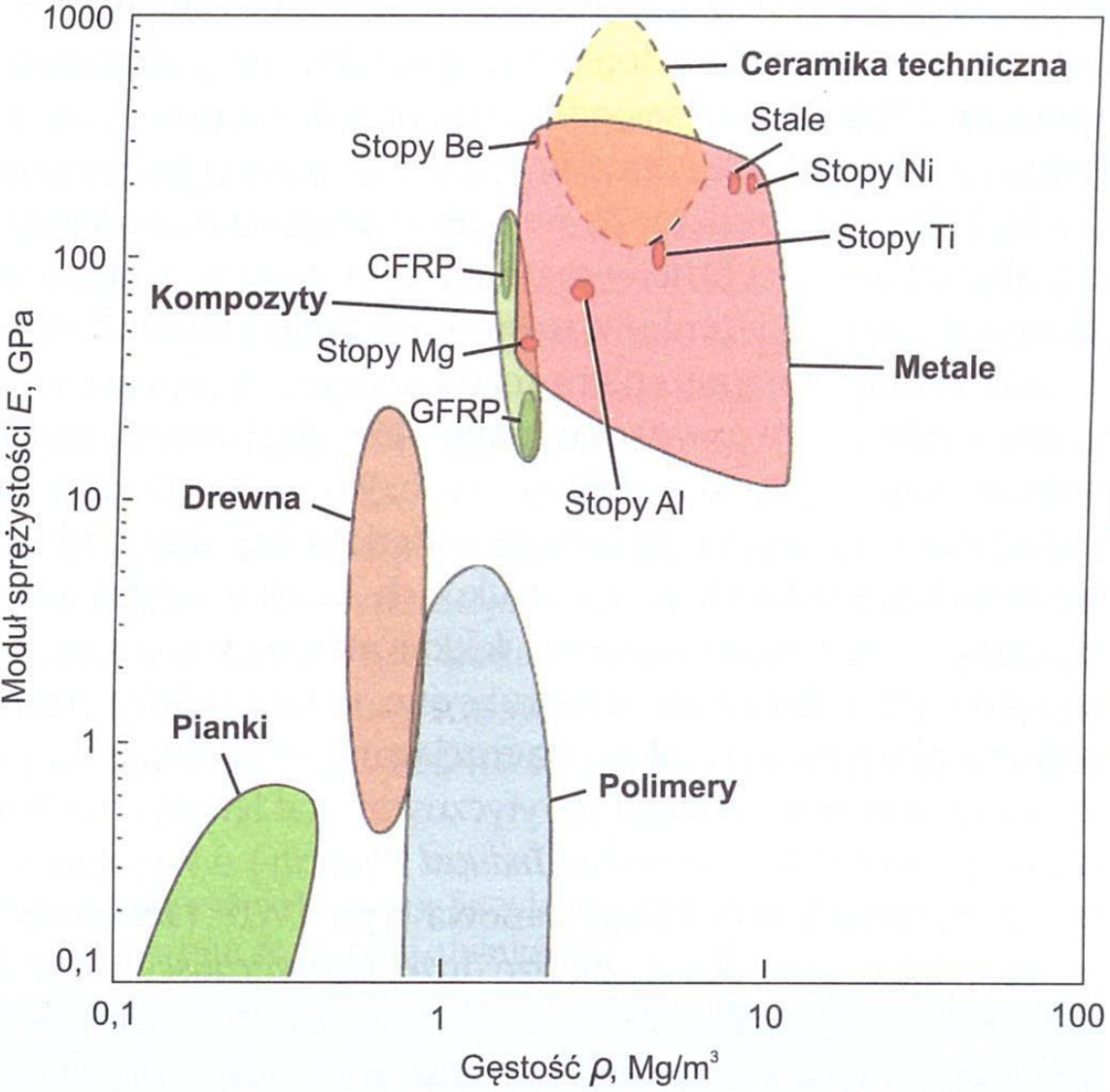
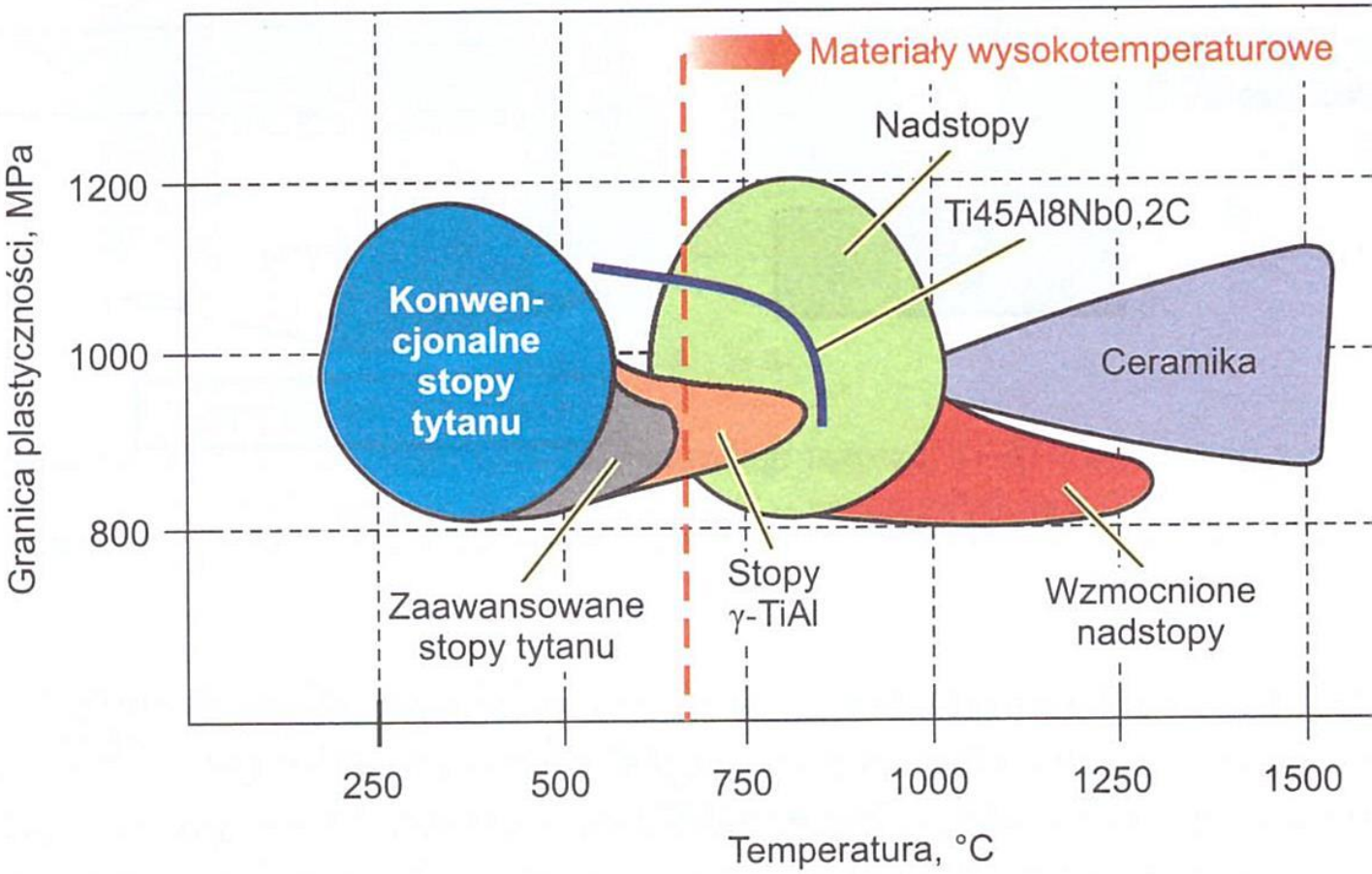
MASZYNY I URZĄDZENIA TECHNOLOGICZNE

Kształtowanie wyrobów z metali lekkich– spiekanie proszków technologie przyrostowe – technologie hybrydowe

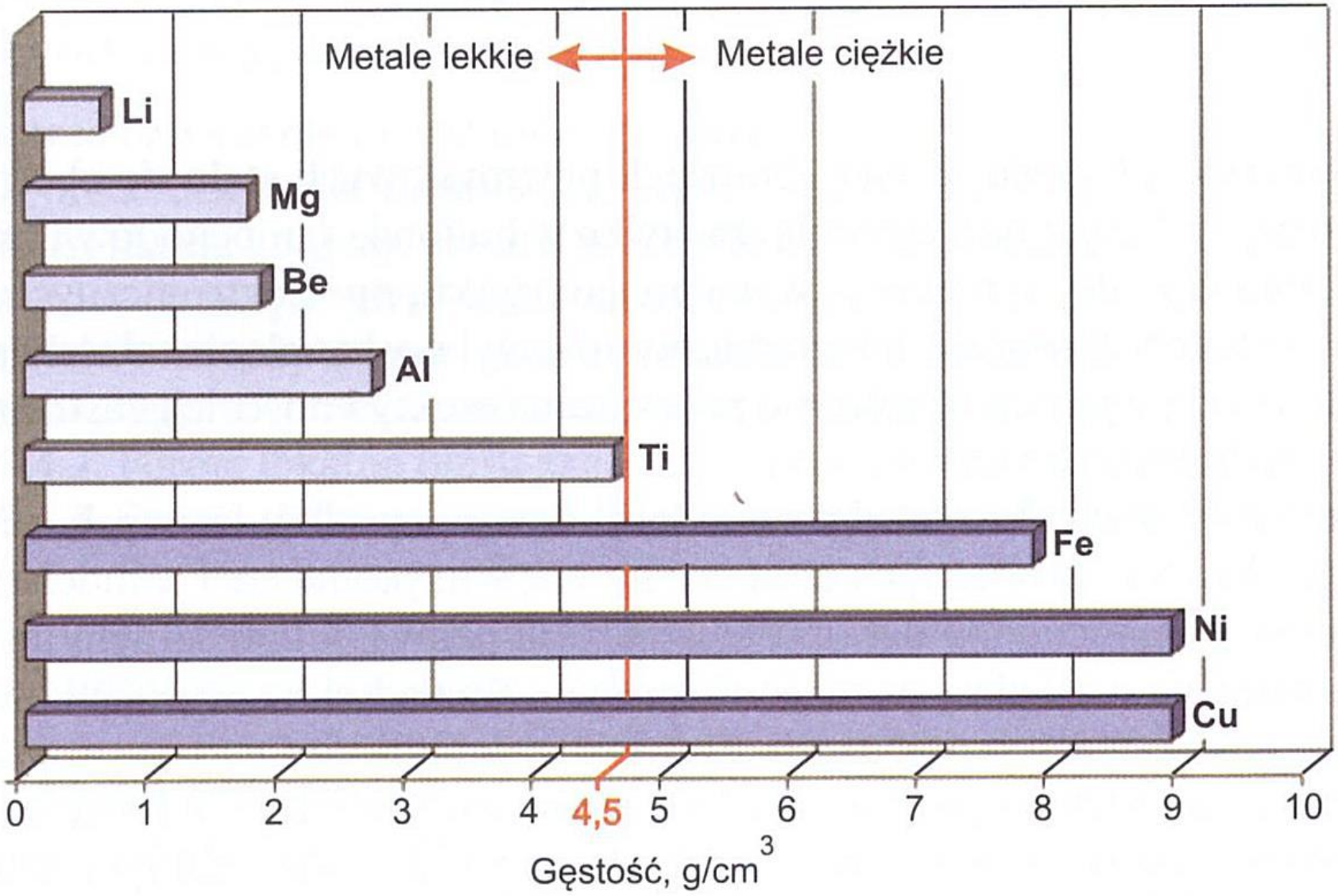
Prof. dr hab. inż. Józef Gawlik
Katedra Inżynierii Procesów Produkcyjnych
tel. 12 374 32 46, kom. 607 318 655; bud. 6C - pok.3.15
e-mail: jozef.gawlik@pk.edu.pl



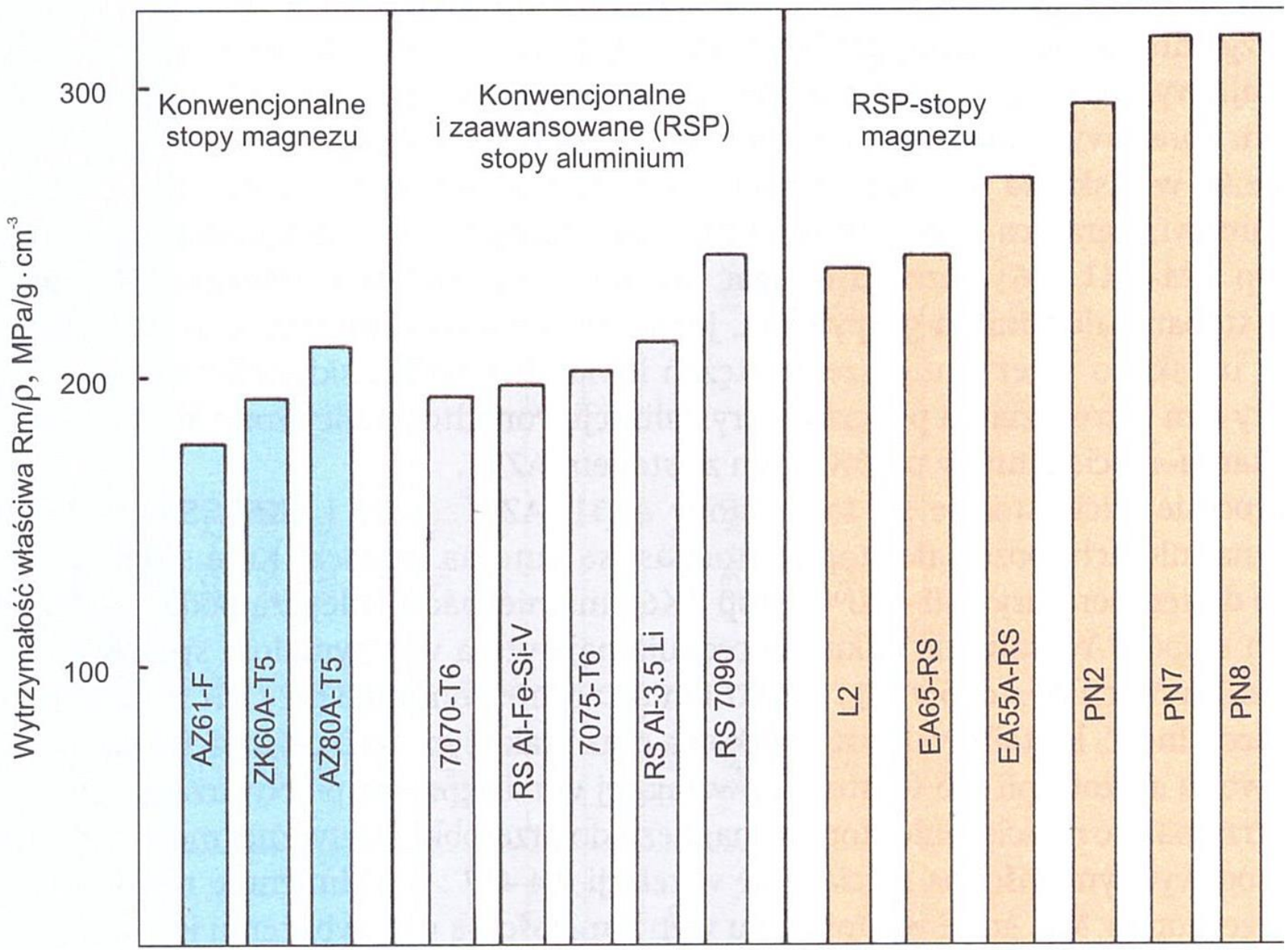
Relacja moduł sprężystości - gęstość dla różnych grup materiałowych [14]



