

Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Wrocławska 37a, Kraków  
<http://www.iztw.krakow.pl/zntp> tel. 12 6317240, email: [dziedzic@ios.krakow.pl](mailto:dziedzic@ios.krakow.pl)

---

# Charakterystyka elementów wykonanych metodą bezpośredniego spiekania laserowego (DMLS)

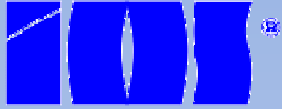
**J. Czekaj, M. Chuchro, J. Dziedzic, A. Stwora**

*Zakład Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych  
Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania  
w Krakowie*



---

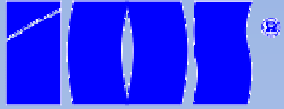
IX Forum ProCAx, Sosnowiec 2010



Techniki wytwarzania warstwowego umożliwiające wytwarzanie części z proszków metali są obecne na rynku od kilku lat. Jedną z najbardziej znanych metod jest laserowe spiekanie metali (SLS). Metody przyrostowe stanowią atrakcyjne narzędzie do wykonywania zadań skomplikowanych pod względem technologicznym i geometrycznym.

Z takimi właśnie problemami można się zetknąć przy produkcji form wtryskowych dla potrzeb przemysłu przeróbki tworzyw sztucznych lub form do odlewania ciśnieniowego metali nieżelaznych. Szczególne znaczenie ma w tym przypadku optymalne rozmieszczenie kanałów chłodzących, dostosowanych do powierzchni gniazda formy.





## Korzyści ze stosowania form z optymalnie zaprojektowanymi kanałami chłodzącymi:

- zmniejszenia jednostkowego czasu cyklu w procesach formowania wtryskowego,
- zmniejszenia zużycia energii,
- zwiększenia trwałości form,
- poprawy jakości wyprasek.

Wyliczone, optymalne z punktu widzenia termodynamiki, kanały mogą mieć skomplikowane kształty trudne lub wręcz niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami.

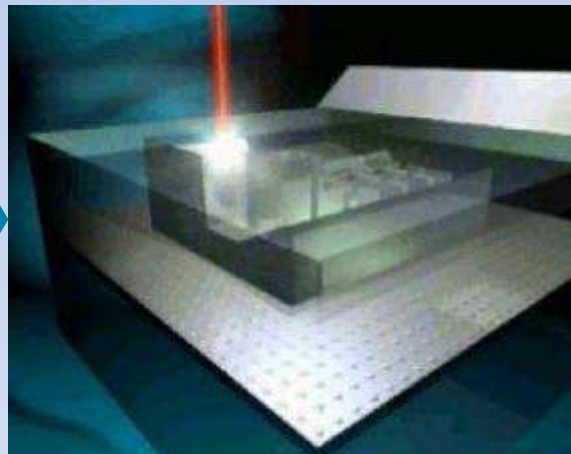


## Definicja Spiekania Laserowego

Selektywne spiekanie laserowe (SLS) to rodzina metod polegających na wytwarzaniu litych wyrobów poprzez zestalanie materiałów proszkowych warstwa po warstwie poprzez ekspozycję powierzchni proszku na działanie wiązki laserowej



**Proszek**

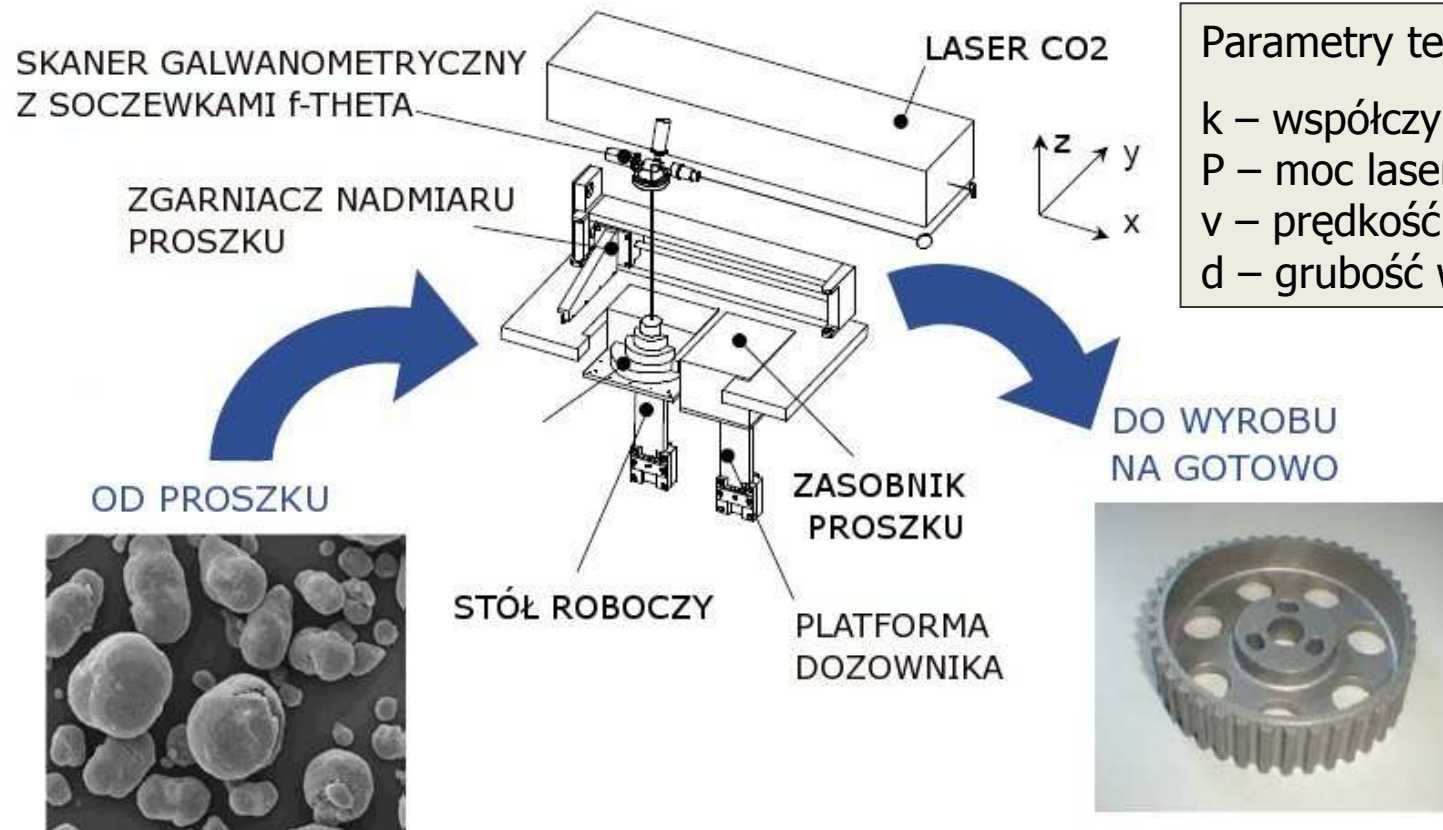


**Spiekanie laserowe**



**Wyrób**

## Omówienie metody, parametry technologiczne



Parametry technologiczne:

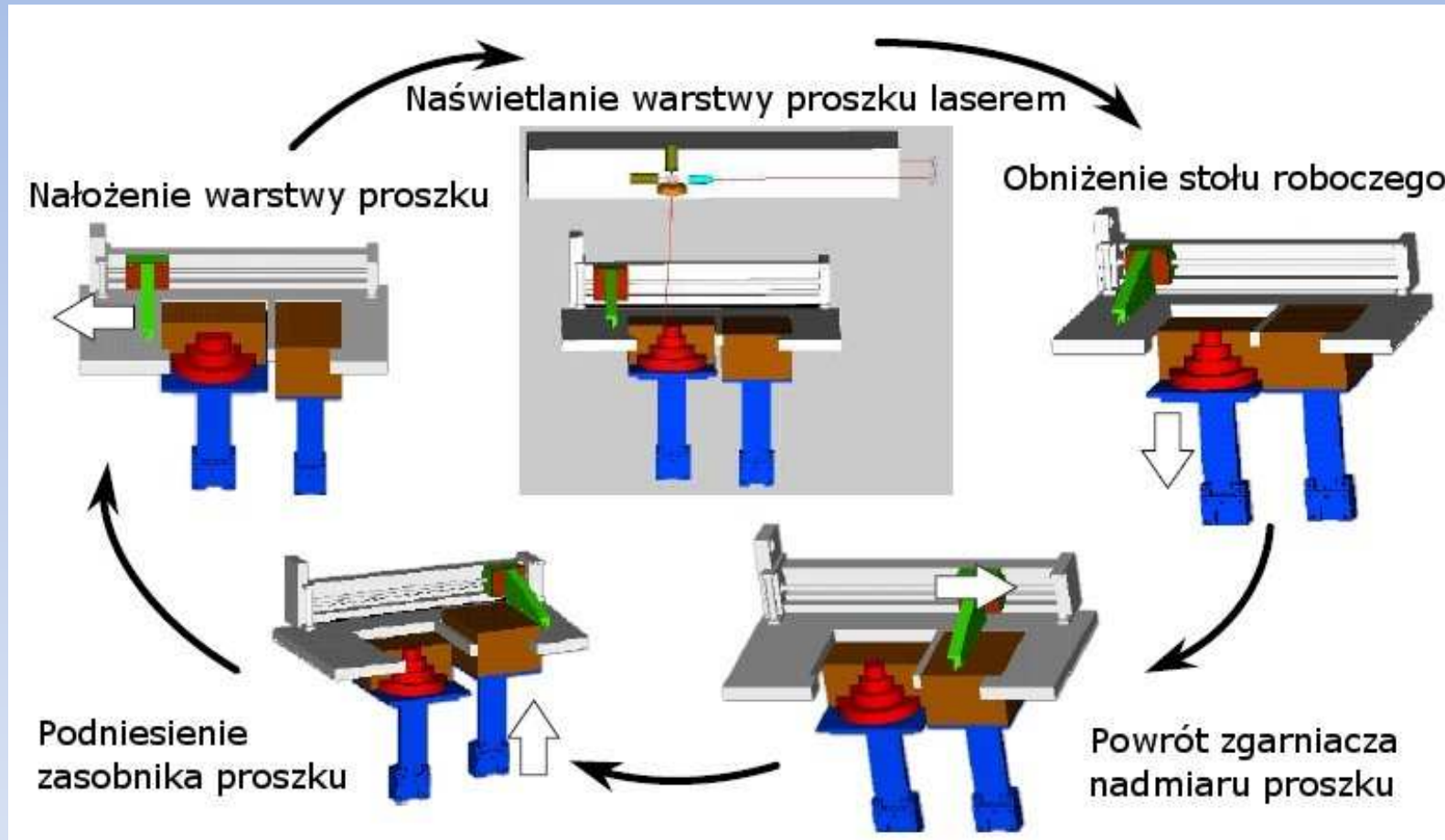
$k$  – współczynnik absorpcji,

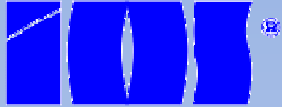
$P$  – moc lasera

$v$  – prędkość skanowania

$d$  – grubość warstwy proszku

## Omówienie metody, parametry technologiczne



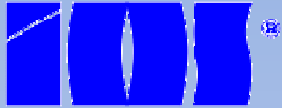


## Prezentacja EOSINT M 270



### EOSINT M 270

- laser światłowodowy Yb o mocy 200 W
- szeroka gama materiałów do specjalistycznych zastosowań
- przestrzeń robocza 250 mm x 250 mm x 215 mm\*
- precyzyjny i szybki skaner wiązki laserowej
- precyzyjny układ skupiający F-Theta
- podwójny system ogniskowania wiązki lasera w celu optymalizacji dokładności, rozdzielczości i wydajności urządzenia
- zoptymalizowane strategie ekspozycji proszku na działanie wiązki lasera

