

WYTWARZANIE PRZYROSTOWE MAŁYCH I MIKRO CZĘŚCI METALOWYCH

Przewodnik po wyborze odpowiedniej technologii przyrostowej dla danego zastosowania

WHITEPAPER

MetShape GmbH

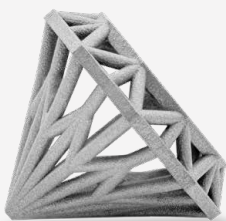
www.metshape.com

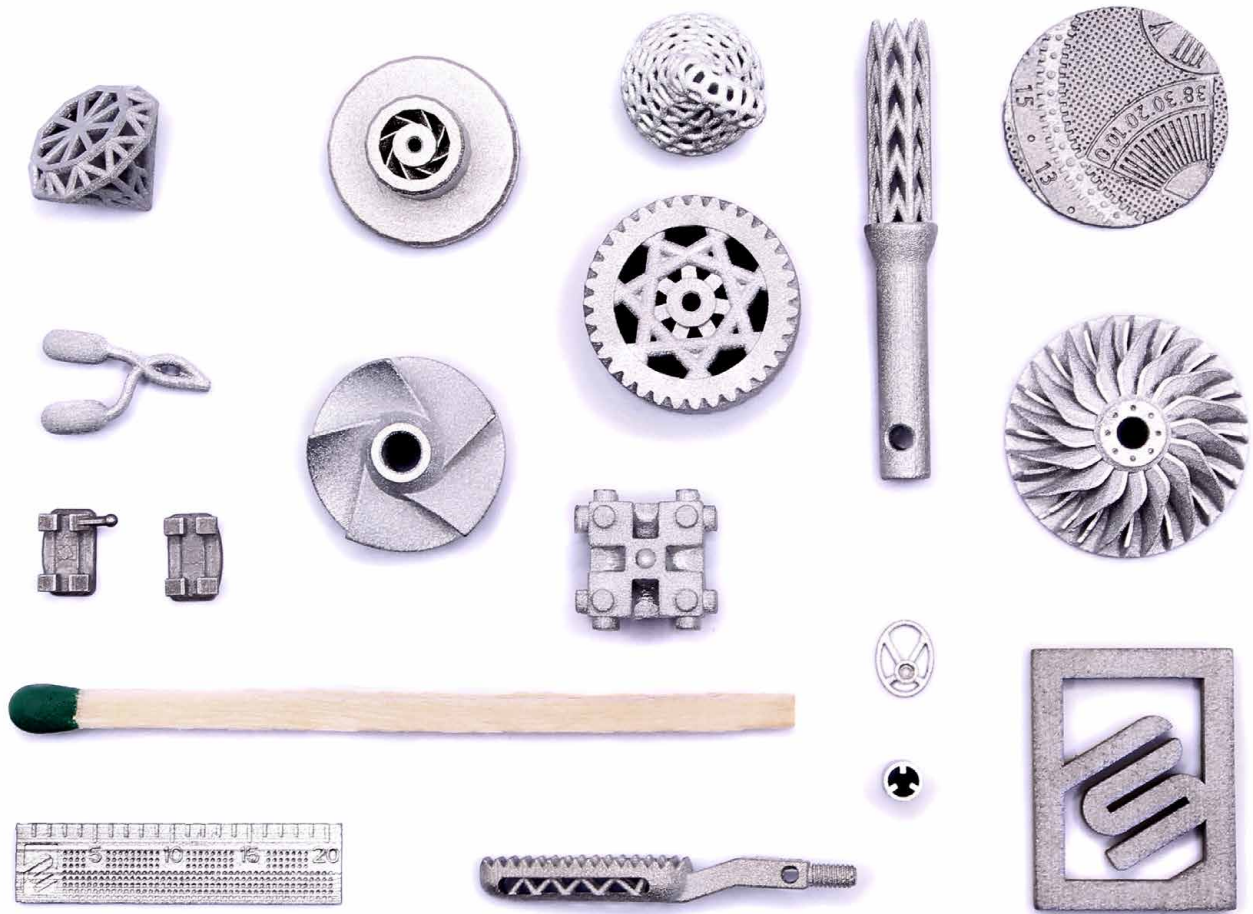
info@metshape.com

3D Center

www.3dcenterpolska.pl

karol.janowicz@3dcenter.se





Wstęp

Wytwarzanie przyrostowe, znane również jako druk 3D, stało się w ostatnich latach bardzo popularne i potwierdziło, że jest innowacyjną technologią produkcji, która może być wykorzystana w wielu sektorach przemysłu.

