



Wytwarzanie modeli funkcjonalnych i narzędzi metodą selektywnego spiekania laserowego

Maria Chuchro, Jan Czekaj, Adam Ruszaj

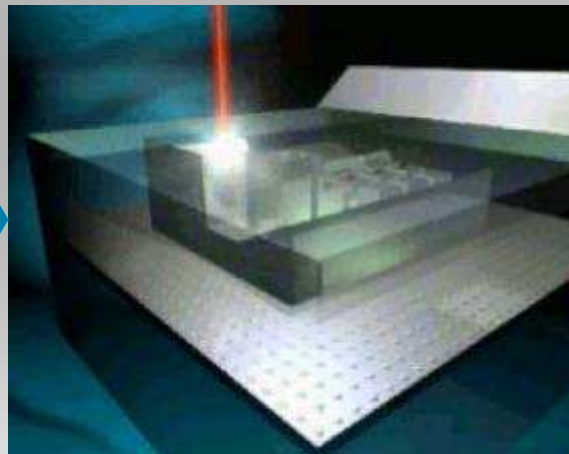
*Zakład Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych
Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie*

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



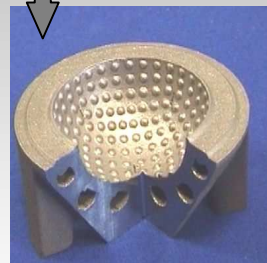
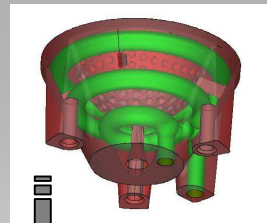
Wyrób



Rys historyczny

- 1979 R.F. Housholder wynalazł metodę podobną do SLS i ją opatentował, jednakże nie wdrożył.
- SLS została rozwinięta i opatentowana przez Dr. Carla Deckarda z University of Texas w Austin w połowie lat '80 a licencja sprzedana firmie DTM Corporation w Austin w Texasie.
- W 1989 roku powstaje EOS GmbH i rozwija technologie DLMS, wprowadzając w miarę rozwoju obecny podział maszyn ze względu na obrabiany materiał.
- 1995 powstaje urządzenie EOSINT M 250; DirectMetal 100
- 1997 opracowano materiał DirectMetal 50
- 1999 powstaje urządzenie EOSINT M 250 Xtended, DirectSteel 50
- 2001 powstaje urządzenie EOSINT M 250 Xtended 2001, DirectSteel 20
- 2001, 3D Systems, Inc. of Valencia, California przejął DTM Corporation.
- 2002 DirectMetal 20
- 2004 powstaje urządzenie EOSINT M 270; EOSTYLE; DirectSteel H20
- 2006 CobaltChrome i StainlessSteel
- 2007 Titanium i MaragingSteel

Wiodący producenci

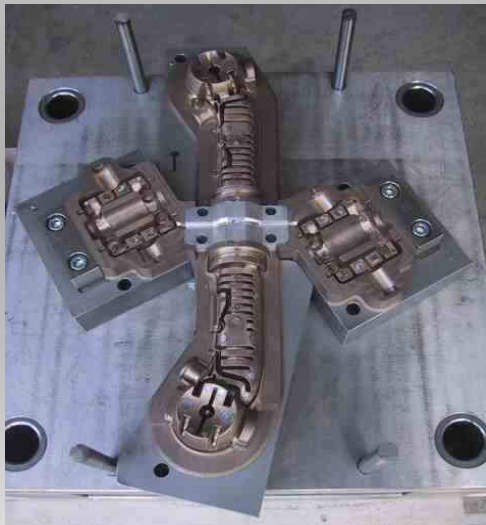


WIRTECHNOLOGIA – Techniki szybkiego prototypowania w cyklu życia produktu

Sosnowiec 21 października 2008 r.

Kierunki rozwoju

Formy wtryskowe
i narzędzia



Prototypy



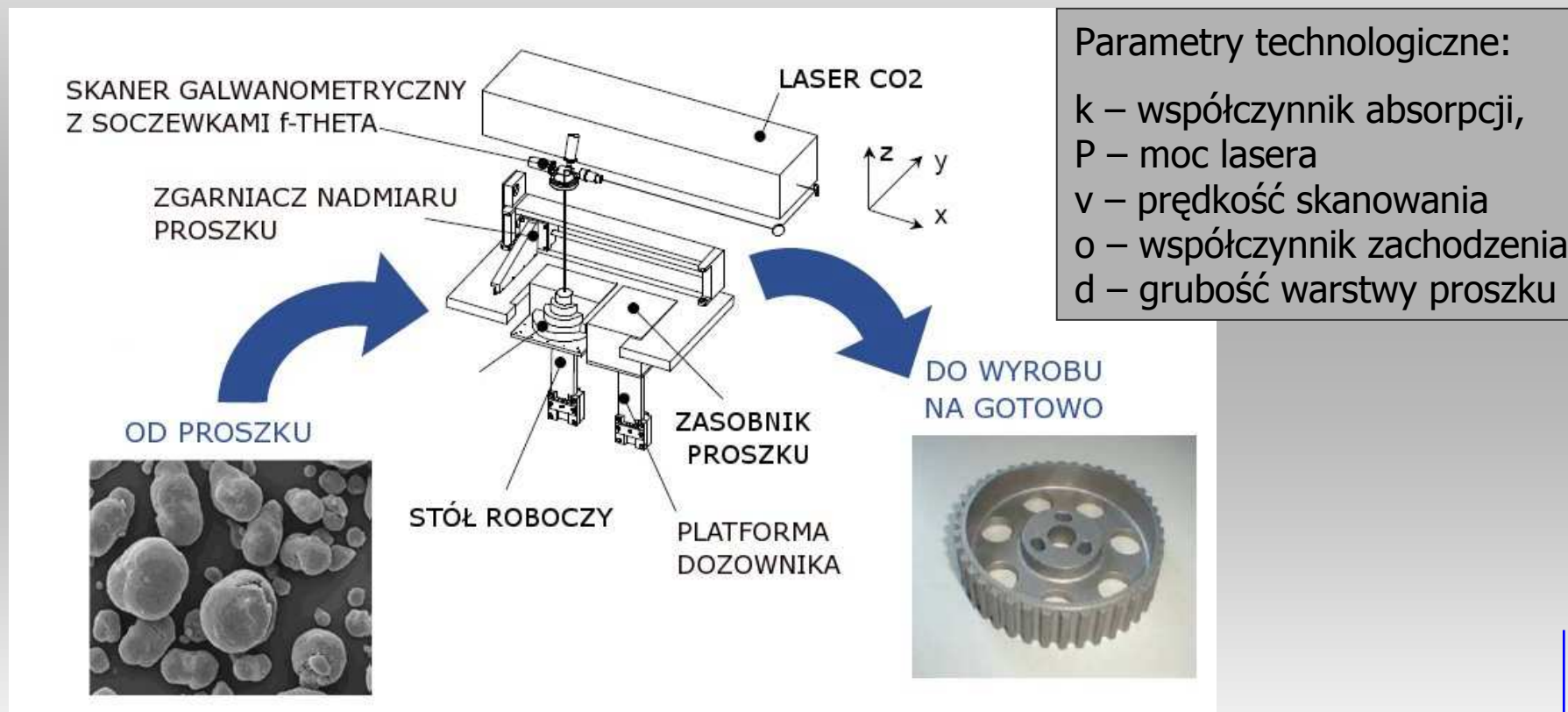
Formy odlewnicze



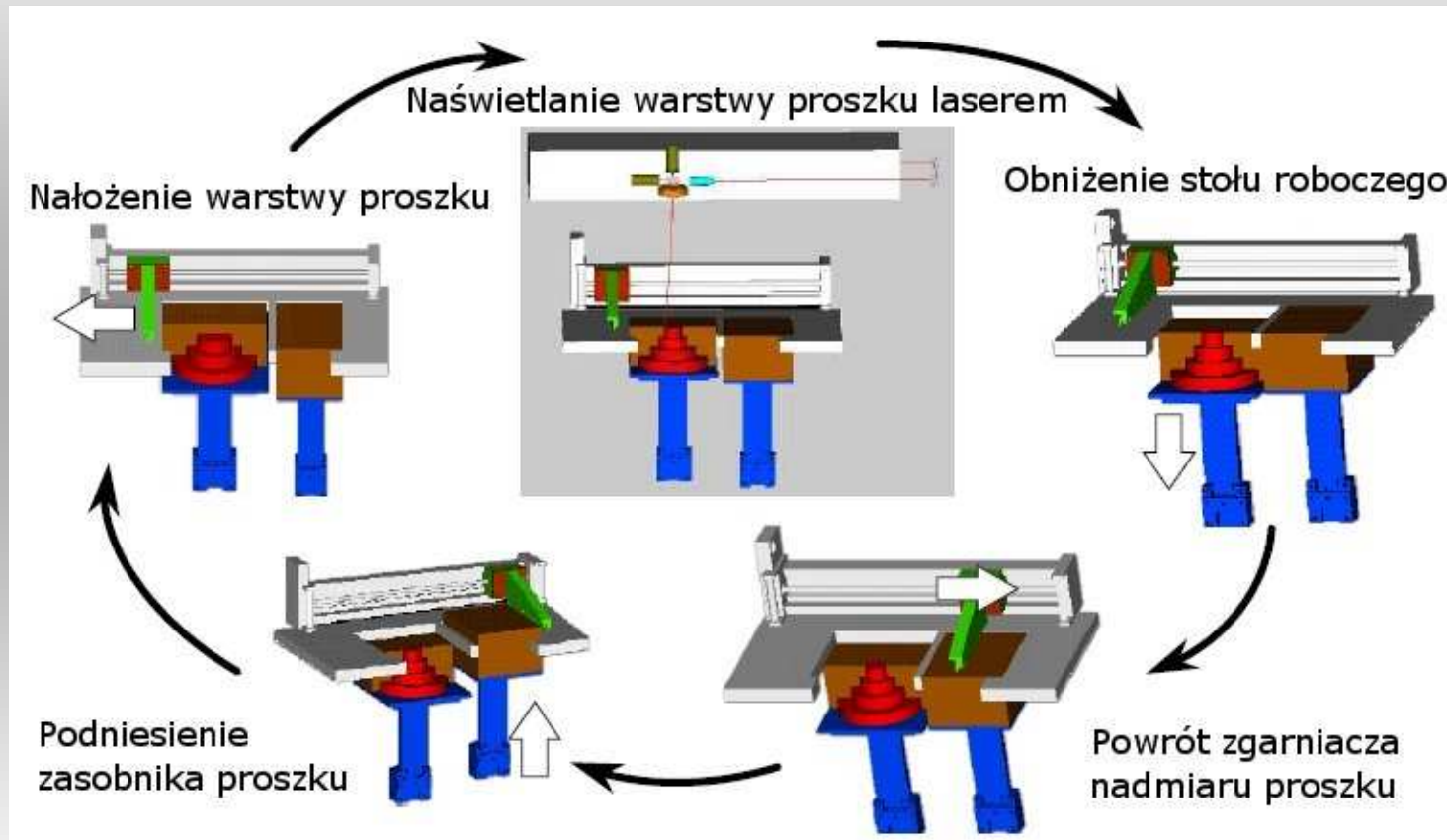


Selektywne spiekanie laserowe (Selective Laser Sintering - SLS): polega na spiekaniu, za pomocą wiązki lasera (np. Nd-YAG lub CO₂ o mocy 50 – 500 W), cienkiej warstwy proszku rozprowadzonej równomiernie na stoliku roboczym. Jest to proces termiczny, a nie chemiczny i z tego względu laser musi mieć większą moc niż w przypadku SLA. Proces spiekania przebiega najczęściej w atmosferze gazów ochronnych. Jako proszki można stosować różne materiały, począwszy od tworzyw termoplastycznych przez niskotopliwe metale i ich stopy, aż po materiały ceramiczne. Proces ten jest już szeroko stosowany w przemyśle.