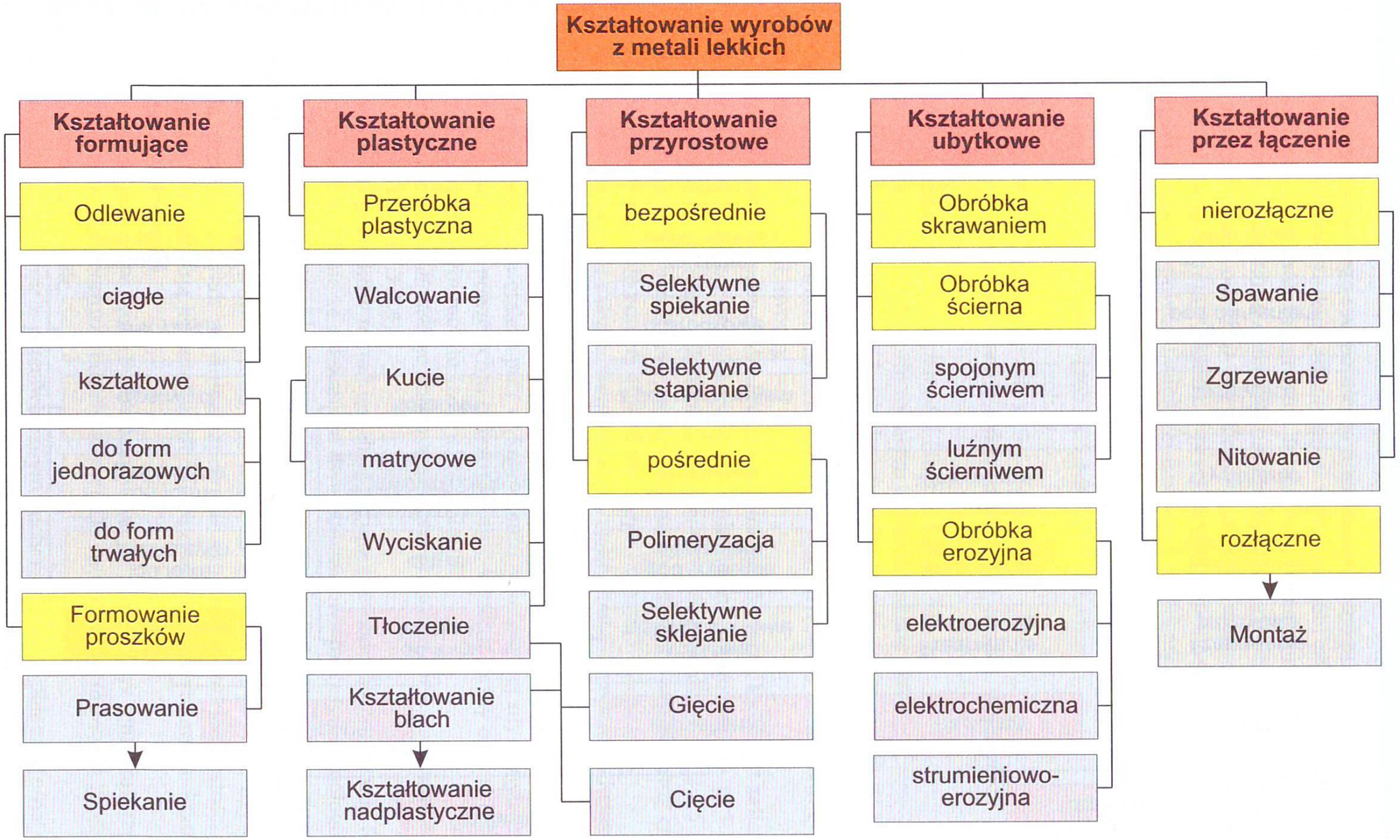
Relacja stopów $\gamma - TiAl$ z innymi materiałami wysokotemperaturowymi [14]



Porównanie gęstości metali lekkich i wybranych metali ciężkich [14]

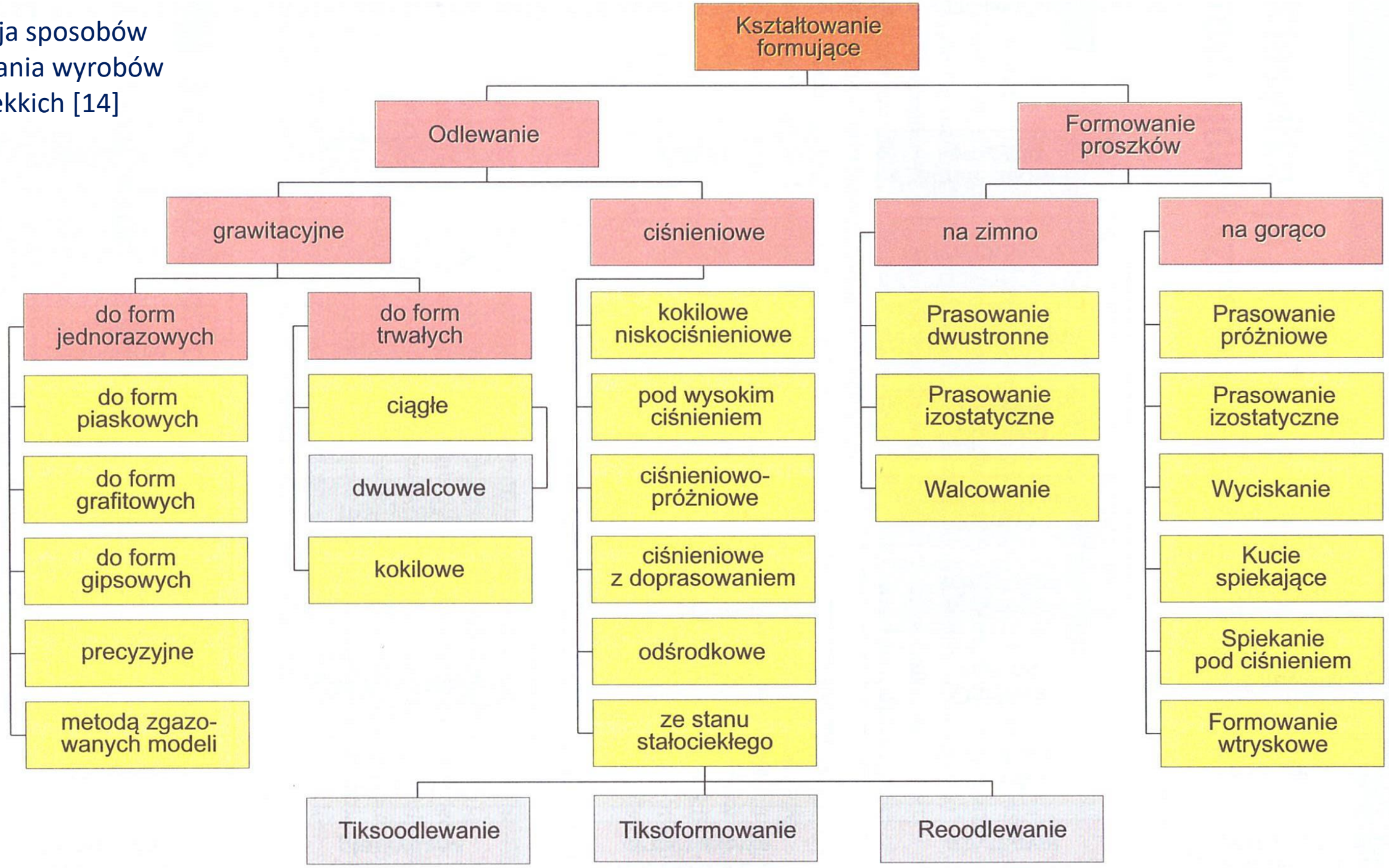


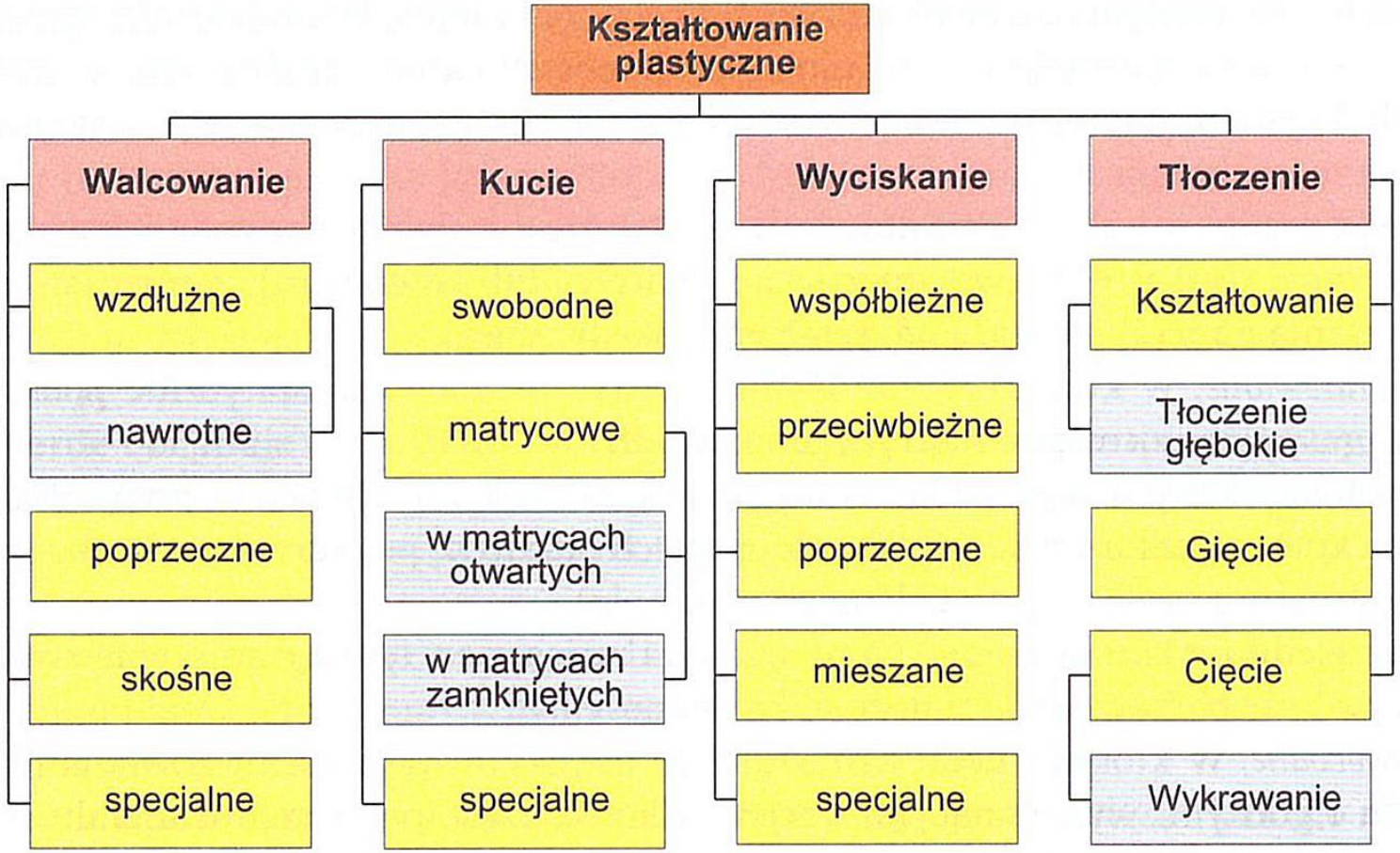
Porównanie wytrzymałości właściwej stopów magnezu przetwarzanych szybkim krzepnięciem (**R**apid **S**olidification **P**rocessing – RSP) i konwencjonalnie oraz wytrzymałych stopów aluminium [14]



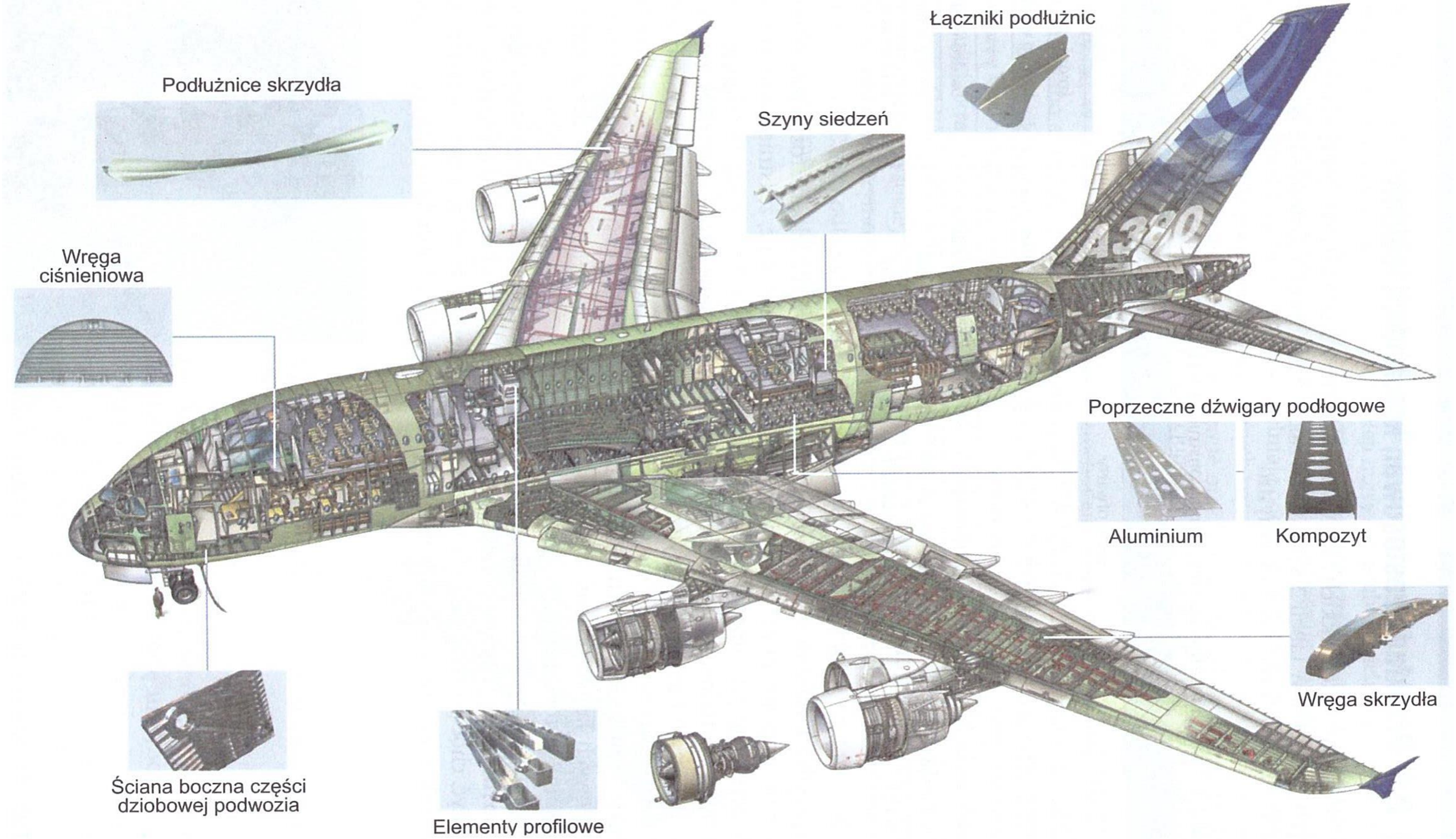
Podstawowe rodzaje i sposoby kształtowania wyrobów z metali lekkich [14]

Klasyfikacja sposobów kształtowania wyrobów z metali lekkich [14]