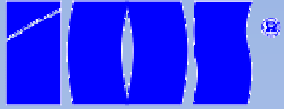


Dostępne obecnie na rynku  
proszki dla systemu EOSINT M270

Nazwa proszku	Typ materiału	Typowe zastosowanie
<b>EOS MaragingSteel MS1</b>	18 Mar 300 / 1.2709	Wkładki form wtryskowych, inżynieria
<b>EOS StainlessSteel GP1</b>	Stal nierdzewna 17-4 / 1.4542	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, inżynieria i medycyna
<b>EOS StainlessSteel PH1</b>	Stal do utwardzania 15-5 / 1.4540	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, inżynieria i medycyna
<b>EOS NickelAlloy IN718</b>	Inconel™ 718, UNS N07718, AMS 5662, W.Nr 2.4668 etc.	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, części turbin do pracy w wysokich temperaturach
<b>EOS CobaltChrome MP1</b>	Superstop CoCrMo	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, inżynieria i medycyna, dentystyka
<b>EOS CobaltChrome SP2</b>	Superstop CoCrMo	Dentystyka – produkcja seryjna
<b>EOS Titanium Ti64</b>	Stop lekki Ti6Al4V	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, inżynieria, motoryzacja, aeronautyka, sporty motorowe
<b>EOS Aluminium AlSi10Mg</b>	Stop lekki AlSi10Mg	Funkcjonalne prototypy i serie produkcyjne, przemysł motoryzacyjny
<b>DirectMetal 20</b>	Mieszanka na bazie brązu	Wkładki form wtryskowych, funkcjonalne prototypy







## EOS stal MaragingSteel (martenzytyczna starzona) MS1

### Charakterystyka:

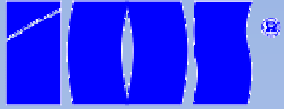
- 18 Maraging typ 300 stal (1.2709, X3NiCoMoTi18-9-5)
- całkowite przetopienie materiału dla uzyskania pełnej gęstości, wytrzymałości i możliwości polerowania
- łatwa w obróbce
- utwardzana starzeniowo do ok. 55 HRC
- dobra przewodność cieplna

### Typowe zastosowania:

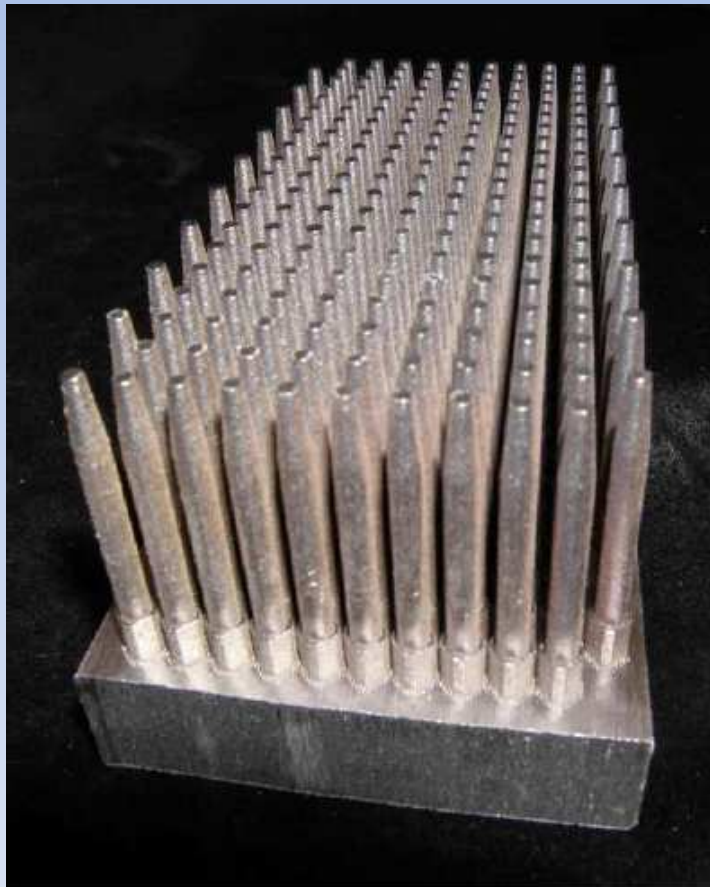
- serie odlewów wtryskowych
- inne aplikacje narzędziowe, np. odlewnictwo
- elementy o wysokiej wydajności, np. przemysł lotniczy



Wkładka do formy wtryskowej z wewnętrznym kanałem chłodzenia



## EOS MaragingSteel MS1



200 wkładek z wewnętrznym chłodzeniem do zastosowania w odlewaniu wtryskowym

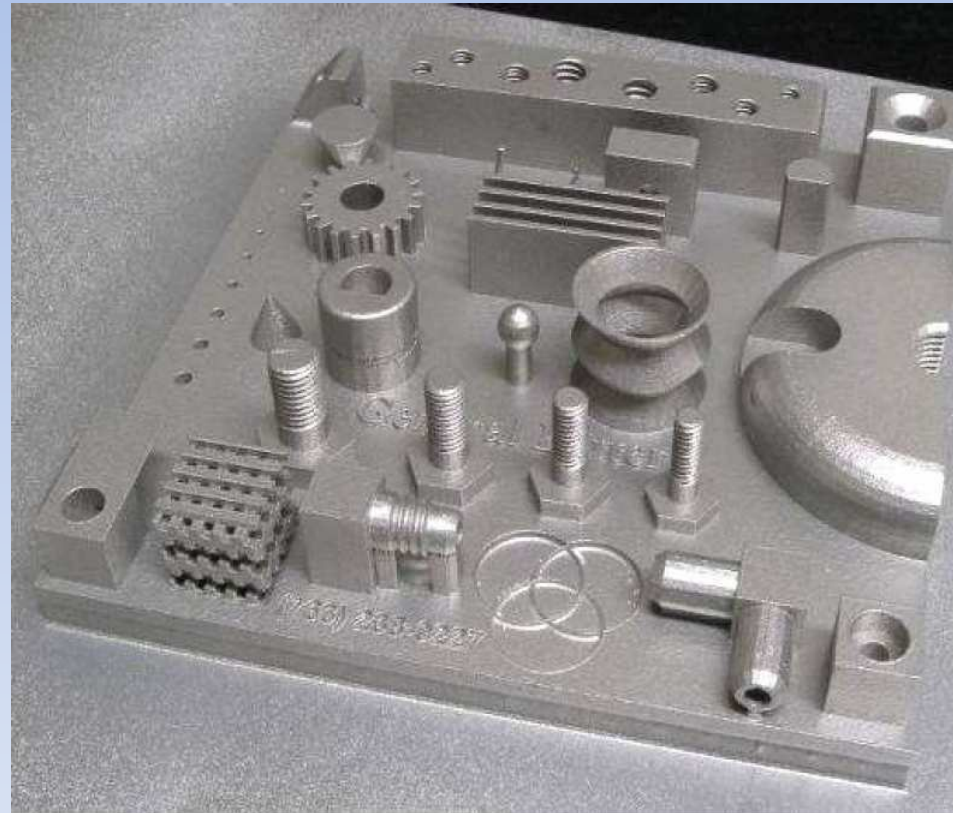
## EOS StainlessSteel GP1 – stal nierdzewna

### Charakterystyka:

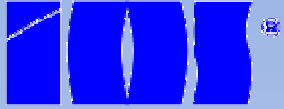
- materiał odpowiada stopowi 17-4 (1.4542, X5CrNiCuNb16-4)
- doskonała ciągliwość

### Typowe zastosowania:

- zastosowania inżynierskie – funkcjonalne prototypy,
- krótkie serie produkcyjne,
- części zapasowe i na zamówienie
- elementy wymagające wysokiej odporności na korozję lub sterylne
- elementy o szczególnie wysokiej wytrzymałości i ciągliwości



Test geometrii (NASA)



## EOS StainlessSteel GP1 – stal nierdzewna

Skład chemiczny odpowiada klasyfikacji US 17-4 i europejskiej 1.4542

- bardzo szybkie stąpienie i krzepnięcie
- mikrostruktura i właściwości nie są identyczne jak w materiale odlewanym czy kutym

Element	Content (by weight)
<b>Iron</b>	balance
<b>Manganese</b>	max. 1 %
<b>Molybdenum</b>	max. 0.5 %
<b>Nickel</b>	3 - 5 %
<b>Silicon</b>	max. 1 %
<b>Carbon</b>	max. 0,07 %
<b>Chromium</b>	15 - 17.5 %
<b>Copper</b>	3 - 5 %



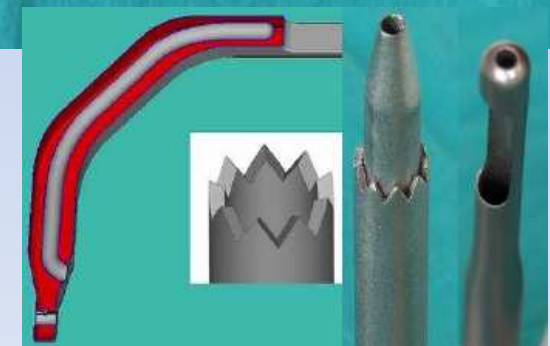
## EOS StainlessSteel PH1 – stal nierdzewna

### Charakterystyka:

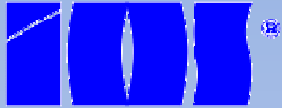
- bardzo wysoka wytrzymałość
- spełnia wymagania ASTM E 8
- łatwe utwardzanie do 43 HRC

### Zastosowanie:

- zastosowania inżynierskie-funkcjonalne prototypy
- krótkie serie produkcyjne
- elementy na zamówienie bądź części zamienne
- elementy o szczególnej wytrzymałości i twardości



Instrumenty stosowane w chirurgii kości



## EOS Stainless Steel PH1 – stal nierdzewna

Skład chemiczny (odpowiada DIN 1.4540 i UNS S15500).