Omówienie metody, parametry technologiczne



Omówienie metody, parametry technologiczne



Uszeregowanie istotnych obszarów procesu laserowego spiekania

Warianty laserowego spiekania

Proszki materiałów mogą być:

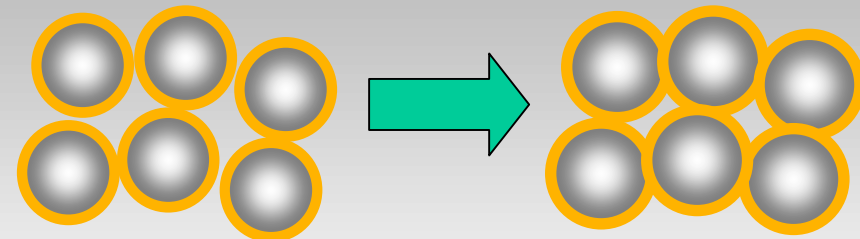
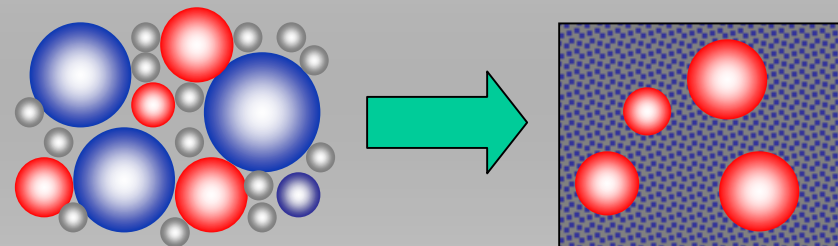
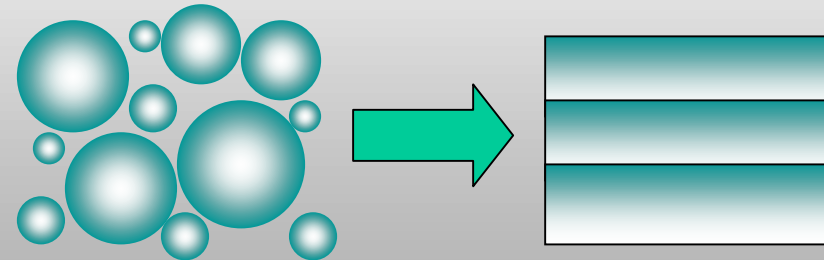
- jedno lub wieloskładnikowe,
- polimerowe, metalowe, ceramiczne ...
- czyste, mieszaniny, wcześniej przygotowane stopy, powlekane

Proces spiekania może być realizowany:

- w fazie zmiękczonej lub częściowo przetopionej,
- w fazie kompletnego przetopienia i krzepnięcia,
- w fazie ciekłej,
- w skutek dyfuzji,
- spiekanie z wiązaniem żywicznym itd..

Proces budowania elementu może być:

- bezpośredni, tzn. element uzyskuje ostateczne właściwości
- pośredni, tzn. wtórny proces jest wymagany



Proces bezpośredniego spiekania laserowego (DMLS)

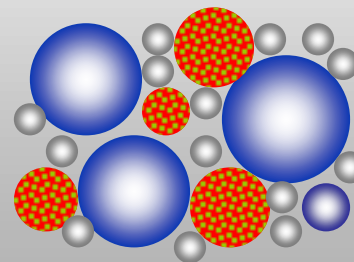
Cechy charakterystyczne

Stosowany tylko do proszków metalowych, tzn. bez wiązań organicznych

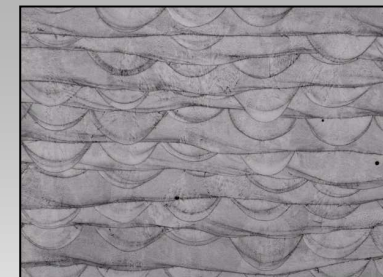
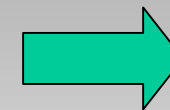
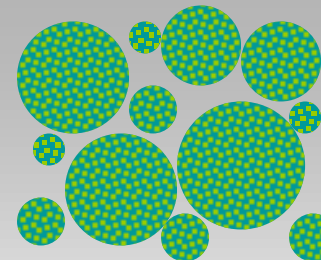
Element metalowy z ostatecznymi właściwościami jest bezpośrednio wytwarzany w procesie spiekania

Proces zestalania jest realizowany poprzez:

- topienie lub spiekanie w fazie ciekłej wieloskładnikowych mieszanin (DirectMetal, DirectSteel), lub
- kompletne przetopienie i krzepnięcie pierwiastka lub proszku pre-stopu (CobaltChrome, Stainless Steel, Titanium Itd.)



Schematyczny przykład DirectMetal (mieszanka wieloskładnikowa)



Schematyczny przykład CobaltChrome (pre-stop)

Urządzenia EOSINT M



EOSINT M 270

- nowoczesny system do spiekania proszków DirectMetal i DirectSteel oraz przyszłościowych materiałów,
- laser na ciele stałym, 200 Wat,
- max. wymiary wyrobu 250 x 250 x 215 mm



EOSINT M 250

- wszechstronny system do spiekania proszków DirectMetal i DirectSteel;
- laser CO₂, 270 Wat,
- max. wymiary wyrobu 250 x 250 x 200 mm

Prezentacja EOSINT M 250Xt



EOSINT M 250 Xtended

System zapewnia w sposób kompleksowy proces powstawania elementu, czyli:

- **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 SLS.**

EOSINT M 250 Xt umożliwia szybkie wykonanie „na gotowo” skomplikowanego przedmiotu, formy odlewniczej czy form wtryskowych zaprojektowanych w systemie CAD 3D. Urządzenie jest wyposażone w system monitorowania temperatury budowanego wyrobu i kalibrowania parametrów tak, aby produkt posiadał zbliżone właściwości mechaniczne w całej swojej objętości, a proces wytwarzania był powtarzalny. System wyposażony jest również w układ zarządzania dostarczonym proszkiem kontrolujący jego zużycie i wprowadzanie proszku nie spieczonego ponownie do procesu bez ograniczeń i potrzeby odświeżania go (jedynie przesiewanie proszku).

Prezentacja EOSINT M 250Xt



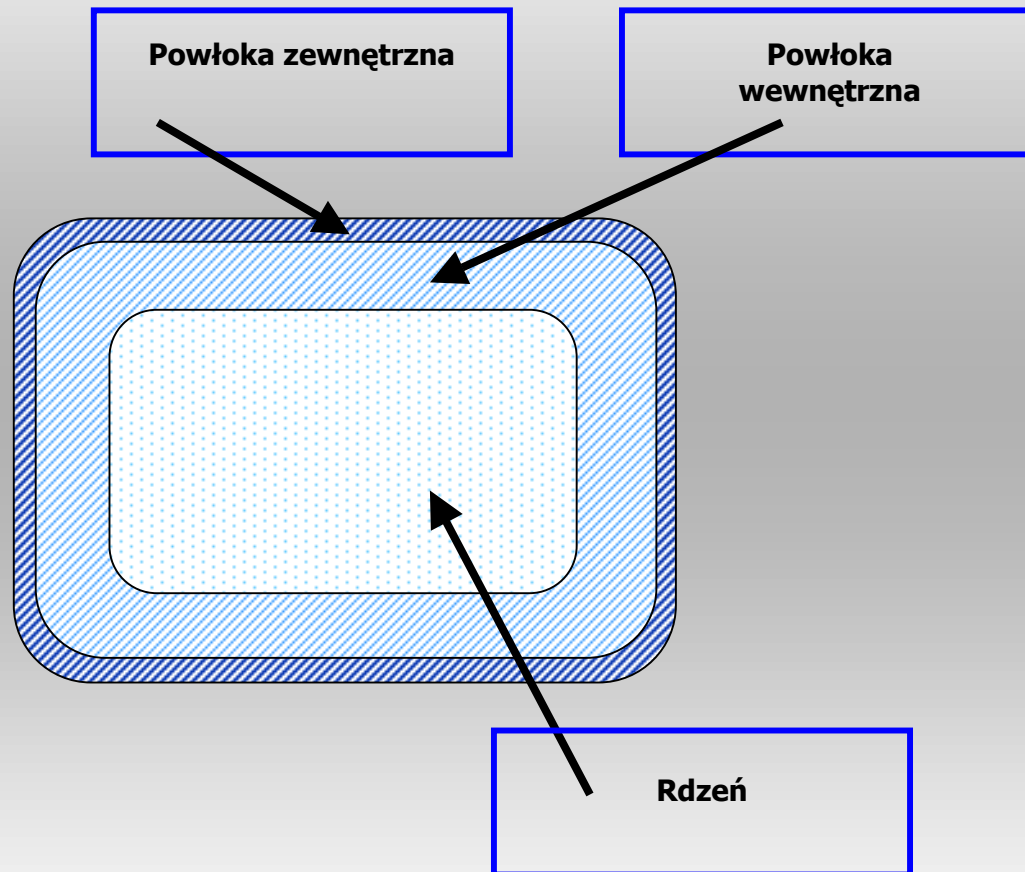
**Urządzenie EOSINT M 250Xt
Zainstalowane w laboratorium IZTW**

