



AMable

Booklet

MATERIAŁY TRENINGOWE



WWW.AMABLE.EU

Index

01

Przegląd Procesów Wytwarzania Przyrostowego

ZAKRES	4
NORMY DEFINIUJĄCE PROCESY PRZYROSTOWE	5
DEFINICJE	7
PROCESY PRZETWARZAJĄCE METALE	7
NAKŁADANIE MATERIAŁU PRZY POMOCY SKUPIONEJ ENERGII	8
WIAZKA ELEKTRONÓW	9
PROMIEŃ LASERA	10
ŁUK ELEKTRYCZNY	12
FUZZJA PROSZKU W ZBIORNIKU	14
PROCESY PRZYROSTOWE DLA METALI	17
FOTOPOLIMERYZACJA W ZBIORNIKU	18
LAMINACJA ARKUSZY	22
NATRYSKIWANIE MATERIAŁU	24
NATRYSKIWANIE LEPISZCZA	25
WYTŁACZANIE MATERIAŁU	27

02

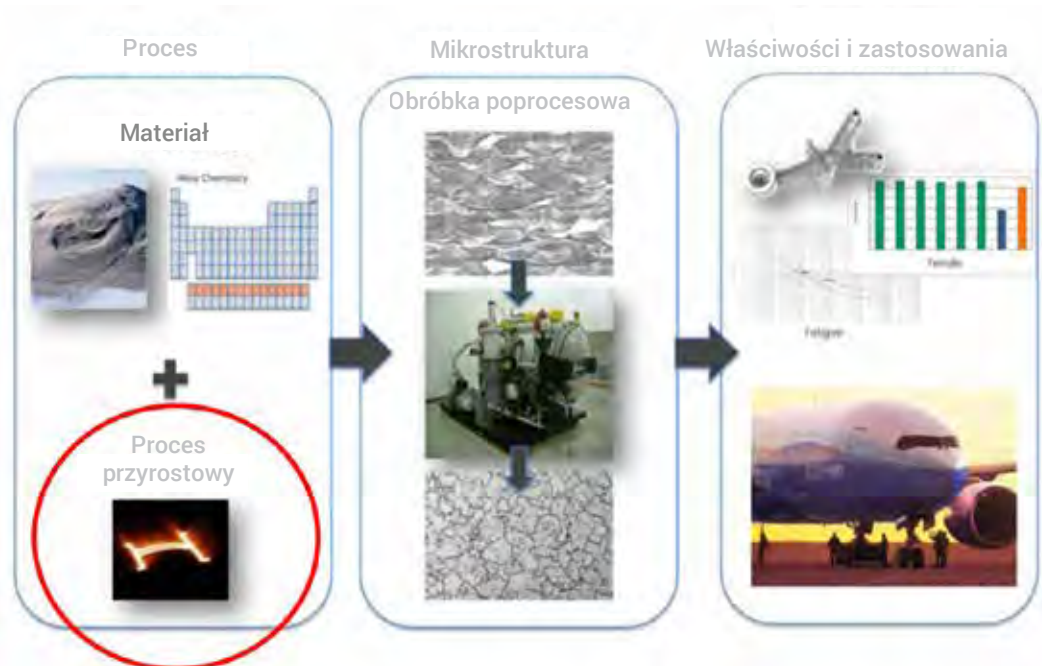
Łańcuch Wartości w Wytwarzaniu Przyrostowym

ŁAŃCUCH WARTOŚCI AM	28
KTÓRY PROCES JEST NAJLEPSZY DLA MOJEGO PRODUKTU?	29

01 Przegląd procesów wytwarzania przyrostowego

Zakres

Wytwarzanie przyrostowe (Additive Manufacturing - AM) to proces produkcyjny, który umożliwia konstruowanie części 3D poprzez obróbkę surowca w różnych formach (np. proszek, drut, ...).



Jednak w wielu przypadkach, aby uzyskać niezbędną mikrostrukturę, pozwalającą na uzyskanie pożądanych parametrów i właściwości, konieczne jest wykonanie obróbki końcowej.

Wiedza:

Bieżąca i szeroka znajomość teorii, zasad i stosowalności:

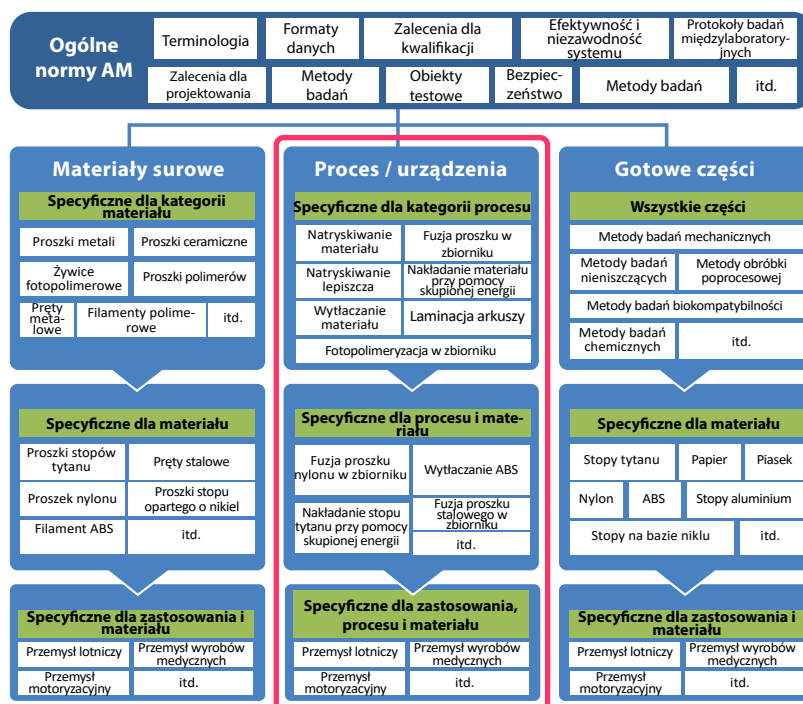
- Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii (Directed energy deposition - DED)
- Fuzja proszku w zbiorniku (Powder bed fusion - PBF)
- Fotopolimeryzacja w zbiorniku (Vat photopolymerization - VPP)
- Natryskiwanie materiału (Material jetting - MJT)
- Natryskiwanie lepiszcza (Binder jetting - BJT)
- Wytłaczanie materiału (Material extrusion - MEX)
- Laminacja arkuszy (Sheet lamination - SHL)

Cele:

- Odróżnianie części wyprodukowanych w różnych procesach przyrostowych
- Rozpoznanie zalet i ograniczeń procesów przyrostowych
- Określanie możliwości zastosowania różnych procesów przyrostowych
- Stosowanie obróbki poprocesowej w celu uzyskania wymaganej jakości powierzchni

Normy definiujące procesy przyrostowe

Struktura norm dla wytwarzania przyrostowego



Ogólne normy AM najwyższego poziomu

- Ogólne koncepcje
- Wspólne wymagania
- Stosowane powszechnie

Normy dla kategorii procesów

Specyficzne dla kategorii materiału lub procesu

Specjalistyczne normy AM

Specyficzne dla materiału, procesu lub zastosowania



Technologie wytwarzania przyrostowego

	TECHNOLOGIA	MATERIAŁY	TYPOWE ZASTOSOWANIA	ZASTOSOWANIA DO METALI
Fuzja/stapianie	Fuzja proszku w zbiorniku – Energia cieplna selektywnie łączy ziarna proszku na górnej powierzchni	Metale, polimery	Prototypowanie, gotowe części	●
	Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii – Ukierunkowany strumień energii cieplnej tworzy ciekłe jezioro, do którego dodawany jest nowy materiał	Metale	Gotowe części, regeneracja części	◐
	Laminacja arkuszy – Arkusze materiału są sklejane i nacinane wzdłuż konturów obiektu	Metale, Papier	Prototypowanie, gotowe części	◑
Spiekanie	Natryskiwanie lepiszcza – Ciekłe lepiszcze jest natryskiwane dla uzyskania połączenia proszkowego materiału	Metale, polimery, Piasek odlewniczy	Prototypowanie, gotowe części, formy odlewnicze	◑
	Natryskiwanie materiału – Kropelki materiału są nanoszone na kolejnych warstwach	Polimery, Woski	Prototypowanie, wzorce odlewnicze	○
	Wytłaczanie materiału – Materiał jest dozowany z dyszy lub otworu i selektywnie nakładany	Polimery	Prototypowanie	○
	Fotopolimeryzacja w zbiorniku – Ciekła fotoaktywna żywica jest selektywnie utwardzana w procesie fotopolimeryzacji aktywowanej światłem	Fotopolimery	Prototypowanie	○

AM technologies voor metalen objecten.