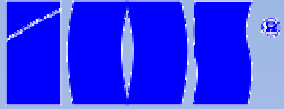
### Charakterystyka:

prosta obróbka cieplna (starzenie w 482 °C przez 1 godzinę + chłodzenie swobodne)

- doskonałe właściwości mechaniczne dzięki umacnianiu wydzieleniowemu
- wyżarzanie w roztworze+ hartowanie nie wymagane przed starzeniem

Element	Content (by weight)
Iron	balance
Chromium	14 – 15.5 %
Nickel	3.5 – 5.5 %
Copper	2.5 – 4.5 %
Manganese	max. 1 %
Silicon	max. 1 %
Molybdenum	max. 0.5 %
Niobium	0.15 - 0.45 %
Carbon	max. 0.07 %





## EOS stop niklu IN718

### Charakterystyka:

- stop na bazie niklu odporny na działanie temperatury
- doskonała odporność na korozję
- wysoka wydajność w temperaturze do 700°C, np. odporność na rozciąganie, zmęczenie i pełzanie

### Zastosowanie:

- części turbin lotniczych i naziemnych
- komponenty rakiet i przemysł kosmiczny
- przemysł chemiczny
- przemysł przetwórstwa naftowego



Element wykonany na EOSINT M270



## EOS stop niklu IN718

Skład chemiczny odpowiada stopowi Inconel™ 718, UNS N07718, AMS 5662, AMS 5664, W.Nr 2.4668, DIN NiCr19Fe19NbMo3

Wyróżniający się odpornością na korozję



Przed obróbką  
cieplną

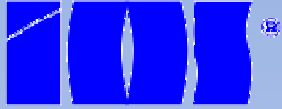
Po obróbce cieplnej



Mikrofotografia struktury

Element	Content (by weight)
<b>Nickel</b>	50 - 55 %
<b>Chromium</b>	17.0 - 21.0 %
<b>Niobium</b>	4.75 - 5.5 %
<b>Molybdenum</b>	2.8 - 3.3 %
<b>Titanium</b>	0.65 - 1.15 %
<b>Aluminium</b>	0.20 - 0.80 %
<b>Cobalt</b>	≤ 1.0 %
<b>Copper</b>	≤ 0.3 %
<b>Carbon</b>	≤ 0.08 %
<b>Silicon, Manganese</b>	each ≤ 0.35 %
<b>Phosphorus, Silicon</b>	each ≤ 0.015 %
<b>Boron</b>	≤ 0.006 %
<b>Iron</b>	balance





## EOS stop CobaltChrome MP1

### Charakterystyka:

- wysoka wytrzymałość, odporność na działanie temperatury i korozję
- biogodność
- spełnia ISO 5832-4

### Zastosowanie:

- inżynieria wysokotemperaturowa, np. turbiny
- implanty medyczne



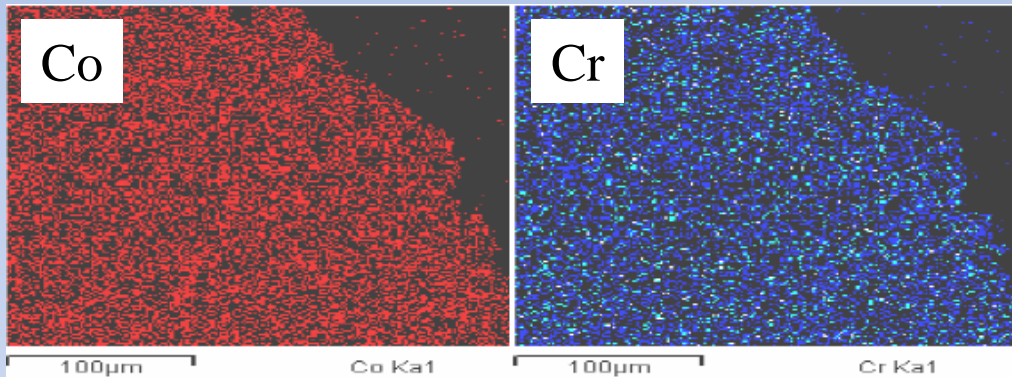
Układ wydechowy silnika



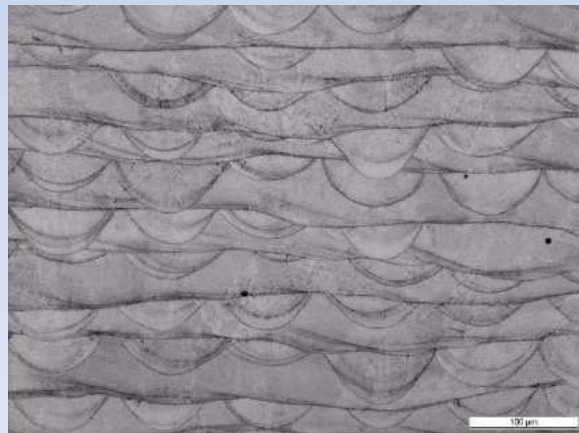
Implant kolanowy

## EOS stop CobaltChrome MP1

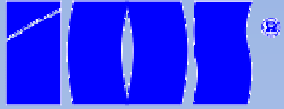
Stop wolny od Ni, zawiera < 0.10 wt-% Ni.  
 Jednorodny rozkład pierwiastków w strukturze.



Mikrofotografia struktury



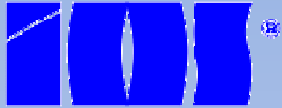
Element	Content (by weight)
<b>Cobalt</b>	60 – 65 %
<b>Chromium</b>	26 - 30 %
<b>Molybdenum</b>	5 - 7 %
<b>Silicon</b>	max. 1.0 %
<b>Manganese</b>	max. 1.0 wt-%
<b>Iron</b>	max. 0.75 wt-%
<b>Carbon</b>	max. 0.16 wt-%
<b>Nickel</b>	max. 0.10 %



## EOS stop CobaltChrome MP1



Fotografie turbiny gazowej silnika helikoptera



## EOS stop CobaltChrome SP1

### Charakterystyka:

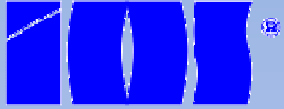
- wysoka wytrzymałość na działanie temperatury i odporność na korozję
- biozgodność
- właściwości cieplne skorelowane z ceramiką dentystyczną

### Zastosowanie:

- elementy dentystyczne (mostki, korony)



**384** elementy dentystyczne wybudowane  
w czasie **20** godz.



## EOS Titanium Ti64/ TiCP

### Charakterystyka:

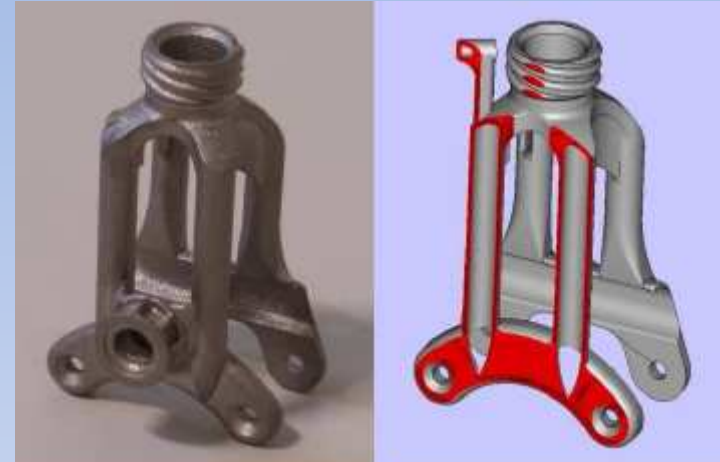
- doskonały stosunek wagi do wytrzymałości
- odporność na korozję
- biogodność

### Zastosowanie:

- przemysł lotniczy i kosmiczny, inżynieria
- implanty biomedyczne

### Właściwości fizyczne Ti64:

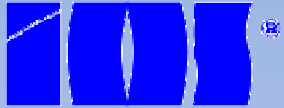
gęstość względna po spiekaniu ok. 100 %  
gęstość: 4.43 g/cm<sup>3</sup>  
pojedyncze pory



Implant kręgosłupa



Cienkościenny element hamulca



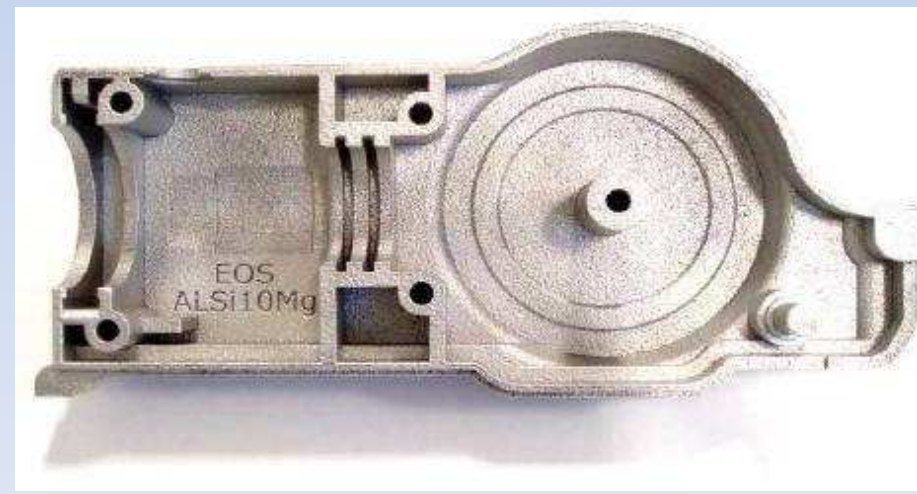
## EOS Aluminium ALSi10Mg

### Charakterystyka:

- mała waga
- wysoki współczynnik przewodności cieplnej

### Zastosowania:

- rozwiązania inżynierskie z aluminium-
- funkcjonalne prototypy, krótkie serie produkcyjne,
- elementy na zamówienie lub części zamienne
- przemysł motoryzacyjny, inżynieria, wyścigi motorowe, przemysł lotniczy i kosmiczny
- pneumatyka
- prototypowe formy odlewnicze





## EOS Aluminium AlSi10Mg

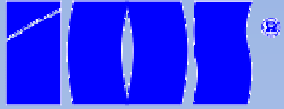
Zastosowanie Si i Mg jako pierwiastków stopowych powoduje wzrost wytrzymałości i twardości stopu

Właściwości fizyczne:

- gęstość względna: ~ 100 %
- gęstość: 2.68 g/cm<sup>3</sup>

Element	Content (by weight)
<b>Silicon</b>	(9.0 – 11.0 %)
<b>Iron</b>	max. 0.55 %
<b>Copper</b>	max. 0.05 %
<b>Manganese</b>	max. 0.45 %
<b>Magnesium</b>	(0.2 – 0.45 %)
<b>Nickel</b>	max. 0.05 %
<b>Zinc</b>	max. 0.10 %
<b>Lead</b>	max. 0.05 %
<b>Tin</b>	max. 0.05 %
<b>Titanium</b>	max. 0.15 %
<b>Aluminium</b>	balance





*Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Wrocławska 37a, Kraków*  
*<http://www.iztw.krakow.pl/zntp> tel. 12 6317240, email: [dziedzic@ios.krakow.pl](mailto:dziedzic@ios.krakow.pl)*

---

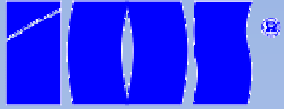
## **Wytwarzanie modeli i narzędzi w IZTW Kraków**



---

*IX Forum ProCAx, Sosnowiec 2010*





## Prezentacja EOSINT M 250Xt



Urządzenie EOSINT M 250Xt  
zainstalowane w laboratorium IZTW

### EOSINT M 250 Xtended

System zapewnia w sposób kompleksowy proces powstawania elementu, poprzez:

- przygotowanie pliku STL na podstawie wprowadzonego modelu 3D stworzonego w środowisku CAD,
- automatyczny podział modelu na warstwy o określonej grubości,
- sprawdzenie i korektę błędów,
- dobór parametrów procesu *a priori* w trybie „offline”.
- wykonanie elementu metodą DMLS.

## Prezentacja EOSINT M 250Xt

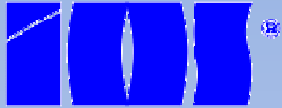
### Charakterystyka urządzenia



- Laser CO<sub>2</sub>: 270 W;
- Prędkość skanowania: do 3.0 m/s;
- Grubość nakładanych warstw proszkowych: 20 – 60 µm;
- Dokładność otrzymywanych elementów: +/- 0,05 mm;
- Max wymiary budowanego elementu: 250 x 250 x 200 mm;
- System podawania gazu osłonowego: zintegrowany generator azotu w urządzeniu.

Na wyposażeniu znajduje się również urządzenie do obróbki wykańczającej przez śrutowanie.