Charakterystyka urządzenia

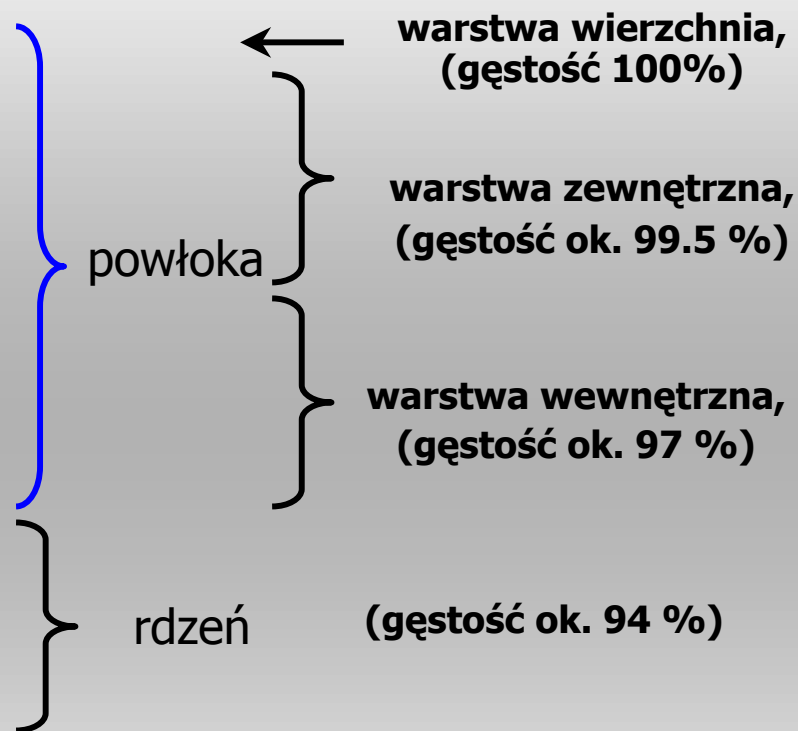
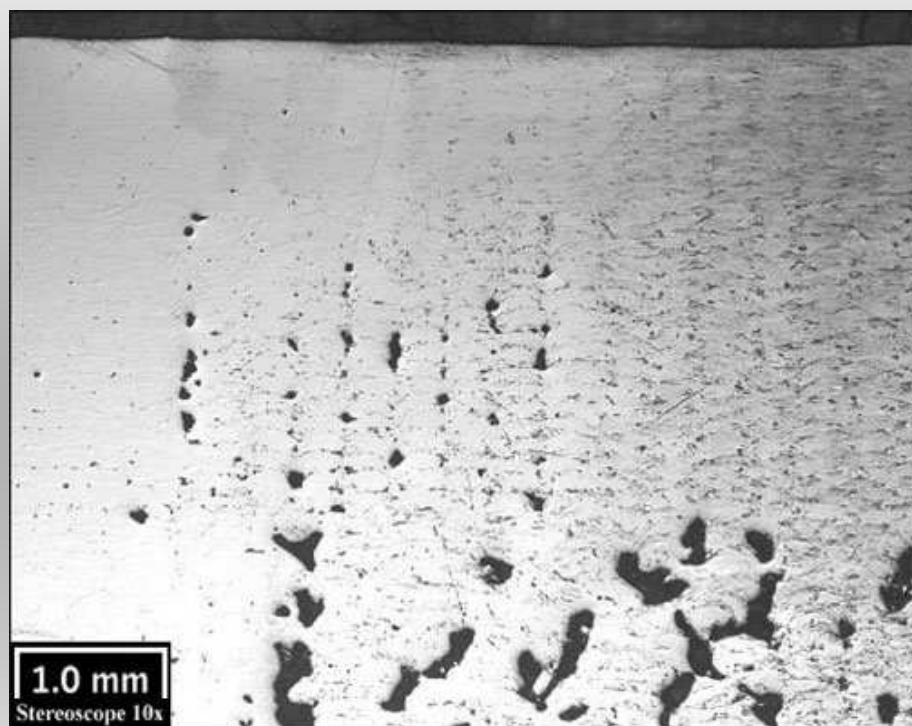
- Laser CO₂: 200 W;
- Prędkość skanowania: do 3.0 m/s;
- Grubość nakładanych warstw proszkowych: 20 – 60 μm;
- Dokładność otrzymywanych przedmiotów: +/- 0,05 mm;
- Max wymiary budowanego elementu: 250 x 250 x 200 mm;
- Obudowa urządzenia laserowego: klasy 1 ;
- System podawania gazu osłonowego: zintegrowany generator azotu w urządzeniu;

Na wyposażeniu znajduje się również urządzenie do czyszczenia komory roboczej i obróbki wykańczającej (śrutowanie)

Optymalna strategia budowania elementu – powłoka i rdzeń



Strategia budowania – powłoka i rdzeń



Przekrój poprzeczny elementu z materiału DirectSteel H20 budowanego na EOSINT M 250 Xt przy standardowych parametrach, po śrutowaniu

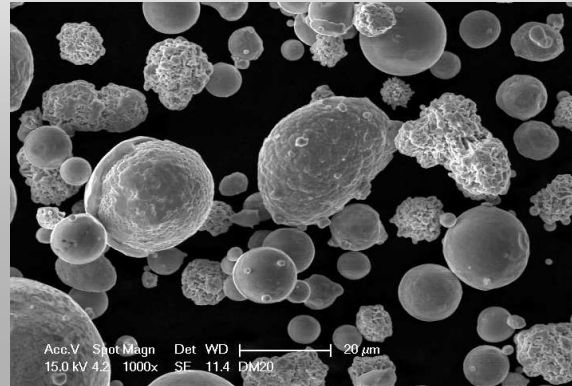
Szybkość budowania rdzenia może być do 8x większa niż dla warstwy zewnętrznej



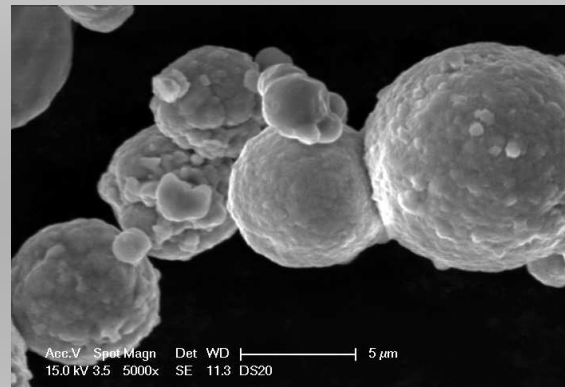
Proszki

Nazwa	Typ	Typowe zastosowania
DirectMetal 20	Mieszanka na bazie brązu	Formy wtryskowe, narzędzia, prototypy
DirectSteel 20	Mieszanka na bazie stali	Formy wtryskowe, narzędzia, prototypy
DirectSteel H20	Mieszanka na bazie stal	Formy wtryskowe, narzędzia, prototypy
EOS Maraging Steel MS1	18 Mar 300/1.2709	Prototypy i serie wyrobów w budowie maszyn
EOS Stainless Steel 17-4	Stal nierdzewna 17-4/PH/1.4542	Prototypy i serie wyrobów w budowie maszyn i medycynie
EOS CobaltChrome MP1	nadstop	Prototypy i serie wyrobów w budowie maszyn, medycynie i dentystyce
EOS Titanium Ti64	Stop lekki Ti6Al4V	Prototypy i serie wyrobów przemysł lotniczy, samochodowy itp.

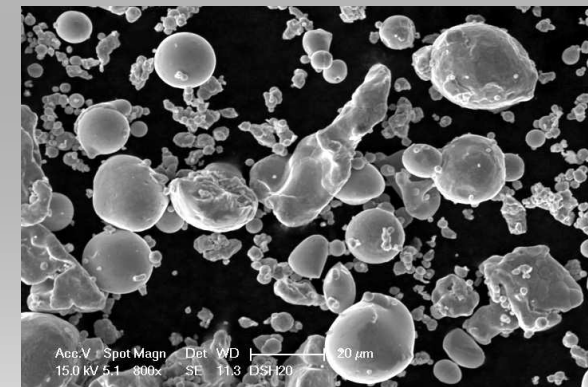
Proszki



DM20 – pow. x 1000



DS20 – pow. x 5000



DSH20 – pow. x 800



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 μm	20 μm	20 μm
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 μm rdzeń	15 mm^3/s	7.5 mm^3/s	4 mm^3/s
20 μm powłoka	2 - 8 mm^3/s	1.5 - 2.5 mm^3/s	0.5 - 3 mm^3/s
40 μm rdzeń	16 mm^3/s	8 mm^3/s	5 mm^3/s
40 μm powłoka	4 - 10 mm^3/s	2 - 4 mm^3/s	1 - 3 mm^3/s
60 μm rdzeń	18 mm^3/s	10 mm^3/s	bd
60 μm powłoka	6 - 12 mm^3/s	2.5 - 5 mm^3/s	bd



Właściwości fizyczne elementów

	DirectMetal20	DirectSteel20	DirectSteel H20
Gęstość w obszarze powłoki [g/cm ³]	7,6	7,6	7,8
Gęstość w obszarze rdzenia [g/cm ³]	6,3	6,3	7,0
Porowatość względna[%]	8	2	<0,5
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	do 400	do 600	do 1100
Granica plastyczności [MPa]	200	400	800 (po obróbce cieplnej + 10 - 15%)
Moduł Younga [GPa]	80	130	180
Wytrzymałość na zerwanie w kierunku poprzecznym [MPa]	700	1000	2000
Wydłużenie do zerwania [%]	2,5	1,5	4



Właściwości fizyczne elementów cd.

	DirectMetal20	DirectSteel20	DirectSteel H20
Twardość [HB, HV, HRB]			
Po spiekaniu	110 HB, 115 HV (ok. 65 HRB)	220 HB, 225 HV, 94 HRB	350 – 420 HV, 35 – 42 HRC
Po śrutowaniu			380 – 420 HV, 38 – 42 HRC
Po naniesieniu powłoki TiN lub CrN metoda PVD	>2000HV	>2000HV	>2000HV
Po azotowaniu		380 HB, 400 HV, ok. 112 HRB	500 – 700 HV
Chropowatość powierzchni [μm]			
Bez obróbki wykończeniowej	Ra=9 Rz=40 – 50	Ra=10 Rz=50	Ra=10 Rz=40 – 50
Po śrutowaniu	Ra=3 Rz=15	Ra=4 Rz=15	Ra=5 Rz=25
Po polerowaniu	Rz do <1	Rz do <1	Rz do <1

Obróbka wykończeniowa

Peenmatic 750 S



	Zmiany wymiarów po śrutowaniu	Zmiany wymiarów po obróbce ścierniej
DM20	ok. 50 μm	ok. 10 ... 30 μm
DS20	ok. 40 μm	ok. 10 ... 30 μm
DS H20	ok. 40 μm	ok. 10 ... 30 μm

Przykłady wybranych elementów

- DirectPart®

- prototypy
- wyroby jednorazowe, specjalistyczne
- krótkie serie produkcyjne
- części testowe, aparatura naukowa

- DirectTool®

- formy wtryskowe,
- inne narzędzia odlewnicze
- matryce do obróbki plastycznej
- stałe części narzędzi.



Przykłady wybranych elementów



Wkładka zamka wykonana z DirectMetal 20, pojedynczy proces DMLS zastępuje 16 operacji EDM.



Koło zębate do Volvo S80, dostępne „na drugi dzień”

Przykłady wybranych elementów



Nożyce z ostrzami i przekładnią wykonane z DirectSteel 20



8 części złożeniowych kłódki w DirectMetal 20, czas dostawy 1 tydzień (80% redukcja czasu)

Przykłady wybranych elementów

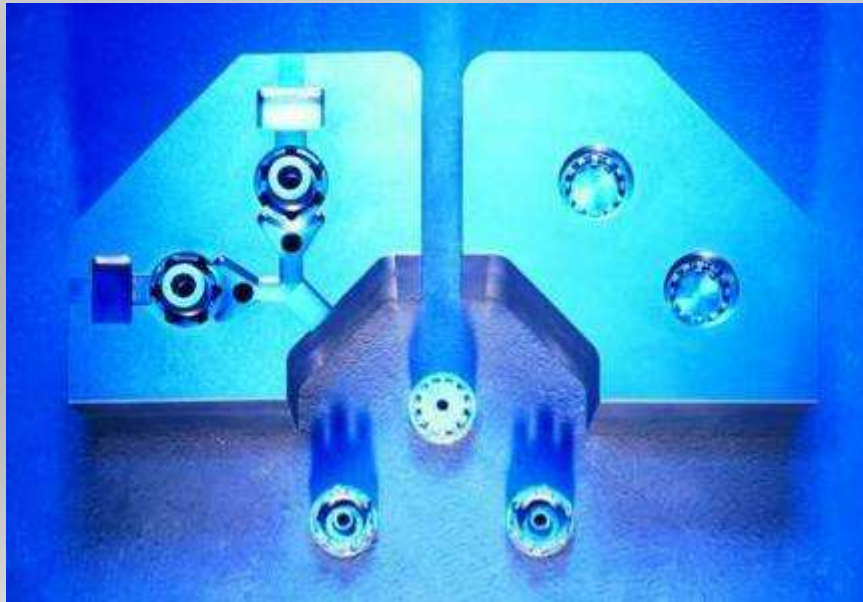


Łopaska turbiny



Prototypowa obręć statora helikoptera
z DirectSteel 20

Przykłady wybranych elementów



Obudowa sprzęgła, odlew ciśnieniowy z aluminium wykonany w formie z DirectSteel 20, wytrzymałość formy ponad 500 sztuk