Określenie “wytwarzanie przyrostowe” odnosi się do wielu technologii mających swoje wady i zalety. Co więcej, mając na uwadze pożądane cechy gotowej części, jedna technologia wytwarzania może być lepsza od drugiej. Wynika z tego trudność w wyborze odpowiedniej technologii dla konkretnego zastosowania.

Przy tak wielu, dość nowych, technologiach na rynku ciężko osiąść wiedzę i doświadczenie by wybrać odpowiednią.

Dlatego też, poniższy przewodnik pomaga przezwyciężyć te wyzwania pokazując przegląd różnych czynników wpływających na decyzje o wyborze odpowiedniej technologii dla ich zastosowania. Poradnik ten skupia się wyłącznie na technologiach przyrostowych odpowiednich do produkcji małych i mikro części metalowych.

Oprócz przewodnika, niniejsze opracowanie stanowi krótkie wprowadzenie do wytwarzania przyrostowego zawierając przegląd korzyści oraz schemat różnych technologii. Ponadto, opisano różnicę pomiędzy technologiami bezpośrednimi i pośrednimi.

Korzyści z technologii przyrostowych

Różnorodne zalety, jakie oferują technologie przyrostowe, pokazują możliwości i korzyści, jakie mogą one przynieść przedsiębiorstwom.

Dzięki zaletom jakie oferuje wytwarzanie przyrostowe, technologie te znajdują szerokie zastosowanie w wielu aplikacjach i obszarach, w których stosuje się produkcję przemysłową.



Swoboda projektowania

Swoboda projektowania, która jest możliwa dzięki wytwarzaniu przyrostowym, przyczynia się do rozwoju nowych innowacji. Unikalny proces produkcji, w którym część jest budowana warstwa po warstwie, oferuje dużą elastyczność, zwłaszcza w odniesieniu do kształtu gotowej części i redukuje ograniczenia w projektowaniu. Dla wielu geometrycznie złożonych projektów i kształtów jedyną alternatywą dla technologii przyrostowych jest produkcja ręczna.



Oszczędność czasu & kosztów

W technologiach przyrostowych nie ma potrzeby stosowania narzędzi lub urządzeń do wytwarzania zaprojektowanych części, co eliminuje niepotrzebne etapy produkcji i przyczynia się do obniżenia kosztów produkcji i zmniejszenia ryzyka. Szczególnie w przypadku produkcji prototypów, pojedynczych części i małych serii technologie przyrostowe stanowią oszczędną, szybką oraz elastyczną technikę wytwarzania.



Precyzja & złożoność

Dzięki technologiom przyrostowym możliwe jest wytwarzanie wysoce precyzyjnych części o wyjątkowo złożonych strukturach geometrycznych, które są często wymagane przez przedsiębiorstwa. W tym przypadku technologie przyrostowe wyraźnie przewyższają tradycyjne technologie, ponieważ albo nie są one w stanie wyprodukować części o określonych cechach, albo ich wytworzenie wiązałoby się z nieuzasadnionym, wysokim nakładem pracy.