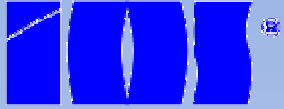
Urządzenie EOSINT M 250Xt  
zainstalowane w laboratorium IZTW



## Właściwości fizyczne stosowanych materiałów proszkowych

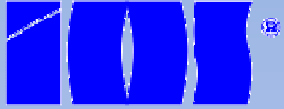
	DirectMetal20	DirectSteel20	DirectSteel H20
Współczynnik rozszerzalności cieplnej [ $10^{-6}/K$ ]	18	9 ( T=50° C )	13 (100-250° C) 14 (250-400° C) 15 (400-550° C)
Przewodnictwo cieplne [W/mK]	30 ( T=50° C )	13 ( T=50° C )	15 (w 50 ° C) 18 (w 200 ° C)
Maksymalna temperatura otoczenia pracy [°C]	400	800	1100





## Cd.

	DirectMetal 20	DirectSteel 20	DirectSteel H20
Minimalna zalecana grubość warstwy	20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Uzyskiwana dokładność	$\pm 50 \mu\text{m}$	$\pm 50 \mu\text{m}$	$\pm 50 \mu\text{m}$
Minimalna grubość ścianki	0.6 mm	0.5 mm	0.7 mm
Prędkość budowania			
20 $\mu\text{m}$ rdzeń	15 $\text{mm}^3/\text{s}$	7.5 $\text{mm}^3/\text{s}$	4 $\text{mm}^3/\text{s}$
20 $\mu\text{m}$ powłoka	2 - 8 $\text{mm}^3/\text{s}$	1.5 - 2.5 $\text{mm}^3/\text{s}$	0.5 - 3 $\text{mm}^3/\text{s}$
40 $\mu\text{m}$ rdzeń	16 $\text{mm}^3/\text{s}$	8 $\text{mm}^3/\text{s}$	5 $\text{mm}^3/\text{s}$
40 $\mu\text{m}$ powłoka	4 - 10 $\text{mm}^3/\text{s}$	2 - 4 $\text{mm}^3/\text{s}$	1 - 3 $\text{mm}^3/\text{s}$
60 $\mu\text{m}$ rdzeń	18 $\text{mm}^3/\text{s}$	10 $\text{mm}^3/\text{s}$	bd
60 $\mu\text{m}$ powłoka	6 - 12 $\text{mm}^3/\text{s}$	2.5 - 5 $\text{mm}^3/\text{s}$	bd



## Wykonywanie elementów metalowych w IZTW

**Urządzenie: EOSINT M 250 Xt**

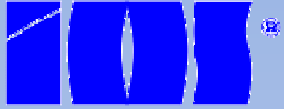
**Programy: Magics, EOS RP -Tools i PSW 3.22**

**Program Magics** - przygotowanie elementu do podziału na warstwy (w tym momencie podejmuje się decyzję o ustawieniu elementu w komorze roboczej) jak również generuje się konstrukcje wsporczą (suport).

**Program EOS RP-Tools** - podział elementu na warstwy.

**Program PSW 3.22** – realizacja procesu spiekania.





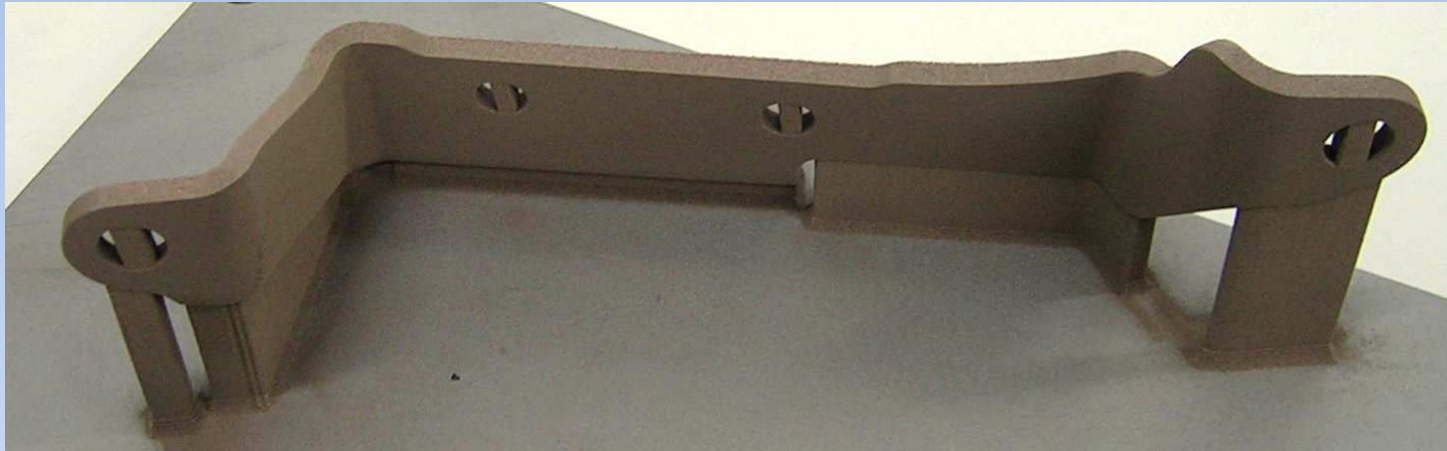
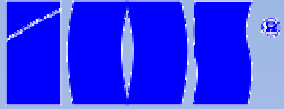
## Przykłady wybranych elementów



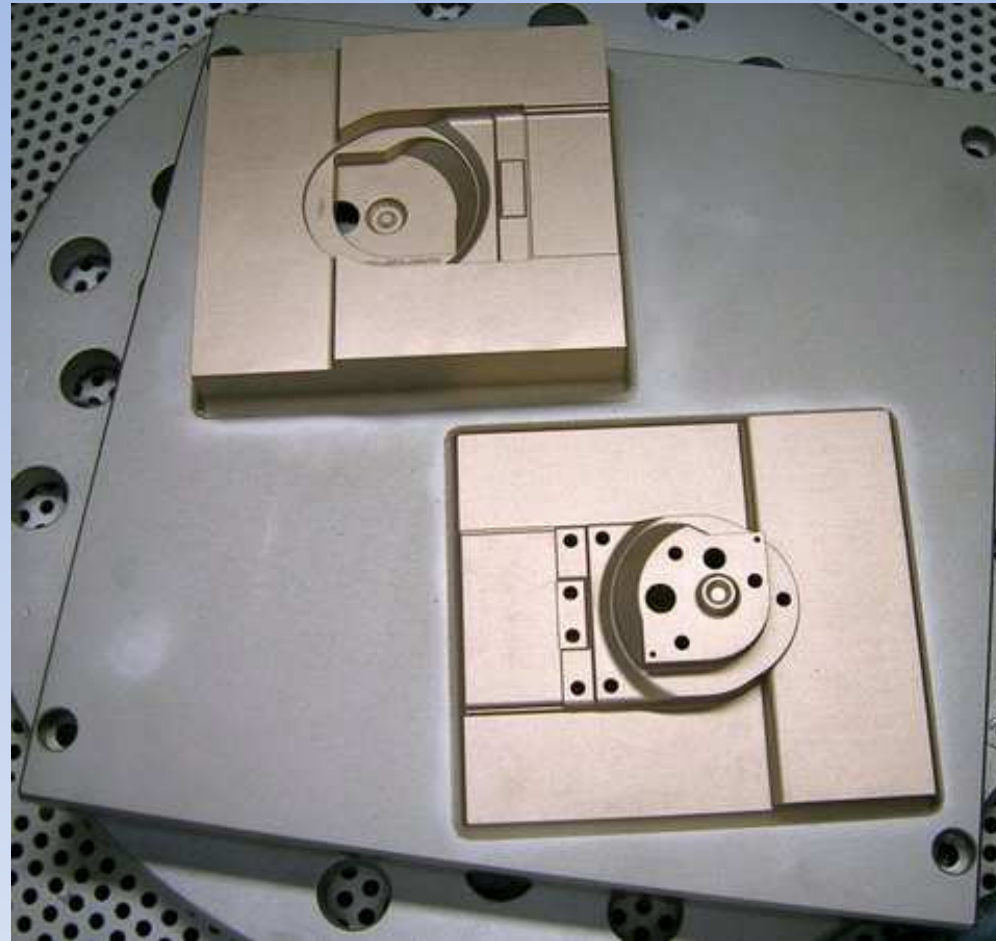
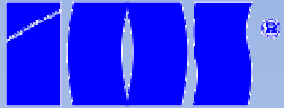
Element ze spiralnym kanałem chłodzenia  
wykonany z DirectSteel 20



Elementy wykonane  
z DirectSteel 20

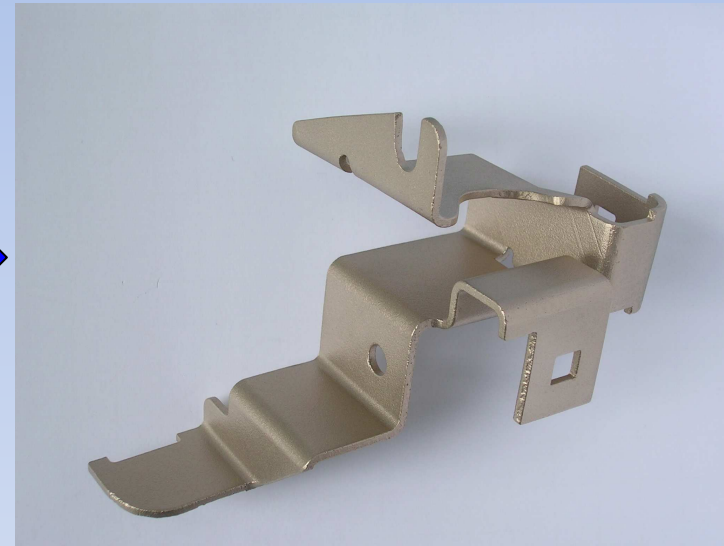
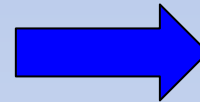
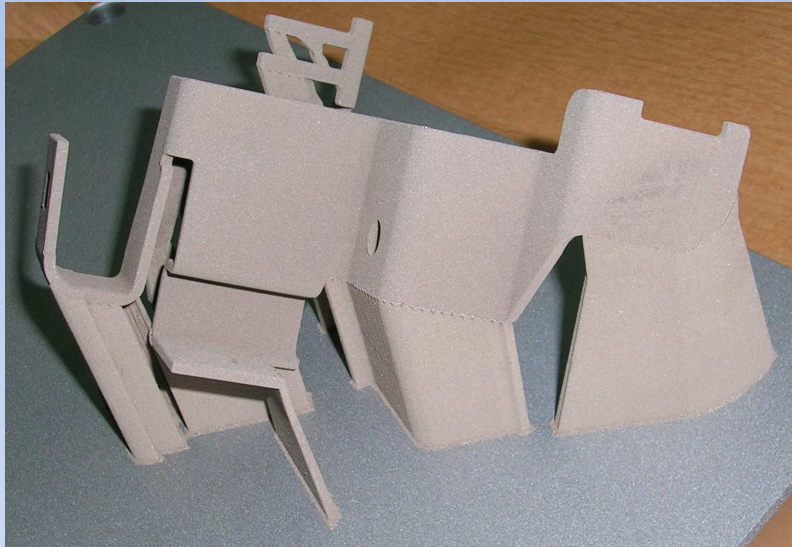
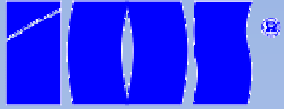


**Element z DirectMetal 20  
(przed usunięciem z płyty roboczej i obróbką śrutowaniem)**

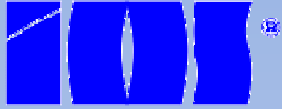


**Wkładka matrycowa wykonana z materiału DirectMetal  
(przed usunięciem z płyty roboczej, po obróbce śrutowaniem)**





**Element z DirectMetal20 wykonany w IZTW  
(przed usunięciem z płyty roboczej i śrutowaniem oraz po obróbce śrutowaniem)**



*Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Wrocławska 37a, Kraków*  
*<http://www.iztw.krakow.pl/zntp> tel. 12 6317240, email: [dziedzic@ios.krakow.pl](mailto:dziedzic@ios.krakow.pl)*

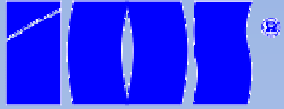
---

## **Badanie możliwości wykonywania narzędzi dla przetwórstwa tworzyw sztucznych**



---

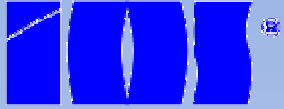
*IX Forum ProCAx, Sosnowiec 2010*



Metody przyrostowe stanowią atrakcyjne narzędzie do wykonywania zadań skomplikowanych pod względem technologicznym i geometrycznym.