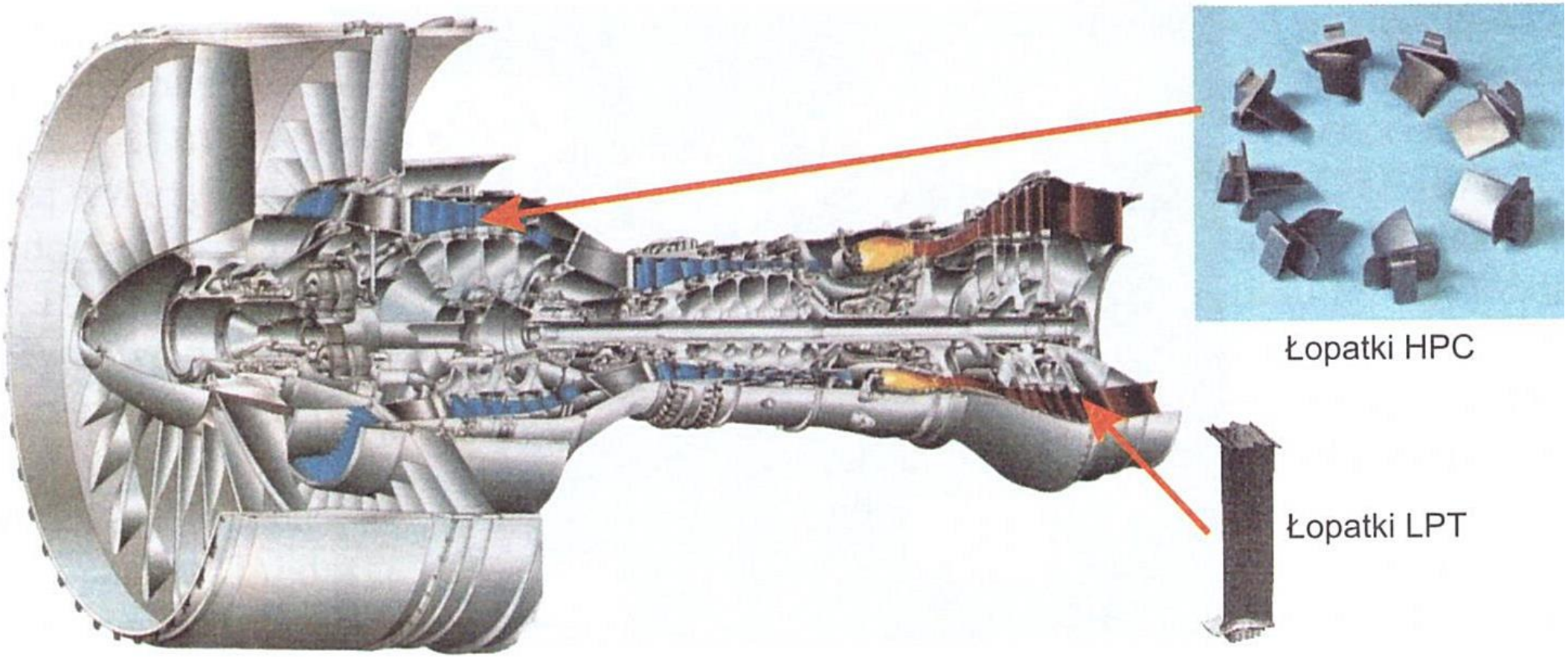




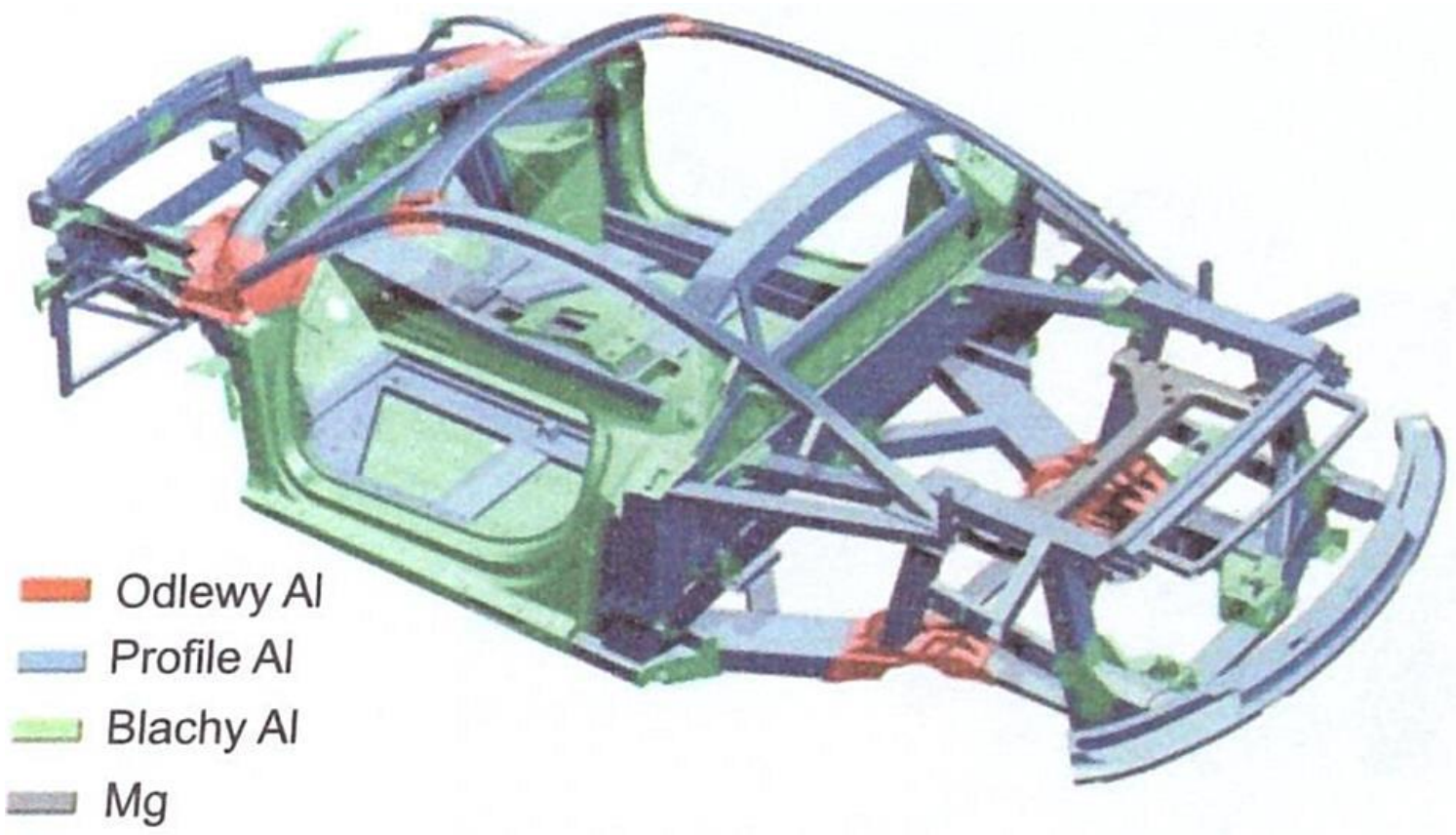
Klasyfikacja sposobów kształtowania metali lekkich [14]



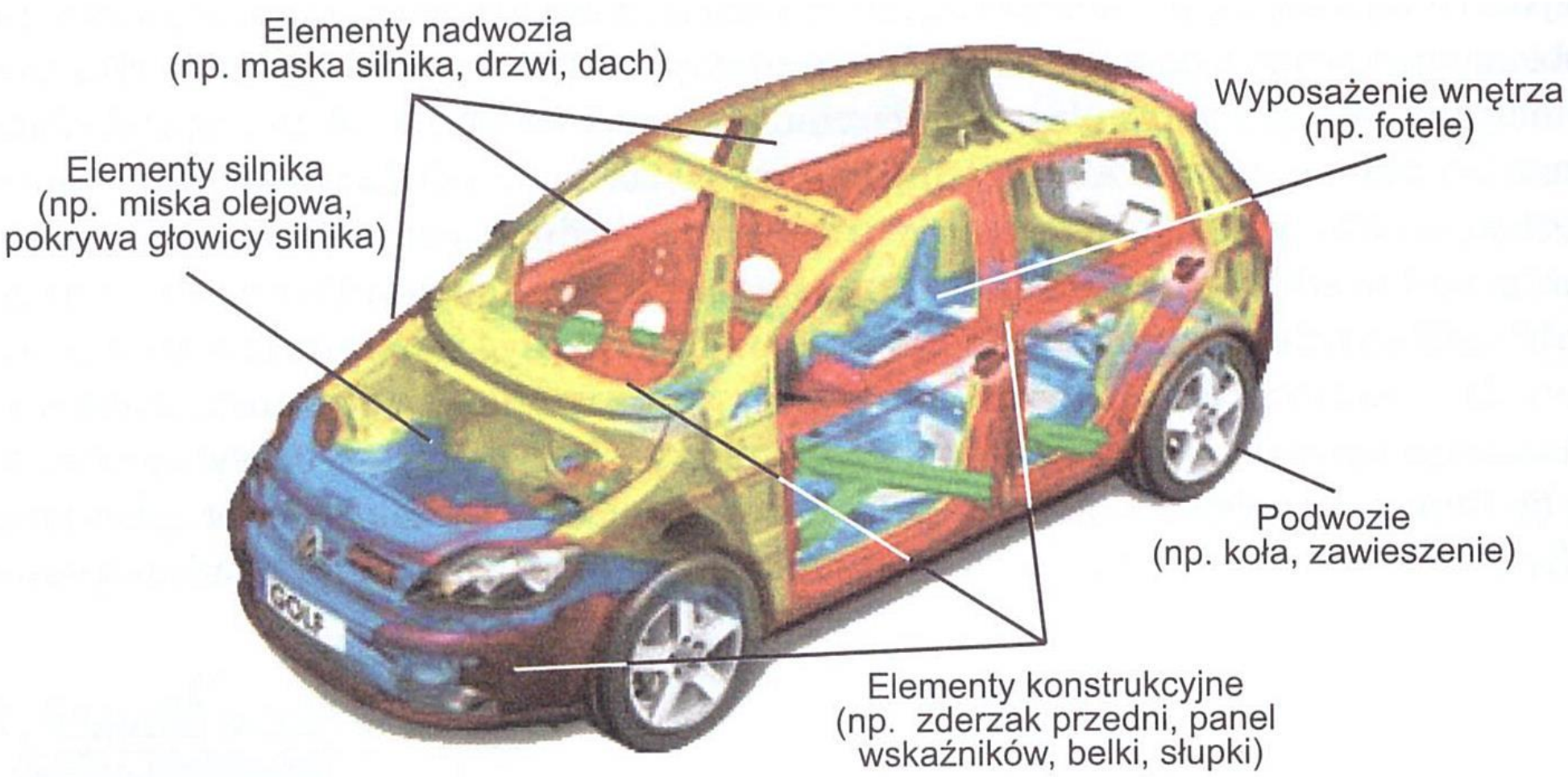
Elementy ze stopów aluminium w samolocie Airbus A380 [14]



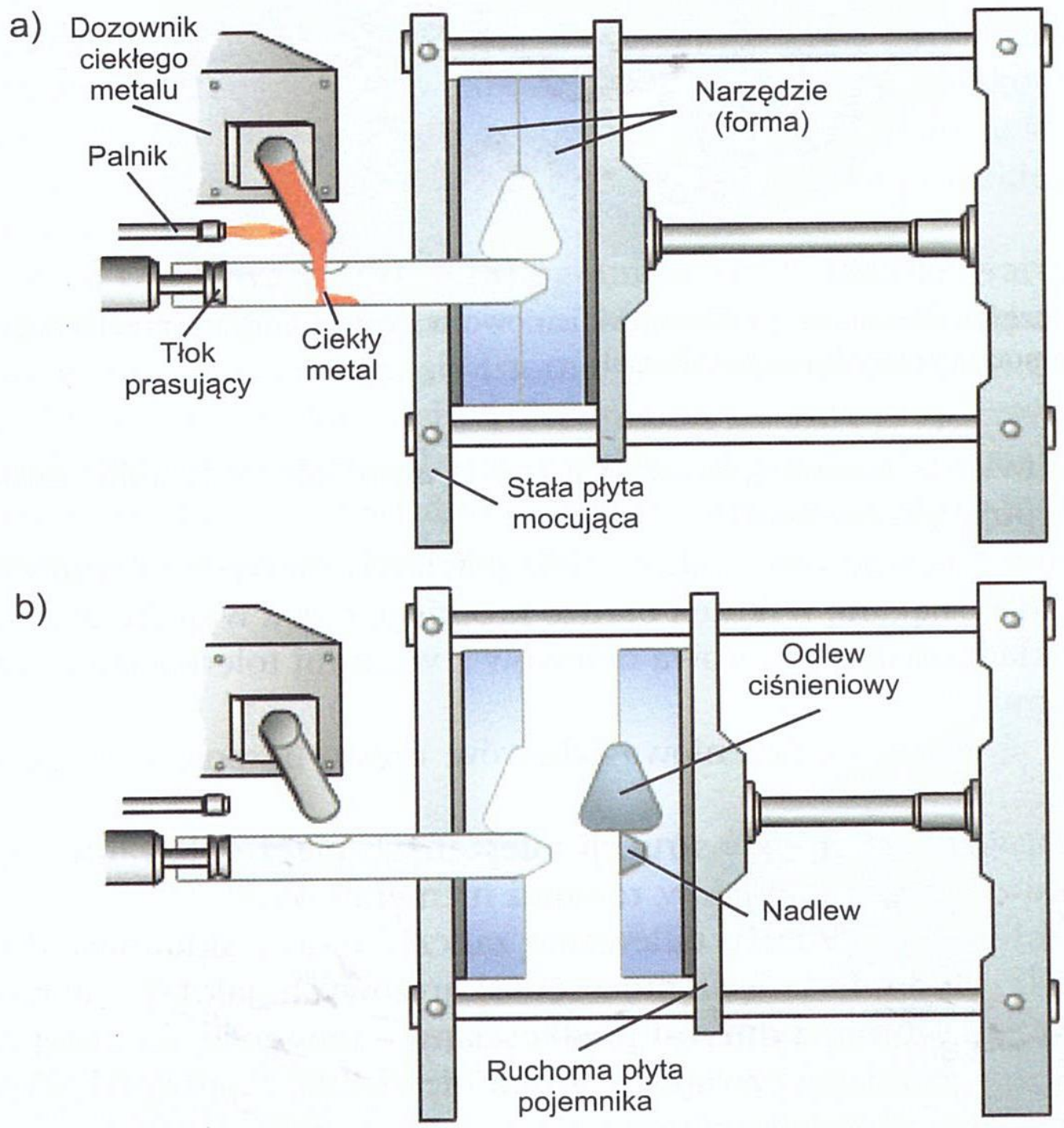
Łopatki wykonane ze stopu $\gamma - TiAl$ do zastosowania w turbinowych silnikach lotniczych [14]
HPC – sprężarka wysokiego ciśnienia; LPT - turbina niskiego ciśnienia



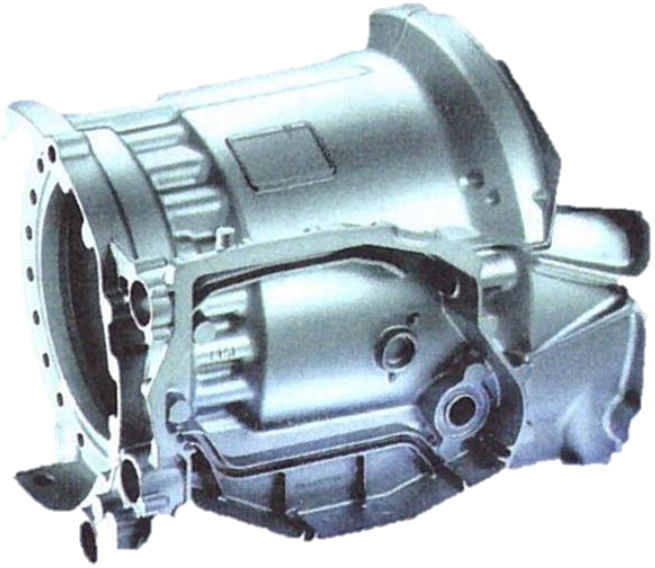
Nadwozie samochodu Audi R8 złożone ze stopów aluminium i magnezu [14]



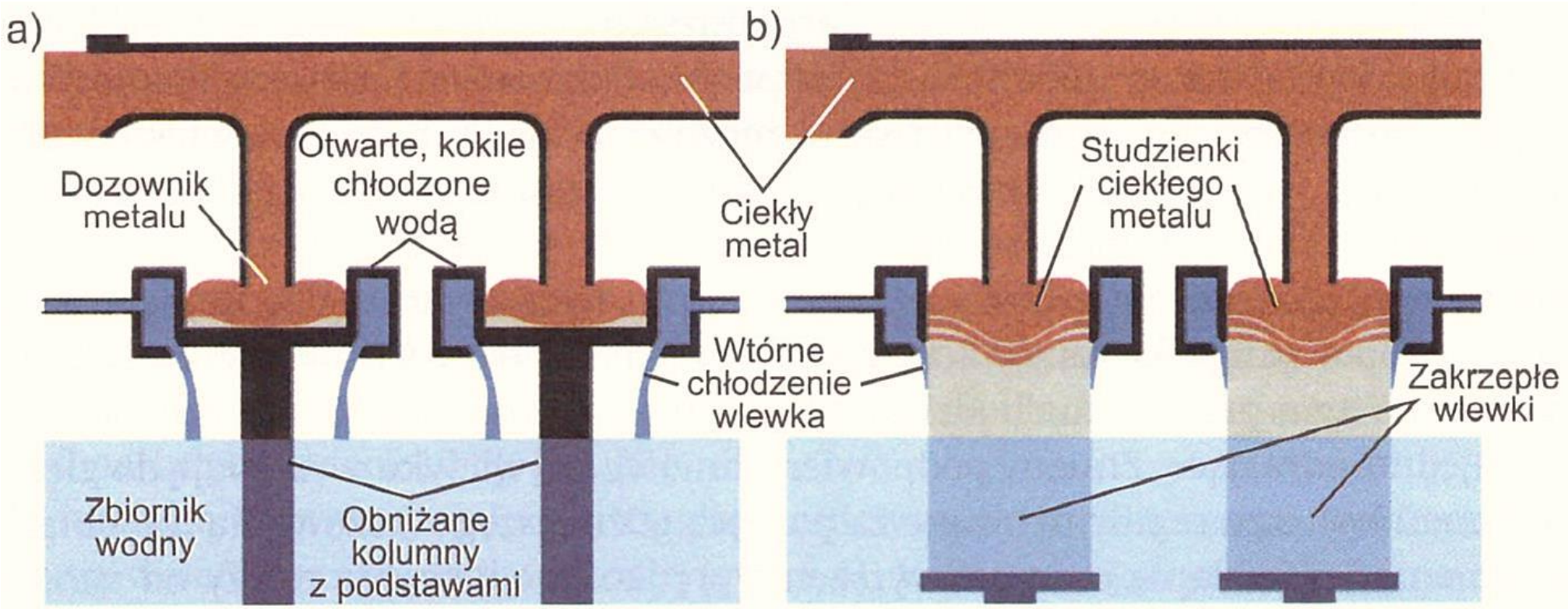
Możliwe zastosowania blach magnezowych w samochodzie o lekkiej konstrukcji [14]