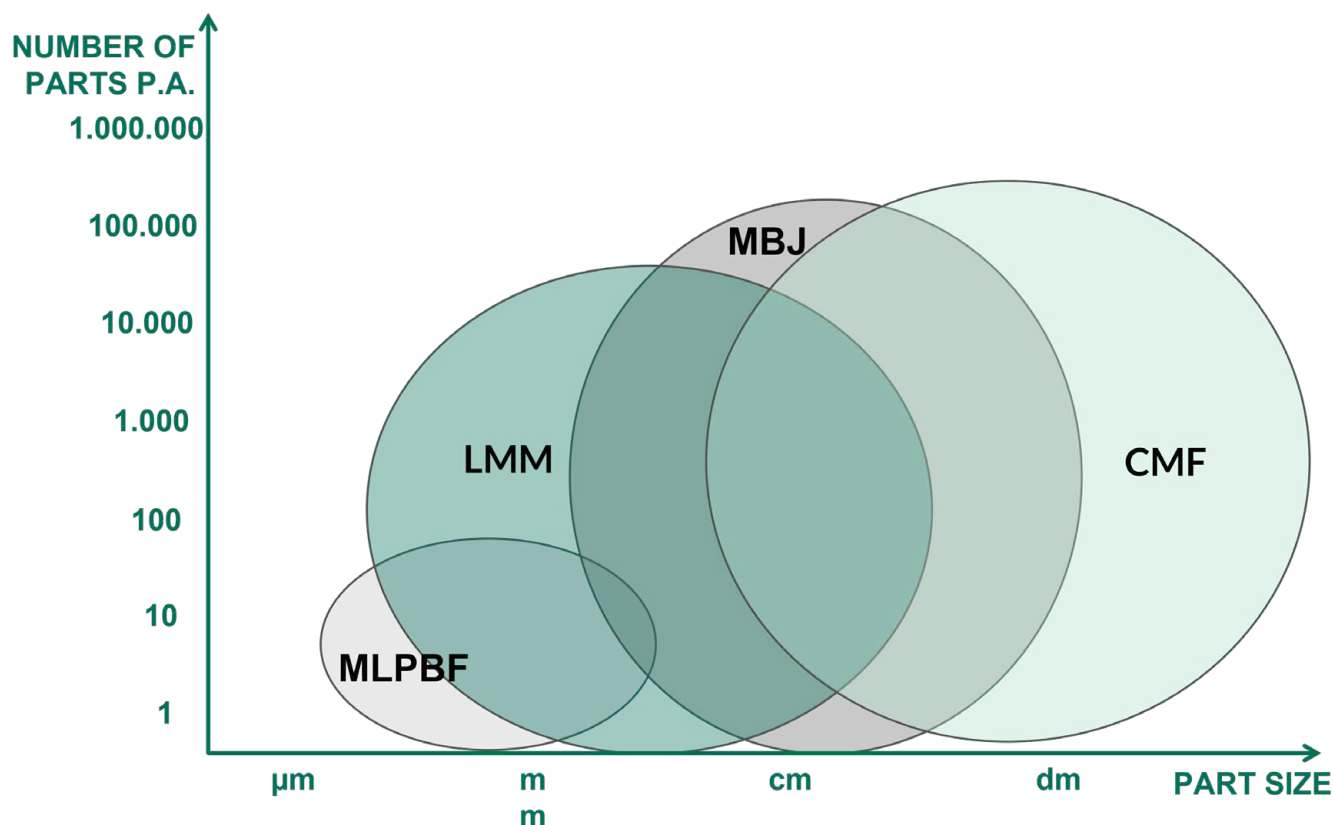
Części indywidualne & zoptymalizowane pod kątem funkcji

Technologie przyrostowe umożliwiają dostosowanie części do potrzeb klienta. Szczególnie w sektorach takich jak medycyna potrzebne są części specyficzne dla pacjenta, których produkcja przy użyciu tradycyjnych technologii byłaby skomplikowana. Funkcjonalne wymagania części mogą być spełnione znacznie łatwiej niż w przypadku tradycyjnej produkcji. Możliwość integracji funkcjonalnej to kolejna korzyść, jaką oferują technologie przyrostowe.

Przegląd technologii przyrostowych

Wykres przedstawia przegląd różnych technologii przyrostowych, które są odpowiednie do produkcji małych i mikro części metalowych. Pokazuje również wyzwanie, jakim jest wybór odpowiedniej technologii dla konkretnego zastosowania.

Na rynku dostępnych jest znacznie więcej technologii przyrostowych, ale nie zostały one omówione w tym podręczniku, ponieważ nie są one odpowiednie do produkcji małych i mikro części.



Direct & indirect technologies

Technologie wytwarzania przyrostowego można podzielić na dwie kategorie, pośrednie i bezpośrednie. Bezpośrednie technologie przyrostowe charakteryzują się jednoetapowym procesem, gdzie część jest bezpośrednio wykonywana podczas procesu spajania (spawania). Dobrze znanymi przykładami technologii bezpośrednich są LPBF (Laser Powder Bed Fusion), SLM (Selective Laser Melting) i EBM (Electron Beam Melting).

Technologie pośrednie charakteryzują się dwuetapowym procesem. W pierwszy etap, drukowana jest 'zielona część', która następnie jest oczyszczona i spiekana.