Obudowa blokady kierownicy wykonana z magnezu w formie z DirectMetal 20

Przykłady wybranych elementów



Zawias drzwi wykonany z 2.5 mm blachy stalowej; matryca z DirectMetal 20



Inne przykłady obróbki plastycznej dzięki matrycom wykonanym na EOSINT M 250xt



Wytwarzanie modeli i narzędzi w IZTW Kraków



Wykonywanie elementów metalowych w IZTW

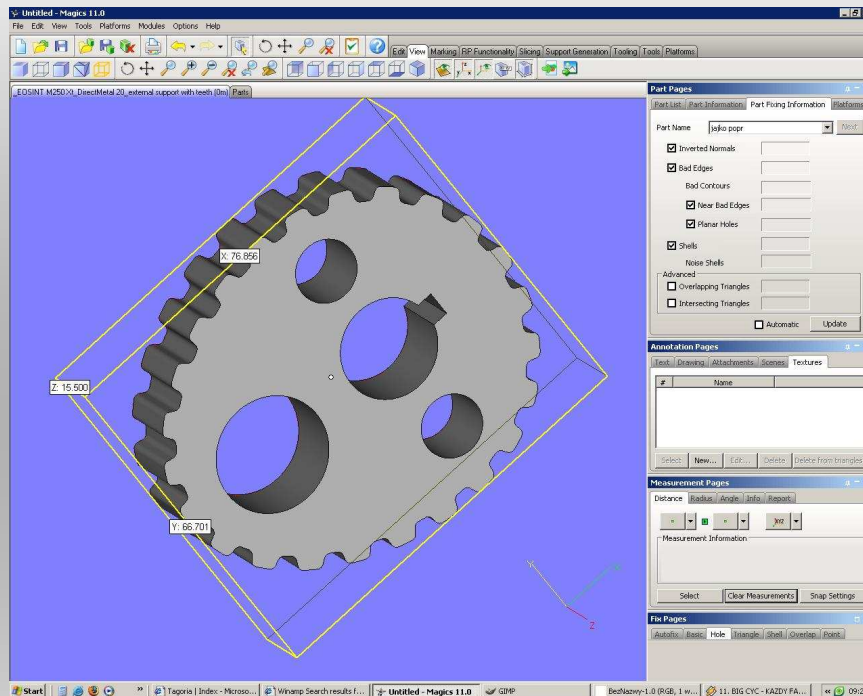
Urządzenie: EOSINT M 250 Xt

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



Wczytany element w środowisku programu Magics

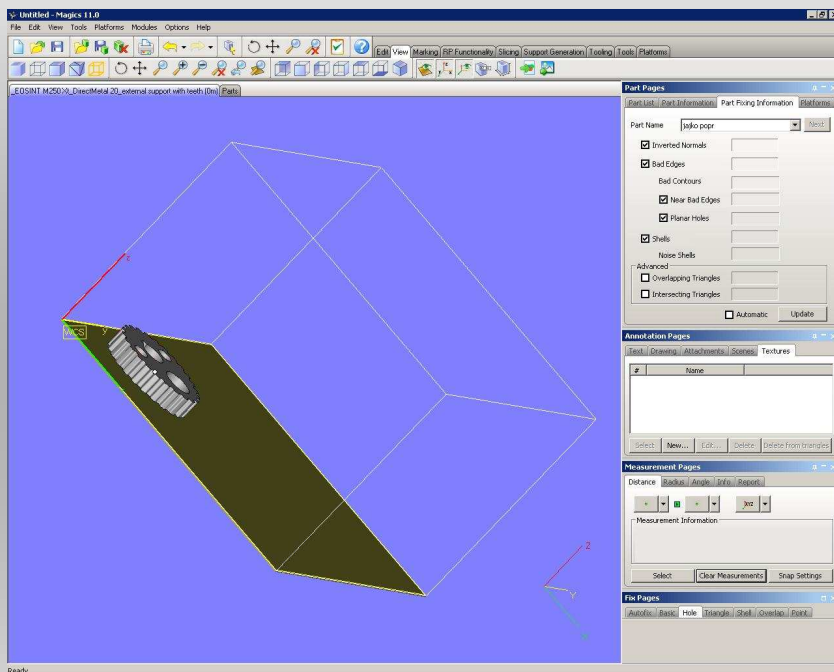
Etap I.

Po wczytaniu do programu elementu w formacie „.mgx” bądź „.stl” należy umieścić go w wirtualnej komorze roboczej.

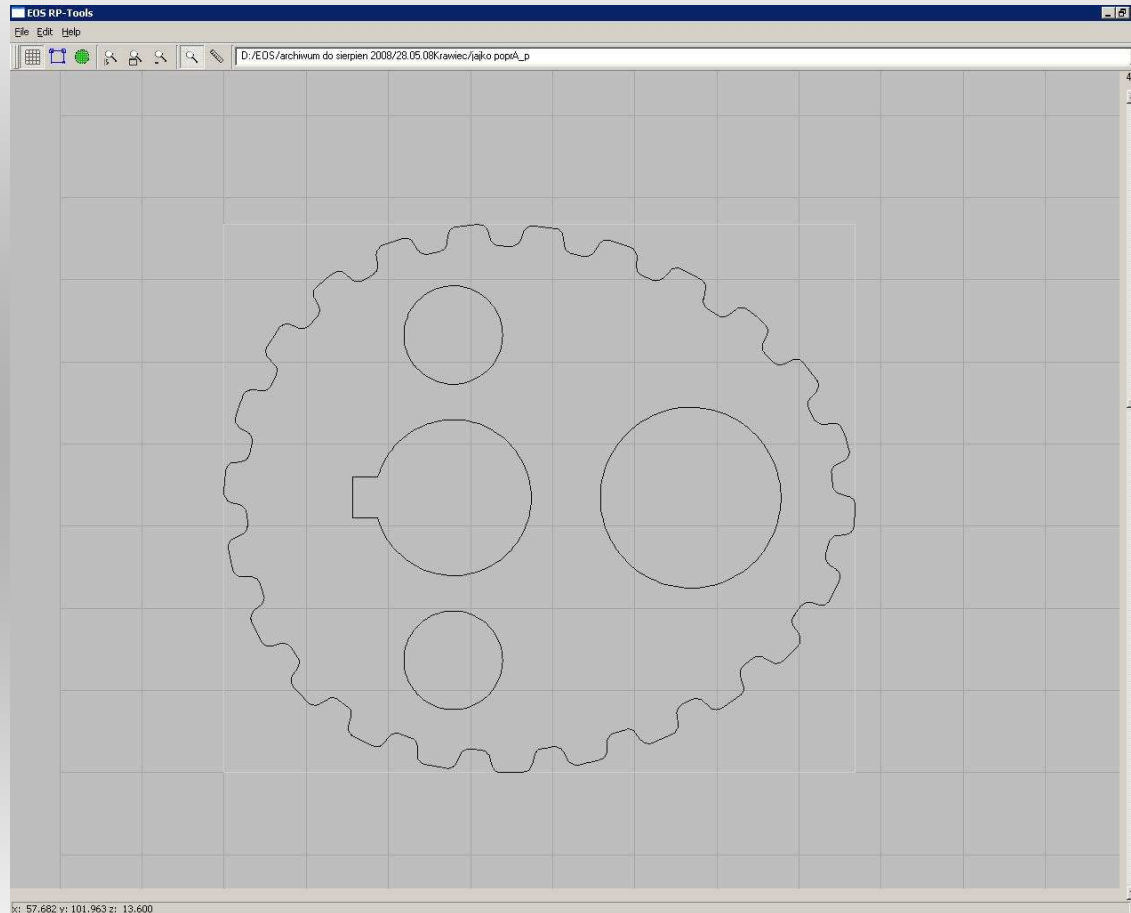
Operator może odpowiednio usytuować element w obszarze roboczym.

Etap II.

Korzystamy z programu EOS RP-Tools. Program EOS RP – Tools bezpośrednio w momencie wczytywania zapisanego pliku generuje element podzielony na warstwy, przeznaczone do spiekania (20, 40 bądź 60 μm). Po zakończeniu tego procesu należy zamknąć program (zapis pliku odbywa się automatycznie). Zapisany plik elementu jest wykorzystywany w procesie spiekania.

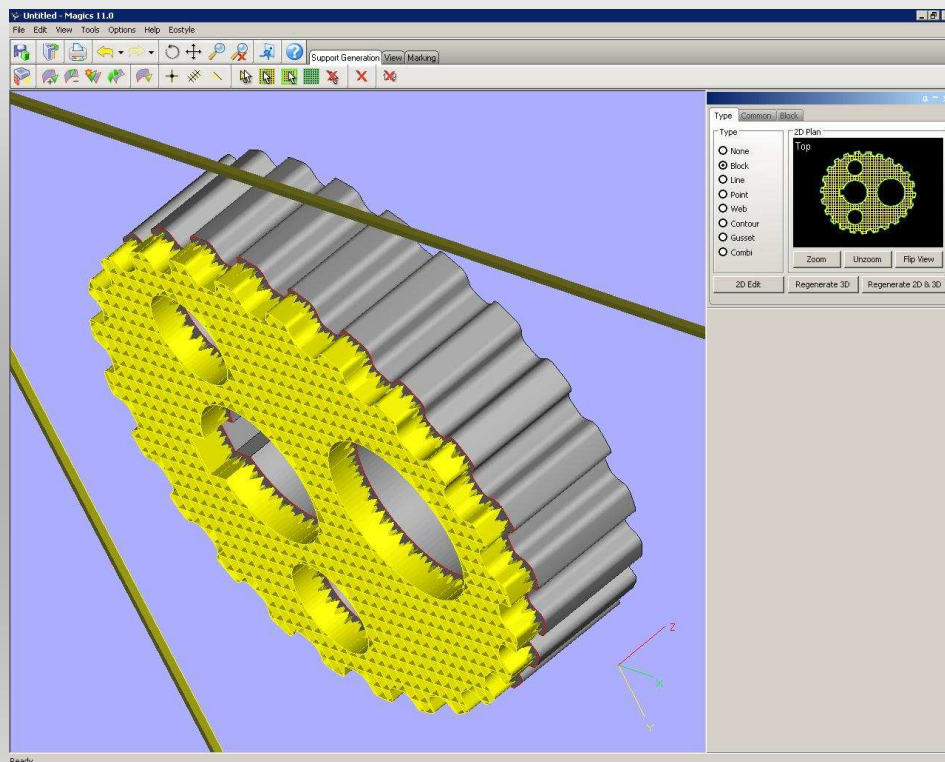


**Element umieszczony
w wirtualnej komorze roboczej**



**Środowisko programu
EOS RP-Tools po
wygenerowaniu warstw
na elemencie.**

(W prawym górnym rogu jest
widoczny numer warstwy,
którą oglądamy).



Zbudowana konstrukcja wsporcza pod elementem

Etap III.

