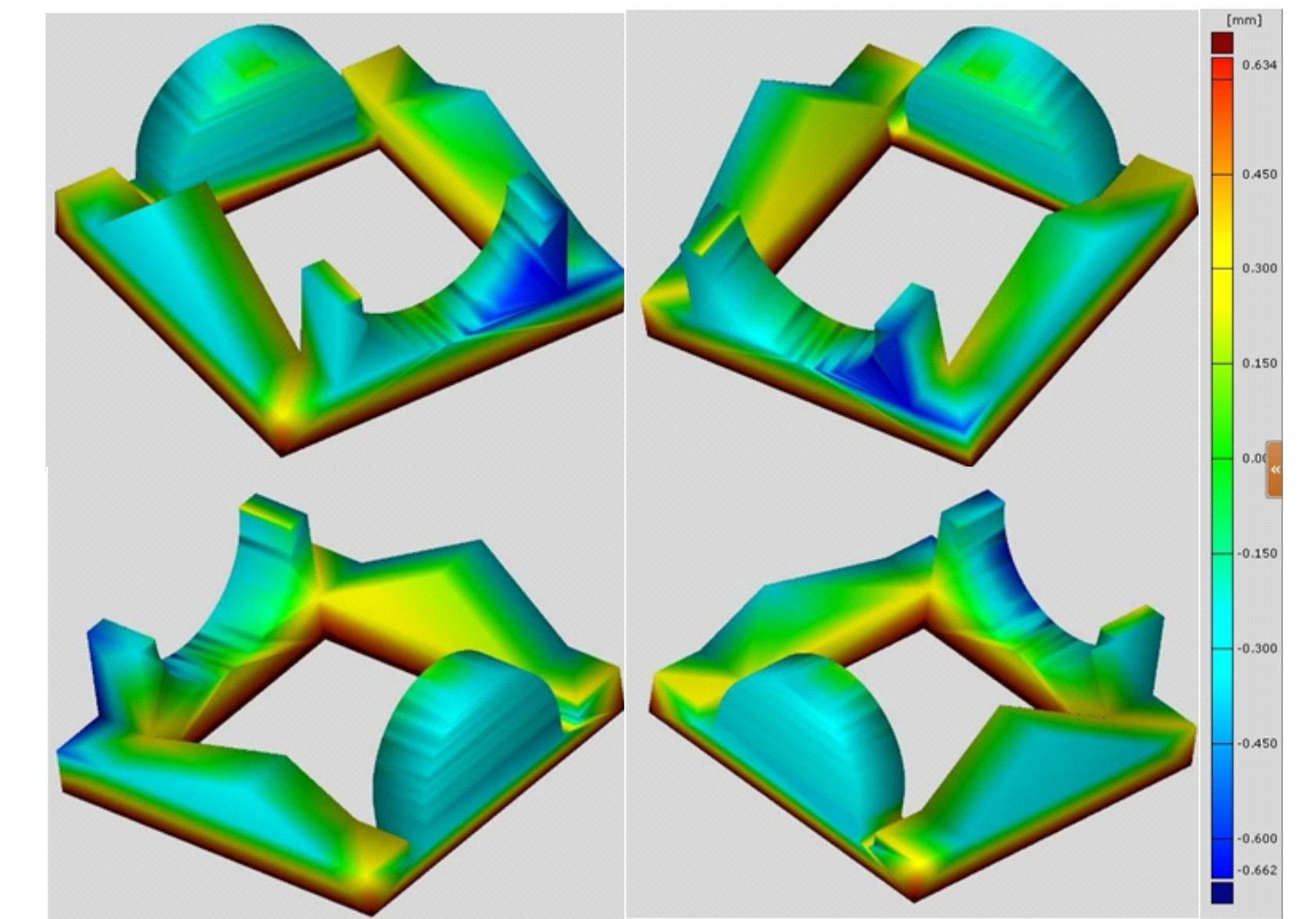
Rys.8. Powierzchnia próbki trawionej przy powiększeniu 2000x
Fig.8. The surface of an etched sample at 2000x magnification



Rys.9. Optyczny pomiar wzornika DMLS: a) skaner GOM Atos II na świetle niebieskim, b) wzornik w polu pomiarowym
Fig.9. Optical measurements of the DMLS reference item: a) a GOM Atos II blue light scanner, b) reference item in the