W ciągu ostatnich kilku lat metody pośrednie zyskały większą uwagę. Powodem tego jest wysoka produktywność i zalety, które wynikają z produkcji 'zielonych części', takie jak fakt, że nie są wymagane przy ich produkcji żadne konstrukcje nośne, co zmniejsza lub nawet eliminuje kosztowną obróbkę wtórną.

W porównaniu z bezpośrednimi, metody pośrednie są wciąż mniej zbadane. Dobrze poznanymi metodami pośrednimi wytwarzania przyrostowego są FDM z wykorzystaniem metalu i binder-jetting.

Bezpośrednie metody przyrostowe

Pośrednie metody przyrostowe

Proces

Jednoetapowy proces produkcji:
Właściwości komponentów porównywalne z uznaną technologią MIM

Dwuetapowy proces produkcji:
1. Wytworzenie 'zielonej części'
2. Oczyszczenie i spiekanie 'zielonej

Zalety

- Stosunkowo krótki czas realizacji
- Możliwość zastosowania na istniejących konstrukcjach
- Wysoka powtarzalność
- Szeroko stosowane i rozwijane

- Wysoka wydajność
- Możliwa kontrola jakości i przetwarzanie 'części zielonych'
- Duża różnorodność materiałów
- Właściwości komponentów porównywalne z uznaną technologią MIM

Wady

- Wymagane struktury podporowe odporne na duże naprężenia termiczne i odkształcenia
- Wysoki pobór ciepła
- Najczęściej procesy wrażliwa
- Struktura spawu
- Porównywalnie szorstkie powierzchnie

- Złożony łańcuch procesów
- Odkształcenie w wyniku procesu spiekania
- Tolerancje skurczu
- Gęstość <99,9

Przykłady

M-LPBF (Micro-Laser Powder Bed Fusions)

LMM (Lithography-based Metal Manufacturing), CMF (Cold Metal Fusion), BJ (Binder Jetting)



LMM częścią MetShape

Wyzwanie w wybraniu odpowiedniej technologii dla danego zastosowania

Decydując się na zastosowanie wytwarzania addytywnego jako procesu produkcyjnego, wyzwaniem staje się wybór odpowiedniej technologii dla danego zastosowania. Jednakże, jak wspomniano, termin "wytwarzanie przyrostowe" obejmuje szeroki zakres technologii dostępnych na rynku, które różnią się pod kilkoma względami. Na przykład, nie każda technologia nadaje się do każdego zastosowania, a wymagania dotyczące gotowych części, takie jak chropowatość powierzchni, precyzja, dokładność wymiarowa oraz

inne cechy części, takie jak rozmiar lub właściwości mechaniczne i materiałowe, są decydującymi czynnikami, które należy rozważyć przy wyborze technologii przyrostowej.

Każda technologia oferuje inne zalety, jak również wady i ma swoje ukierunkowane zastosowania. W związku z tym należy wybrać odpowiednią technologię produkcji, która będzie pasowała do danego zastosowania.

Poradnik wyboru odpowiedniej technologii dla Twojej aplikacji

Niniejszy przewodnik skupia się na porównaniu czterech różnych technologii wytwarzania przyrostowego, które są odpowiednia do wytwarzania małych i mikro części metalowych, takich jak Binder Jetting (BJ), Cold Metal Fusion (CMF), Lithography-based Metal Manufacturing (LMM) i Micro-Laser Powder Bed Fusion (M-LPBF).

Istnieje wiele czynników wpływających na decyzję o wyborze najlepszego rozwiązania wytwarzania przyrostowego dla konkretnego zastosowania. Głównymi czynnikami omówionymi w niniejszym artykule, dotyczącymi wymienionych technologii, są: jakość powierzchni, wielkość części, precyzja i tolerancje, wielkość partii oraz koszty.



LMM częścią MetShape



LMM



LMM



CMF



MBJ



LMM częścią MetShape

Wielkość części & solidność "części zielonej"

Wielkość części jest decydującym czynnikiem przy podejmowaniu decyzji, którą technologię addytywną należy wybrać do wytworzenia pożądanej części. Ponadto w pośrednich technologiach wytwarzania przyrostowego ważnym aspektem do rozważenia jest solidność "części zielonej". Jest to związane z trudnościami związanymi z wyciągnięciem "części zielonej" z drukarki.