Zdjęcie: GE Aviation

Definicje

Norma ISO / ASTM 52900-18: Wytwarzanie przyrostowe - Zasady ogólne - Terminologia
Określa podstawową terminologię, która ma być stosowana we wszystkim, co dotyczy wytwarzania przyrostowego. W tej normie określono:

Wytwarzanie przyrostowe (Additive Manufacturing - AM)

„proces łączenia materiałów w celu wykonania części na podstawie modelu 3D, zwykle warstwa po warstwie, w przeciwieństwie do ubytkowych i formujących metod produkcji”. Określenia historyczne: wytwarzanie/technologie addytywne, wytwarzanie generatywne, wytwarzanie warstwowe, rapid prototyping, szybkie prototypowanie itp.

Druk 3D (3D Printing)

„wytwarzanie przedmiotów poprzez osadzanie materiału za pomocą głowicy drukującej, dyszy lub innej technologii drukującej”. Termin często używany w kontekście nietechnicznym, będący synonimem wytwarzania przyrostowego; do dziś termin ten był w szczególności kojarzony z maszynami, które mają niską cenę i / lub ogólne możliwości.

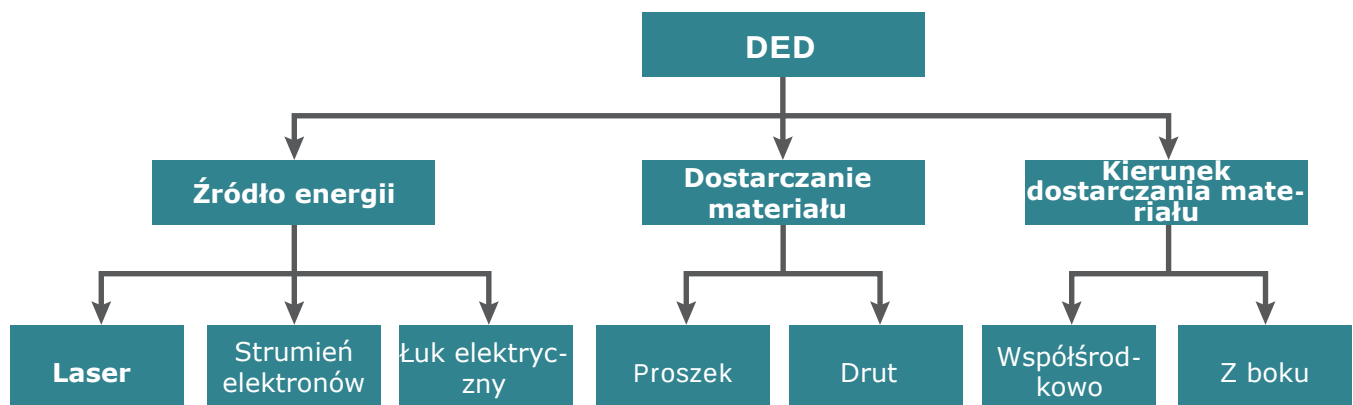
Procesy przetwarzające metale

Klasyfikacja technologii Nakładania materiału przy pomocy skupionej energii (Directed Energy Deposition) i Fuzji proszku w zbiorniku (Powder Bed Fusion)

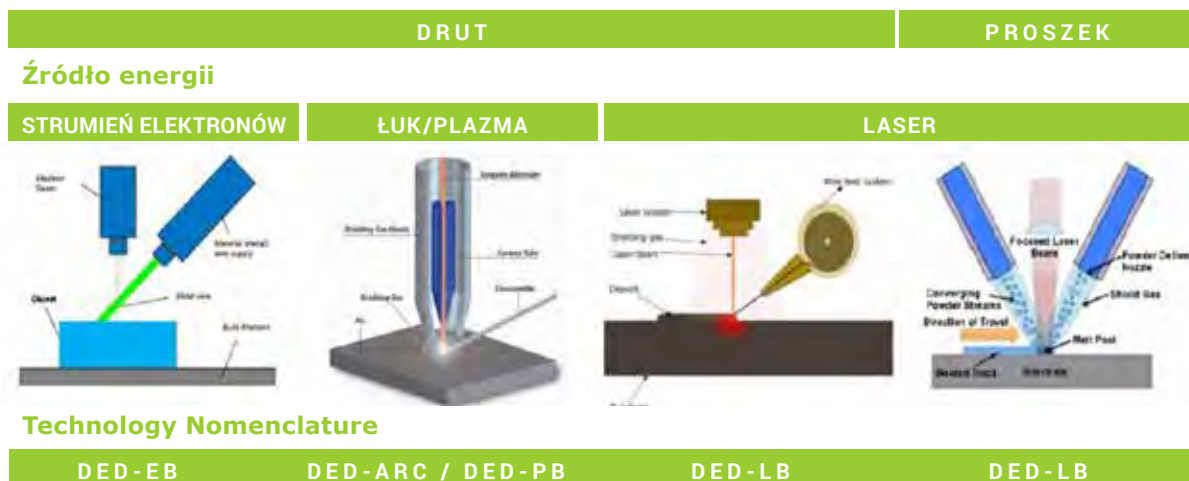


Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii (*Directed Energy Deposition, DED*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 „Proces wytwarzania przyrostowego, w którym skupiona energia cieplna jest używana do stapiania materiałów w trakcie ich osadzania”. „Skoncentrowana energia cieplna” oznacza, że źródło energii (na przykład laser, wiązka elektronów lub łuk plazmowy) jest skupione w celu precyzyjnego topienia nakładanego materiału.



Dostarczanie materiału



Wiązka elektronów

Zalety

- Wyższa szybkość osadzania
- Duże części (większa przestrzeń robocza)
- Materiały trudne do spawania
- Metale reaktywne (Ti, Al, TiAl)
- Materiały w formie drutu (+ tani, - łatwopalny)
- Wysoka efektywność energetyczna (> 95%, x5 - 10 SLM)
- Niewielkie naprężenia szczątkowe
- Mniejsze wymagania dotyczące struktur wspierających

Zdjęcie: Arevo Labs



Wady

- Duże i skomplikowane urządzenie
- Kosztowna inwestycja
- Kosztowny sprzęt do konserwacji
- Wymagana komora próżniowa (+ czas, - dostępność)
- Wyższa chropowatość ($R_a > 40\mu\text{m}$) (x3 SLM)



Zdjęcie: Lockheed Martin

Aplikacje i branże

- Łopatkki turbin do produkcji energii
- Komponenty jądrowe
- Elementy z metalu ogniotrwałego
- Materiały balistyczne
- Elementy pomp przemysłowych
- Sprzęt do produkcji półprzewodników
- Naprawa i regeneracja narzędzi
- Komponenty Aero

Zdjęcie: Forgemasters



Materiały

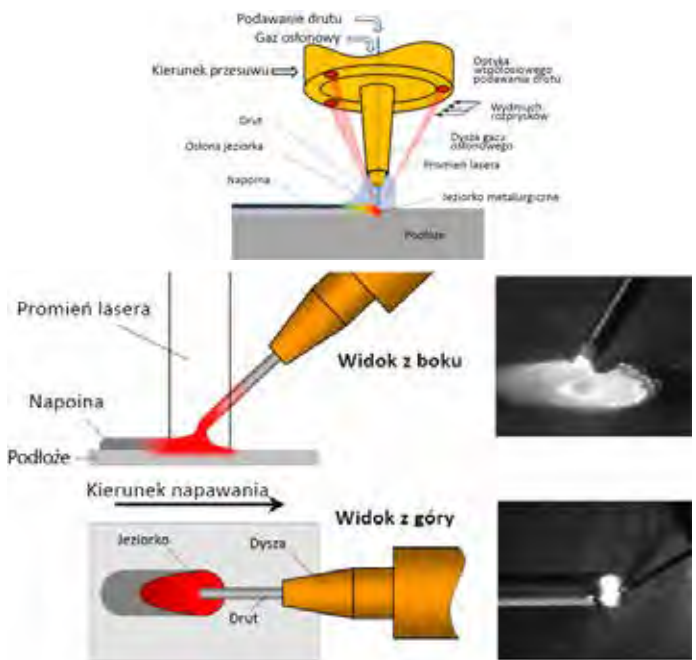
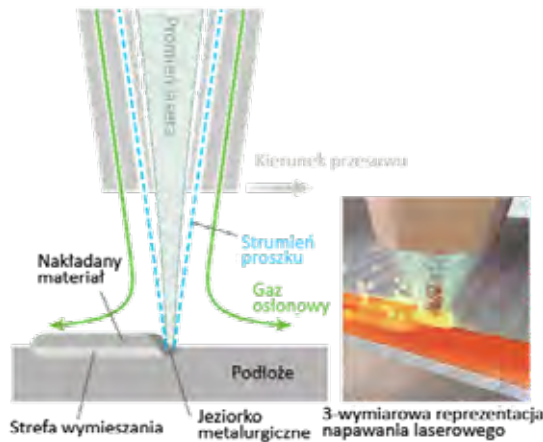
- Stal, 4340
- Stal nierdzewna
- Tytan i stopy tytanu, Ti64
- Aluminium, 2319, 4043
- Tantal
- Wolfram
- Niob
- Inconel 718, 625
- Kobalt-chrom ASTM F75
- TiAl
- Czysta miedź