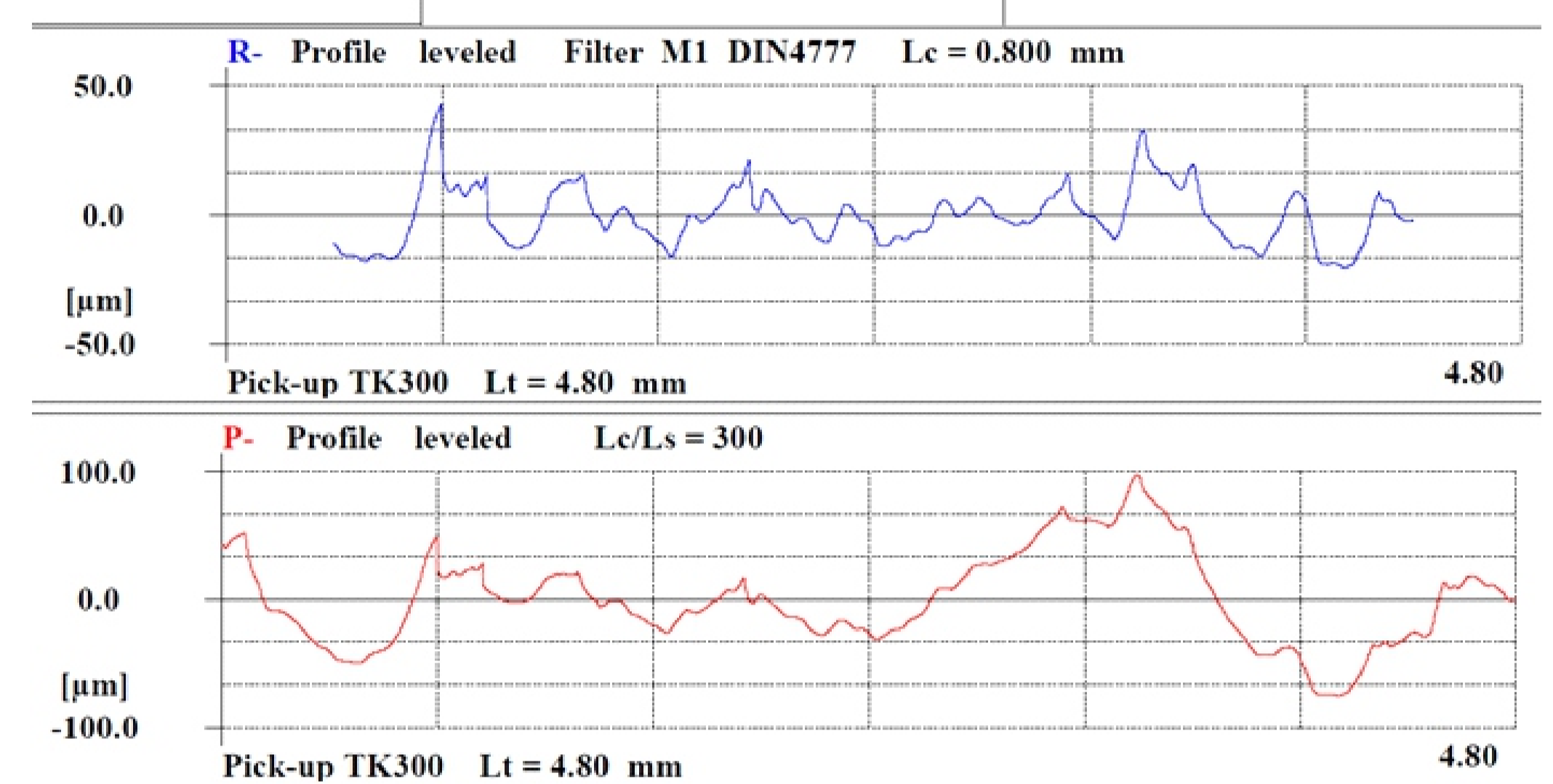
Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego

Visualization of the innovative solution



Rys.10. Analiza odchylek powierzchni wzornika DMLS w odniesieniu do modelu CAD
Fig.10. An analysis of the deviations of the surface of the DMLS reference item in comparison to the CAD model

HOMMELWERKE	Ri	63.75 μm	Rk	29.08 μm
Turbo Datawin-NT 1:	Rmax	61.19 μm	Rpk	14.38 μm
Measuring condition:	Rz	39.11 μm	Rvk	11.61 μm
Pick-up type	Ra	8.82 μm	Mr1	11.6 %
Measuring range	Rp	43.17 μm	Mr2	86.0 %
Assessment length	RSm	0.3333 mm	Rmr01(50.0 %)	44.72 μm
Le (Cut Off)				