Ogólnie rzecz biorąc, M-LPBF i LMM są technikami, które najlepiej nadają się do małych elementów o wielkości 5 mm długości, szerokości i wysokości. M-LPBF może być efektywnie stosowane dla części do 20 mm we wszystkich wymiarach, a LMM ma zastosowanie dla części do 35 mm we wszystkich wymiarach. Metal Binder Jetting jest stosowany dla części większych niż 5 mm ze względu na słabszą jakość powierzchni i dokładność. Dobrą alternatywą dla części powyżej 50 mm jest CMF mimo gorszej jakości powierzchni niż w przypadku M-LPBF i LMM.

Jakość powierzchni

Jakość powierzchni części jest kolejnym kluczowym aspektem przy podejmowaniu decyzji o wyborze technologii wytwarzania przyrostowego. W niektórych technologiach podczas procesu wymagane są struktury podporowe, co zwykle prowadzi do uzyskania powierzchni o większej chropowatości, ponieważ struktury podporowe muszą być usunięte w procesie ręcznym. Ponadto, w technologiach addytywnych opartych na spiekaniu, wiedza dotycząca tego procesu może być decydująca dla uzyskania doskonałej jakości powierzchni. Oznacza to również, że konieczna jest kosztowna obróbka końcowa. Jeśli technologia jest oparta na spiekaniu, wiedzy dostawcy w jej zakresie jest kolejną decydującą zmienną, która wpływa na jakość powierzchni.

Prawdopodobnie najlepszą technologią dla bardzo gładkich powierzchni jest prawdopodobnie LMM, ponieważ można w niej osiągnąć chropowatość powierzchni $2\ \mu\text{m}$ bez obróbki wtórnej. Jeśli następnie zastosuje się procedurę polerowania, chropowatość powierzchni może być lepsza niż $1\ \mu\text{m}$. M-LPBF może osiągnąć chropowatość powierzchni $3\ \mu\text{m}$, ale zazwyczaj konieczna jest obróbka wtórna, aby usunąć wszystkie struktury nośne. Jakość powierzchni w przypadku BJ wynosi około $5\ \mu\text{m}$ i jest optymalna dla wielu części. Z technologii opisanych w niniejszym poradniku CMF ma największą chropowatość powierzchni wynoszącą $17\ \mu\text{m}$, bez konieczności stosowania postprocesów lub polerowania.



CMF



LMM

LMM częścią MetShape

M-LPBF



M-LPBF częścią 3D MicroPrint

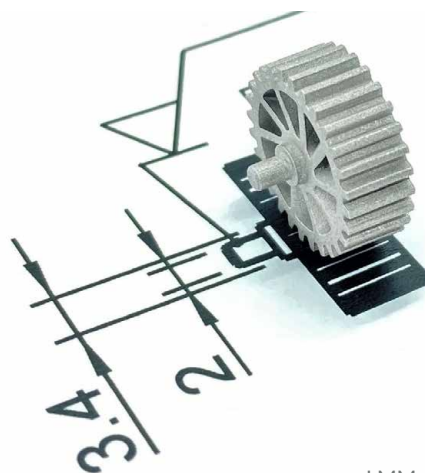
Koszty

W celu wygenerowania porównania kosztów pomiędzy ocenianymi technologiami wybrano część nadającą się do druku we wszystkich czterech technologiach. Ceny zostały obliczone dla serii 10 prototypów, a wymiary części to 14 mm średnicy i 3 mm wysokości. Koszt 10 części z M-LPBF wynosi 3 800 euro, czyli 380 euro za sztukę. W przypadku LMM jest to około 48 euro za część, a w przypadku BJ 38 euro. Najtańszą technologią jest CMF - tylko 10 euro za część.