Z takimi właśnie problemami można się zetknąć przy produkcji form wtryskowych dla potrzeb przemysłu przeróbki tworzyw sztucznych lub form do odlewania ciśnieniowego metali nieżelaznych.





Szczególne znaczenie w produkcji form wtryskowych ma optymalne rozmieszczenie kanałów chłodzących, dostosowanych do powierzchni gniazda formy.

Stosowanie form z optymalnie zaprojektowanymi kanałami może przynieść wiele korzyści w postaci:

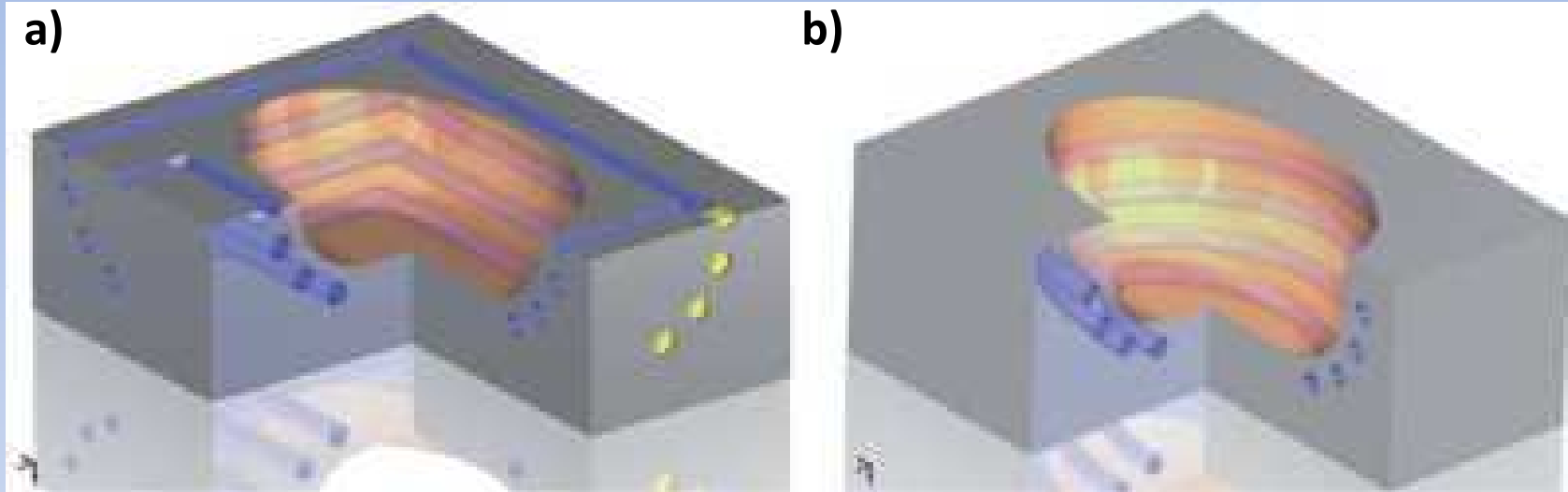
- zmniejszenia jednostkowego czasu cyklu w procesach formowania wtryskowego,
- zmniejszenia zużycia energii,
- zwiększenia trwałości form,
- poprawy jakości wyprasek.

Wyliczone, optymalne z punktu widzenia termodynamiki, kanały mogą mieć skomplikowane kształty trudne lub wręcz niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami.

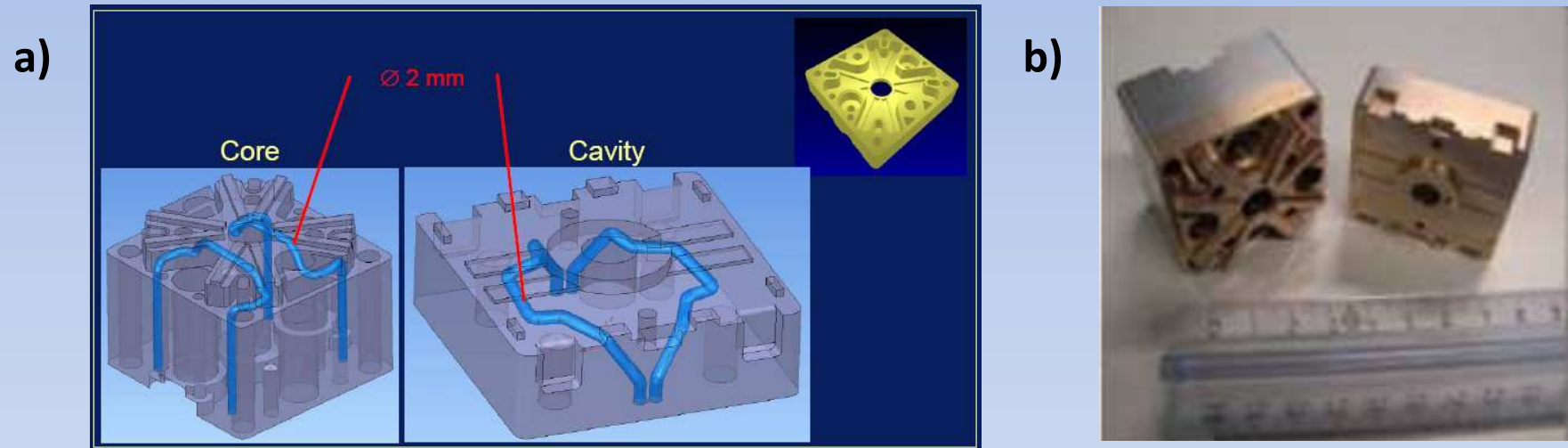




Wkładka formująca służąca do chłodzenia narzędzi do formowania użytkowego: na lewo – przedstawienie złożonej geometrii wewnętrznej; na prawo – wkładka wykonana metodą DMLS z mat. Maraging Steel MS1 (firma EOS/LBC)

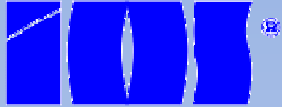


a) - tradycyjne kanały chłodzące; b) - konformalne kanały chłodzące  
dopasowane do kształtu gniazda wykonane na  
EOSINT M 270.



Wkładka formy wtryskowej ze swobodnymi kanałami chłodzącymi:

- a) projekt CAD z widocznym przebiegiem kanałów,
- b) gotowa wkładka wykonana metodą SLS z brązu na płycie bazowej.



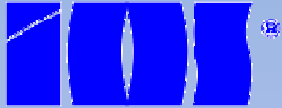
Można sądzić, iż zastosowanie techniki wytwarzania warstwowego, np. metody selektywnego spiekania laserowego proszków metali pozwoli wykonywać formy z bardzo skomplikowanymi kształtami kanałów chłodzących. Niemniej jednak na jakość form mają wpływ również inne parametry. Są to między innymi:

- dokładność odtworzenia kształtu,
- twardość,
- podatność na obróbkę skrawaniem, ścierną, erozyjną (zwłaszcza EDM),
- chropowatość powierzchni.

Dlatego podjęto prace mające na celu sprawdzenie wyżej wymienionych cech na specjalnie zaprojektowanych próbkach, które wykonywano metodą SLS na urządzeniu EOSINT M250Xt.





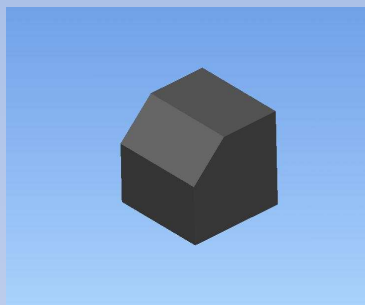


Na próbki wybrano materiał **DirectSteel H 20**, który jest rekomendowany do wykonywania narzędzi.

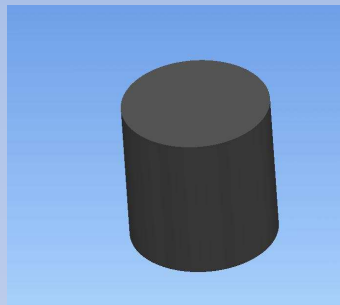
Własności fizyczne elementów wykonanych z materiału <b>DirectSteel H 20</b>	
minimalna zalecana grubość warstwy	20 $\mu\text{m}$
uzyskiwana dokładność	50 $\mu\text{m}$
minimalna grubość ścianki	0.7 mm
twardość po spiekaniu	350 – 420 HV
twardość po śrutowaniu	380 – 420 HV
chropowatość po spiekaniu	Ra = 10 $\mu\text{m}$ ; Rz = 40 – 50 $\mu\text{m}$
chropowatość po śrutowaniu	Ra = 5 $\mu\text{m}$ ; Rz = 25 $\mu\text{m}$
chropowatość po polerowaniu	Rz < 1 $\mu\text{m}$



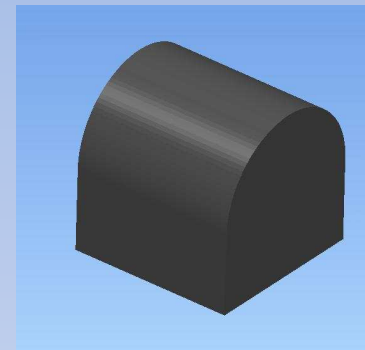
a)



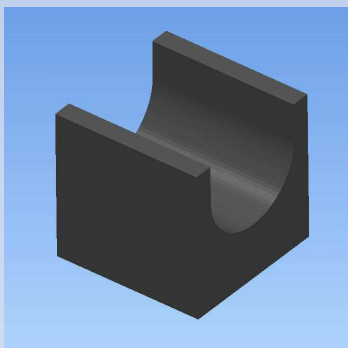
b)



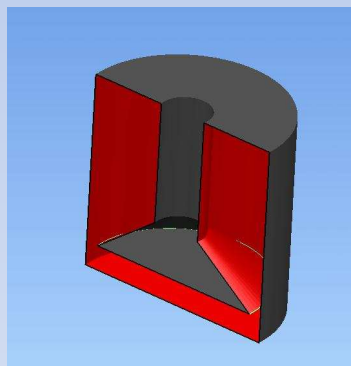
c)



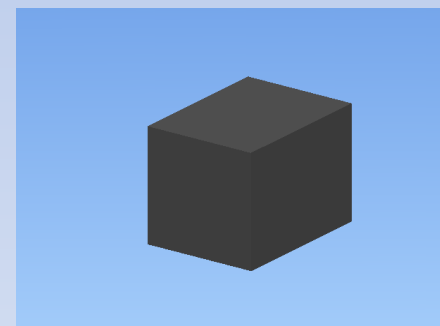
d)



e)

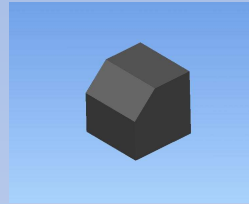


f)