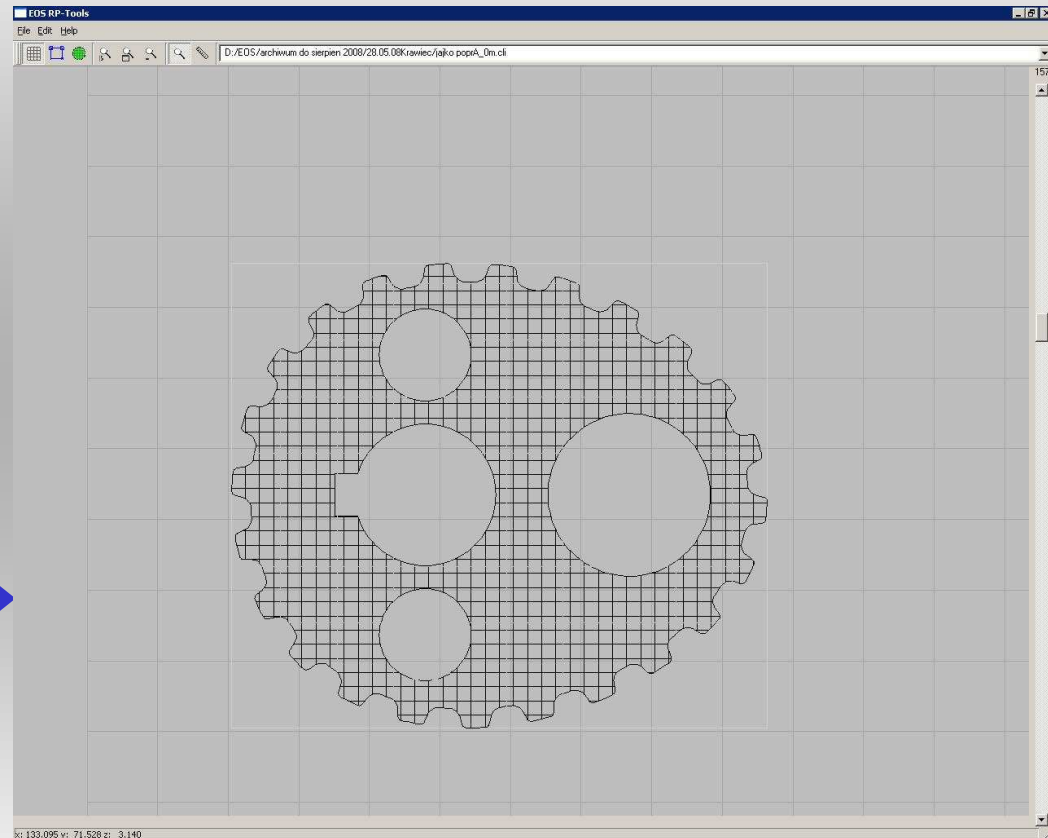
W programie Magics (funkcja budowy suportu) następuje wygenerowanie pliku konstrukcji wsporczej (suportu). Konstrukcja wsporcza jest automatycznie budowana w miejscach gdzie to jest wymagane wg. programu. Operator może ręcznie zmodyfikować suport korzystając ze swojego doświadczenia przy wykonywaniu tego typu elementów.

Wynik projektowania suportu jest zapisywany do pliku. Przechodzimy ponownie do programu EOS RP-Tools, gdzie podczas wczytywania pliku konstrukcji wsporczej następuje podział na warstwy o założonej grubości.

W tym momencie są dostępne dwa „warstwowe” pliki: elementu i jego suportu, które zostaną wykorzystane do zainicjowania procesu spiekania na urządzeniu EOSINT.

Środowisko programu EOS RP-Tools po wygenerowaniu warstw na suportcie.

(W prawym górnym rogu jest widoczny numer warstwy, którą oglądamy).



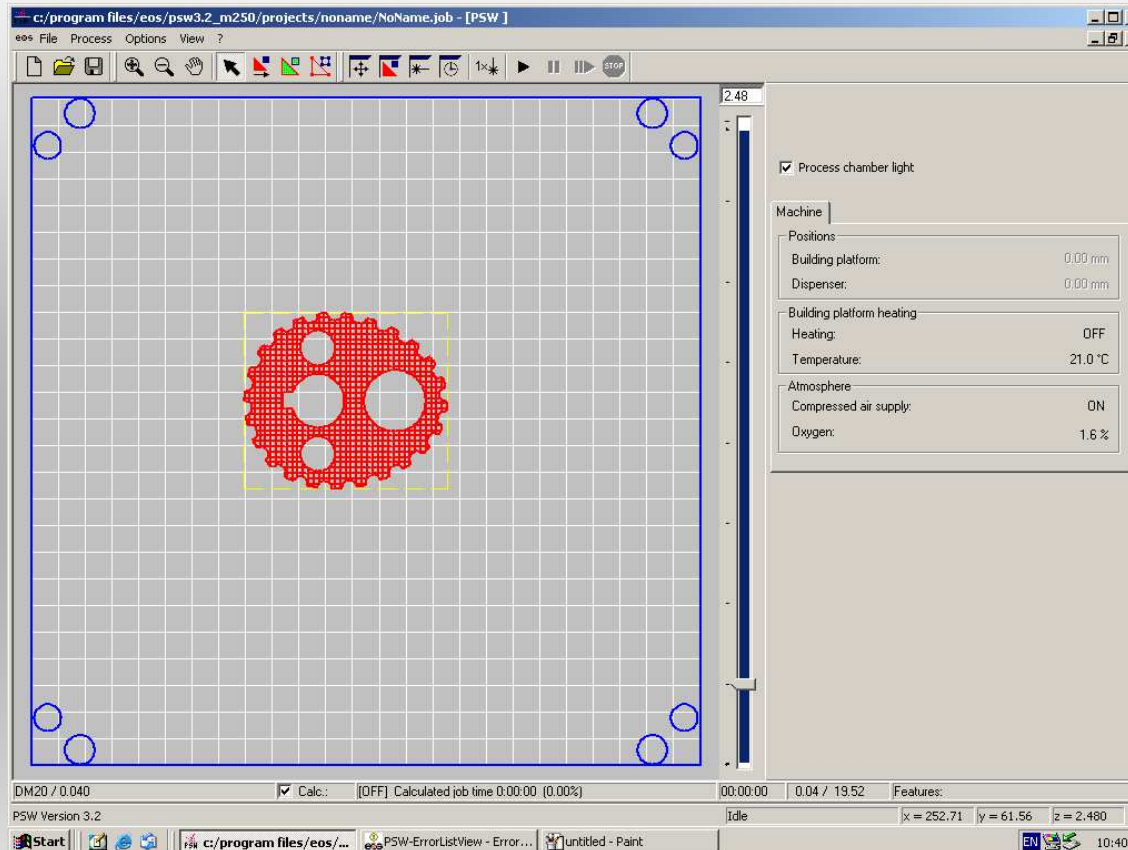


Etap IV.

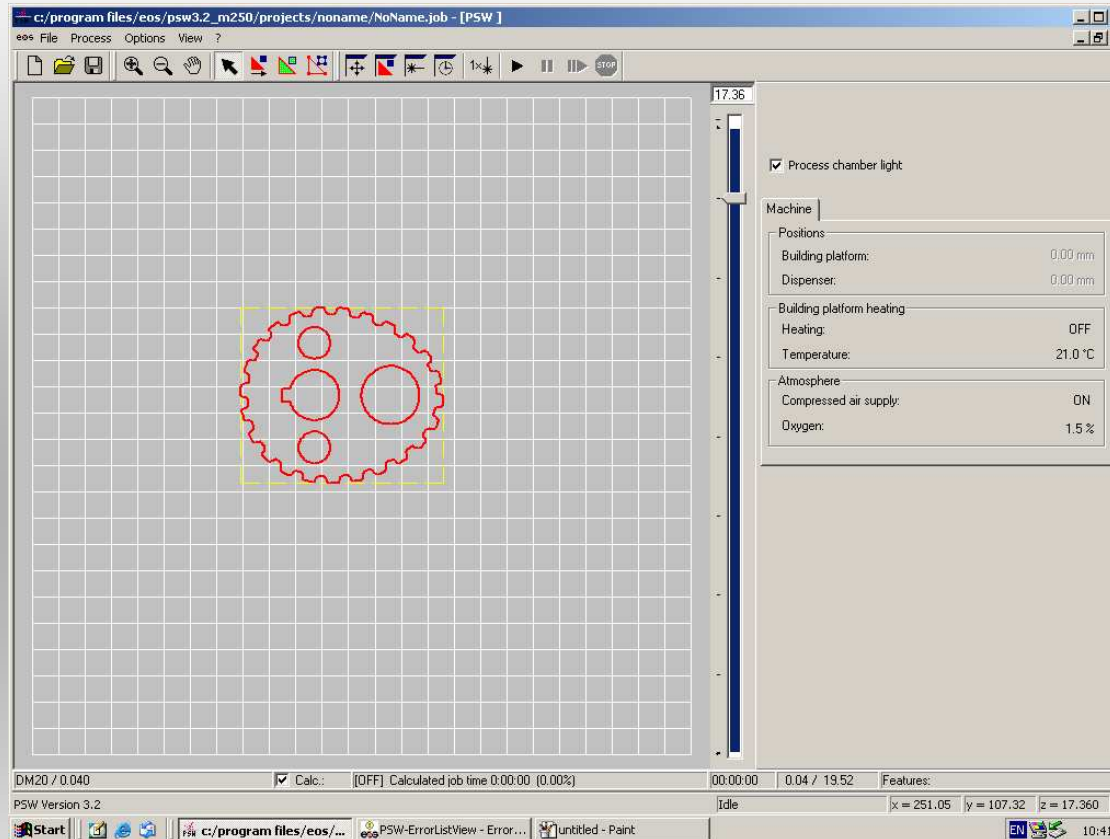
Przez wczytanie nowego elementu (tj. obu stworzonych do tej pory plików) następuje przygotowanie otrzymanych plików do użycia w programie PSW 3.22 zainstalowanym na komputerze obsługującym EOSINT M250.

Program umożliwia odpowiednie (decyzja operatora) ustawienie elementu względem pióra przewodnicy (zgarniacza) tak, aby w czasie spiekania nie uszkodził on elementu, co mogłoby wpłynąć na przerwanie procesu.