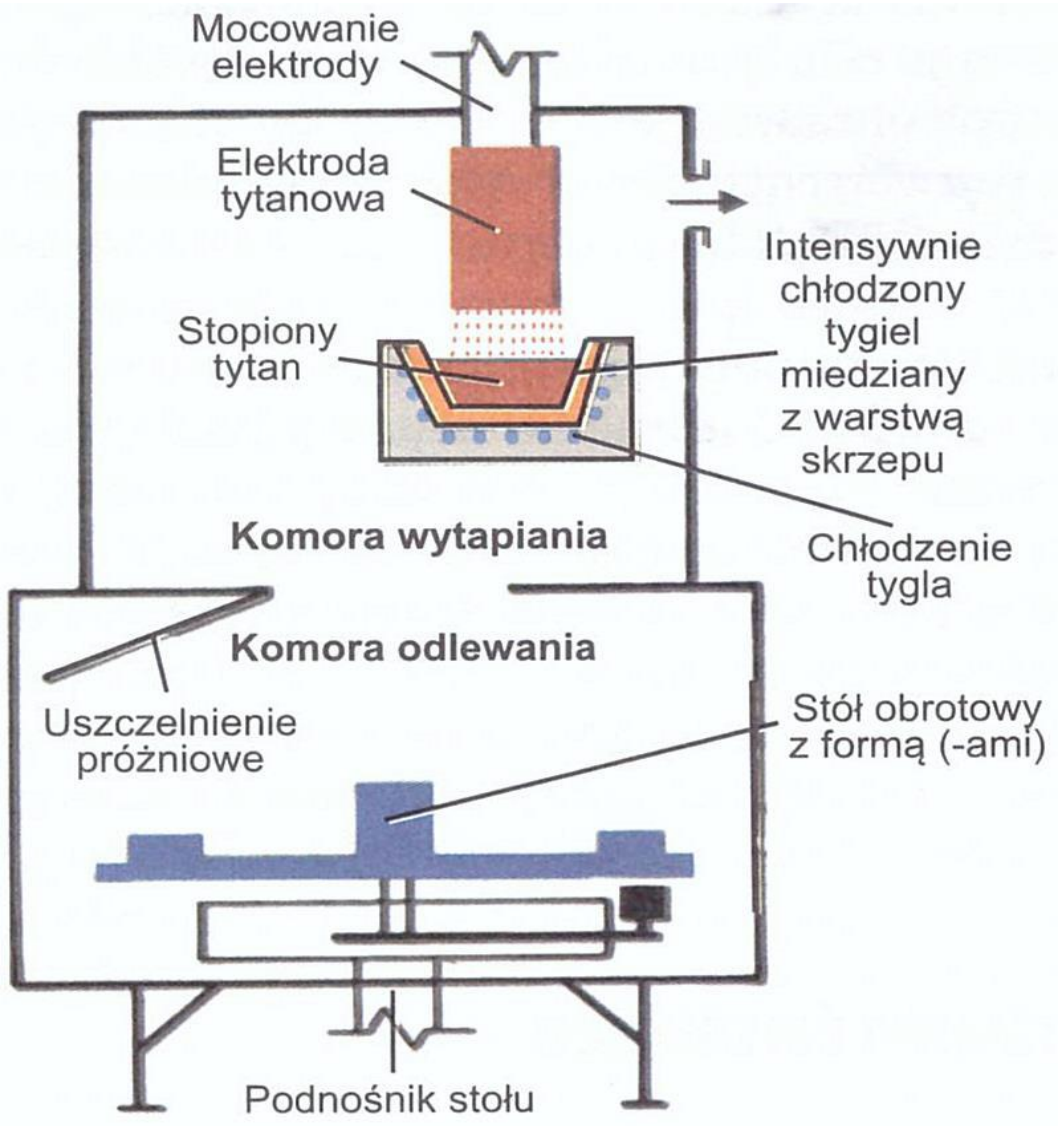
Korpus przekładni do samochodu odlany ciśnieniowo [14]



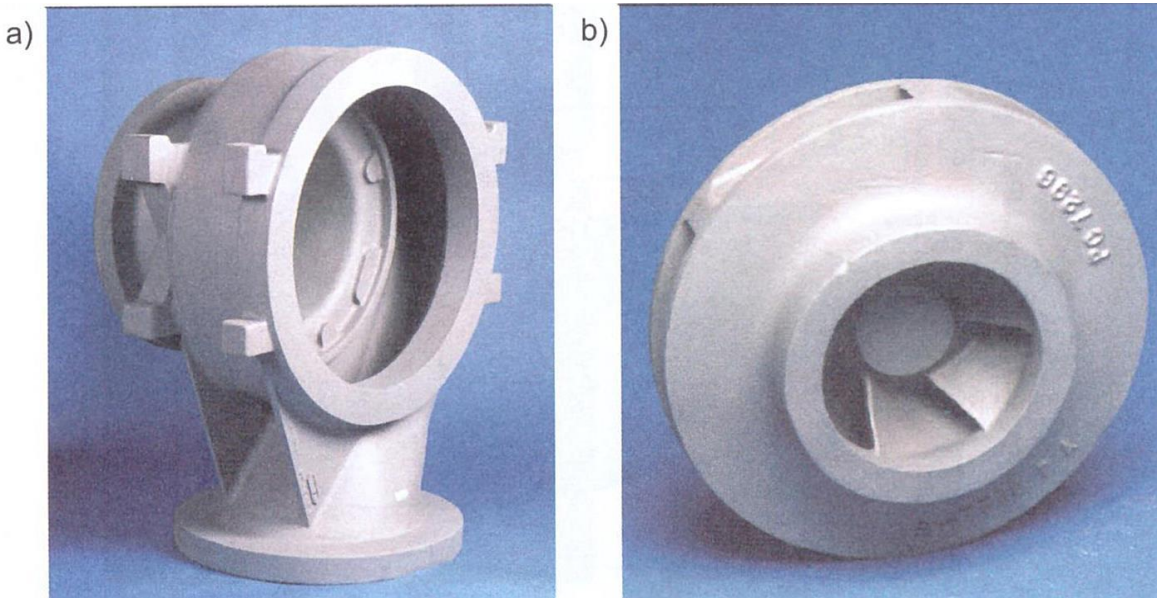
Urządzenie do odlewania ciśnieniowego aluminium z zimną, poziomą komorą ciśnieniową oraz z zamocowaną w niej formą [14]:
a) w chwili napełniania formy ciekłym metalem,
b) po otwarciu formy z odlewem



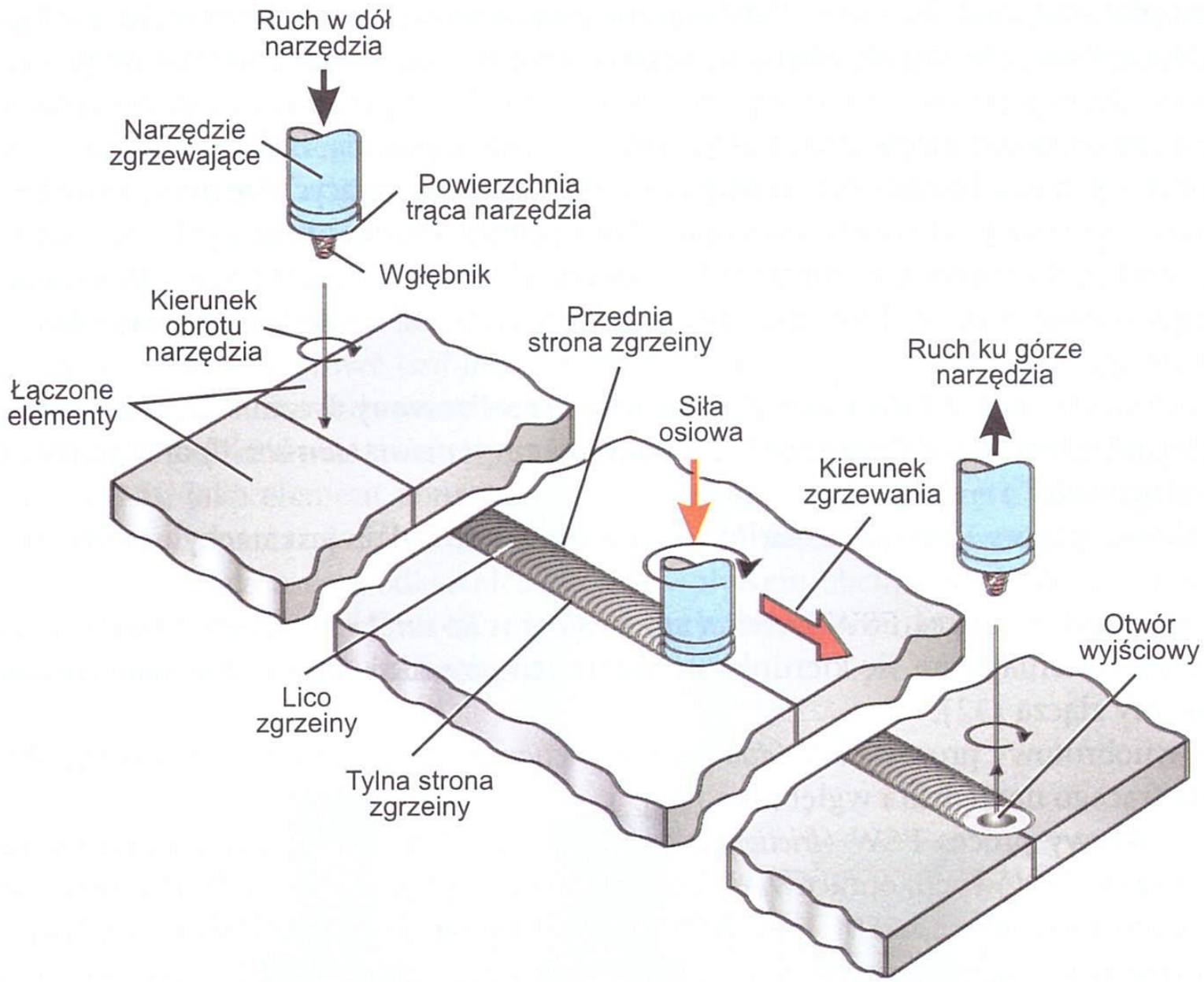
Zasada odlewania ciągłego wlewków aluminiowych w układzie pionowym [14]:
a) początkowa faza odlewania, b) końcowa faza odlewania



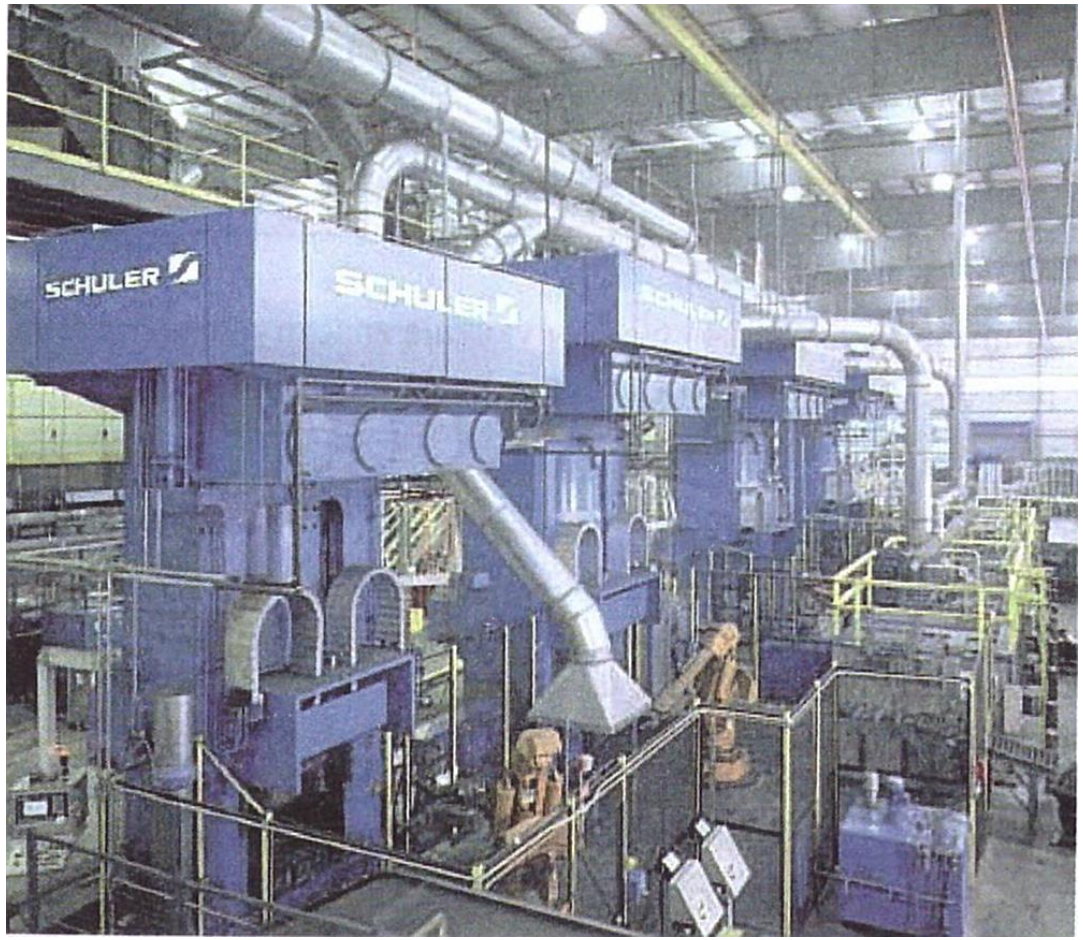
Schemat próżniowego pieca łukowego z zimnym tyglem i komorą odśrodkowego odlewania do form grafitowych tytanu i jego stopów [14]



Przykłady odlewów tytanowych wykonanych w formach grafitowych [14]: a) korpus pompy, b) obudowany wirnik pompy

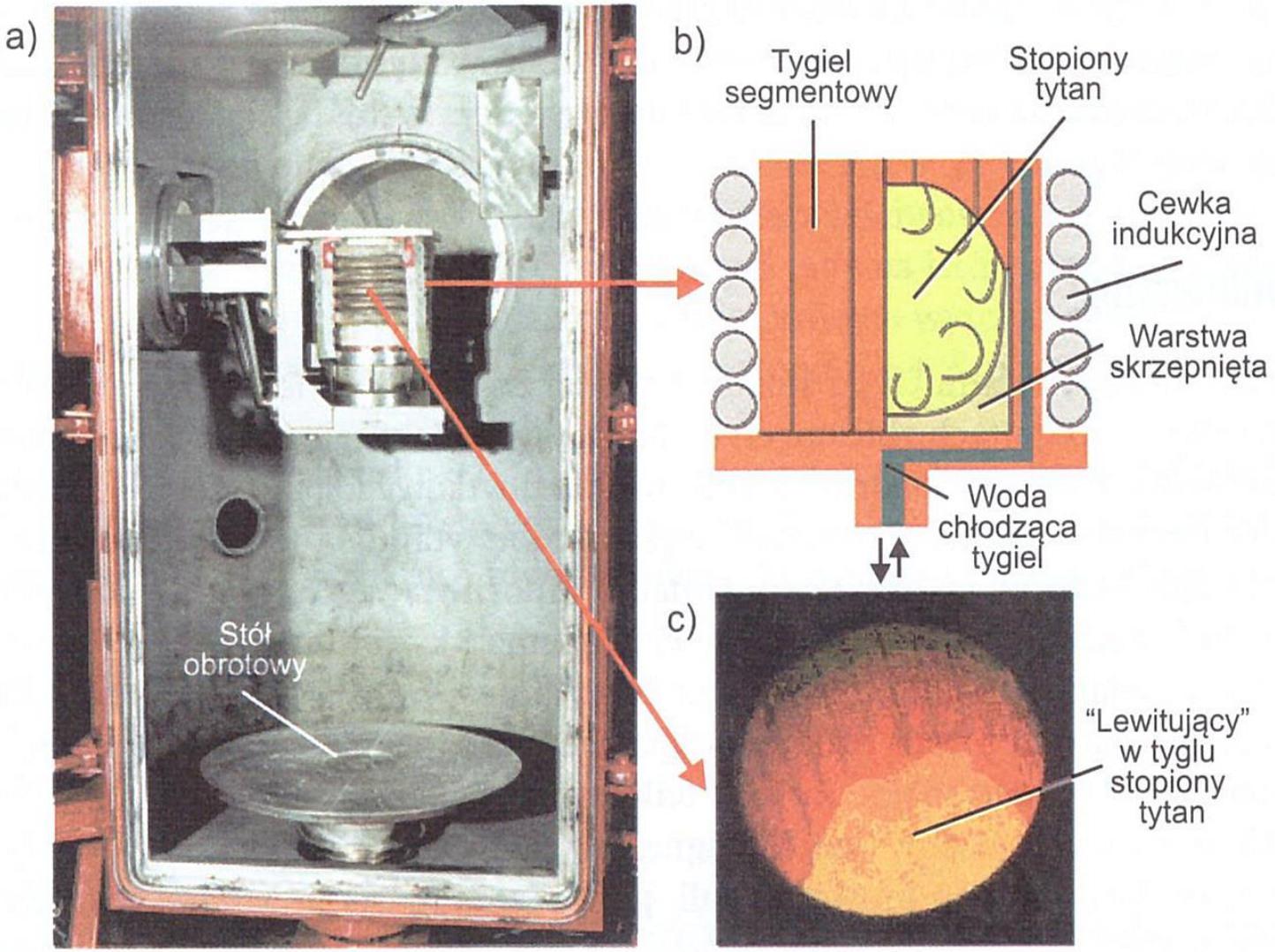


Zgrzewanie tarciowe z mieszaniem materiału zgrzeiny [14]