Zdjęcie: GE Additive

Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii (Directed Energy Deposition, DED)

Promień lasera



Zalety

- Szybkość osadzania od średniej do szybkiej
- Średniej wielkości części
- Element o kształcie i wymiarach zbliżonych do finalnych
- Szeroka gama materiałów
- Wielomateriałowe i materiały funkcjonalnie zmienne
- Naprawa i regeneracja

Wady

- Koszt wyposażenia
- Niska rozdzielczość
- Konieczność obróbki poprocesowej

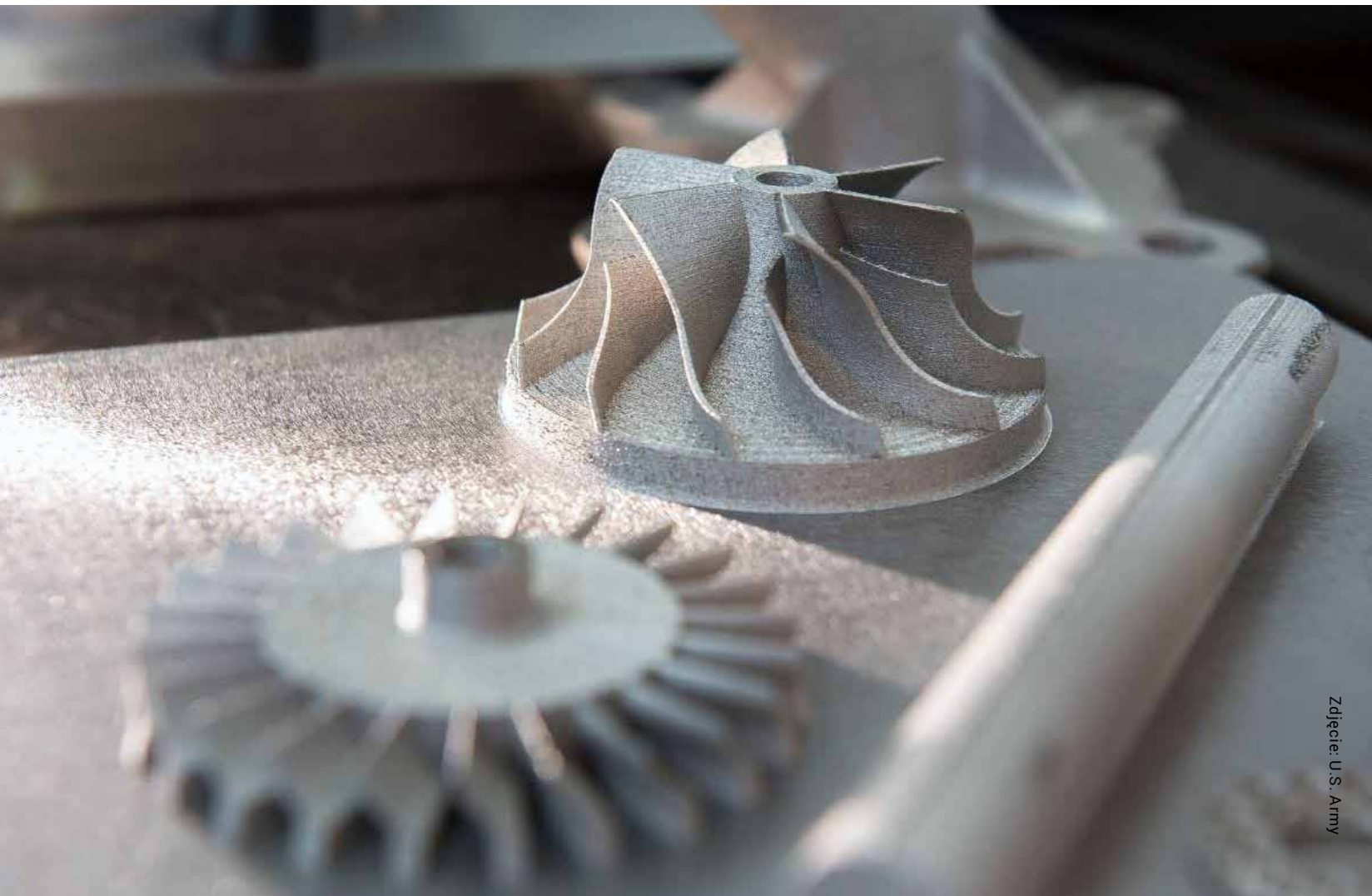


Aplikacje i branże

- Turbiny
- Komponenty lotnicze
- Formy i narzędzia
- Przemysł motoryzacyjny
- Przemysł morski: konstrukcje podwodne i przybrzeżne

Materiały

- Stale
- Stopy na bazie niklu
- Stopy na bazie kobaltu
- Stopy tytanu
- Węglik



Zdjęcie: U.S. Army

Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii (Directed Energy Deposition, DED)

Łuk elektryczny



DED – łuk elektryczny

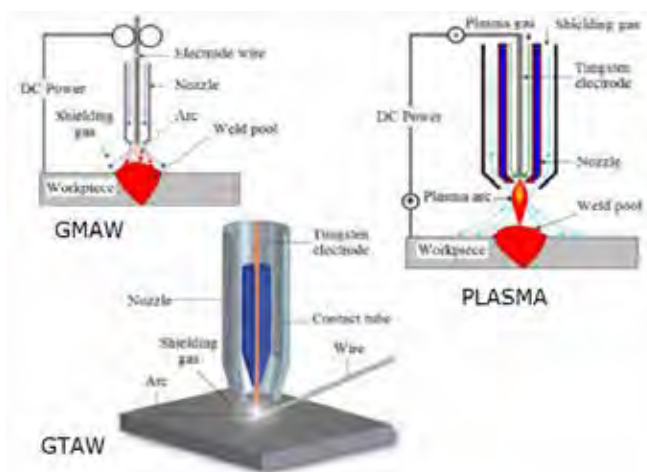
- Procesy spawalnicze: GMAW i TIG
- Materiał w postaci drutu
- Niedroga konfiguracja techniczna
- Wydajność procesu do 5 kg/h i więcej
- Mniejsze zużycie materiału w porównaniu z procesami z grupy PBF



DED – wiązka plazmy

- Procesy plazmowe i mikroplazmowe
- Materiał w postaci proszku lub drutu
- Wydajność procesu do 10 kg/h
- Dostępność proszku i straty

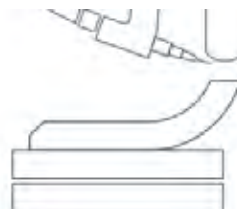
Warianty DED



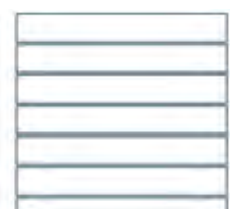
Etapy procesu:



1. Przetapianie



2. Osadzanie warstwy



3. Nałożone warstwy

Zalety

- Wysoka wydajność procesu
- Wytwarzanie dużych gabarytowo części
- Dobry wskaźnik „buy-to-fly”
- Niższe koszty urządzeń
- Szerokie spektrum materiałów
- Niski koszt materiału wsadowego w postaci drutu



Zdjęcie: RamLab

Ograniczenia

- Niska dokładność
- Zniekształcona geometria
- Wymagana dodatkowa obróbka wykończeniowa powierzchni



Zdjęcie: Norsk Titanium

Aplikacje i branże

- Przemysł stoczniowy
- Komponenty lotnicze
- Przemysł energetyczny
- Formy i narzędzia