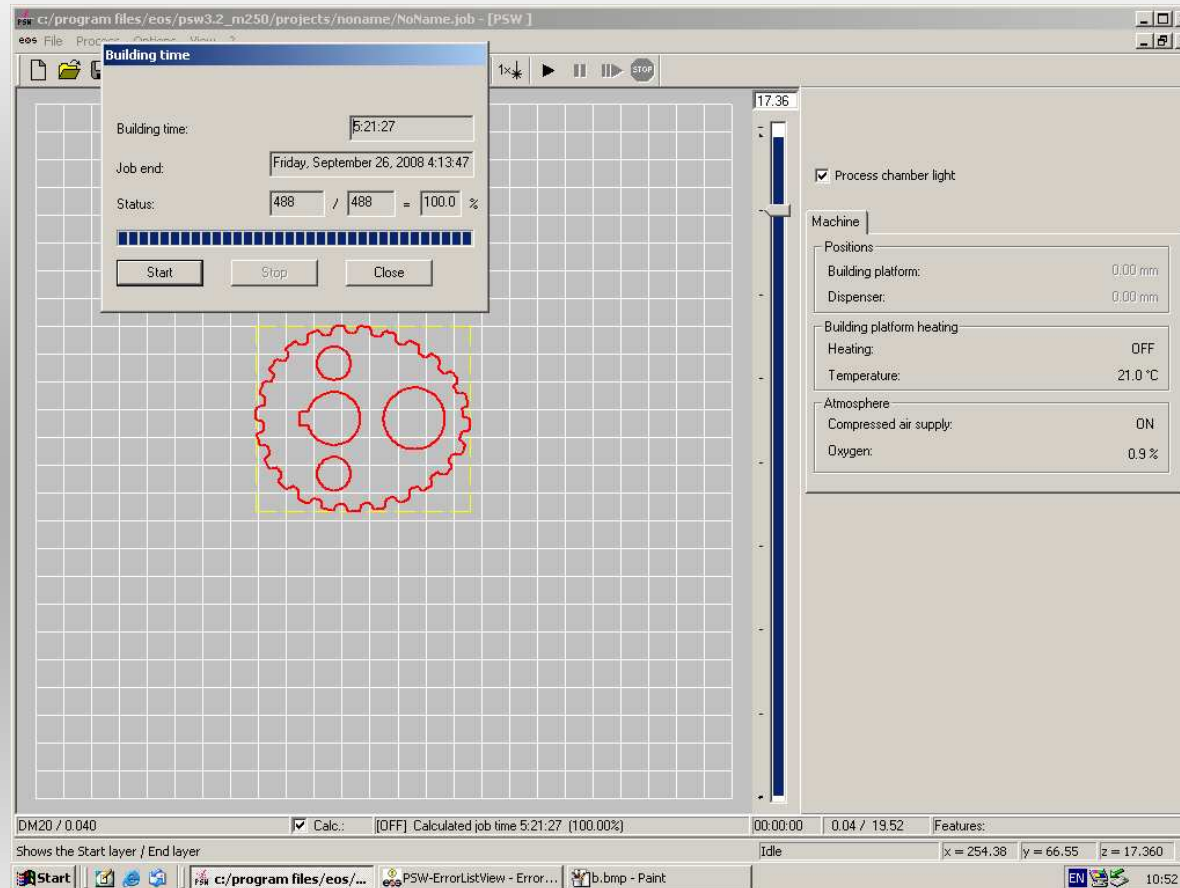
Na monitorze można śledzić przebieg procesu budowy całego elementu - razem z konstrukcją wsporczą (przesuwając paskiem z prawej strony) .



Środowisko programu PSW 3.22 – podczas przesuwania paska widoczna jest konstrukcja wsporcza (wysokość 2.48 mm)



Środowisko programu PSW 3.22 – podczas przesuwania paska widoczny jest element (wysokość 17.36 mm)



Program służy również do symulacji czasu pracy urządzenia, co pozwala na wstępne oszacowanie kosztów wytworzenia elementów.

Należy zaznaczyć, że powyższy element w sumie z suportem ma wysokość 17.36 mm – czas wykonania: 5.21 godz.



Symulacja przebiegu budowy elementu

Przykłady wybranych elementów



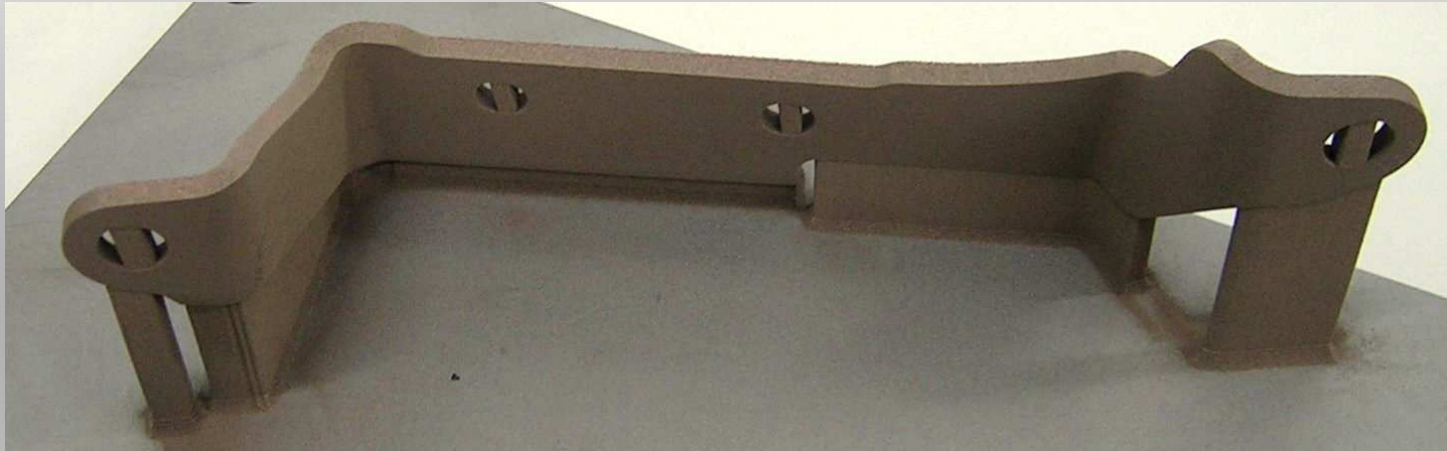
**Element ze spiralnym kanałem chłodzenia
wykonany z DirectSteel 20**

Przykłady wybranych elementów



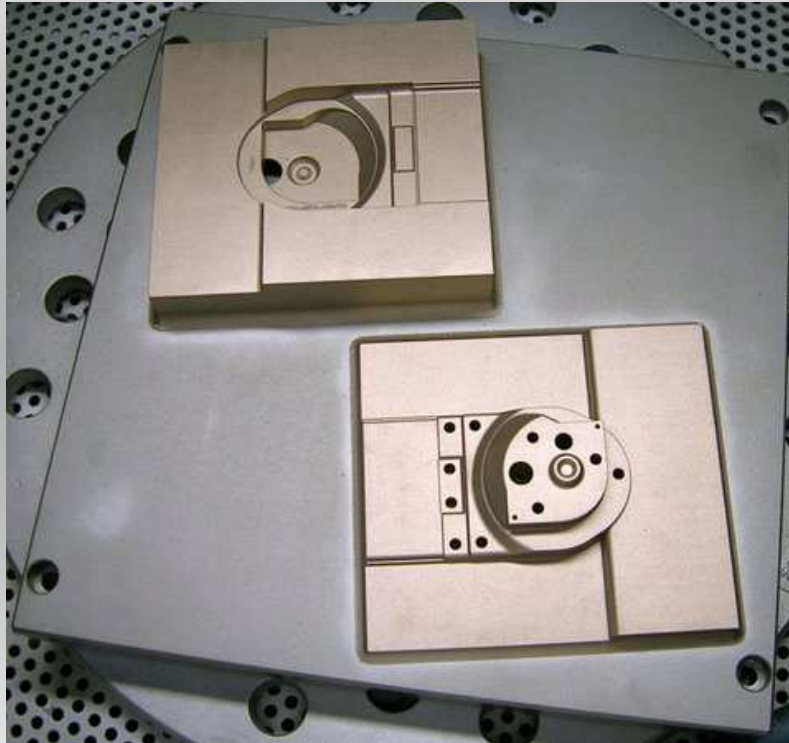
**Elementy wykonane
z DirectSteel 20**

Przykłady wybranych elementów



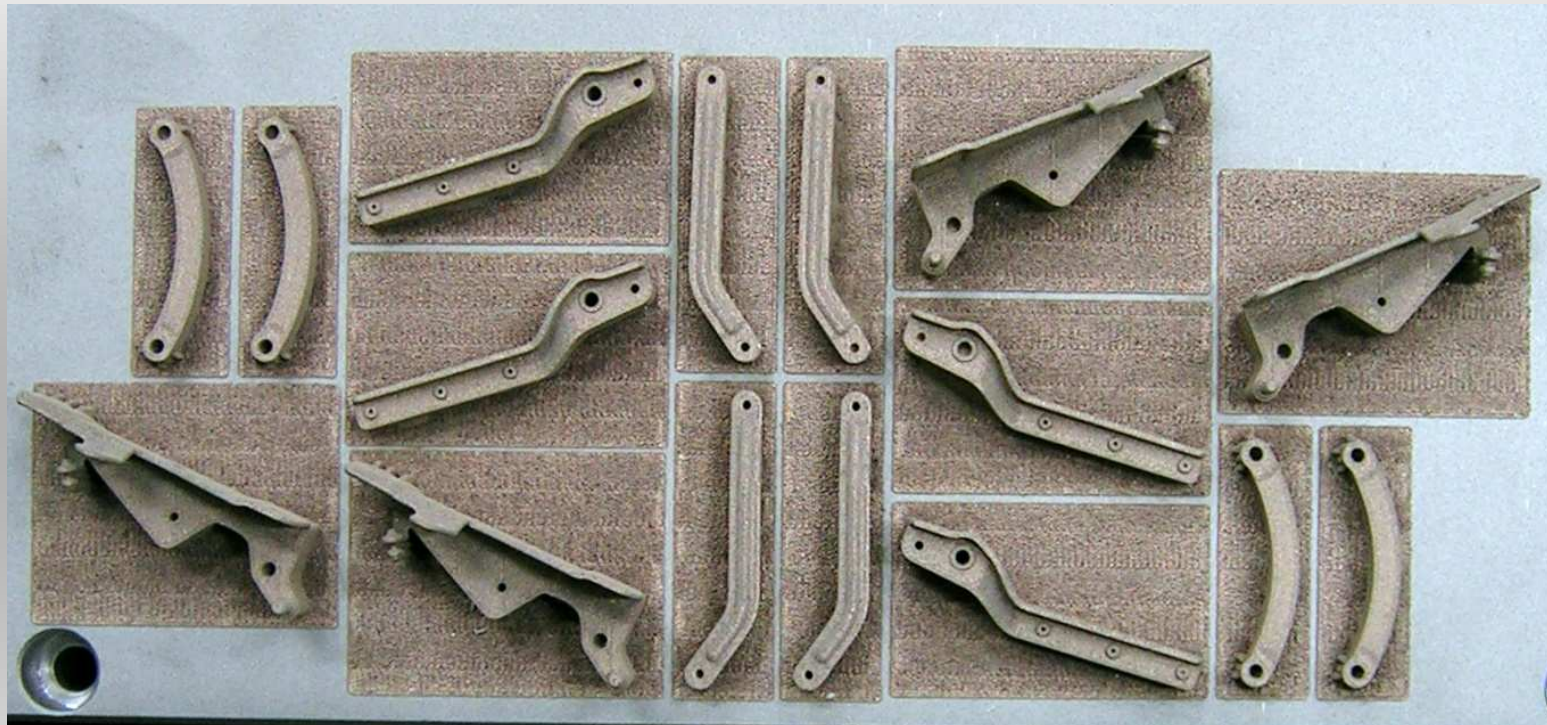
**Element z DirectMetal 20.
Przed usunięciem z płyty roboczej i obróbką śrutowaniem**