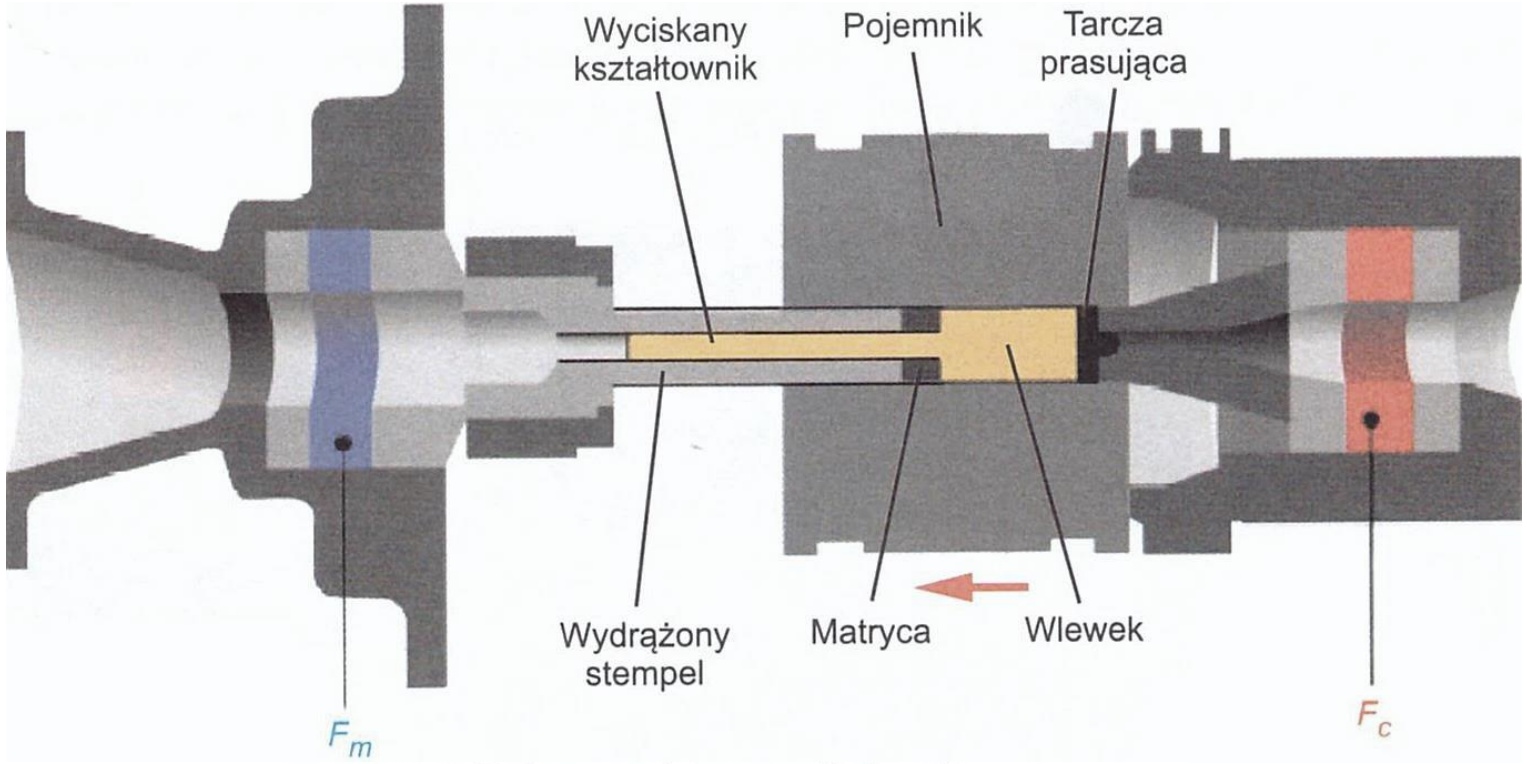
Zautomatyzowana linia pras hydraulicznych do kucia matrycowego felg aluminiowych [14]

Odkuwki matrycowe ze stopu Ti10V2Fe3Al elementów podwozia samolotu Boeninig 777 [14]

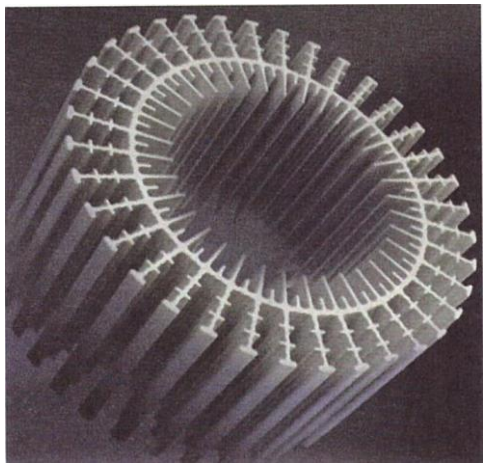


Indukcyjny piec próżniowy z miedzianym tyglem segmentowym do odlewania tytanu i jego stopów – realizacja procesu ISM *(induction skull melting)*

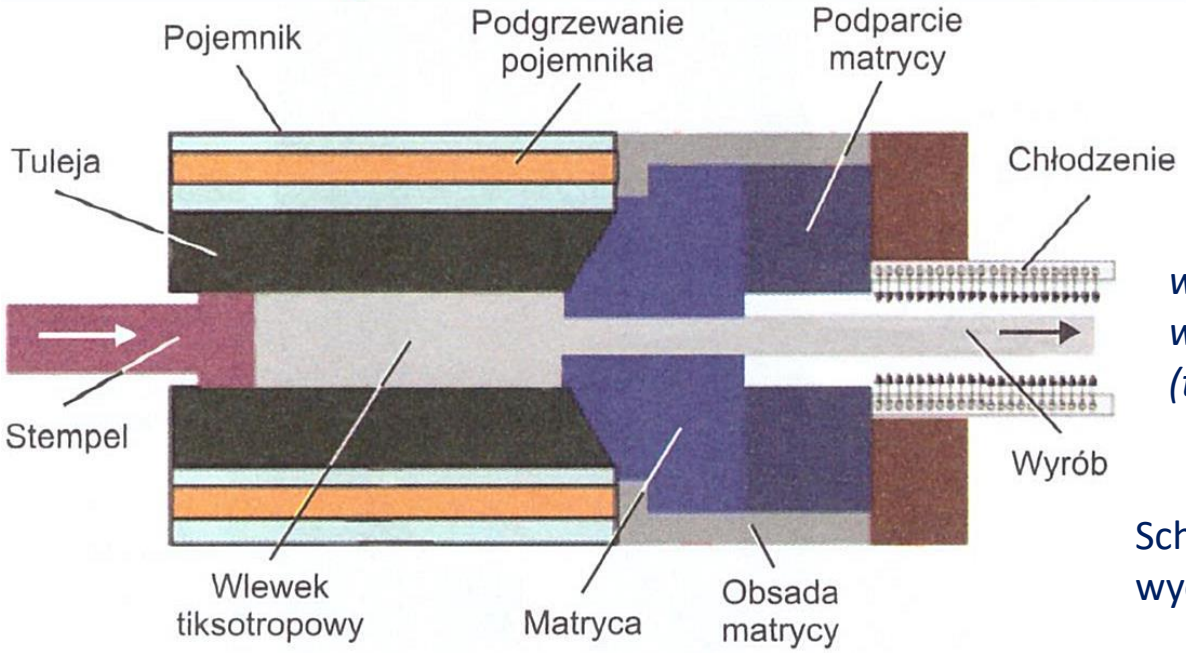
Urządzenie do realizacji procesu ISM [14]: a) komora z tyglem i stołem obrotowym do odlewania odśrodkowego, b) budowa zimnego tygla, c) stopiony tytan lewitujący w zimnym tyglu



Zasada pośredniego wyciskania na gorąco [14]

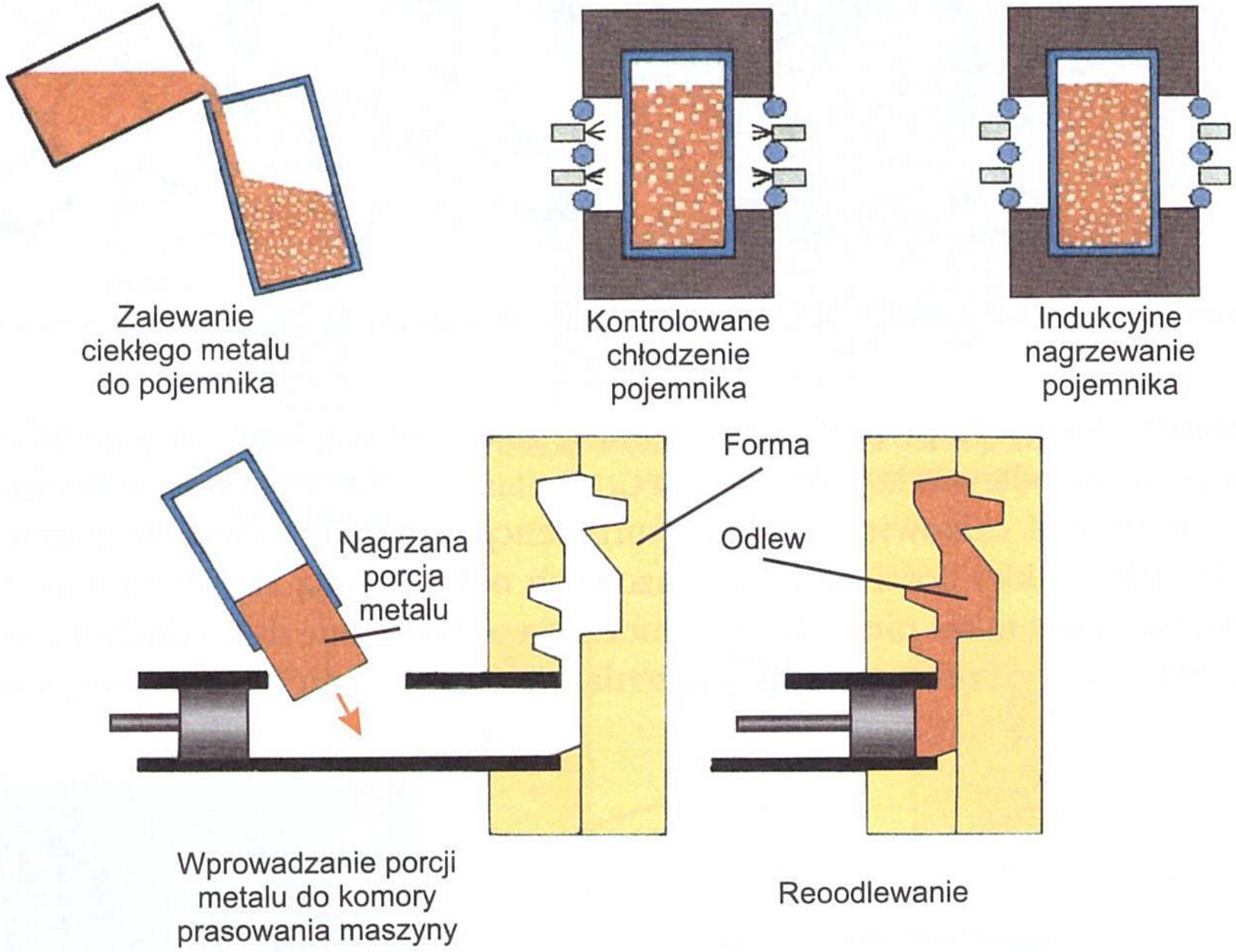


Przykład wykonanego kształtownika aluminiowego [14]

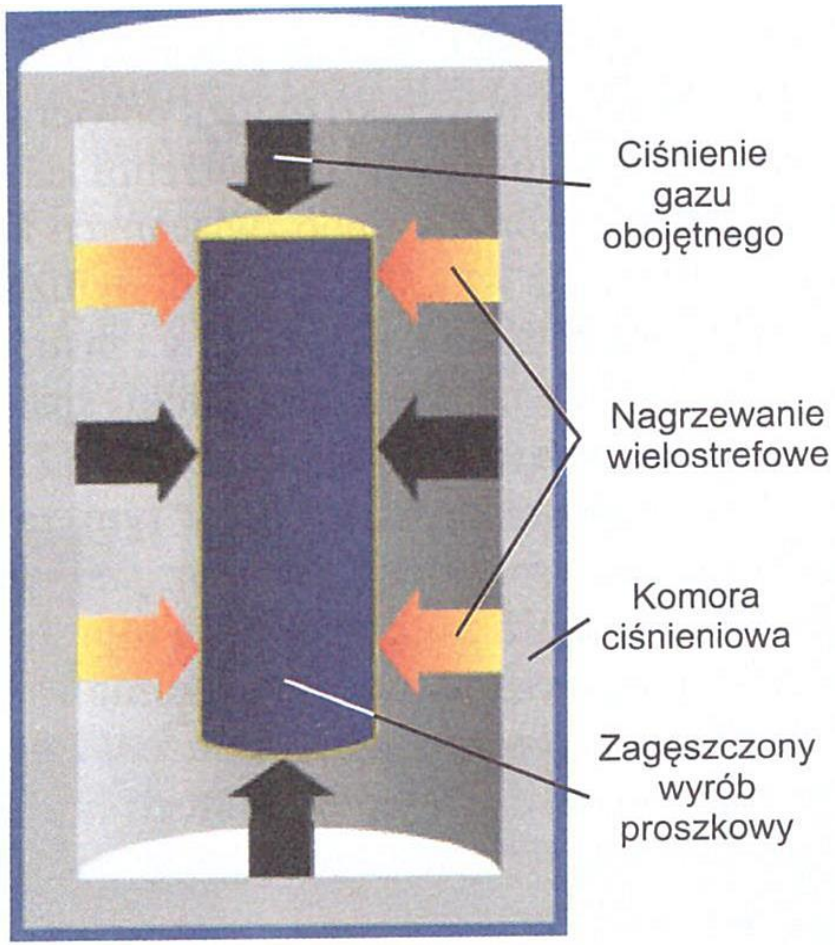


w fazie początkowej stop pozostaje w stanie ciekło-stałym (tiksotropowym)