Materiały

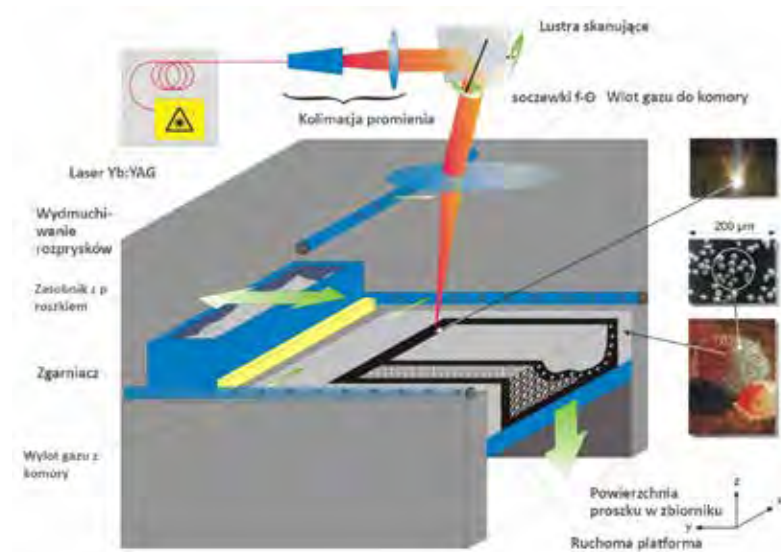
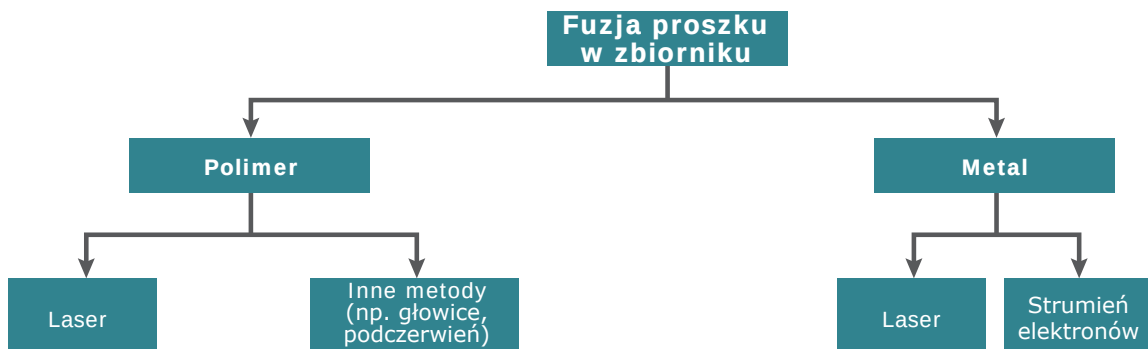
- Stale
- Stopy na bazie niklu
- Stopy tytanu
- Aluminium



Zdjęcie: RamLab

Fuzja proszku w zbiorniku (*Powder Bed Fusion, PBF*)

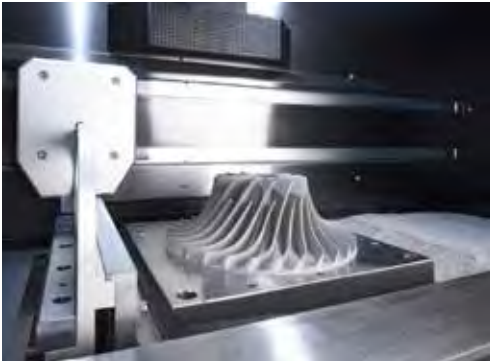
Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to "proces wytwarzania przyrostowego, w którym następuje selektywna konsolidacja materiału w zbiorniku".



Zalety

- Swoboda kształtowania wyrobu, projektowanie zorientowane na funkcję
- Możliwość konsolidacji części
- Możliwość redukcji masy, zmniejszenie zużycia materiałów, ograniczenie materiału odpadowego ("zielona" technologia)
- Indywidualizacja i wysoka złożoność geometryczna bez dodatkowego wzrostu kosztów
- Szerokie spektrum materiału (stopy spawalnicze)

Zdjęcie: Monni Pierandrea



Ograniczenia

- Zbyt wysoka chropowatość powierzchni ($R_a > 10 \mu\text{m}$)
- Ograniczenia wielkości wytwarzanych części ($< 400 \times 400 \times 500 \text{ mm}$)
- Koszt urządzeń
- W niektórych przypadkach problem z występowaniem naprężeń szczątkowych i odkształceń
- Niska produktywność: małe serie produkcyjne (do 25000 części na rok)



Aplikacje i branże

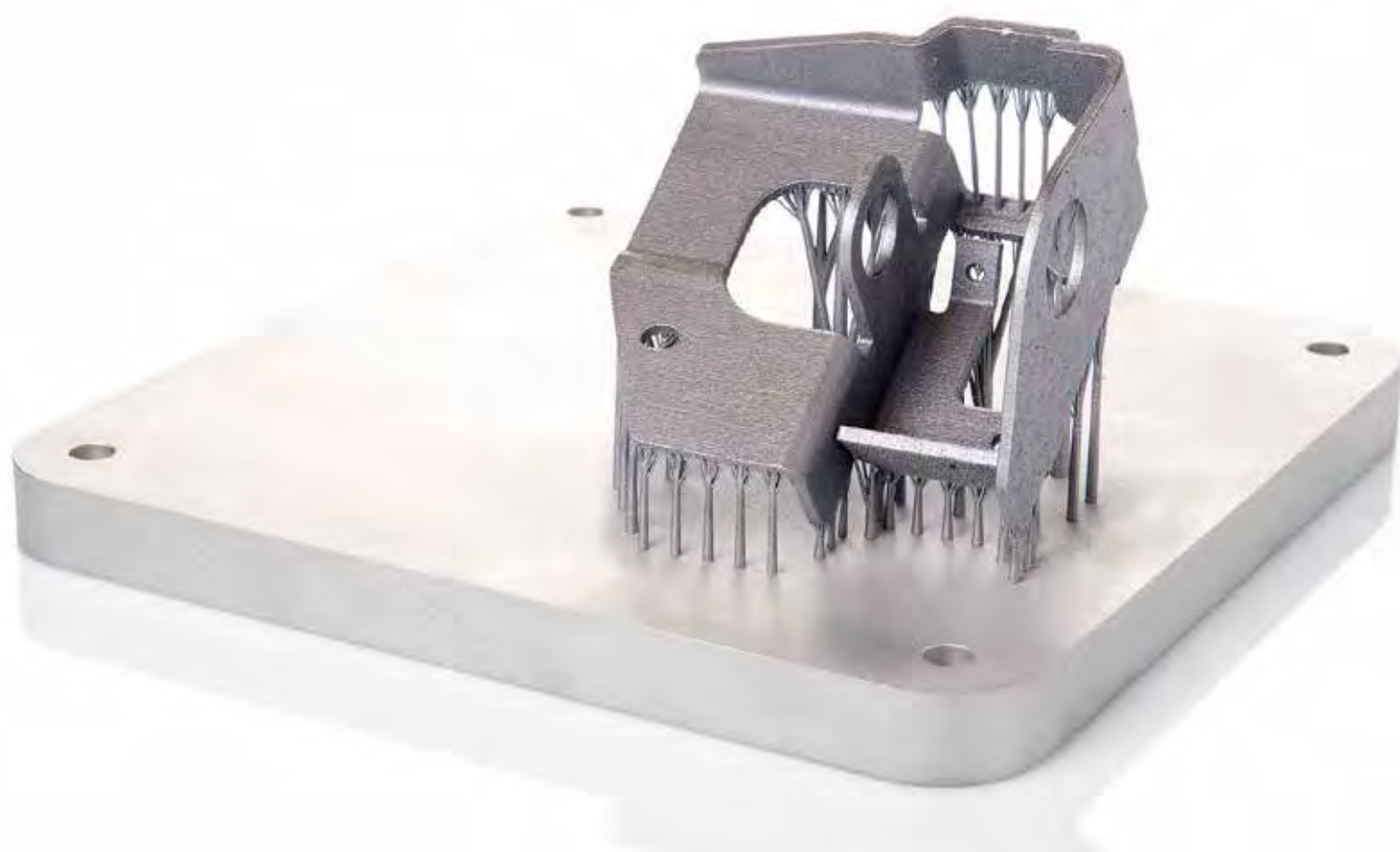
- Komponenty lotnicze
- Implanty ortopedyczne
- Przemysł motoryzacyjny
- Narzędzia (formy i matryce)
- Stomatologia
- Dobra konsumenckie

Materiały

- Stopy aluminium (AlSi7Mg, AlSi10, AlSi9Cu3)
- Stopy na bazie niklu (IN718, IN725, IN939, HX)
- Stopy tytanu (grade 2, grade 23, near-alpha,
- Kobalt-chrom (F75, CoCr28Mo6)
- Stale (316L, 17-4PH, 1.2709, H13, Invar36)
- Stopy miedzi (CuSn10)