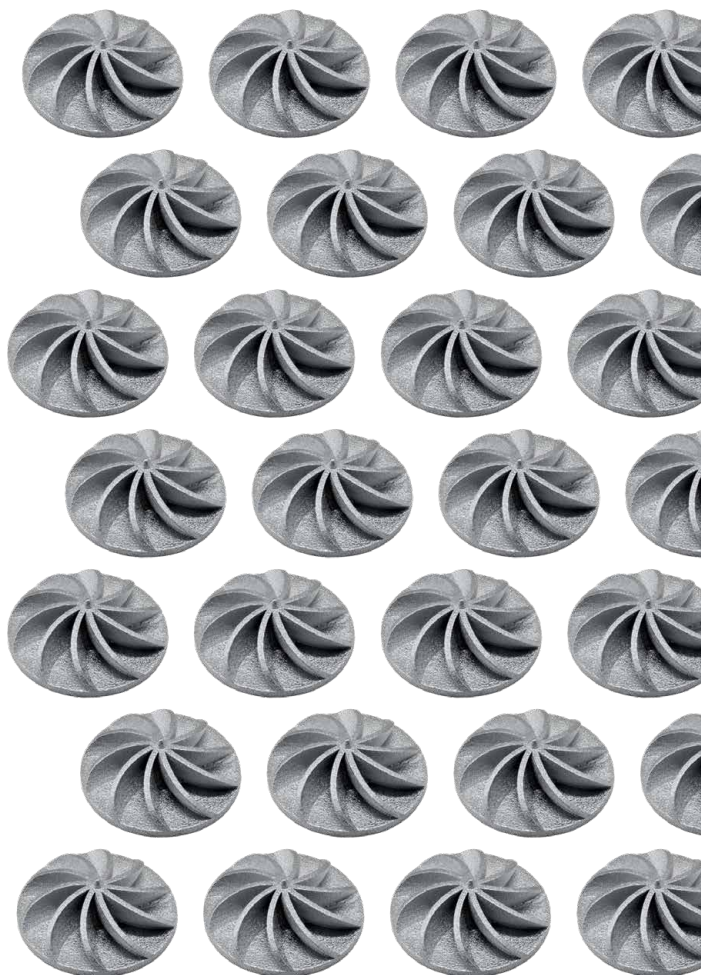
Tolerancje

Osiągalne tolerancje i precyzja technologii są bardzo ważną dla aplikacji funkcjonalnych, które muszą pracować w połączeniu z innymi częściami. Dlatego należy wiedzieć, która technologia może osiągnąć wymagane tolerancje. Podobnie jak jakość powierzchni, również tolerancje w dużym stopniu zależą od struktur nośnych, których niektóre technologie wymagają.

Najlepszą dokładność w mikroaplikacjach można osiągnąć przy zastosowaniu M-LPBF, gdzie w najlepszych przypadkach można zagwarantować tolerancję w granicach $\pm 0,005$ mm (ISO 2768-1 f). W przypadku LMM osiągalne są tolerancje do $\pm 0,05$ mm (ISO 2768-1 f), natomiast BJ i CMF deklarują tolerancję w granicach $\pm 0,1$ mm (ISO 2768-1 m).



LMM częścią MetShape



LMM częścią MetShape-

Wielkość partii

Również wielkość partii jest istotnym czynnikiem przy wyborze technologii. Niektóre procesy mają bardzo wysoką wydajność, podczas gdy inne wymagają ręcznej obróbki końcowej, co wydajność obniża.

Ogólnie rzecz biorąc, M-LPBF i BJ są najlepszymi technologiami do wytwarzania prototypów lub małych serii. Szczególnie BJ nie jest tak powtarzalna pod względem stałych wyników ze względu na złożone parametry procesu. LMM jest technologią, która może być stosowana dla małych serii oraz partii wielkości do 100 000 sztuk, jeśli część jest mała. Wynika to z faktu, że komora robocza jest dość ograniczona i im mniejszy element tym więcej części można wydrukować w którym czasie. Najlepszym rozwiązaniem dla masowej produkcji jest CMF ze względu na wysoką wydajność i powtarzalność technologii.

Podsumowanie

Każda technologia ma swoje zalety i wady. Wybór odpowiedniej technologii dla danego zastosowania zależy od kilku czynników. Należy rozważyć, który czynnik jest najbardziej kluczowy. Czy potrzebna jest tolerancja +/- 0,05 mm czy ważniejszy jest niski koszt? W poniższej tabeli przedstawiono fakty i klasyfikacje czynników specyficznych dla danej technologii, aby pomóc w znalezieniu najlepszego rozwiązania dla danej aplikacji.