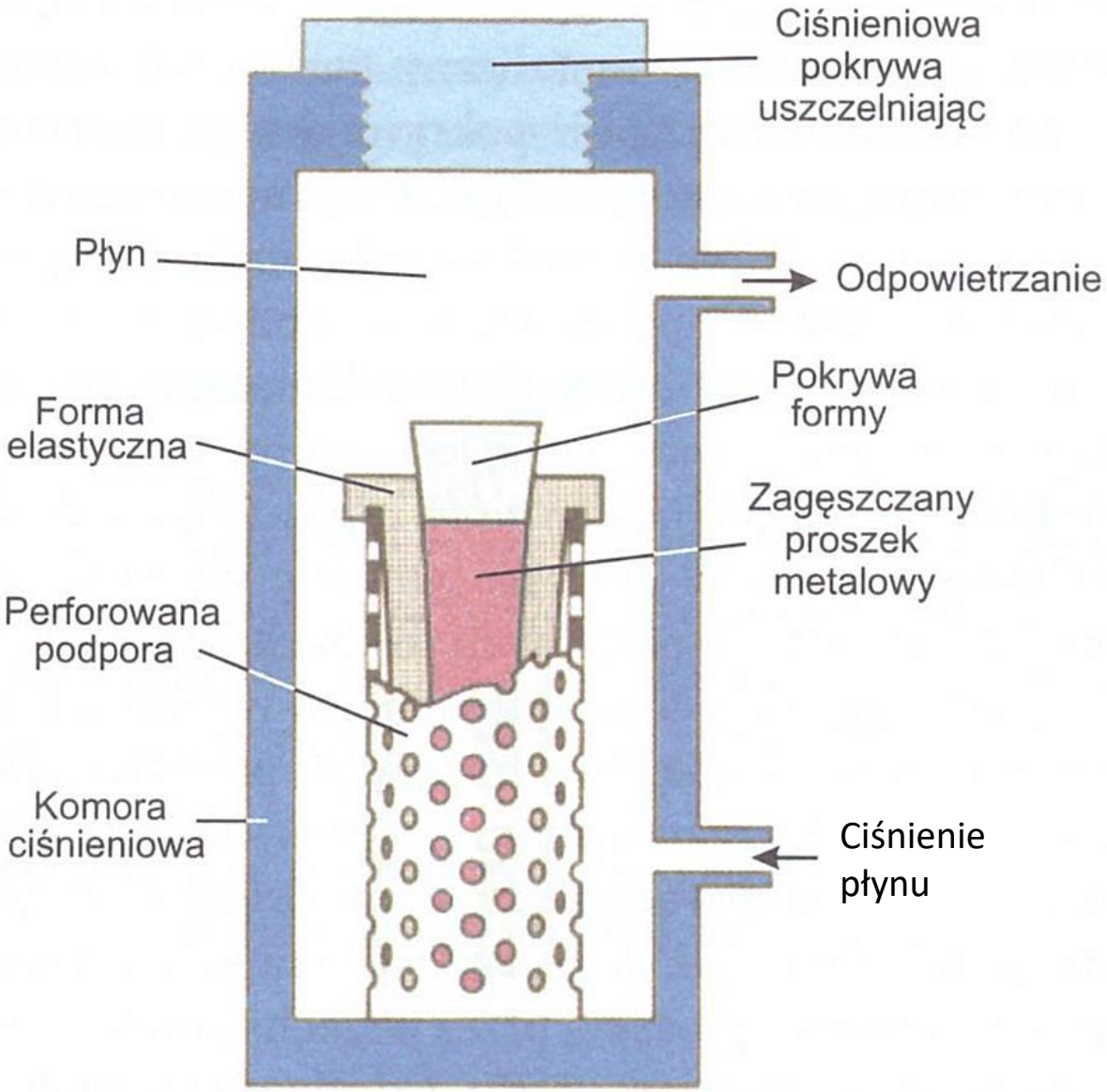
Schemat budowy urządzenia do wyciskania tiksotropowego [14]



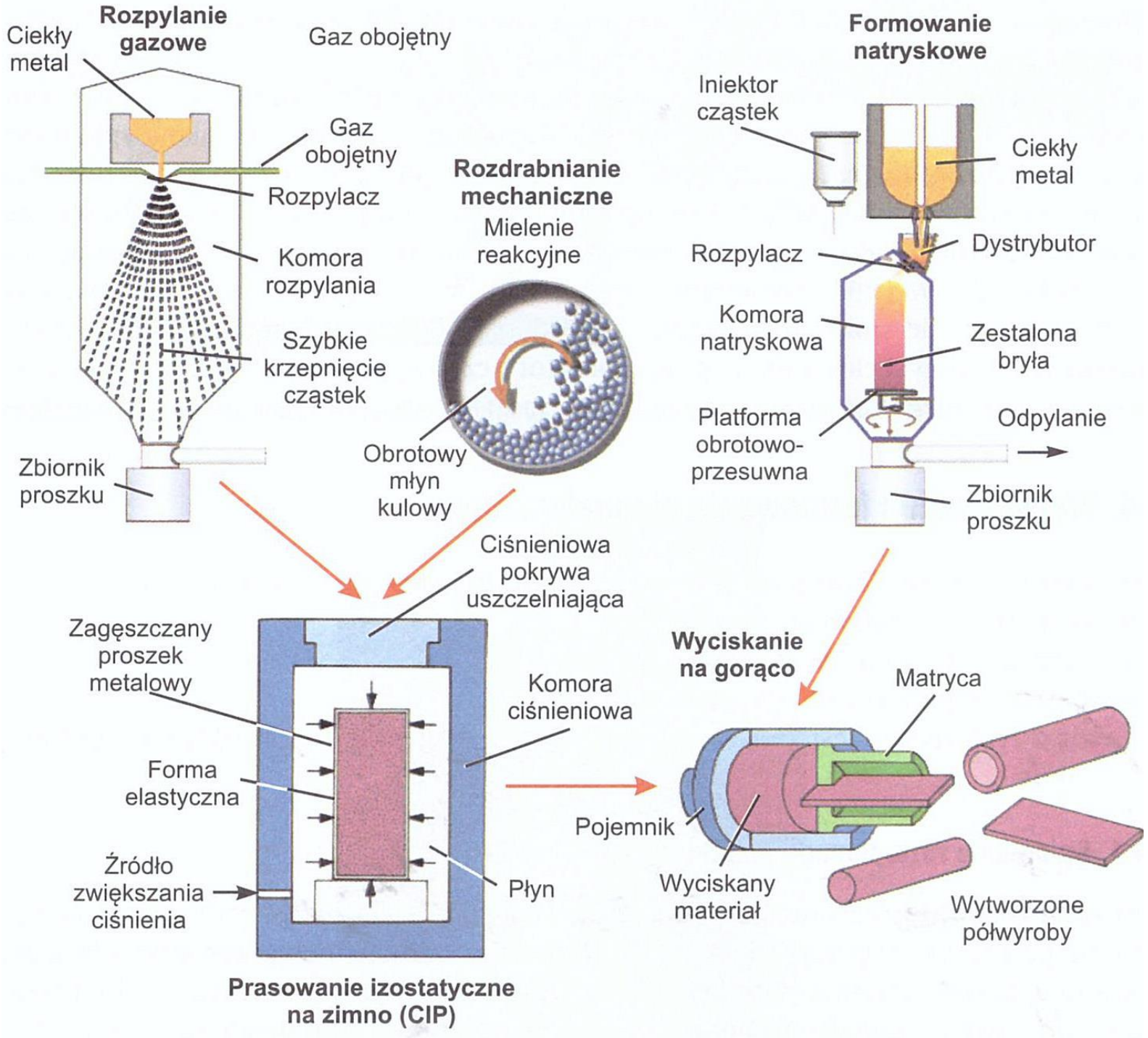
Zasada reoodlewania stanowi udoskonalony proces odlewania tiksotropowego [14]



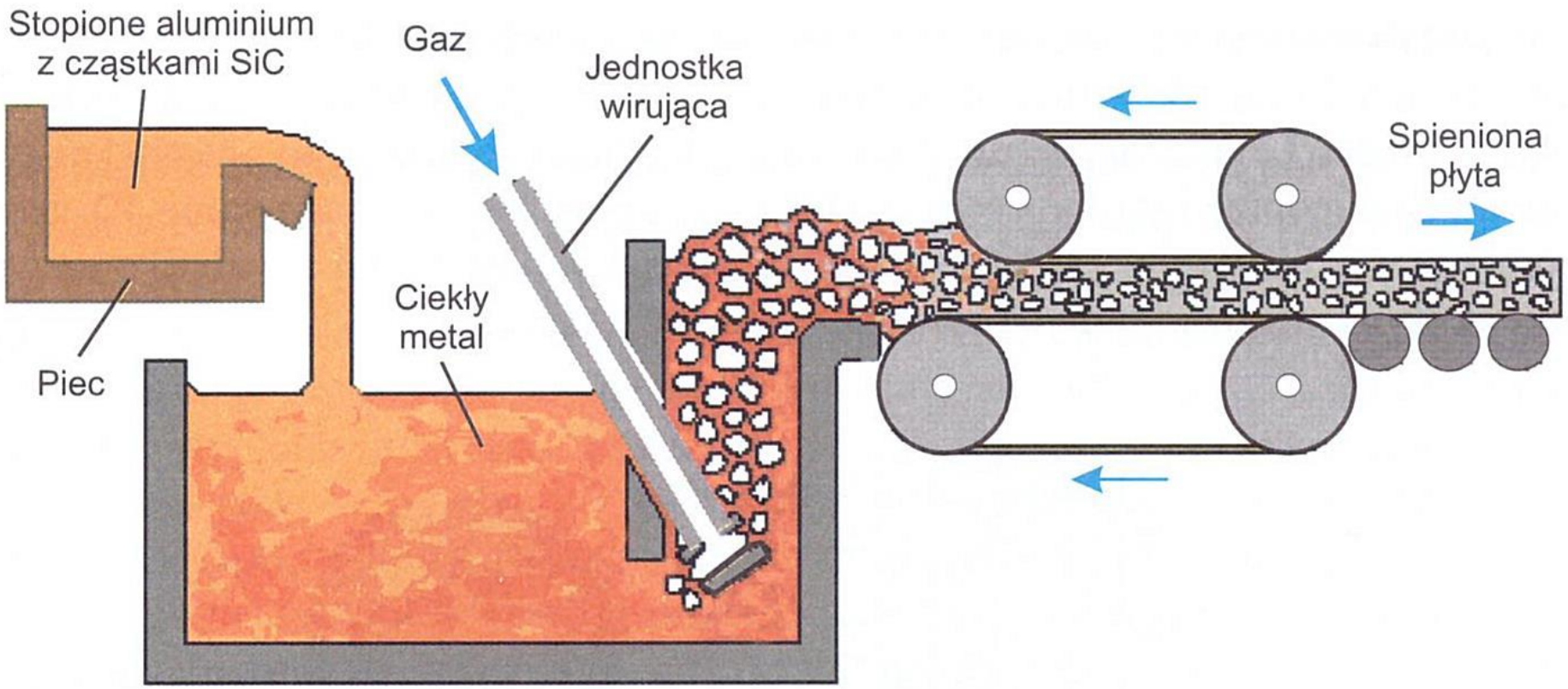
Prasowanie izostatyczne na gorąco materiałów proszkowych [14]



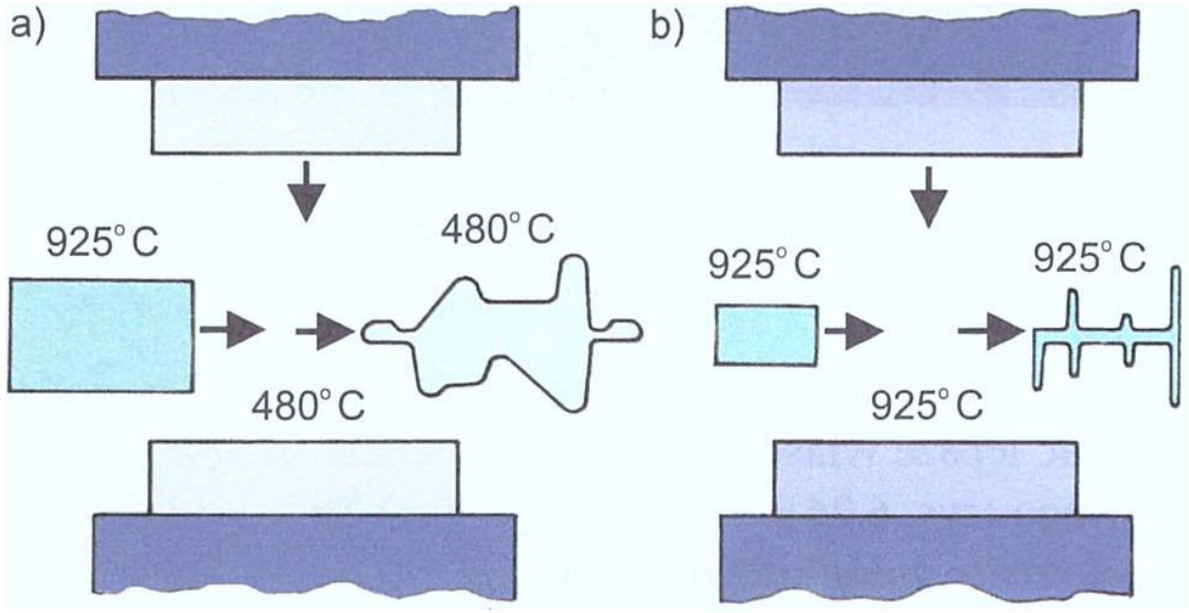
Prasowanie izostatyczne na zimno (**C**old **I**sostatic **P**ressing - CIP) [14]



Łańcuchy procesowe wytwarzania półwyrobów aluminiowych z wykorzystaniem technologii metalurgii proszków [14] (PM – *Powder Metallurgy)*

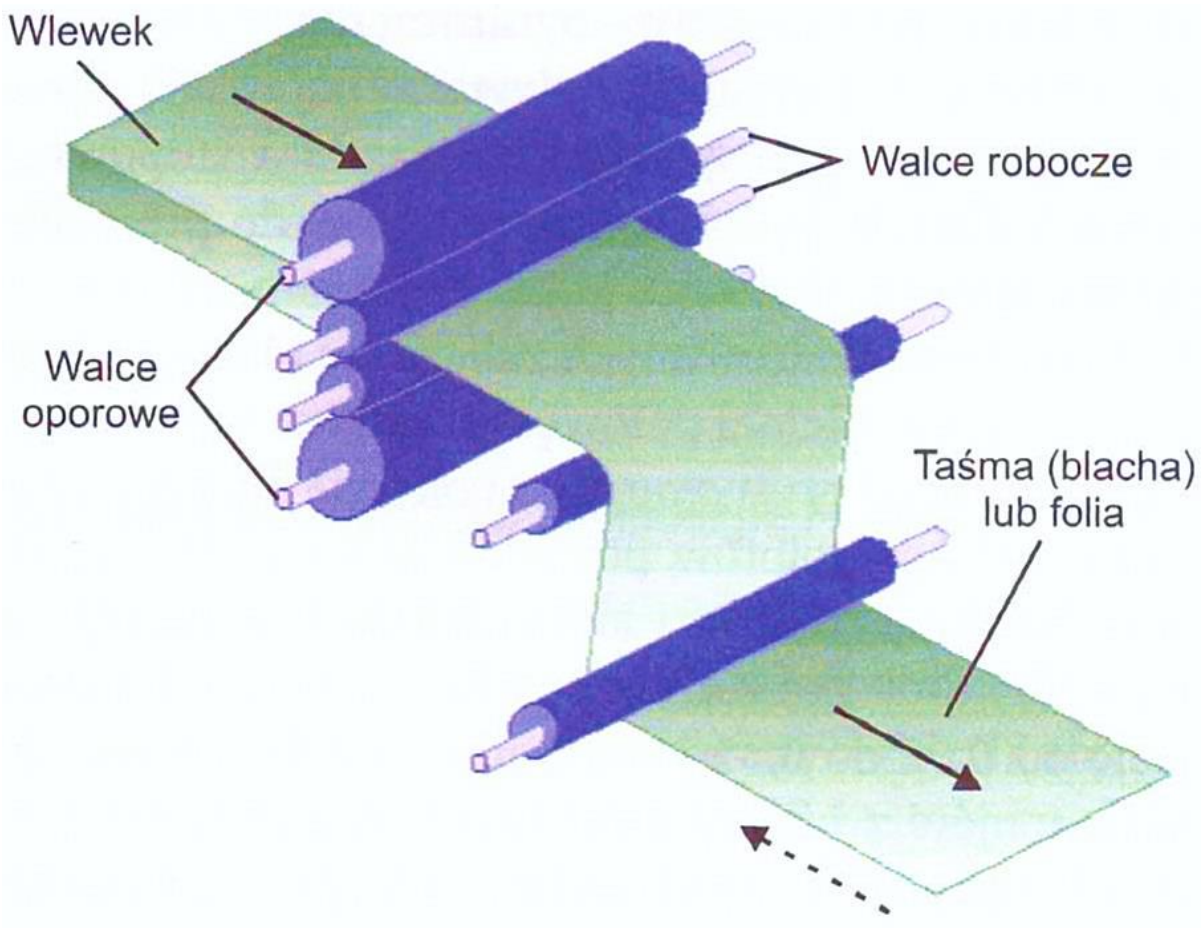


Schemat wytwarzania pianoaluminium za pomocą wdmuchiwania gazu (SiC, Al_2O_3, MgO) do stopionego metalu w celu obniżenia masy i dostosowania właściwości spieniających [14]