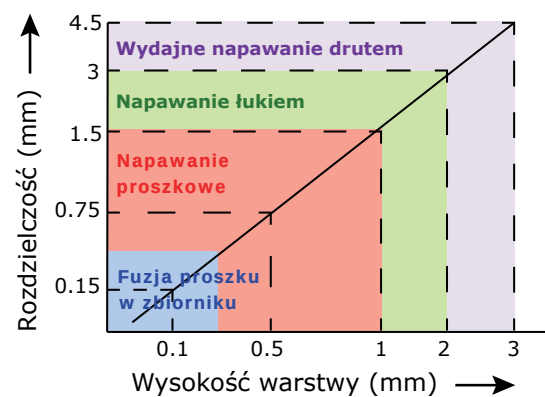
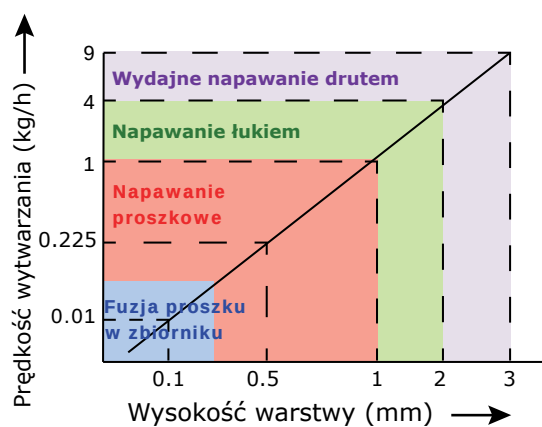
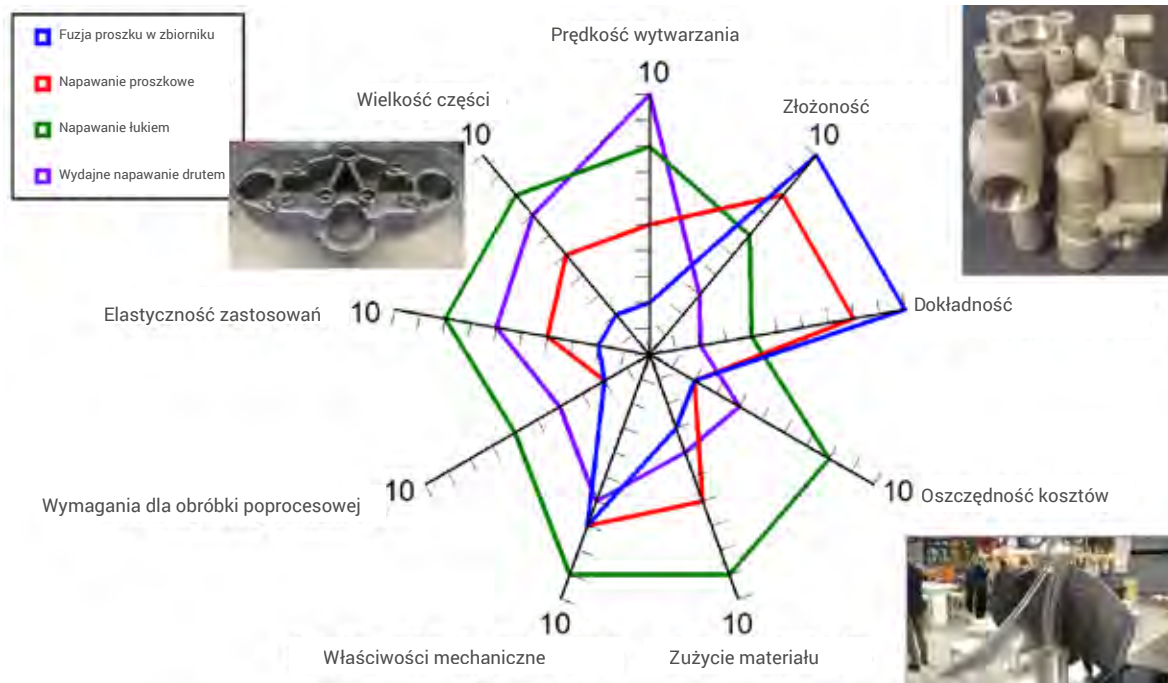
Zdjęcie: ExOne



Zdjęcie: Materialise

Procesy przyrostowe dla metali

Porównanie procesów

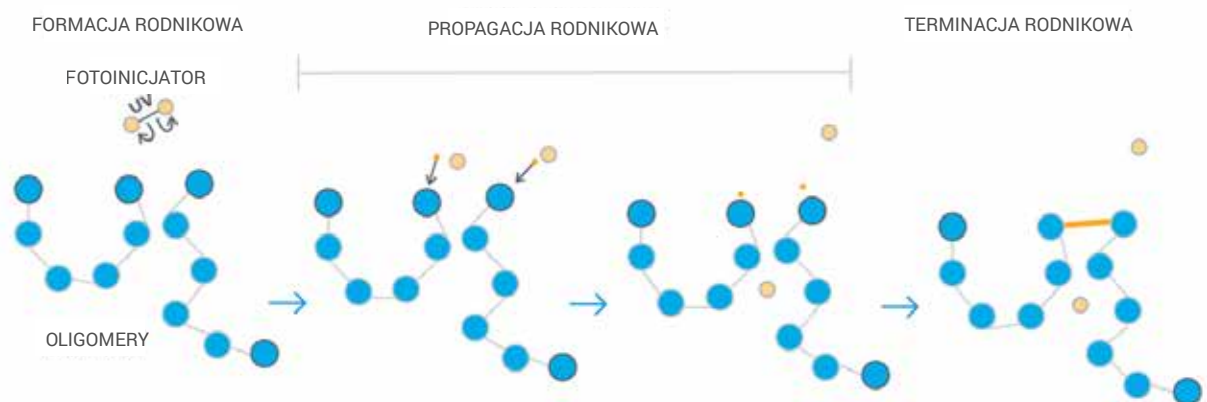


Fotopolimeryzacja w zbiorniku (*Vat Photopolymerization, VPP*)

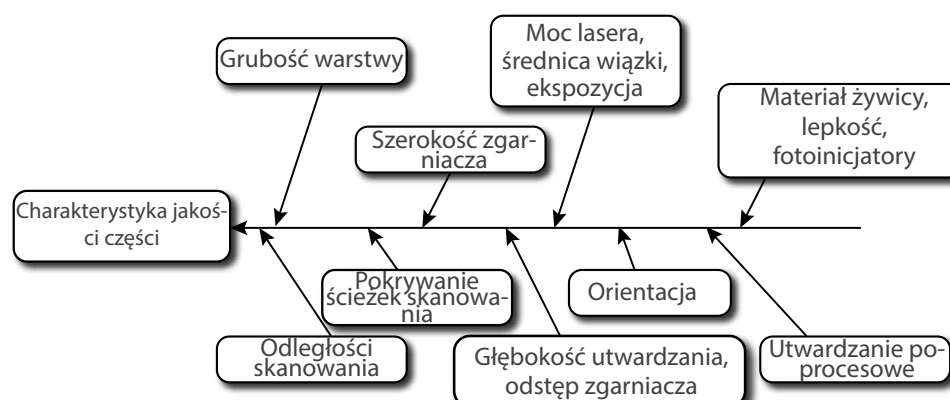
“Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to “proces wytwarzania przyrostowego, w którym następuje selektywne utwardzanie ciekłej żywicy polimerowej za pomocą źródła światła”.

Proces

- Łańcuchy monomeru i oligomeru mają na końcu aktywne grupy
- Kiedy żywica jest wystawiona na działanie promieniowania UV, cząsteczka fotoinicjatora rozpada się na dwie części
- 2 bardzo reaktywne rodniki
- Rodniki reaktywne są przenoszone do grup aktywnych, które następnie reagują z innymi grupami



Parametry



Dokładność

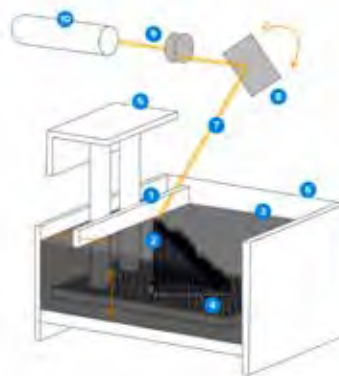
Standardowa dokładność dla technologii z grupy VPP wynosi od 50 do 200 mikrometrów w zależności od rozmiaru, żywicy, geometrii modelu i wygenerowanych struktur podporowych.



Rodzaje urządzeń

Kinematyka standardowa „od góry”:

- Źródło energii powyżej zbiornika z żywicą
- Platforma stopniowo zanurza się w zbiorniku
- Dostępne systemy o dużym polu roboczym
- Przestrzeń robocza do 1500x750x550mm³



Right-Side Up VPP

- 1 Zgarniacz
- 2 Budowana część
- 3 Żywica
- 4 Ruchoma platforma
- 5 Winda
- 6 Zbiornik z żywicą
- 7 Promień lasera
- 8 Lustra skanujące X-Y
- 9 Soczewki
- 10 Laser UV

Kinematyka odwrócona „od dołu”:

- Źródło energii poniżej zbiornika z żywicą
- Platforma stopniowo podnosi się
- Położenie wiązki lasera UV steruje się przy użyciu dwóch zwierciadeł galwanometrycznych
- Budowana część podczas wydruku obrócona jest do góry nogami
- Przestrzeń robocza do 145x145x175mm³

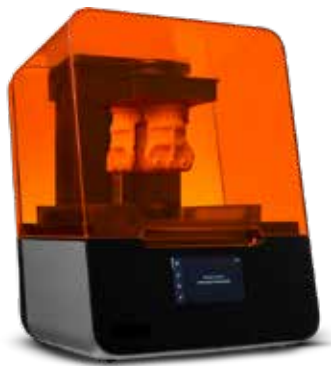


Upside-Down (Inverted) VPP

- 1 Budowana część
- 2 Struktura wspierająca
- 3 Żywica
- 4 Ruchoma platforma
- 5 Laser UV
- 6 Silniki luster skanujących
- 7 Lustro skanujące
- 8 Promień lasera
- 9 Zbiornik z żywicą

Przykłady urządzeń

Formlabs



145 x 145 x 175 mm

Envisiontec



400 x 400 x 400 mm

3D Systems



1500 x 750 x 550 mm

Materialise



2100 x 700 x 800 mm

Porównanie kosztów maszyn

Ogólna dokładność wydruków VPP wynosi od 50 do 200 mikronów w zależności od rozmiaru, żywicy, geometrii modelu i rodzaju podłoża.