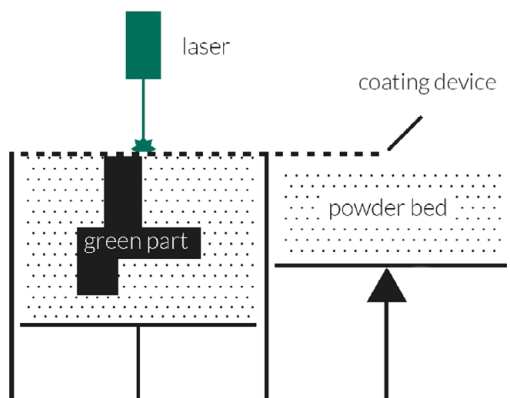
Wierzmy, że istnieje technologia dla każdego rodzaju potrzeb. Zidentyfikuj swoje najważniejsze czynniki, a znajdziesz technologię, od której możesz zacząć swoją przygodę z wytwarzaniem przyrostowym, przyspieszyć swój rozwój i polepszyć swoje produkty.

| Czynnik | | M-LPBF | LMM | MBJ | CMF |
|-----------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------|-----------|
| Wielkość części | 1 - 5 mm | ++ | ++ | + | - |
| | 5 - 50 mm | + | + | ++ | + |
| | > 50 mm | - | - | ++ | ++ |
| Jakość po powierzchni | [Ra w μm] | 3 | 3 | 5 | 17 |
| Tolerancje | [mm] | ± 0.005 | ± 0.05 | ± 0.1 | ± 0.1 |
| Struktury podporowe | | tak | nie | nie | nie |
| Wielkość partii | 1 - 99 | ++ | ++ | ++ | - |
| | 100 - 999 | + | ++ | + | ++ |
| | 1.000 - 9.999 | - | + | - | ++ |
| | ≥ 10.000 | - | + | - | ++ |
| Koszty | [w €/szt.] | 380 | 48 | 38 | 10 |

Słowniczek: Opis technologii

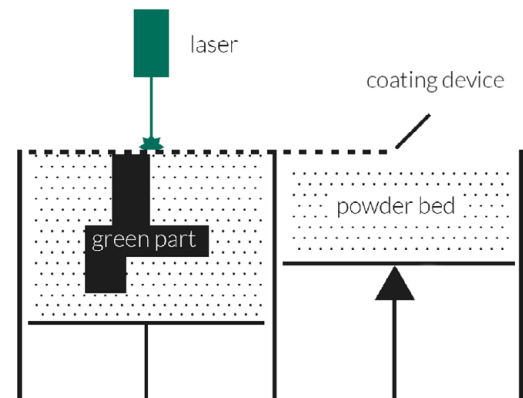
Micro Laser Powder Bed Fusion (M-LPBF)

Technologia M-LPBF należy do technologii bezpośrednich wytwarzania addytywnego. W porównaniu z LPBF można przetwarzać dzięki niej jeszcze drobniejsze proszki ($1-5\ \mu\text{m}$) i jeszcze mniejsze grubości warstw. Podczas procesu drobnoziarnisty materiał proszkowy jest topiony przez wiązkę laserową. Następnie stopiony proszek krzepnie i tworzy warstwę materiału stałego. Trójwymiarowy element jest tworzony przez odpowiednią liczbę połączonych warstw, gdy nowa warstwa proszku jest nakładana i przetwarzana ponownie, aż do uzyskania gotowej części.



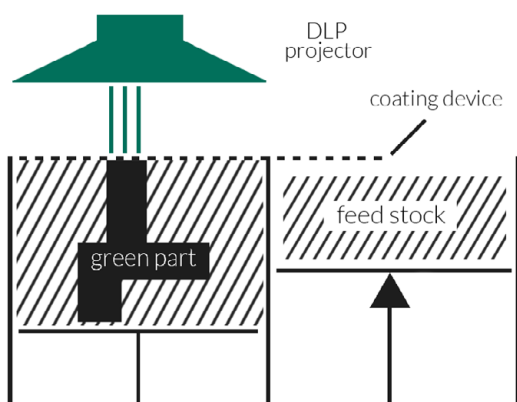
Cold Metal Fusion (CMF)

Cold Metal Fusion jest pośrednią technologią przyrostową. Podobnie jak w przypadku technologii LMM, tworzony jest materiał wsadowy składający się z proszku metalowego i spoiwa. Materiał ten jest następnie topiony podczas procesu drukowania, aby uzyskać "część zieloną". Materiał wsadowy może być przetwarzany w technologii SLS (Selective Laser Sintering). Podczas tego procesu "część zielona" jest tworzona warstwa po warstwie, a substrat topiony. W drugim etapie "część zielona" jest usuwana z komory, a następnie spiekana, aby uzyskać gotową część.