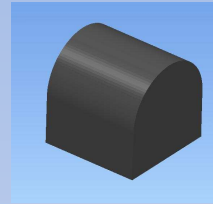


Kształty zaprojektowanych próbek do spiekania metodą DMLS

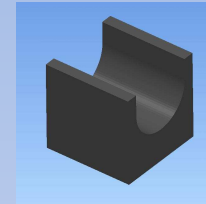
**TABELA 1. WYMIARY POPRZECZNE PRÓBEK O PRZEKROJU KWADRATOWYM PO SPIEKANIU LASEROWYM.**



Nr próbki 1, 3, 5, 7



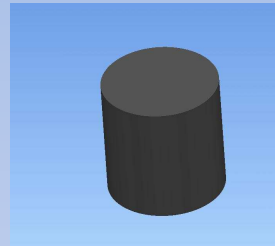
Nr próbki 8, 9, 10, 11



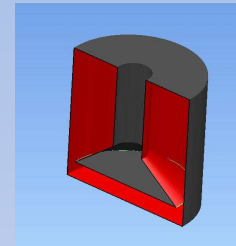
Nr próbki 12, 14, 16, 18

Lp.	Nr próbki	WYMIAR			
		A [mm]		B [mm]	
		TEORETYCZNY	ZMIERZONY	TEORETYCZNY	ZMIERZONY
1	1	16,00	15,99	16,00	16,01
2	3	16,00	15,97	16,00	16,02
3	5	16,00	16,02	16,00	16,05
4	7	16,00	16,00	16,00	15,97
5	8	16,00	16,00	16,00	16,08
6	9	16,00	15,92	16,00	15,96
7	10	16,00	15,95	16,00	15,97
8	11	16,00	16,03	16,00	16,04
9	12	16,00	16,08	16,00	16,15
10	14	16,00	19,97	16,00	16,04
11	16	16,00	16,00	16,00	16,05
12	18	16,00	16,05	16,00	16,08

**TABELA 2. WYMIAR POPRZECZNY PRÓBKII O PRZEKROJU OKRĄGLYM PO SPIEKANIU LASEROWYM.**



Nr próbki 1, 3, 5



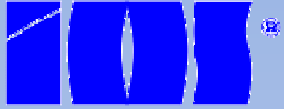
Nr próbki 7, 8, 9

Lp.	Nr próbki	WYMIAR [mm]		
		D teoretyczny	D zmierzony	
			D min	D max
1	1	Φ 16,00	Φ 15,88	Φ 15,95
2	3	Φ 16,00	Φ 15,90	Φ 16,00
3	5	Φ 16,00	Φ 15,95	Φ 16,00
4	7	Φ 16,00	Φ 15,90	Φ 15,95
5	8	Φ 16,00	Φ 15,84	Φ 15,94
6	9	Φ 16,00	Φ 15,95	Φ 15,95



**TABELA 3. WYMIARY PRÓBEK PRZED I PO ŚRUTOWANU.**

Nr próbki	wymiar teoretyczny	wymiar po spiekaniu	wymiar po śrutowaniu
	mm	mm	mm
1	20,00	20,05	19,82
2	20,00	20,04	19,85
3	20,00	19,99	19,79
4	20,00	20,06	19,92

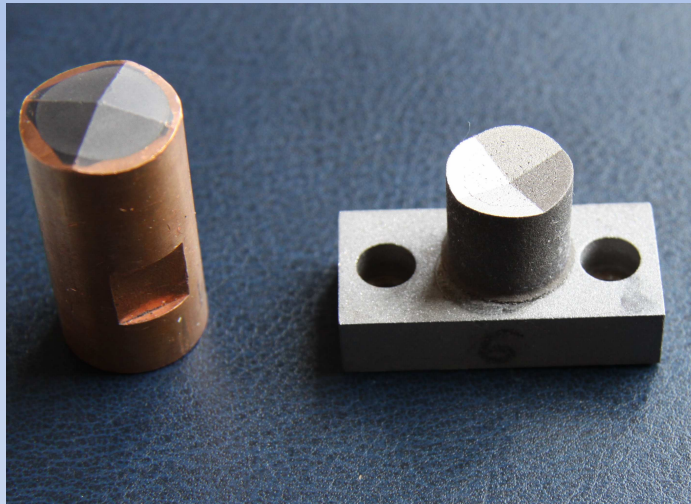
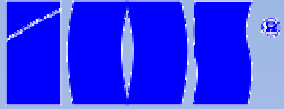


## POMIARY CHROPOWATOŚCI

Chropowatość powierzchni elementu czasami ma znaczenie tylko estetyczne, ale bardzo często funkcjonalne, zwłaszcza jeżeli dotyczy form wtryskowych, stempli, form odlewniczych. Wymagania stawiane przez konstruktorów są często bardzo wysokie i zależą od wielu czynników. Np. na powierzchni formującej powinna być osiągnięta powierzchnia lustrzana i chropowatość  $Ra\ 0.16\ \mu\text{m}$ , kiedy indziej zakłada się powierzchnię matową uzyskiwaną z drążenia EDM. Mając na uwadze takie przypadki zdecydowano zmierzyć chropowatość na powierzchniach próbek bezpośrednio po spiekaniu, po śrutowaniu, po szlifowaniu, po obróbce elektroerozyjnej na parametrach wykańczających oraz po szlifowaniu i następującym po nim polerowaniu.

Drążenie EDM wykonano na próbkach okrągłych elektrodą w kształcie ostrosłupa.





### Drążarka: EDEA 16 CNC

Parametry drążenia EDM

$$I_z = 2 \text{ A}$$

$$I_r = 1 \text{ A}$$

$$t_i = 25 \mu\text{s}$$

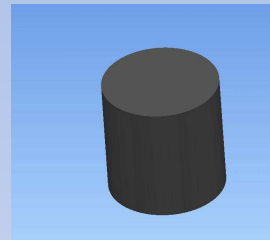
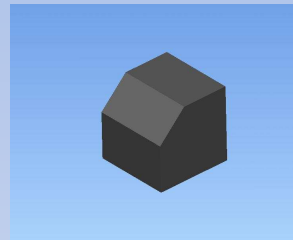
$$t_o = 10 \mu\text{s}$$

$$U_r = 65 \text{ V}$$

praca z odsuwaniem elektrody

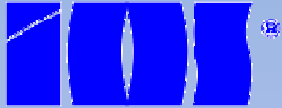
Próbka spiekana SLS i drążona elektroerozyjnie wraz z elektrodą oraz wygląd powierzchni po drążeniu.

## TABELA 4. WYNIKI POMIARÓW CHROPOWATOŚCI



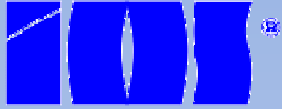
BEZ OBRÓBKI					
POW. CZOŁOWA		POW. BOCZNA		POW. SKOŚNA	
Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
μm	μm	μm	μm	μm	μm
4,3	17,6	10,8	56,2	11,1	57,7
5,7	23,8	9,7	54,1	11,9	60,5
5,6	22,9	11,0	58,6	9,5	54,8





<b>PO OBRÓBCE ŚRUTOWANIEM</b>					
<b>POW. CZOŁOWA</b>		<b>POW. BOCZNA</b>		<b>POW. SKOŚNA</b>	
<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>
4,5	20,3	2,9	16,4	3,3	18,9
4,2	19,4	2,5	15,8	3,7	19,0
5,8	22,7	2,9	16,5	3,3	18,6

<b>PO OBRÓBCE</b>					
<b>SZLIFOWANIE</b>		<b>DRAŻENIE EDM</b>		<b>POLEROWANIE</b>	
<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>	<b>µm</b>
0,18	0,93	2,11	10,0	0,03	0,27
0,17	0,89	2,12	12,2	0,03	0,25
0,19	0,92	3,27	15,4	0,04	0,39



## WYKONANIE MODELOWEGO KANAŁU CHŁODZĄCEGO

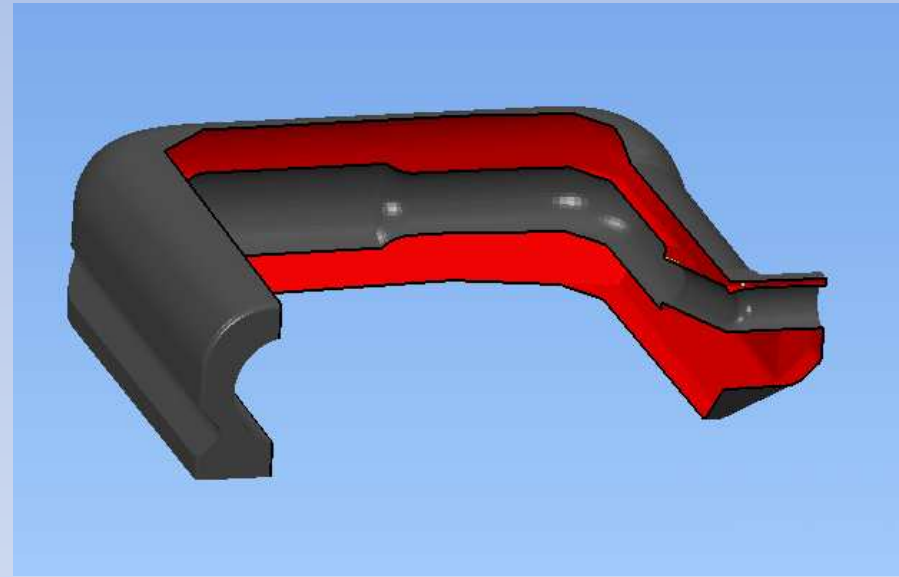
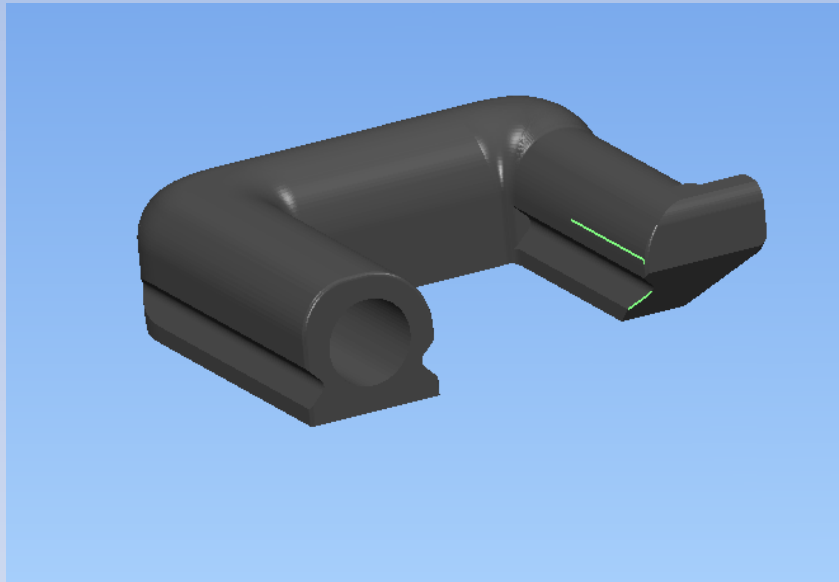
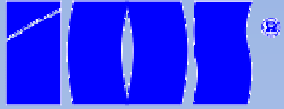
Jedną z najważniejszych zalet jakie wynikają ze stosowania warstwowych technik wytwarzania jest możliwość optymalnego rozmieszczenia i kształtowania kanałów chłodzących w formach.

Takie kanały, aby spełniać swoje zadania, muszą być budowane bez wewnętrznych podpór. Usunięcie ewentualnych podpór byłoby trudne, lub nawet niemożliwe. Natomiast pozostawienie podpór w kanałach dławiłoby przepływ czynnika chłodzącego.