	Biurkowe SLA: kinematyka odwrócona	Przemysłowe SLA: kinematyka standardowa
Cena	Od \$3500	\$80,000-\$1,000,000+
Gabaryty obiektów	Do 145 x 145 x 175 mm	Do 1500 x 750 x 550 mm
Zalety	- Niedrogie - Łatwe w użyciu - Niewielkie nakłady w utrzymaniu - Mała powierzchnia - Łatwa zmiana materiału	- Duża przestrzeń robocza - Wysoka wydajność procesu - Obszerny wybór materiałów
Wady	Średnia przestrzeń robocza	- Drogie maszyny - Wysokie nakłady zw. z utrzymaniem - Wymaga wykwalifikowanego operatora

Zalety

- Swoboda projektowania
- Modele geometryczne o doskonałej jakości powierzchni
- Szybki proces
- Niski koszt sprzętu
- Możliwa jest izotropia części.

Wady

- Niewiele dostępnych materiałów (żywice utwardzane promieniami UV)
- Wymagane są struktury wspierające
- Degradacja materiału przy ciągłej ekspozycji na światło
- Niskie temperatury pracy komponentów
- Niektóre żywice są toksyczne.

Aplikacje i branże

- Szybkie prototypowanie
- Stomatologia
- Medycyna
- Wirniki i urządzenia wirujące
- Obudowy
- Odlewanie w formach jednorazowych

Materiały

- Żywica, zazwyczaj składająca się z monomerów epoksydowych lub akrylowych i metakrylowych, polimeryzuje i twardnieje pod wpływem światła

Forma materiału

- Płyn lub pasta (żywica fotoreaktywna z wypełniaczem lub bez

Operacje przetwarzania (od góry, przemysłowe):

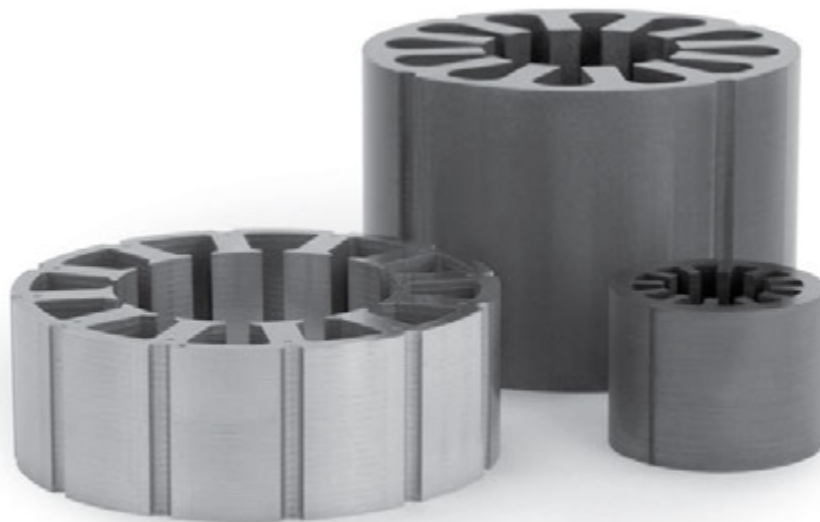
1. Platforma jest ustawiona na głębokość równą grubości jednej warstwy pod powierzchnią żywicy
2. Laser UV naświetla warstwę utwardzając wybrane obszary fotoczułej żywicy
3. Utwardzany w ten sposób jest cały przekrój części na wybranym poziomie
4. Platforma obniża się w zbiorniku o odległość równą grubości warstwy, a zgarniacz wyrównuje żywicę nad nią. Powtarzane jest naświetlanie kolejnej warstwy.
5. Po naświetleniu wszystkich warstw część musi być ostatecznie utwardzona przez ekspozycję na światło UV aż do osiągnięcia wymaganych właściwości mechanicznych i cieplnych.

Laminacja arkuszy (*Sheet lamination*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to „proces wytwarzania przyrostowego, w którym arkusze materiału są łączone w celu utworzenia obiektu”.

Materiały:

- Polimery
- Metale
- Kompozyty
- Ceramika
- Papier



Polimery

- Przyczepność międzywarstwowa osiągnięta poprzez ciepło / klej
- Cięcie wykonywane laserem / ostrzem
- Możliwość wytwarzania kolorowych części
- Zwykle do prototypowania

Konsolidacja metalowo-ultradźwiękowa

- Spoina w stanie stałym między „foliami”
- Możliwość zastosowania wielu materiałów
- Możliwość osadzania obcych części w środku (niska temperatura)

Zalety

- Wysoka prędkość
- Brak naprężeń szczątkowych
- Szeroka gama materiałów

Wady

- Wymagana jest obróbka poprocesowa, aby osiągnąć wymagany efekt
- Wykończenia mogą się różnić w zależności od papieru lub tworzywa sztucznego, mogą wymagać dodatkowej obróbki poprocesowej, aby osiągnąć pożądany efekt.

Aplikacje i branże

- Architektura (modele)
- Wizualizacja topografii
- Przemysł lotniczy i samochodowy

Postać materiału

- Arkusz, papier, folia metalowa, polimery lub kompozyty (metalowy lub ceramiczny proszek, utrzymywany przez spoiwo).

Operacje przetwarzania (tworzywa sztuczne):

1.

Arkusz materiału jest nakładany na platformie roboczej.

2.

Arkusz jest przyklejany do poprzednich arkuszy przy pomocy kleju.

3.

W arkuszu wycinany jest kontur aktualnej warstwy – przy pomocy lasera lub noża, wtedy nakładany jest kolejny arkusz.

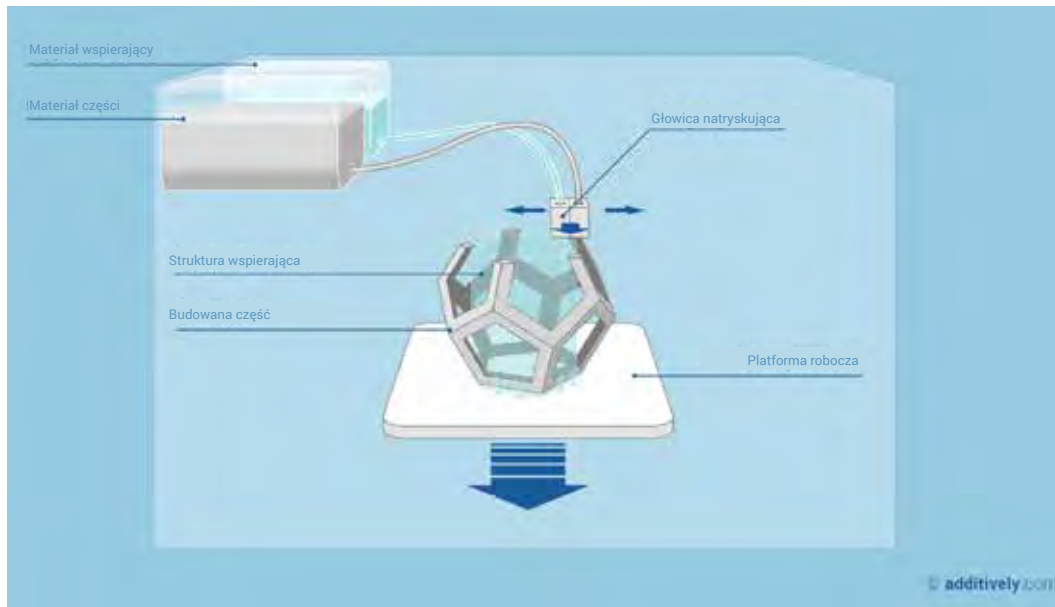
4.

Poprzednie dwa kroki mogą być zamienione miejscami, a nawet materiał może być nacinany zanim będzie przyklejony.



Natryskiwanie materiału (*Material Jetting*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to „proces wytwarzania przyrostowego, w którym kropelki materiału wsadowego są osadzane selektywnie”.