Przykłady wybranych elementów



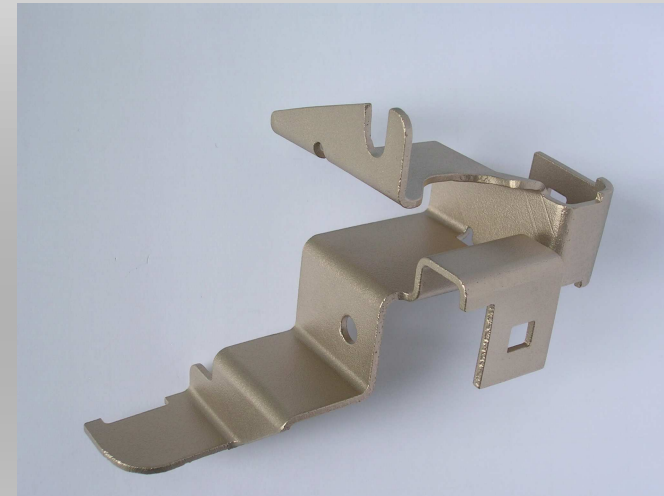
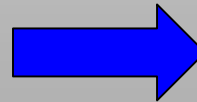
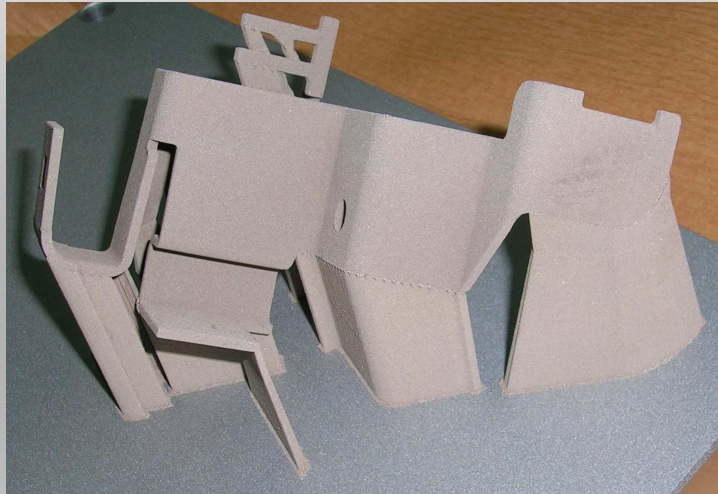
**Wkładka matrycowa wykonana z materiału DirectMetal.
Przed usunięciem z płyty roboczej, po obróbce śrutowaniem**

Przykłady wybranych elementów



**Seria elementów wykonanych z DirectMetal20.
Przed usunięciem z płyty roboczej i śrutowaniem.**

Przykłady wybranych elementów

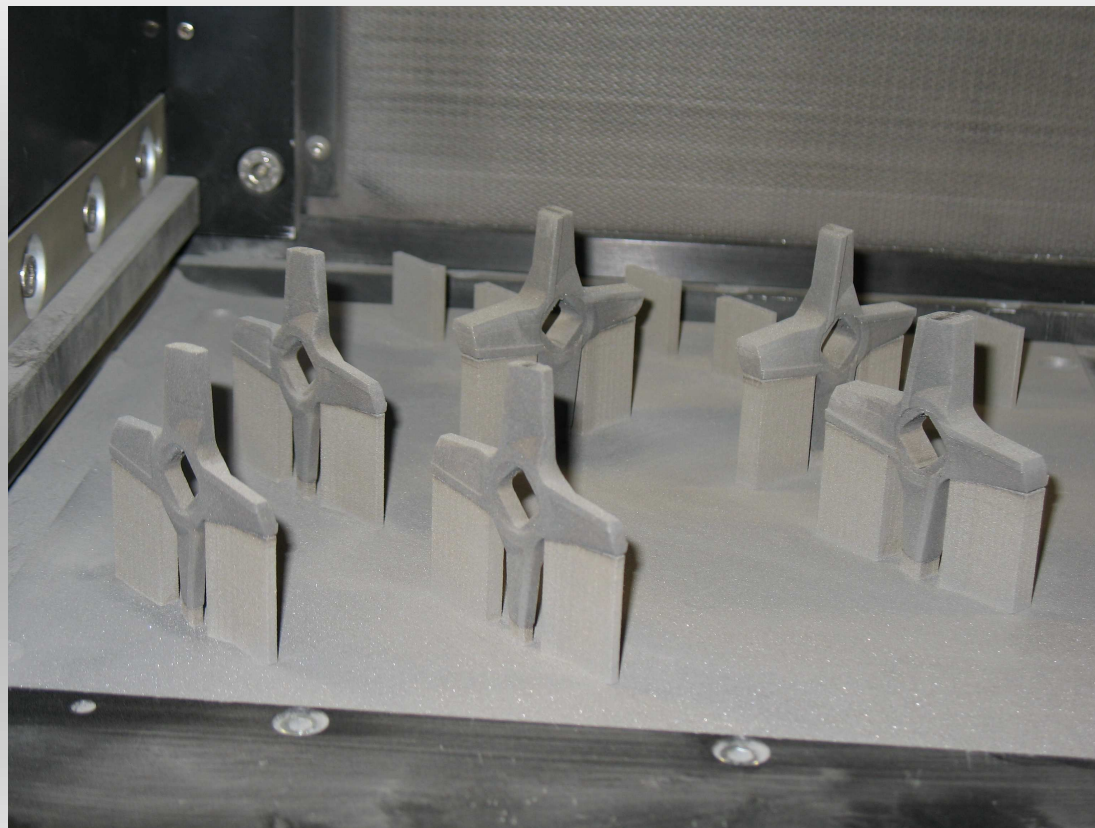


**Element z DirectMetal20 wykonany w IZTW.
Przed usunięciem z płyty roboczej i śrutowaniem oraz po obróbce
śrutowaniem**

Przykłady wybranych elementów

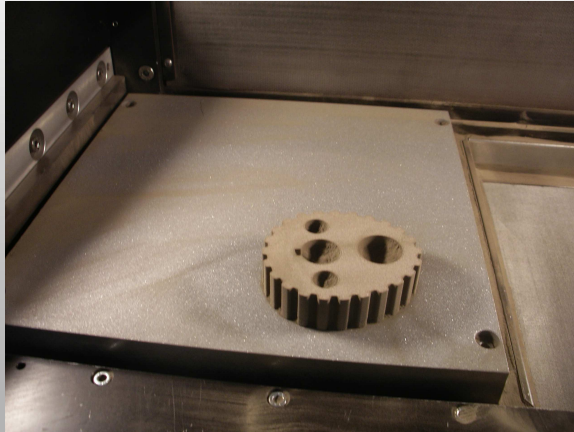


**Elementy z DirectMetal20 wykonane w IZTW.
Przed usunięciem z płyty roboczej i śrutowaniem oraz element
usunięty z płyty roboczej, przed śrutowaniem**



**Elementy wykonane
z DirectSteel 20**
(prototypy nożyków do maszynki do
mielenia)

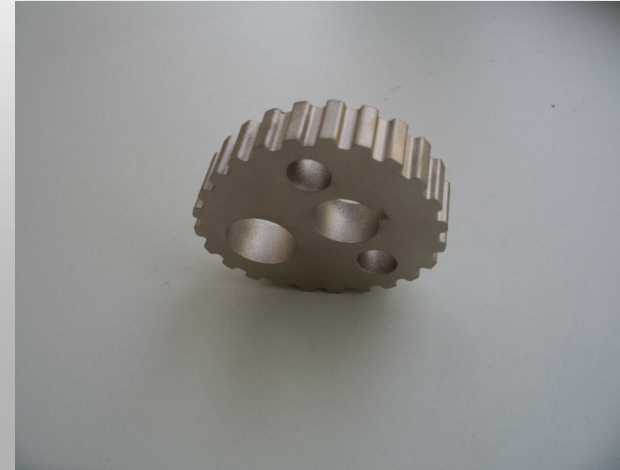
A



B



C



**Eliptyczne koło zębate z DirectMetal20
wykonane w IZTW.**

A - przed usunięciem z płyty roboczej,

B - po usunięciu z płyty,

C – po obróbce śrutowaniem.





Spiekanie elementów o wymiarach większych od wymiarów platformy roboczej

- **Wirtualny podział elementu na części,**
- **Spiekanie części podzielonego elementu,**
- **Łączenie części metodą spawania laserowego.**

System LRS 160 - firmy O.R. Lasertechnologie GmbH





Charakterystyka techniczna

Głowica laserowa

Typ lasera :	Nd:YAG, impulsowy
Moc nominalna:	160 W
Moc w impulsie:	9 kW
Maksymalna energia impulsu:	60 J
Czas trwania impulsu:	0,2 -20 ms
Częstotliwość impulsów:	1,0 - 100 Hz
Średnica ogniska:	0,2 - 2,0 mm

Stół roboczy

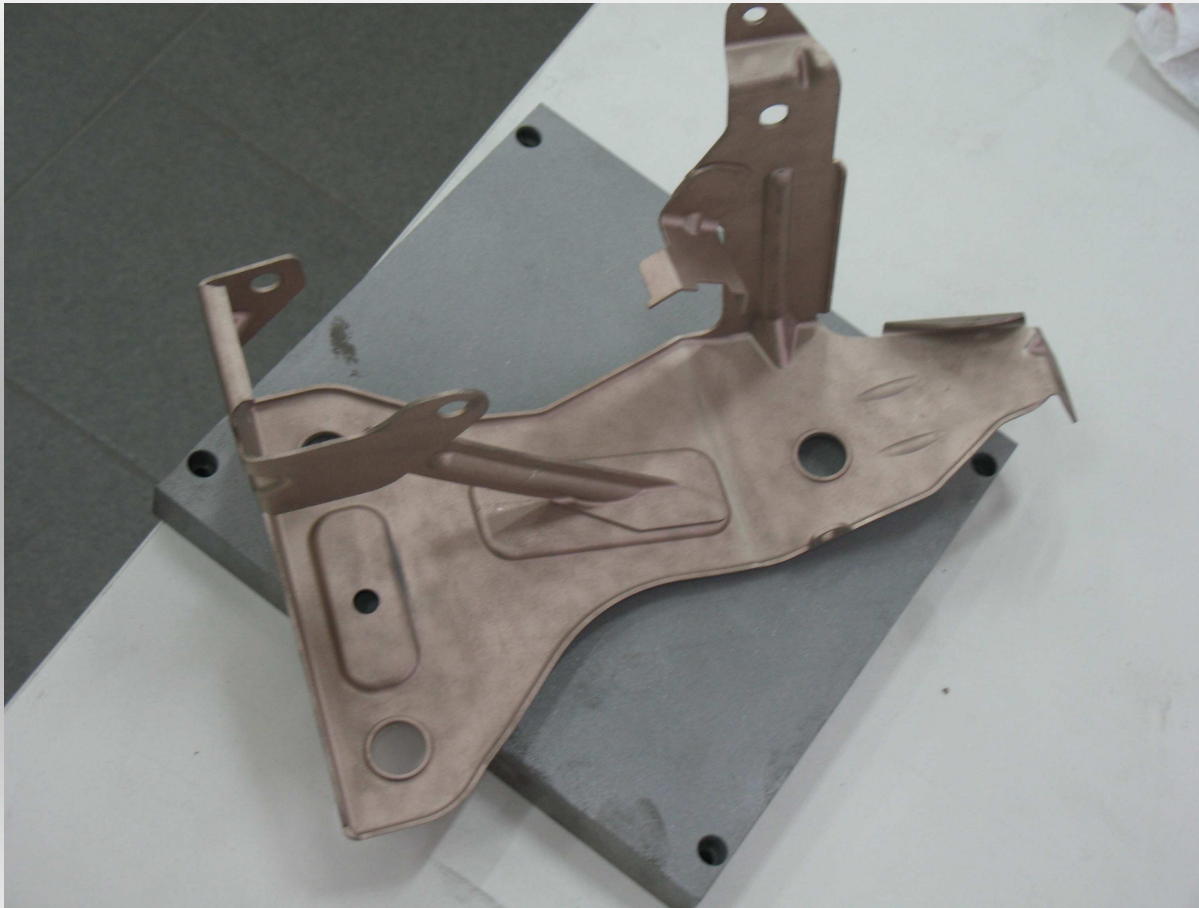
Posuw:	5 – 15 mm/s
Rozdzielczość:	0,1 – 3 mm