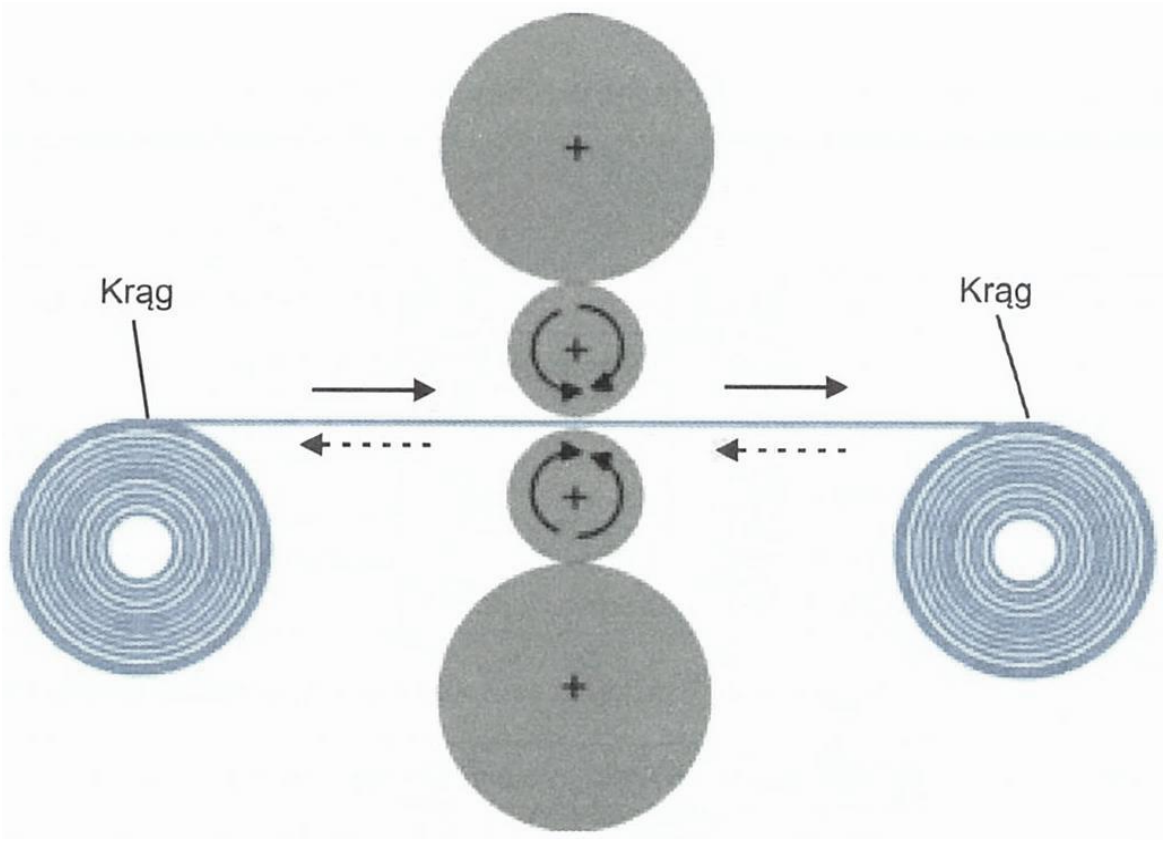


Porównanie procesów kucia stopów tytanu [14]:
a)konwencjonalnego, b) izotermicznego

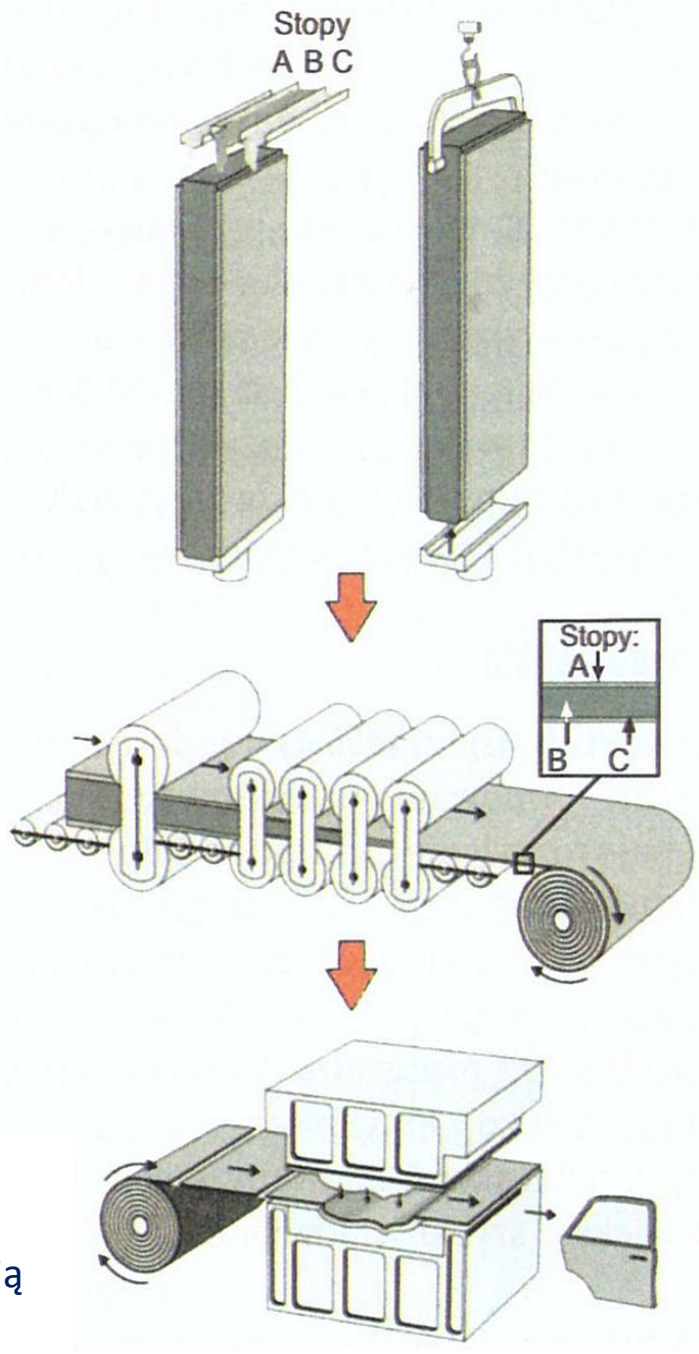
Dwukolumnowa hydrauliczna prasa do kucia stopów tytanu w otwartych matrycach [14]



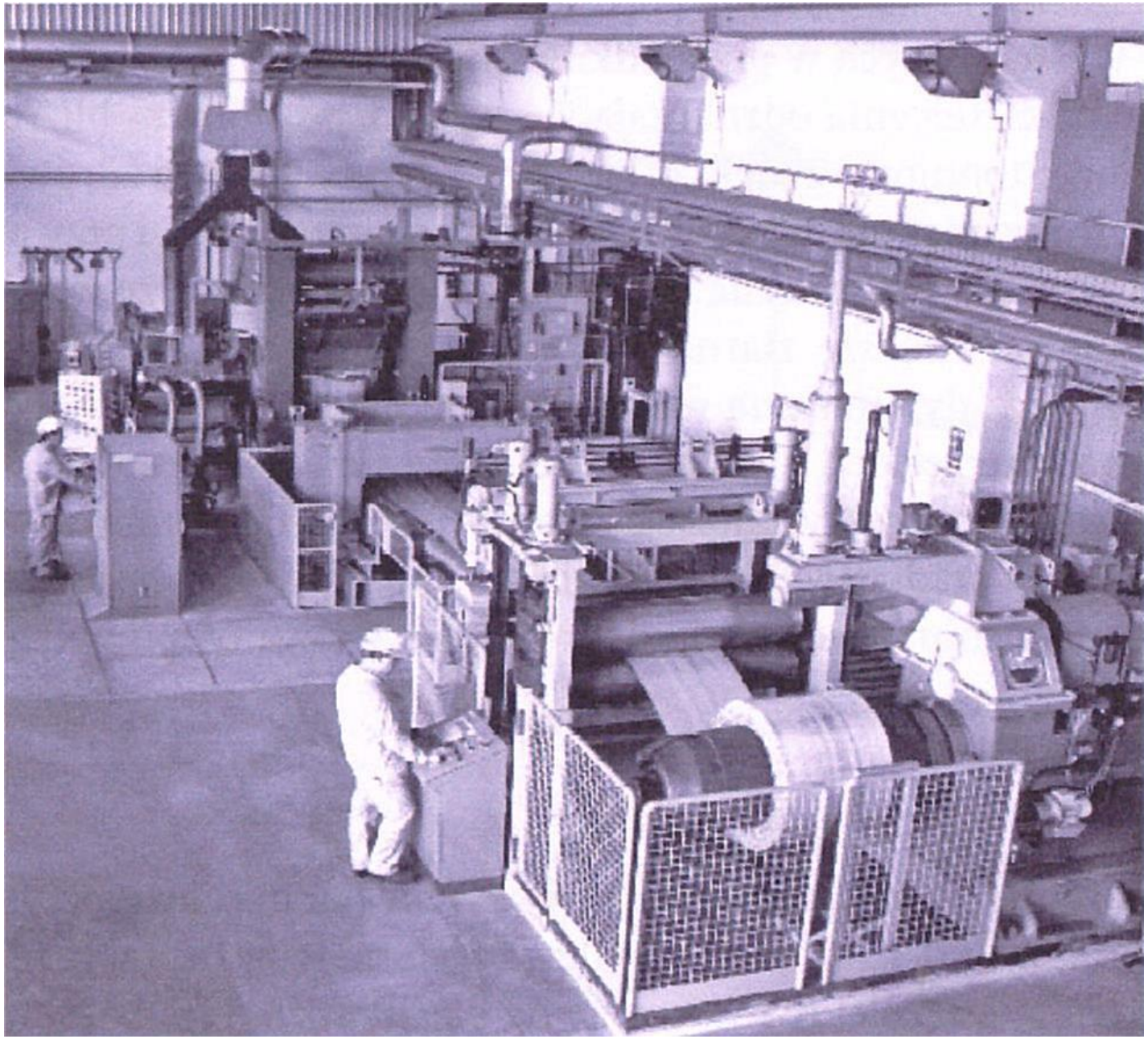
Pracująca nawrotnie walcarka do wstępnego przetwarzania na gorąco wlewka w taśmę aluminiową [14]



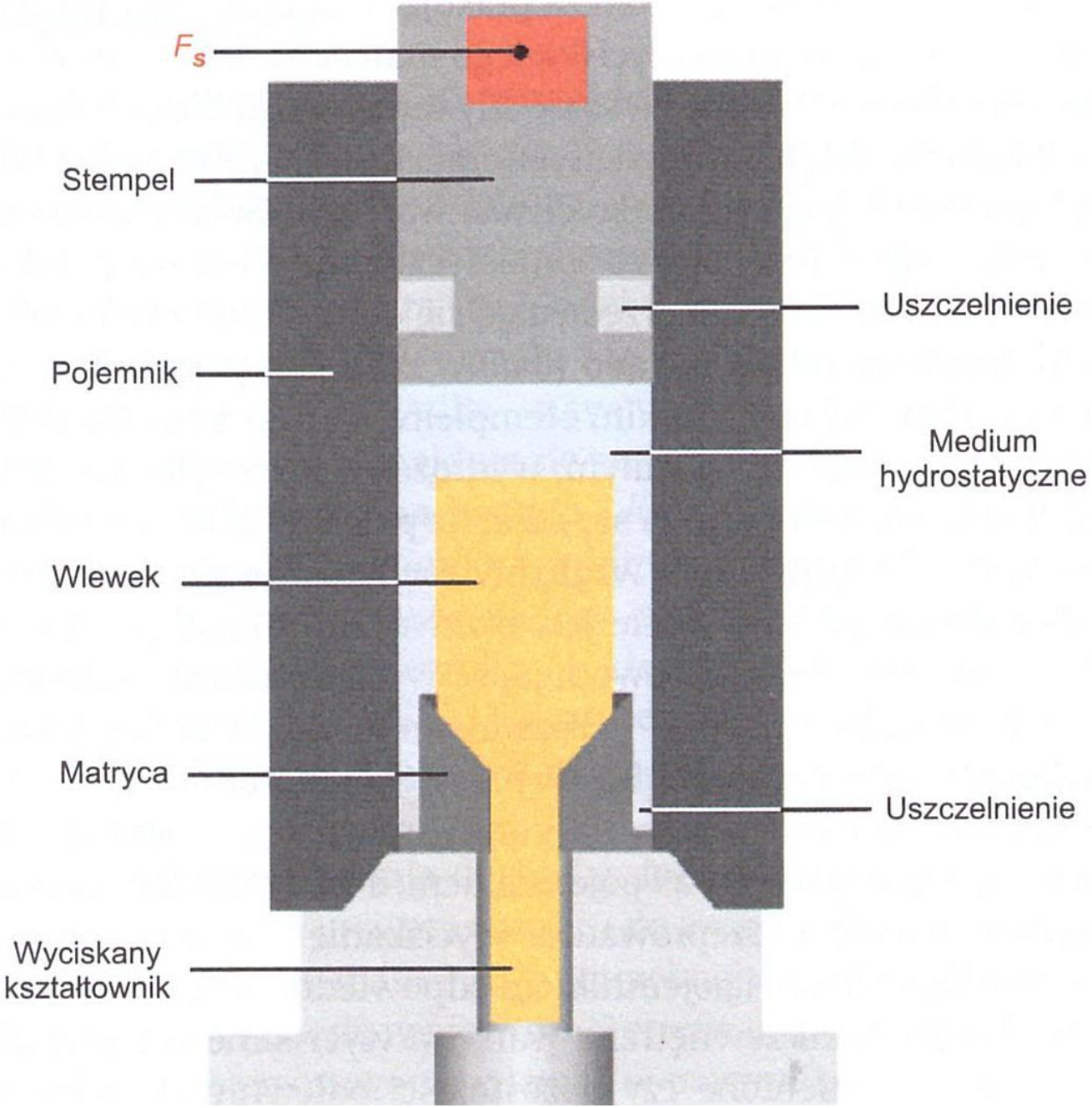
Pracująca nawrotnie lub ciągle walcarka kwatro podczas walcowania na zimno blachy lub folii aluminiowej [14]



Przebieg procesu wytwarzania aluminiowych blach wielowarstwowych technologią Fusion [14]

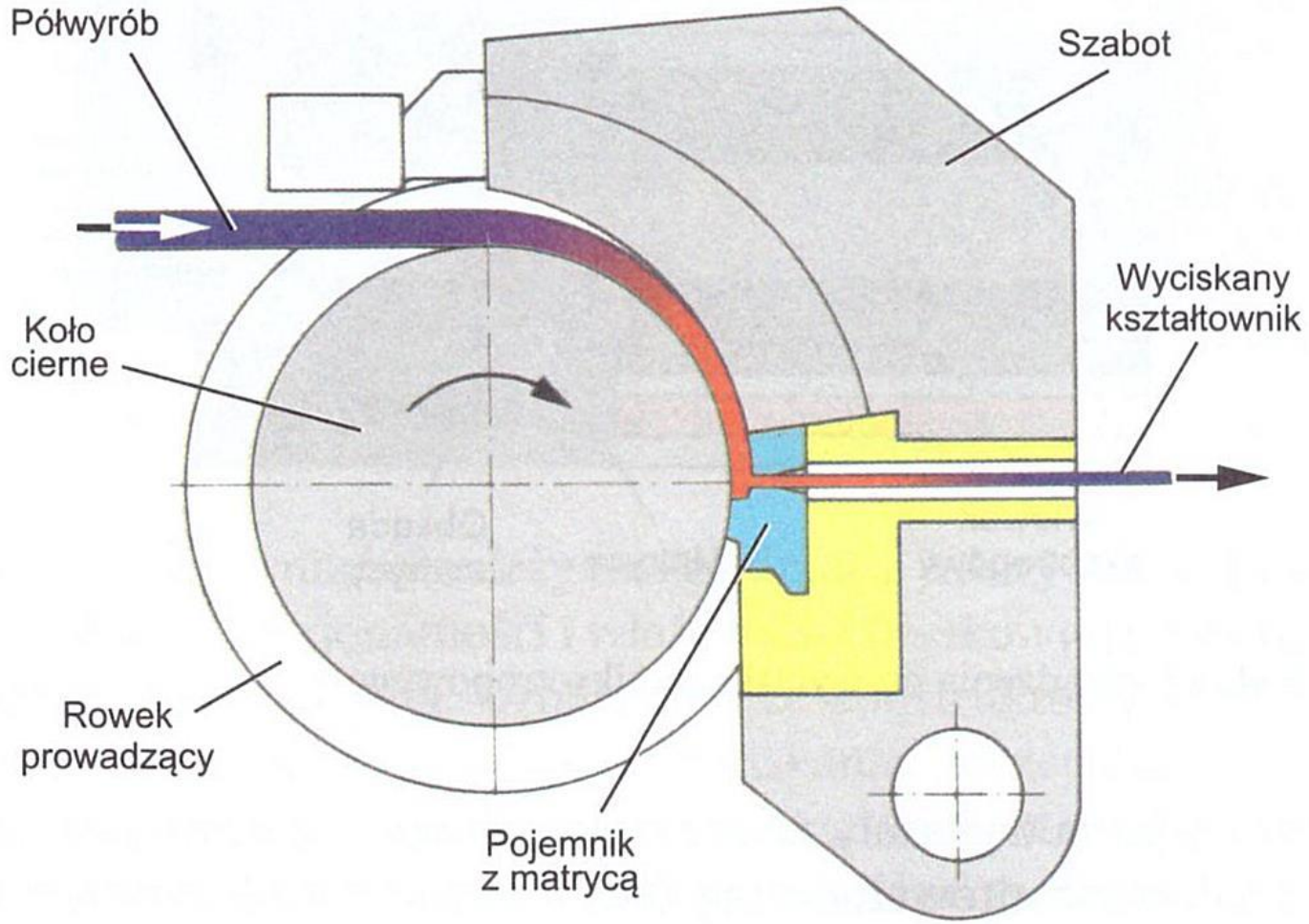


Proces ciągłego dwuwalcowego odlewania taśmy ze stopów magnezu [14]