Zalety

- Szybki proces
- Wielkości części od małych do średnich
- Dobra dokładność (zazwyczaj $\pm 0.1\%$)
- Możliwość mieszania kolorów i właściwości
- Miękkie i twarde materiały
- Niewymagana obróbka poprocesowa
- Obniżony koszt wyposażenia

Wady

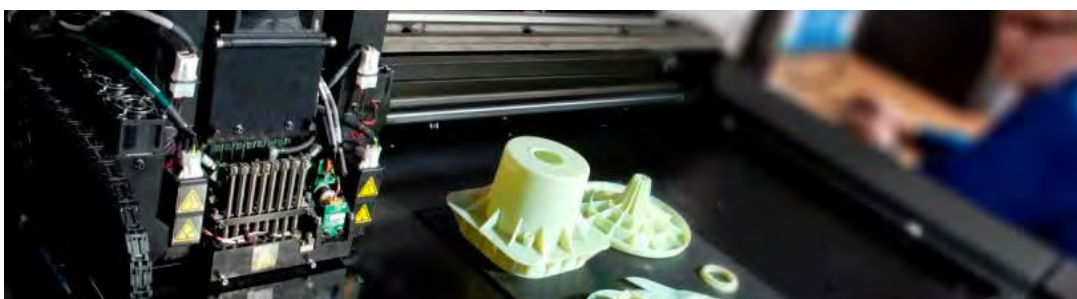
- Niska wytrzymałość

Aplikacje i branże

- Szybkie prototypowanie
- Stomatologia
- Medycyna
- Protezy

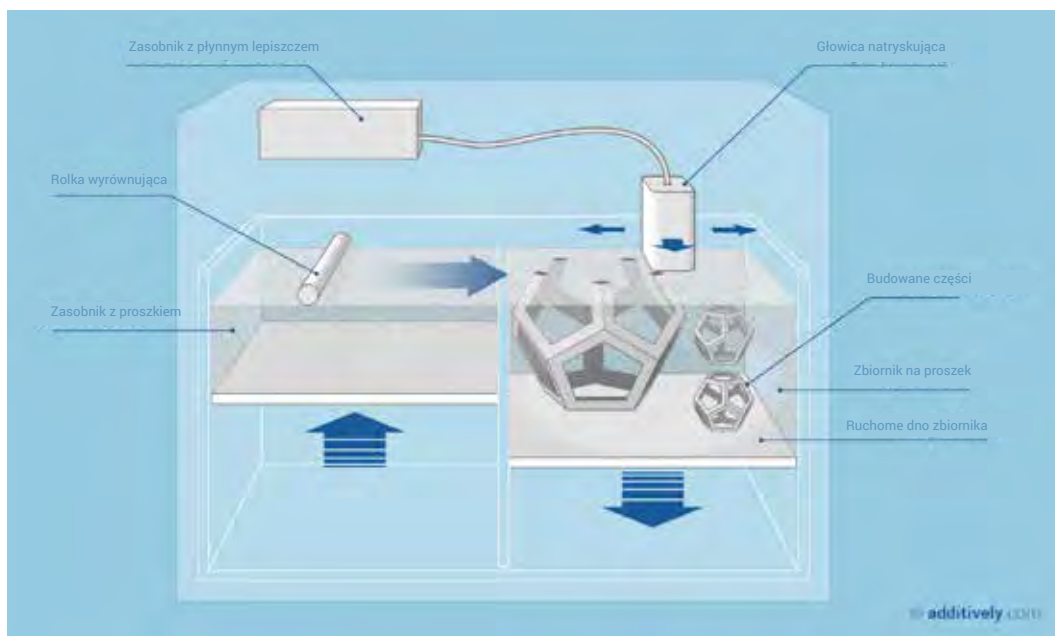
Materiały

- Żywe światłoczułe
- Fotopolimery akrylowe (termoutwardzalne)



Natryskiwanie lepiszcza (*Binder Jetting*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to "proces wytwarzania przyrostowego, w którym ciekły środek wiążący jest selektywnie osadzany w celu połączenia materiałów proszkowych".



Zalety

- 50-100x szybsze niż PBF
- X20 niższy koszt niż PBF
- Niewymagane struktury wspierające
- Odpowiedni do części o dużym stopniu skomplikowania i dużych serii
- Dobra dokładność

Wady

- Ograniczony rozmiar (<400x300x200 mm)
- Różne procesy obróbki końcowej (druk □ wypalanie lepiszcza □ spiekanie)
- Wymagana ostrożność postępowania z częściami jeszcze niespieczonymi
- Kontrola skurczu podczas spiekania
- Ograniczona grubość ścianki (5-10 mm)

Aplikacja i branże

- Inżynieria precyzyjna
- Motoryzacja
- Prototypowanie
- Medycyna

Materiały

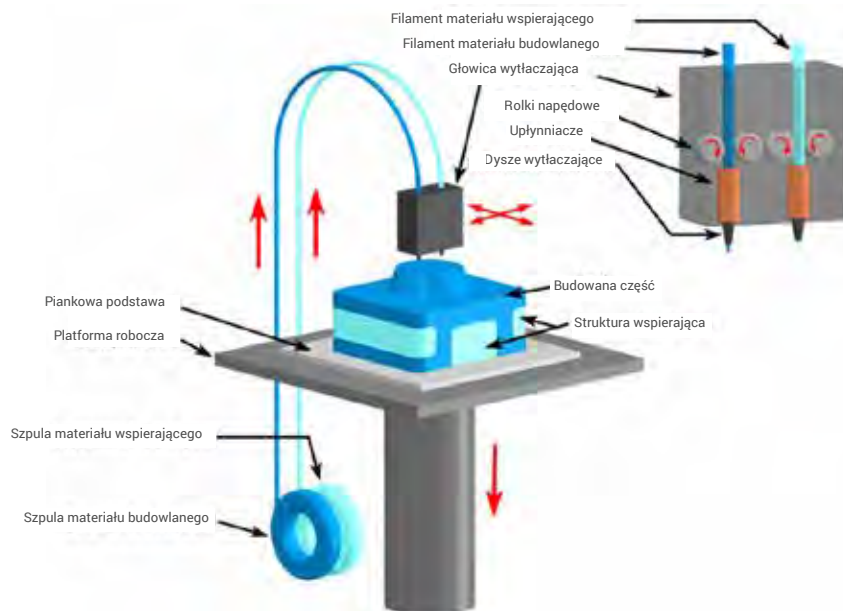
- Stale
- Stopy na bazie niklu
- Stopy CoCr
- W, WC





Wytłaczanie materiału (*Material Extrusion*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to „Proces wytwarzania przyrostowego, w którym materiał jest selektywnie przetwarzany przez dyszę lub otwór”.



Zalety

- Szeroki zakres materiałów (tworzywa sztuczne)
- Proces łatwy i przyjazny dla użytkownika (FDM)
- Niskie koszty
- Niewielkie rozmiary urządzeń
- Niższe koszty wytwarzania w porównaniu do metali
- Odpowiedni dla małych części (50 mm)
- Odpowiedni dla małych serii

Wady

- Toksyczne materiały do drukowania (niektóre tworzywa termoplastyczne)
- Skurcz materiału (w metalach)
- Ograniczona grubość ścianki (w metalach: 5-10 mm)

Aplikacje i branże

- Szybkie prototypowanie
- Motoryzacja
- Opieka zdrowotna

Materiały

- Polimery termoplastyczne (PLA, ABS, PC)
- Materiały kompozytowe (wzmocnione tworzywem sztucznym)
- Metale (stal, miedź, Inconel 625)

02 Łańcuch wartości AM

Łańcuch wartości definiuje się jako zbiór działań od badań po wprowadzenie na rynek, wzdłuż procesu generowania i dodawania wartości.



Wyjaśnienie: FEA = Finite element analysis (Analiza metodą elementów skończonych); CPD = Composites part design; MBD = Model-based definition; EDM = Electrical discharge machining (Obróbka elektroerozyjna); HIP = Hot isostatic pressing (Prasowanie izostatyczne na gorąco)
Source: L.E.K. analysis

Wartość dodana dzięki AM

Wartość dodana: zestaw dodatkowych cech produktu lub usługi, które czynią je bardziej atrakcyjnymi dla klienta w stosunku do kompetencji:

- Personalizacja
- Produkcja na miejscu i na żądanie (bez potrzeby przechowywania zapasowych części)
- Minimalny czas wprowadzenia na rynek
- Zrównoważony rozwój i efektywność energetyczna
- Możliwość projektowania różnicowego
- Poprawa projektu:
 - Integracja części
 - Niższa waga
- Redukcja kosztów:
 - Małe partie
 - Bezpieczeństwo przetwarzania drogich materiałów

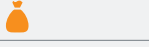
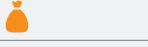
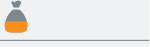
Który proces jest najlepszy dla mojego produktu?