Układ optyczny

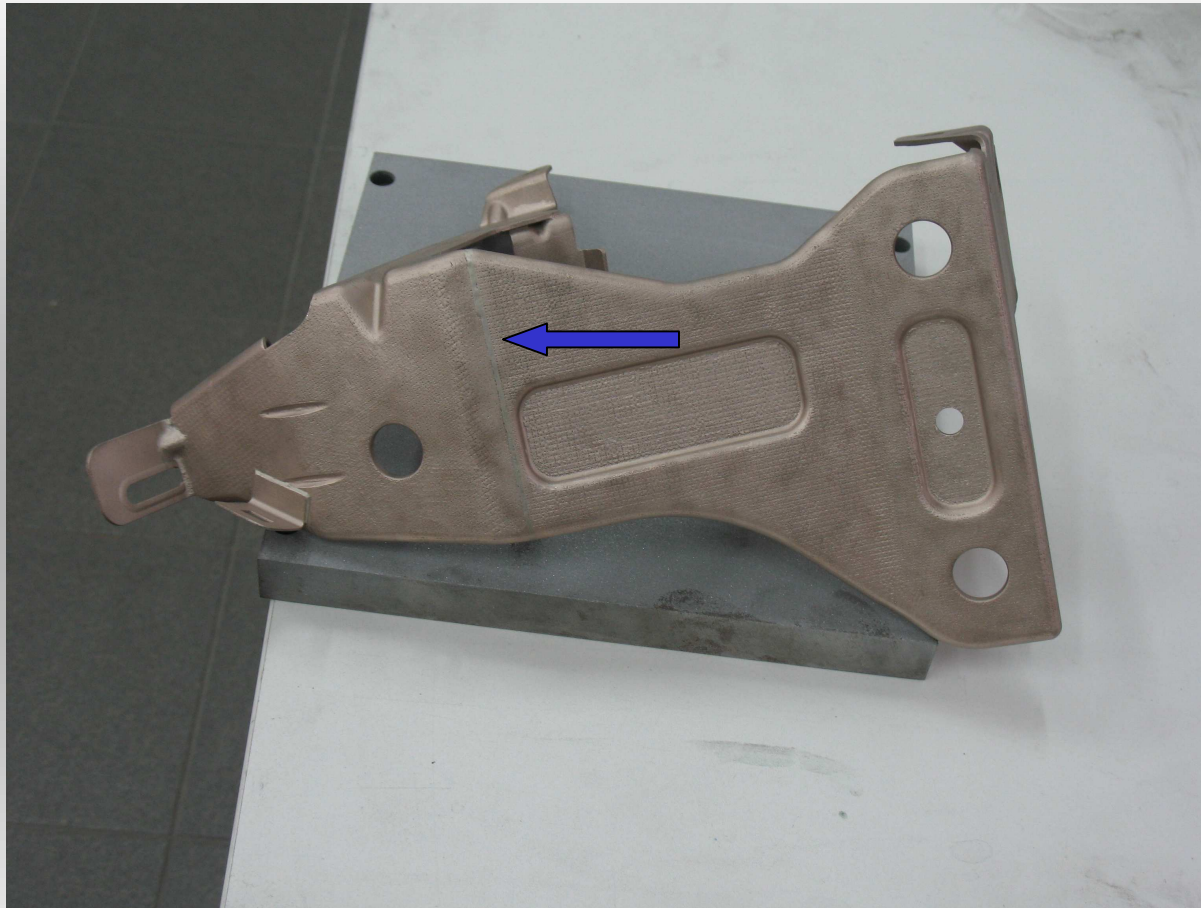
Mikroskop stereo:	15 x
Średnica pola widzenia:	16 mm
Optyka monitorująca:	300 mm (oś - Z)



Przykłady elementów spiekanych w częściach i następnie spawanych laserowo

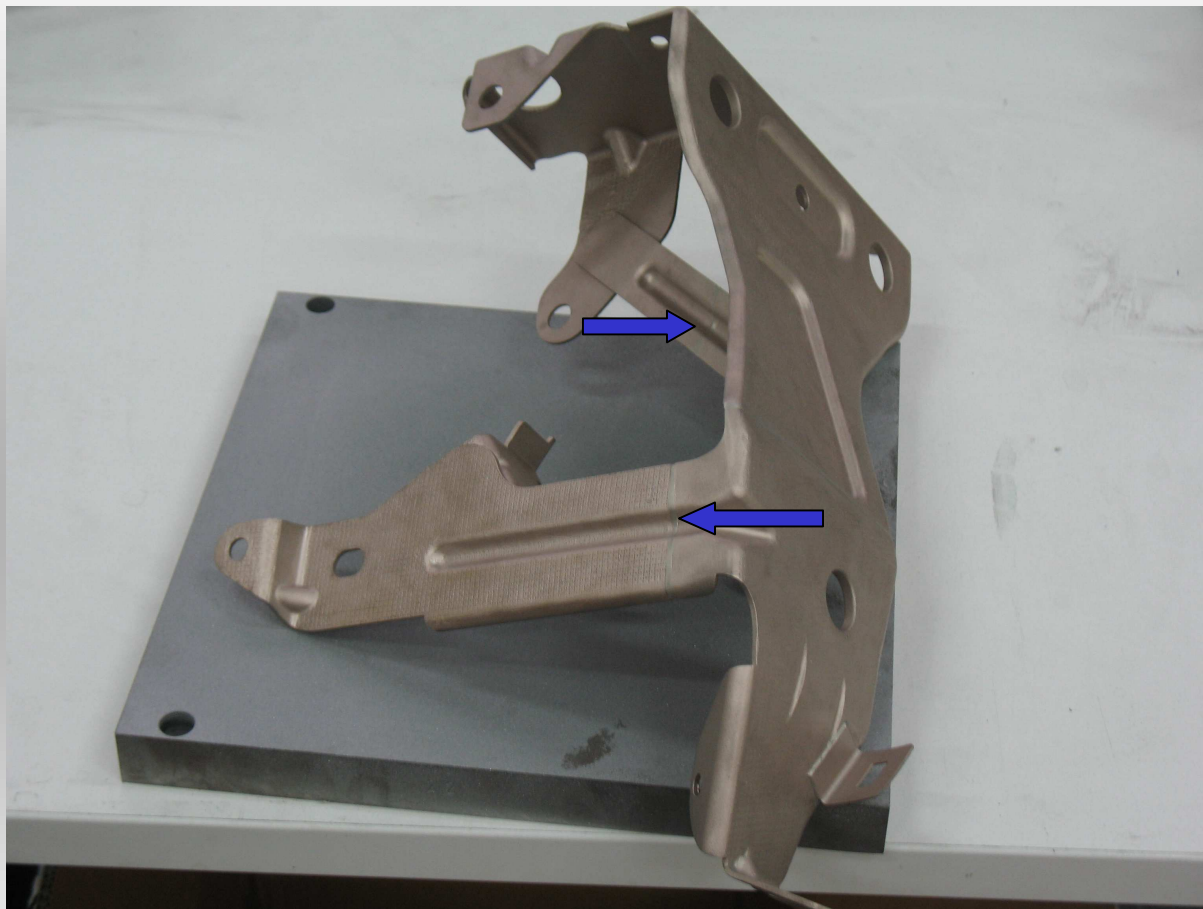


**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo**



**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo.**

(Strzałką zaznaczono
miejsce spawania)



**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo.**

(Strzałkami zaznaczono
miejsce spawania)

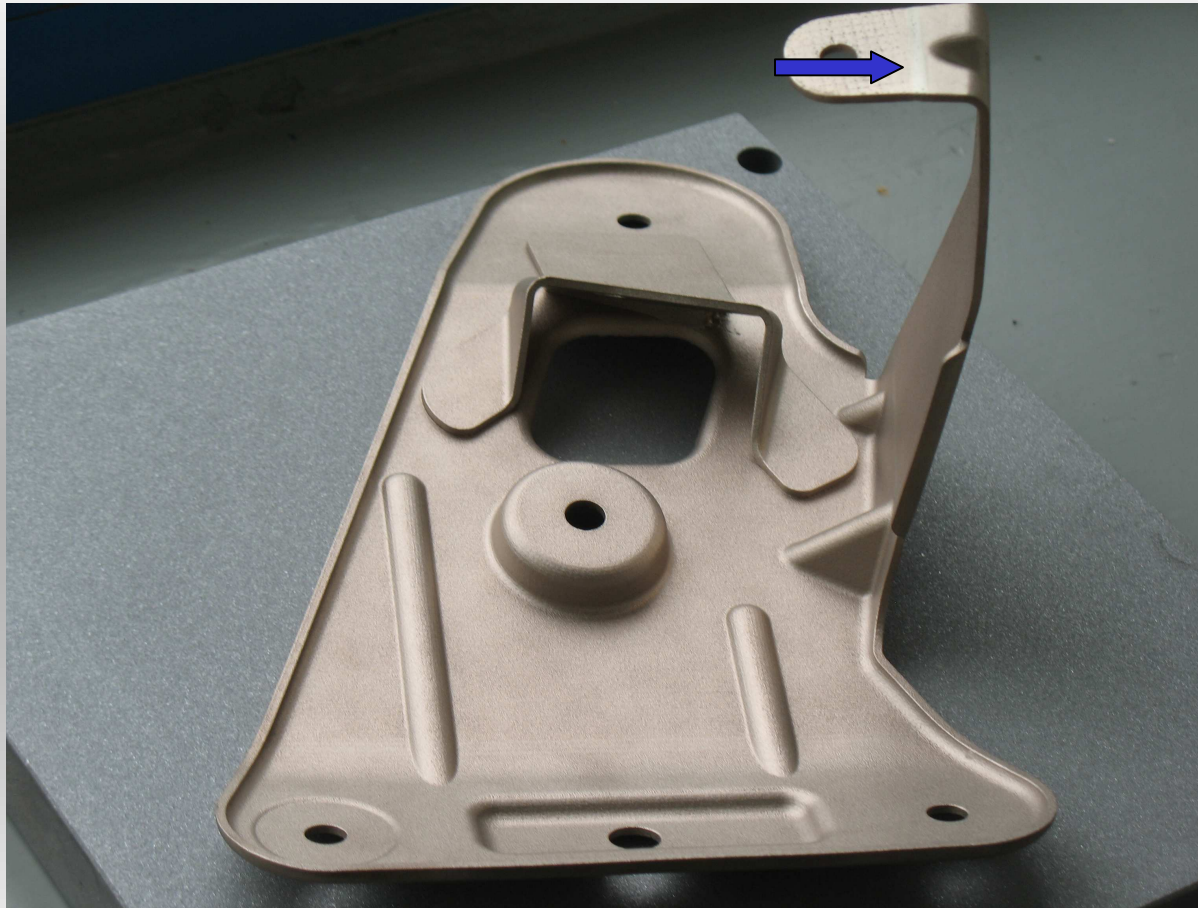


**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo**



**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo.**

(Strzałką zaznaczono
miejsce spawania).



**Element z DirectMetal 20
spiekany w częściach
i następnie spawany
laserowo.**

(Strzałką zaznaczono
miejsce spawania).



Podsumowanie

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. Z uwagi na czas wykonywania, jakość uzyskiwanych elementów i możliwości tej metody, jest ona w odniesieniu do tradycyjnych metod produkcyjnych tania i elastyczna, a czasem niezastąpiona.



Zapytania prosimy kierować:

Zakład Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych
Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania
Wrocławska 37a, 30-011 Kraków
tel. +48 12 63 17 240; email: adam.ruszaj@ios.krakow.pl
maria.chuchro@ios.krakow.pl
dziedzic@ios.krakow.pl



Serdecznie dziękuję za uwagę !