Rys.11. Raport z pomiaru chropowatości dla powierzchni modelu DMLS
Fig.11. Measurement report for the surface of a DMLS model

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego

Advantages and restrictions of innovative solution

Technika spiekania proszku ze stopu metalu DMLS zapewniająca szeroki wybór proszków (w tym powszechnie stosowane w przemyśle lotniczym stopy tytanu Ti6Al4V oraz stopy typu Inconel) pozwala na wykorzystanie spieku do wytwarzania modeli użytkowych. Dokonana szczegółowa analiza metody – pomiar dokładności wymiarowo-kształtowej, chropowatości powierzchni, obserwacja mikrostruktury fragmentów powierzchni próbek, wyznaczenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych, pozwala na określenie grupy elementów konstrukcji lotniczych możliwych do wykonania z jej wykorzystaniem tj. kół zębatach i łopatek wirników turbosprężarek. Dane materiałowe wskazane przez producenta proszku EOS Ti64 nie odbiegają od rzeczywistych wartości wyznaczonych w przeprowadzonym procesie badań. Ograniczeniem w wyborze techniki DMLS do wytwarzania modeli użytkowych jest konieczność uwzględnienia skurczu, który cechuje modele wytworzone w procesie spieku proszku ze stopu tytanu. Zachodzi zatem konieczność wprowadzenia kompensacji w fazie projektu CAD dla części, zwłaszcza lotniczych, dla których obowiązują zastrzeżone normy jakościowe. Bardzo dobre własności wytrzymałościowe modeli oraz możliwość poprawy jakości powierzchni w procesie obróbki mechanicznej umożliwiają wytwarzanie zaawansowanych elementów konstrukcji lotniczych, pracujących w układach docelowych (pod obciążeniem). Stanowi to propozycję wykorzystania metody zarówno na etapie projektowania procesu produkcji danego elementu jak i bezpośredniego wykorzystania w produkcji jednostkowej, co może być dodatkowo ekonomicznie uzasadnione.

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) offers a wide selection of alloys (including Ti6Al4V titanium alloys commonly used in aeronautical industry as well as Inconel alloys) and enables the use of sinter to make functional models. A detailed analysis of the method – measurements of dimensional and shape accuracy, surface roughness, observation of the microstructures of sample surface fragments, determining basic strength parameters – allows us to establish a group of aircraft structure components which can be fabricated in this way, i.e. gear wheels and turbocharger rotor blades. Material data listed by the manufacturer of the EOS Ti64 powder did not deviate from actual values reported in the course of the present study. A limitation concerning the selection of the DMLS technique for the purpose of fabricating functional models is the need to allow for contraction, which is characteristic of models fabricated in the titanium alloy powder sintering process. Thus it becomes necessary to compensate for contraction in the CAD phase for parts, in particular aircraft components, which are subject to stringent quality standards. Excellent strength properties of models and the possibility of enhancing the surface quality by mechanical working enable the fabrication of advanced aircraft structure components operated in target conditions (under load). This speaks in favour of using the method both at the stage of designing the manufacturing process of a specific part and direct application in discrete manufacturing, which may also be economically justified.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki

Examples of application in aviation and other branches

Technika DMLS może być stosowana do wytwarzania prototypów części maszyn ze stopów metalu, w tym lotniczych stopów typu Inconel i tytan Ti6Al4V. Modele DMLS znajdują zastosowanie w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i maszynowym do produkcji prototypów elementów napędów mechanicznych (w tym przekładni zębatach), turbosprężarek i innych konstrukcji przewidzianych do wytworzenia z w/w stopów metalu.

DMLS technique can be used to produce prototypes of machine parts from metal alloys, including nickel and titanium based superalloys used in aviation. DMLS models are used in the aerospace, automotive and machine industry to for prototypes of mechanical drive components (including gears), turbochargers and other structures envisaged to be produced from mentioned alloys.

Oferta dla przemysłu

The offer for industry

Szybkie prototypowanie elementów konstrukcji maszyn, w tym części lotniczych z wykorzystaniem techniki DMLS spieku proszku ze stopów metalu.

Rapid prototyping of machine elements (including aircraft parts) using DMLS technology based on metal alloy powder sintering.