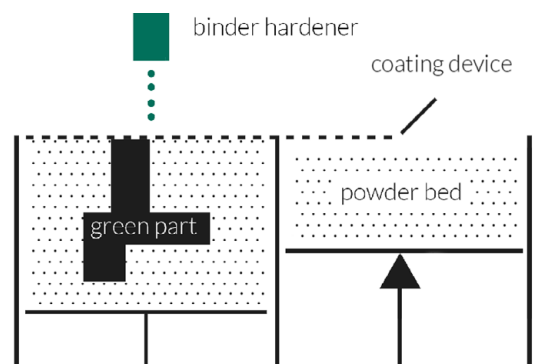
Lithography-based Metal Manufacturing (LMM)

Technologia LMM jest pośrednią technologią przyrostową, która charakteryzuje się dwuetapowym procesem. Materiałem wyjściowym jest połączenie proszku metalu i światłoczułego spoiwa polimerowego. Ten tzw. materiał wsadowy jest nanoszony na platformę i selektywnie sieciowany od góry poprzez naświetlanie światłem UV. "Część zielona" jest tworzona warstwa po warstwie, a następnie usuwana z komory i spiekana.



Metal Binder Jetting (MBJ)

MBJ to pośrednia technologia AM, która obejmuje dwa etapy procesu tworzenia części metalowej. W pierwszym etapie "część zielona" jest drukowana poprzez naniesienie luźnych cząstek proszku metalowego na platformę drukarki atramentowej. Cząstki te są następnie łączone warstwa po warstwie za pomocą spoiwa, które jest nakładane przez drukarkę. Po nałożeniu spoiwa platforma drukarki jest opuszczana, a np. wałek przeciwbieżny lub nóż nakłada nową warstwę proszku na poprzednią. Jest ona łączona z poprzednią za pomocą spoiwa. Następnie część jest hartowana, a w drugim etapie produkcji powstała w ten sposób krucha "część zielona" jest spiekana w wysokiej temperaturze, tworząc solidną, gotową część metalową.





LMM częścią MetShape

Informacje o MetShape i 3D Center


MetShape GmbH to dostawca usług produkcyjnych specjalizujący się w produkcji addytywnej na bazie spieków małych i mikro części metalowych. Firma została wydzielona z Uniwersytetu Pforzheim w kwietniu 2019 roku i od tego czasu rozwija się bardzo dynamicznie.



Pomysł na założenie start-upu technologicznego powstał podczas projektu badawczego dotyczącego recyklingu magnesów ziem rzadkich, w ramach którego opracowano technologię Lithography-based Metal Manufacturing (LMM). Technologia ta umożliwia drukowanie wysoce precyzyjnych elementów metalowych o wyjątkowo dobrej powierzchni.


W międzyczasie firma MetShape rozwinęła unikalny know-how dotyczący procesu i skoncentrowała się przede wszystkim na procesie spiekania, dzięki czemu obok produkcji części w technologii LMM oferuje również usługi.

Dzięki swojemu unikalnemu know-how w zakresie spiekania, MetShape oferuje wysokiej jakości, gotowe komponenty, które mogą być wykorzystywane w aplikacjach seryjnych, w porównaniu do innych dostawców usług druku 3D, którzy specjalizują się w prototypach i produkcji pojedynczych części. Ponadto MetShape oferuje swoim klientom, którzy korzystają z innych technologii wytwarzania addytywnego opartych na spiekach, możliwość spiekania ich części w wysokiej jakości.

Nasz partner, Karol Janowicz z firmy 3D Center, jest oficjalnie odpowiedzialny za zapytania klientów z Polski. Jeśli masz konkretne zapytania lub potrzebujesz więcej informacji, zalecamy bezpośredni kontakt z nim. Z przyjemnością pomoże i zapewni niezbędne wsparcie.

 3D Center
Dolnośląski Park Innowacji
ul. E. Kwiatkowskiego 4
52-326 Wrocław

 karol.janowicz@3dcenter.se  www.3dcenterpolska.pl

 +48 504 277 187