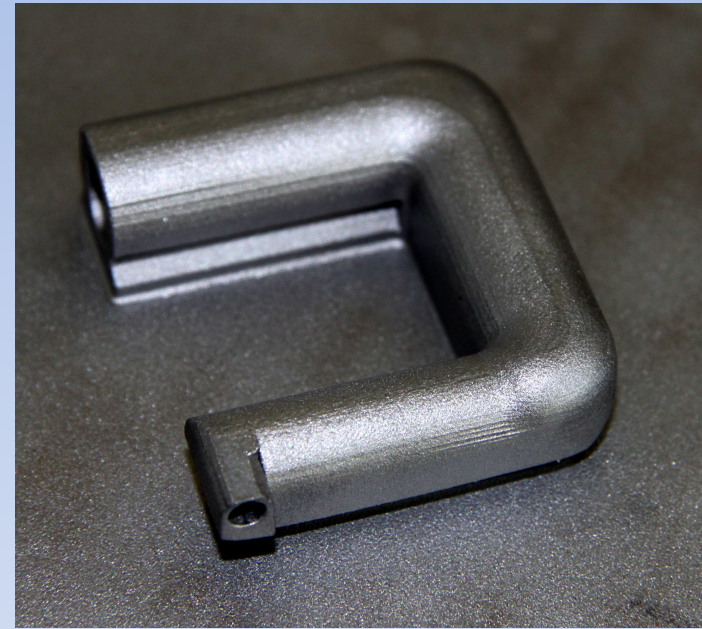
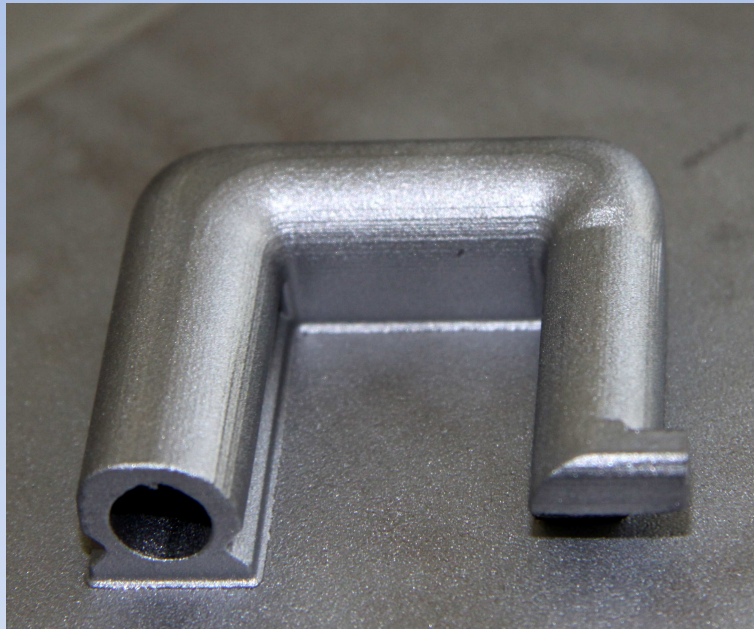
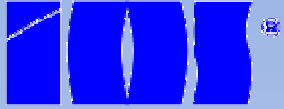
Dla sprawdzenia możliwości wykonywania kanałów zaprojektowano element z kanałem o zmiennej średnicy  $\phi$  10mm,  $\phi$  8mm,  $\phi$  6mm,  $\phi$  4mm, którego wykonanie przez wiercenie lub drążenie byłoby niemożliwe.

W zakresie założonych średnic kanał został zbudowany prawidłowo.

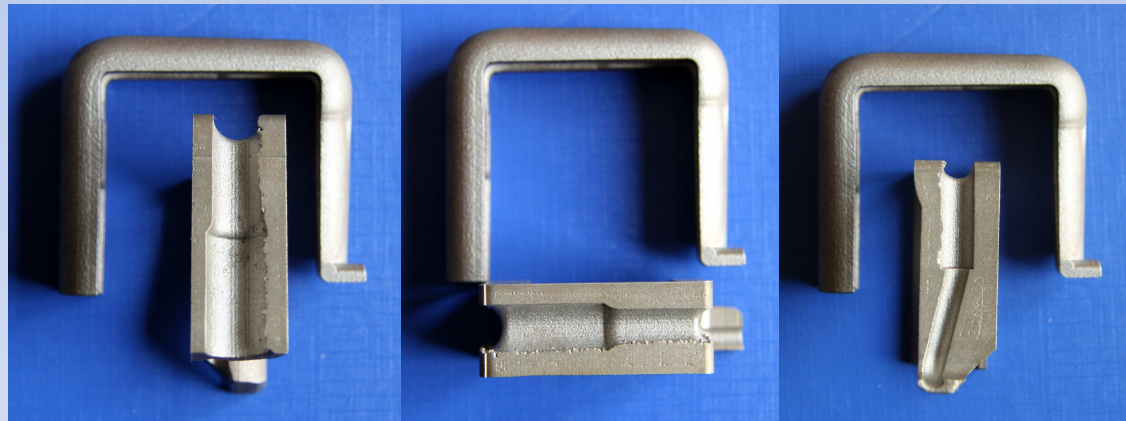
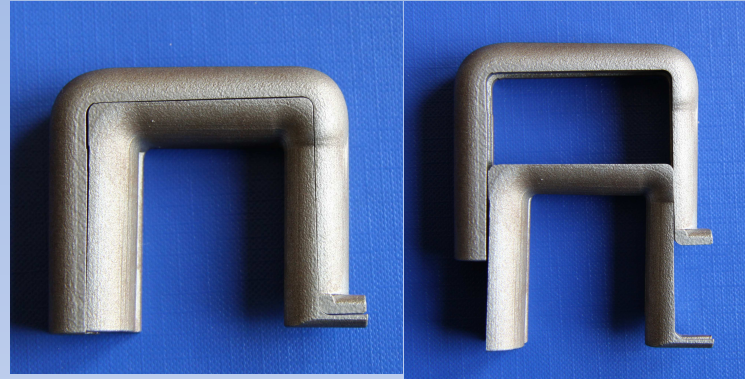
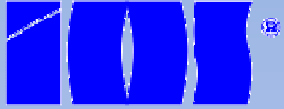




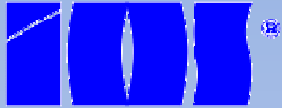
Projekt elementu z kanałem chłodzącym



Widok elementu z kanałem chłodzącym wykonanego metodą SLS



Widok kanału chłodzącego w elemencie wykonanym metodą SLS  
po przecięciu na wycinarku elektroerozyjnej



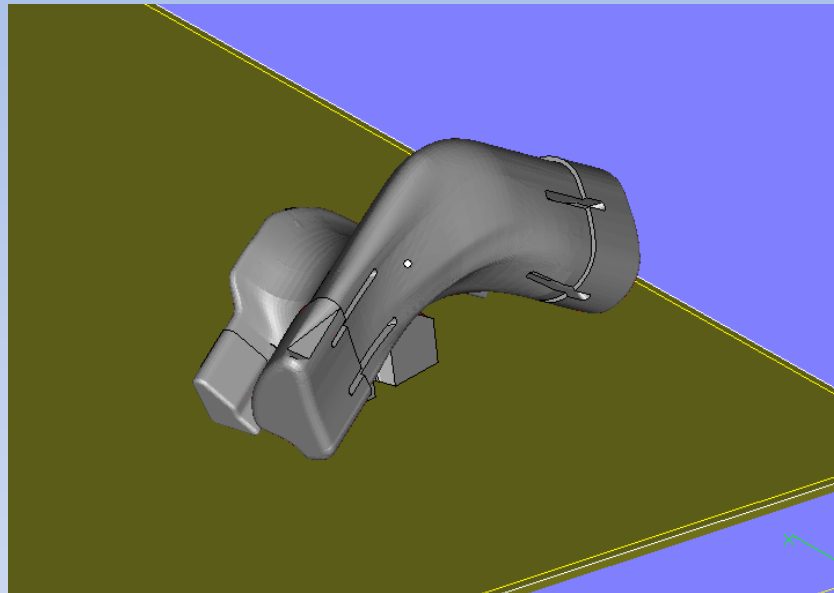
## WYKONANIE PRÓBNYCH WKŁADEK FORMUJĄCYCH

Zakład Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych realizując liczne usługi szczególnie w zakresie naprawy form przez laserowe napawanie powierzchni uszkodzonych w czasie eksploatacji, lub korygowania kształtu na formach wdrażanych do produkcji, nawiązał współpracę z takimi firmami jak: OPAKOMET S.A.; TELKOM – TELOS S.A.; P.P.U. POLSPECJAL CO. LTD. Firmom tym zaprezentowano możliwości stosowania przyrostowych technik wytwarzania elementów, a zwłaszcza laserowego spiekania metali do wytwarzania elementów form wtryskowych np. wkładek formujących.

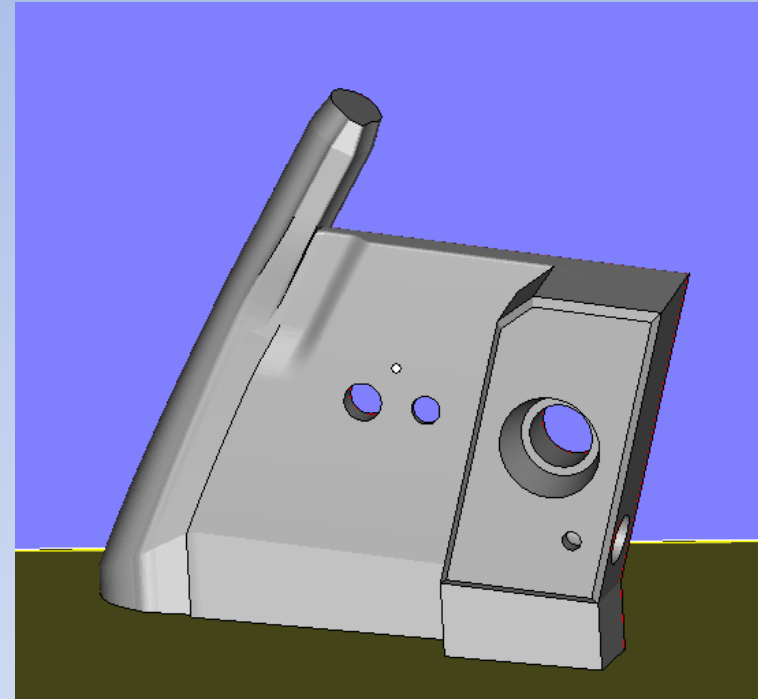
Dzięki tym kontaktom przedstawiciele Zakładu B5 mieli możliwość uczestniczenia w spotkaniu technologów organizowanym przez firmę, która jest wiodącym dostawcą produktów motoryzacyjnych specjalizującym się produkcji systemów i elementów dla samochodów. W szerokiej gamie produktów występują między innymi uszczelnienia nadwozia. Do ich produkcji wymagane są różnorodne wkładki formujące.

Otrzymano częściową dokumentację dwóch wkładek formujących.

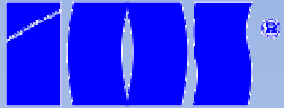




Wygląd wkładki formującej do uszczelki „A”.