	TECHNOLOGIA	MATERIAŁY	TYPOWE ZASTOSOWANIA	ZASTOSOWANIE DO METALI	
Fuzja/ stapianie	 Fuzja proszku w zbiorniku – Energia cieplna selektywnie łączy ziarna proszku na górnej powierzchni	Metale, polimery	Prototypowanie, gotowe części		AM technologieën voor metalen objecten.
	 Nakładanie materiału przy pomocy skupionej energii – Ukierunkowany strumień energii cieplnej tworzy ciekłe jezioro, do którego dodawany jest nowy materiał	Metale	Gotowe części, regeneracja części		
	 Laminacja arkuszy – Arkusze materiału są sklejane i nacinane wzdłuż konturów obiektu	Metale, Papier	Prototypowanie, gotowe części		
Spiekanie	 Natryskiwanie lepiszcza – Ciepłe lepiszcze jest natryskiwane dla uzyskania połączenia proszkowego materiału	Metale, polimery, Piasek odlewniczy	Prototypowanie, gotowe części, formy odlewnicze		
	 Natryskiwanie materiału – Kropelki materiału są nanoszone na kolejnych warstwach	Polimery, Woski	Prototypowanie, wzorce odlewnicze		
	 Wytłaczanie materiału – Materiał jest dozowany z dyszy lub otworu i selektywnie nakładany	Polimery	Prototypowanie		
	 Fotopolimeryzacja w zbiorniku – Ciepła fotoaktywna żywica jest selektywnie utwardzana w procesie fotopolimeryzacji aktywowanej światłem	Fotopolimery	Prototypowanie		

Source: ASTM international Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies; Roland Berger

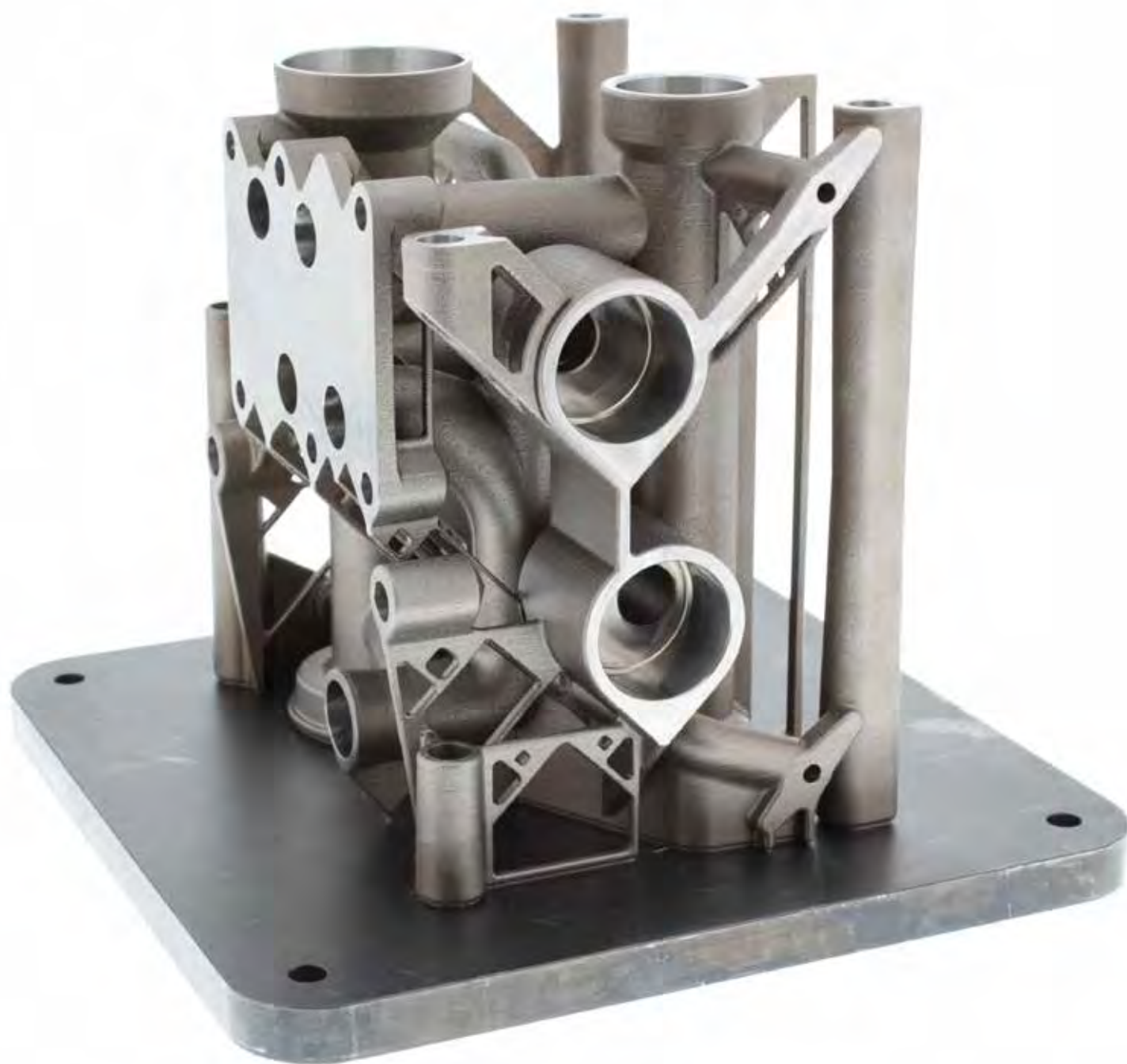
Established and challenger technologies for metal AM

Several new metal AM technologies are emerging alongside powder bed fusion or direct energy deposition – Simplified overview (schematic)

	POWDER BED FUSION		DIRECT ENERGY DEPOSITION	WIRE BY LASER / PLASMA / EB	MATERIAL JETTING	MATERIAL EXTRUSION	BINDER JETTING
	BY LASER	BY ELECTRON BEAM	POWDER BY LASER				
BUILD PRINCIPLE	Thermal energy by laser fuses regions of a powder bed	Thermal energy by electron beam fuses regions of a powder bed	Fusion of powdered material by melting during deposition	Fusion of wire fed material by melting during deposition	Deposition of droplets of molten metal	Dispensing of material through nozzle to form a green part	Joining powder with binding agent to form a green part
MANUFACTURING READINESS FOR AM	Manufacturing readiness reached for selected industries 	Manufacturing readiness reached for selected industries 	So far mainly used for coating, AM only in niche applications 	So far mainly used for coating, AM only in niche applications 	Production capabilities shown 	Production capabilities shown for prototyping 	Manufacturing readiness reached for niche applications 
KEY MATERIALS	Al, Ti, Ni-alloys, CoCr, steel	Ti, Ni-alloys, CoCr	Ti, Ni-alloys, steel, Co, Al	Ti, Ni, steel, Co, Al, W, Zr-alloy, CuNi	AL, steel	Cu, Inco, steel, (others incl. Ti in development)	WC, W, CoCr, steel/bronze, steel, Inco, non-metal molds
MECHANICAL PROPERTIES							
POST-PROCESSING REQUIRED	HT ¹⁾ /HIP ²⁾ , machining, surface treatment 	Machining, surface treatment 	HT ¹⁾ , machining, surface treatment 	HT ¹⁾ , machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 
BUILD COSTS							
CORE APPLICATION INDUSTRIES	Aerospace, turbines, med-tech, dental, automotive	Aerospace, turbines, med-tech	Aerospace, general MRO-related business	Aerospace, general MRO-related business	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping, med-tech, arts and design
EQUIPMENT SUPPLIERS (SELECTION)	Concept Laser, Trumpf, EOS, Renishaw, DMG MORI, SLM Solutions, Additive Industries	Arcam	DMG MORI, Mazak, BeAM, PM Innovations, Trumpf, Optomec	Sciaky, OR Laser, Trumpf, Norsk Titanium	Vader Systems, XJet	Desktop Metal, Markforged, BASF	ExOne, Digital Metal, Desktop Metal
	Established technologies			Challenger technologies			

¹⁾ Heat treatment ²⁾ Hot isostatic pressing
Source: Company information; expert interviews; Roland Berger

 Low degree required  High degree required  Low  High  Proof of concept  Full rate production



AMable

O AMable

AMable to grupa ludzi z różnych organizacji, których celem jest stworzenie nowego ekosystemu dla produkcji przyrostowej. Osoby te zapewniają szeroką wiedzę specjalistyczną z zakresu technologii, biznesu i szkoleń. Komisja Europejska wspiera to konsorcjum w ramach I4MS finansami z programu ramowego H2020 oraz wytycznymi dotyczącymi otwartej platformy dla firm europejskich.

Główną grupą docelową są małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP), które potrzebują wsparcia w zakresie wytwarzania przyrostowego. AMable ma na celu umożliwienie ludziom w tych firmach podnoszenia ich umiejętności, a nie wykonywania pracy za ludzi. Ekosystem rozwinie jednak szeroko rozpowszechnioną ofertę, od wsparcia naukowego, poprzez umiejętności i edukację, po komercyjne oferty usług.



Kontakt

projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Koordinator

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
c/o Ulrich Thombansen
+49/241/8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Bądź w kontakcie

Kontakt

projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Koordinator

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT

c/o Ulrich Thombansen

+49/241/8906-320

ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

© AMable Project Consortium 2020, v1.0

Lead Editors Ana Cardoso (EWF), Pedro Alvarez (LORTEK)



Ten projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską w ramach programu badań i innowacji Horyzont 2020 według umowy grantowej nr 768775

www.amable.eu