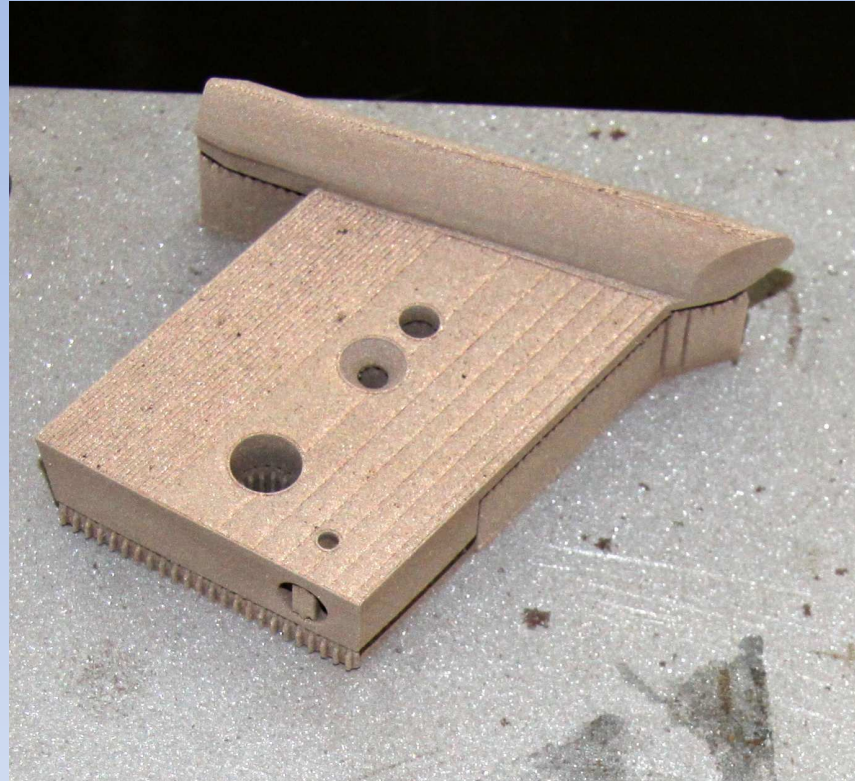
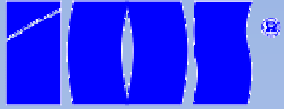


Wygląd wkładki formującej do uszczelki „B”.

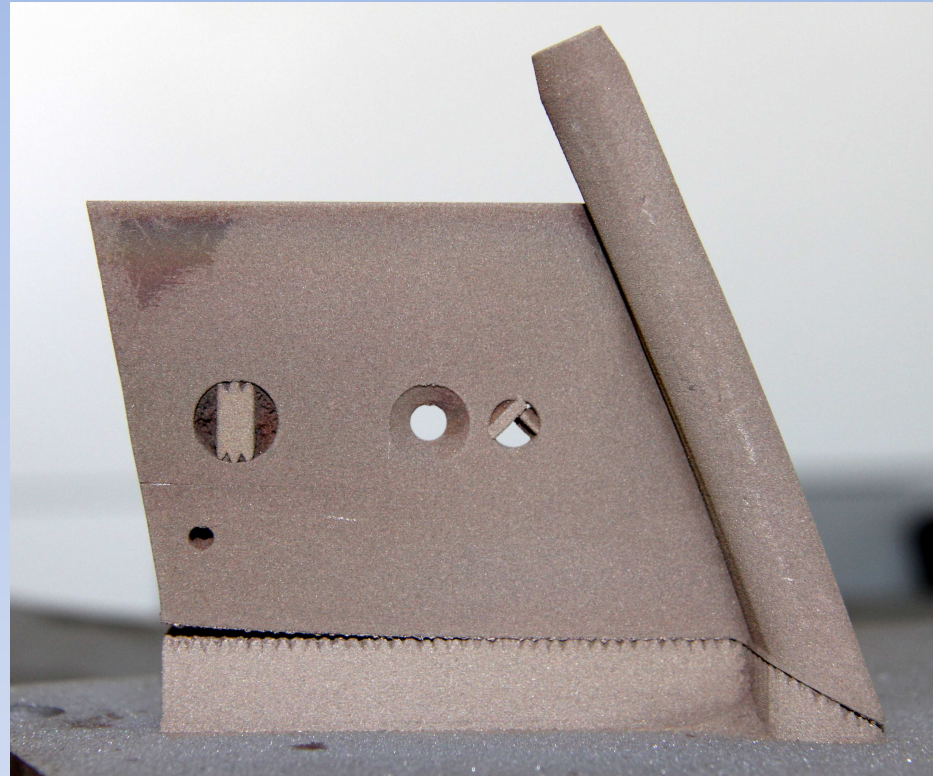
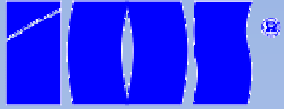


Władka formująca do uszczelki „A” spiekana na podporach, materiał: DirectMetal 20

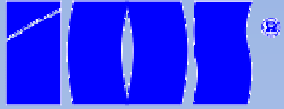




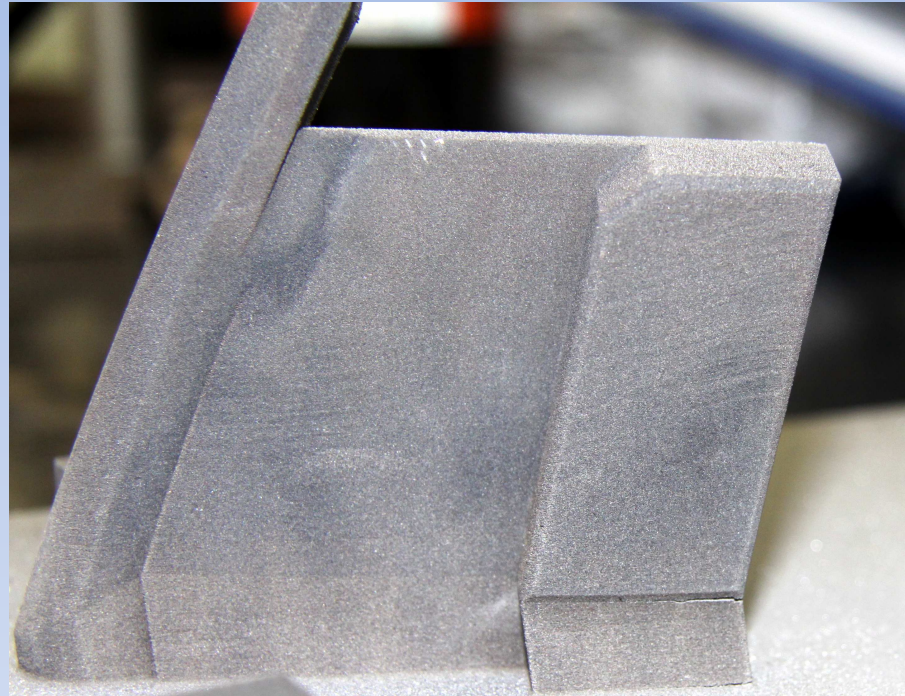
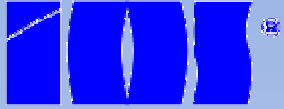
Wkładka formująca do uszczelki „B” spiekana na podporach w ułożeniu płaskim,  
materiał: DirectMetal 20



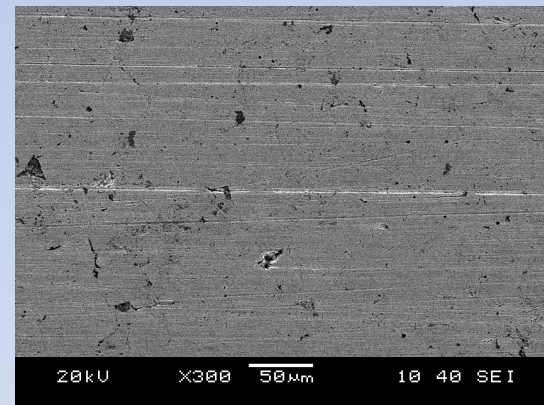
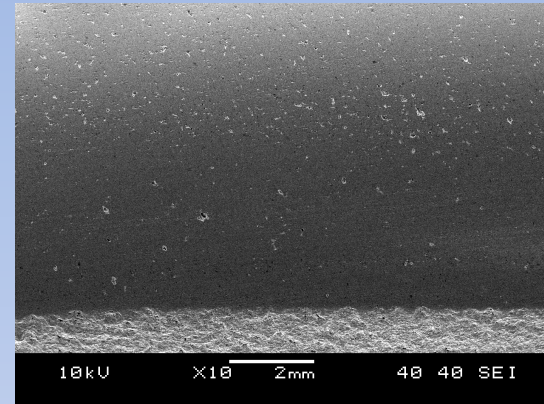
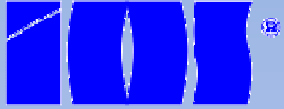
Wkładka formująca do uszczelki „B” spiekana na podporach w ułożeniu pionowym.  
Materiał: DirectMetal 20



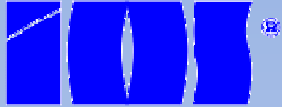
Wkładka formująca uszczelki „B” spiekana bez podpór w ułożeniu pochylonym.  
Materiał: DirectSteel H20



Wkładka formująca uszczelki „B” spiekana bez podpór, bez otworów, w ułożeniu pochylonym.  
Materiał: DirectSteel H20



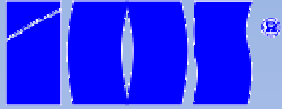
Wygląd wkładki formującej spiekanej metodą SLS po obróbce mechanicznej oraz zdjęcie powierzchni kształtującej polerowanej w powiększeniu 10X i 300X.



## Podsumowanie

- Uzyskanie dokładnych narzędzi jakimi są wkładki formujące do tworzyw sztucznych jest możliwe przy zastosowaniu metody laserowego spiekania metali oraz dodatkowo obróbki skrawaniem lub drążenia elektroerozyjnego.
- Projektując element przewidziany do wykonania przez laserowe spiekanie proszku metalu należy przewidzieć naddatek  $0.80 \div 0.90$  mm wynikający z niedokładności samego procesu spiekania oraz potrzeby usunięcia warstwy materiału dla uzyskania po polerowaniu powierzchni bez mikroporów. Jeżeli powierzchnia formująca może być matowa i chropowatość  $Ra > 4 \mu\text{m}$  to wystarczający jest naddatek 0.4 mm.

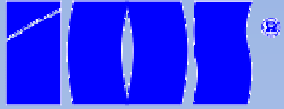




## Podsumowanie cd.

- **Największą zaletą stosowania laserowego spiekania proszków metali do wykonywania wkładek formujących jest możliwość wykonania kanałów chłodzących o skomplikowanych kształtach, optymalnych z punktu widzenia termodynamiki.**
- **Przy wykonywaniu elementów metodą SLS nie można podać ogólnych zasad, których stosowanie zagwarantuje osiągnięcie sukcesu w postaci prawidłowo zbudowanego elementu. Ogromne znaczenie ma doświadczenie technologa projektującego ustawienie elementu na płycie bazowej oraz podpory i dodatkowe wzmocnienia.**





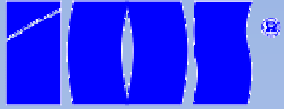
## Podsumowanie cd.

- **Selektywne spiekanie laserowe znajduje szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu i stanowi alternatywną metodę produkcyjną w przypadku realizacji skomplikowanych, czasochłonnych i wymagających dużych nakładów finansowych operacji.**
- **Szeroka gama dostępnych na rynku materiałów oraz rozwój inżynierii materiałowej dają ogromne możliwości zastosowania metody w wielu gałęziach przemysłu i medycynie.**
- **Z uwagi na czas wykonywania i możliwości tej metody może być ona konkurencyjna do tradycyjnych metod produkcyjnych a czasem niezastąpiona.**

W prezentacji wykorzystano materiały udostępnione dzięki uprzejmości firmy **EOS GmbH**.







*Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Wrocławska 37a, Kraków*  
*<http://www.iztw.krakow.pl/zntp> tel. 12 6317240, email: [dziedzic@ios.krakow.pl](mailto:dziedzic@ios.krakow.pl)*

---

**Dziękuję za uwagę**



---

*IX Forum ProCAx, Sosnowiec 2010*