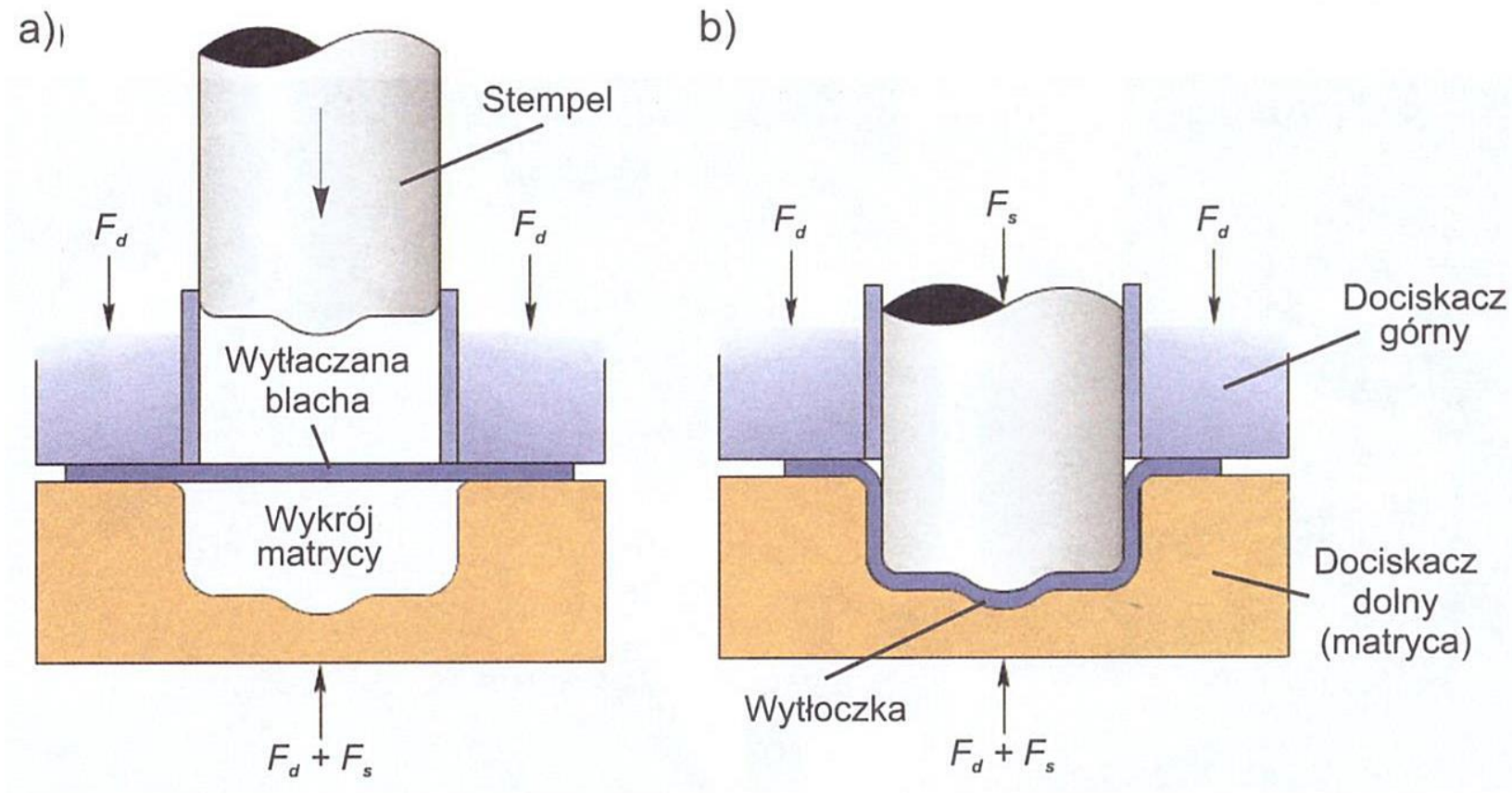
Zasada hydrostatycznego wyciskania na gorąco [14]

Stosowane do trudnoodkształcalnych stopów aluminium, do wytwarzania osłon kabli elektrycznych, do przetwarzania aluminiowych stopów nanokrystalicznych.

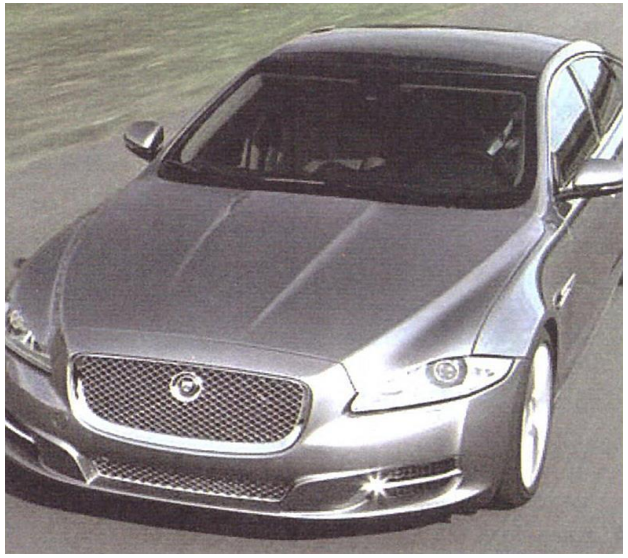


Zasada wyciskania metodą Conform [14]

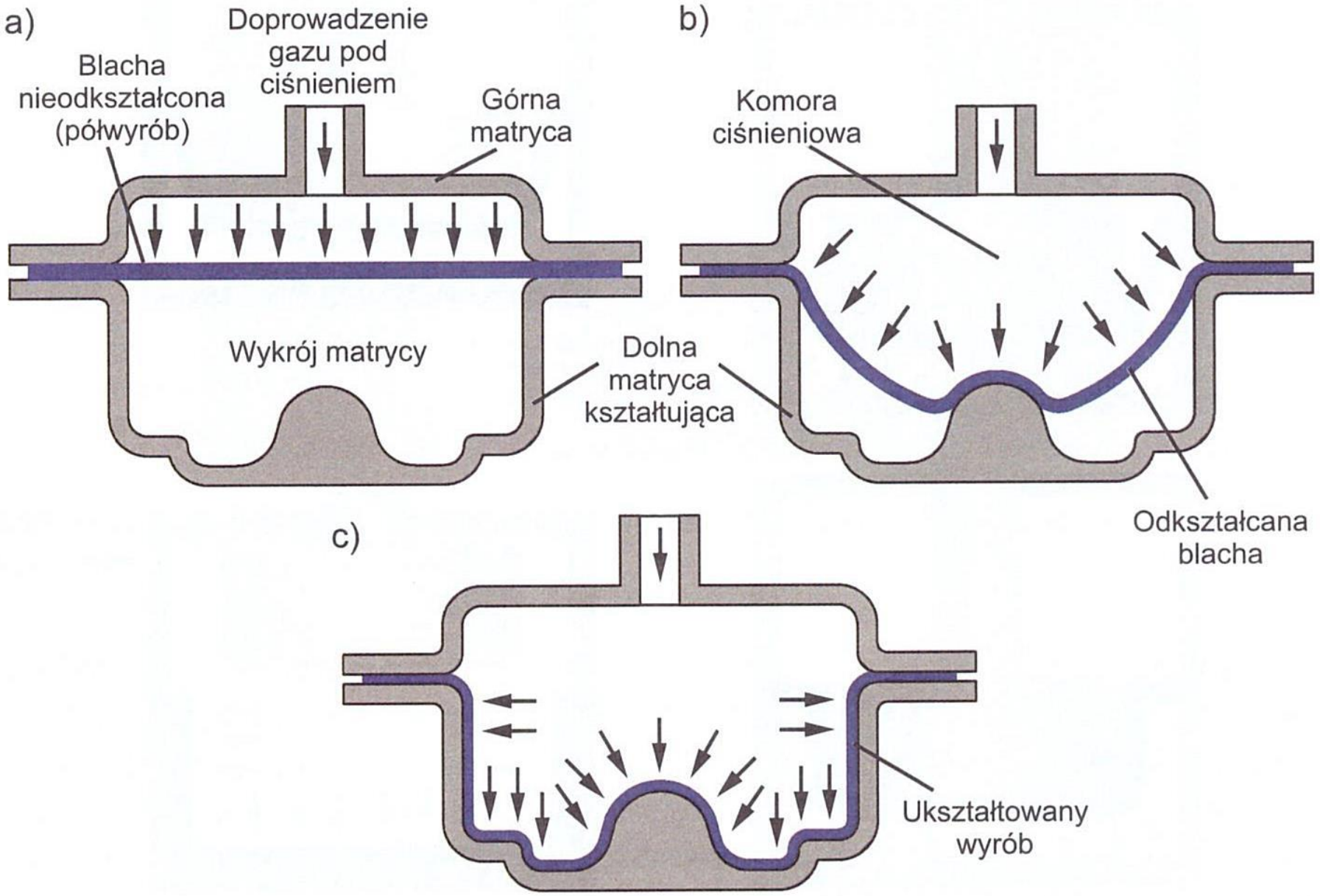
Stosowana głównie do wytwarzania kształtowników aluminiowych mało i średniowymiarowych



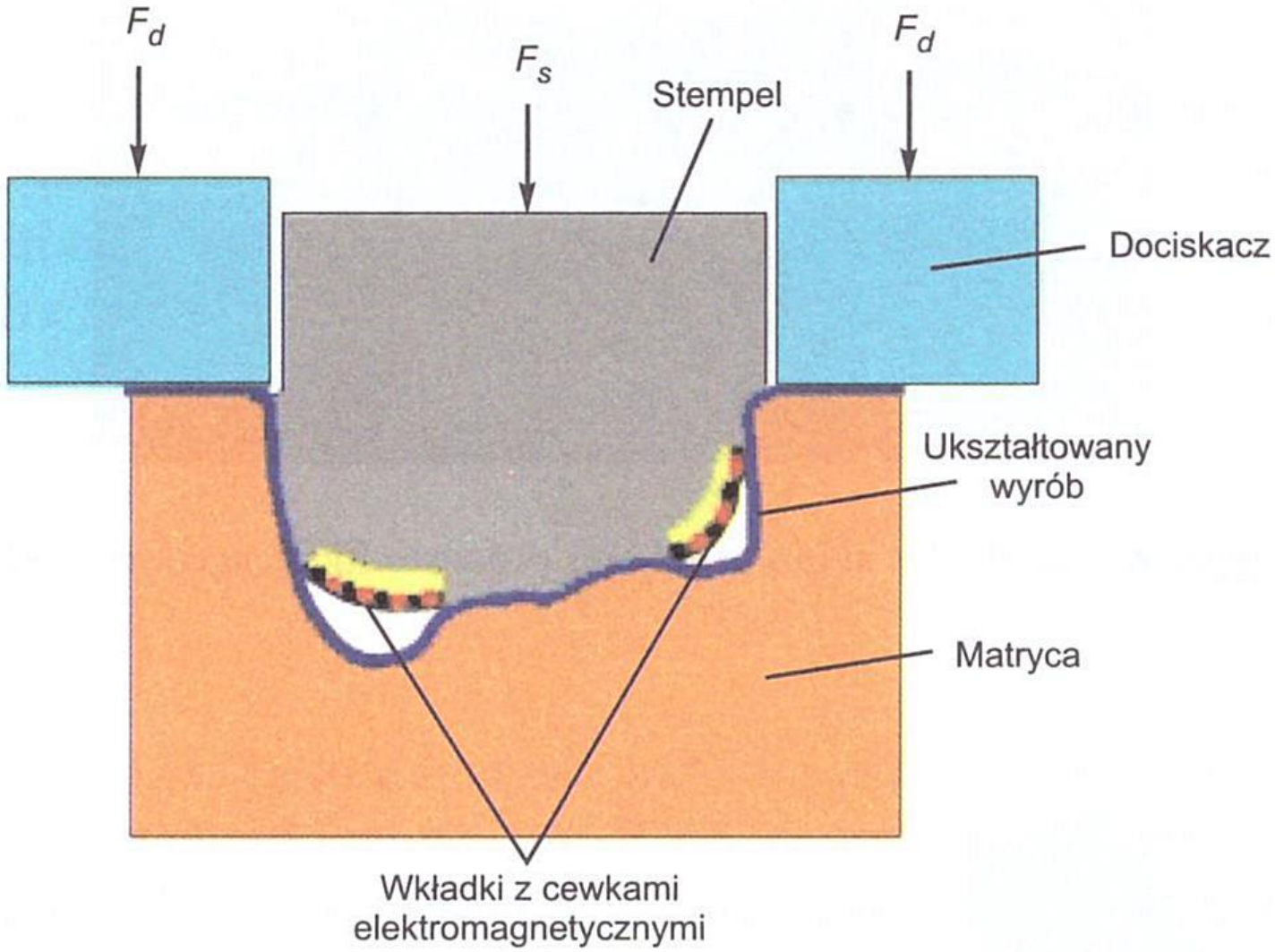
Wytłaczanie złożonych wyrobów aluminiowych [14] a) stempel w górnym położeniu; b) wyrób w trakcie przetłaczania



Karoseria samochodu Jaguar XJ z wytłaczanej blachy aluminiowej [14]



Schemat procesu kształtowania nadplastycznego (**S**uperplastic **F**orming - SPF) pojedynczej blachy [14]; a) rozpoczęcie procesu; b) blacha w trakcie odkształcania; c) zakończenie procesu kształtowania.



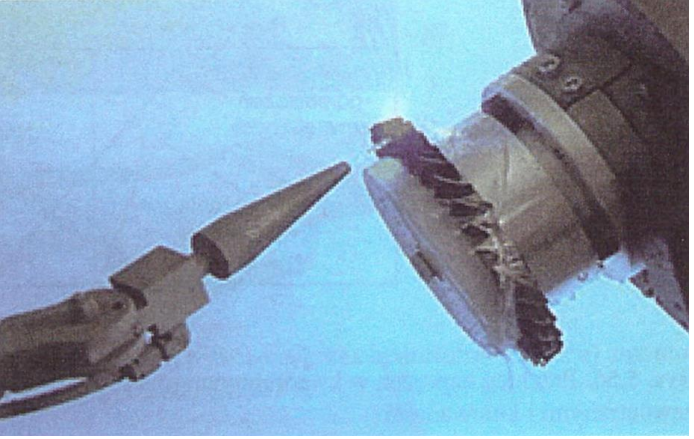
Hybrydowy proces kształtowania blachy, łączący oddziaływanie konwencjonalnego tłoczenia i kształtowania elektromagnetycznego w miejscach wyrobu o złożonej geometrii [14]

Rodzaj defektu	Metody ujawniania
Odchyłki wymiarowe odkuwki	Sprawdziany, narzędzia i współrzędnościowe maszyny pomiarowe (WMP)
Niewypełnione materiałem elementy konstrukcyjne odkuwki	Sprawdziany, narzędzia i współrzędnościowe maszyny pomiarowe (WMP)
Obecność żużla wewnątrz odkuwki, porowatość, nadmierna wielkość ziaren itp.	Badanie ultradźwiękowe z wykorzystaniem fal poprzecznych i podłużnych
Płynięcie materiału w miejscach zdefektowanych – metal płynie pod spodem elementów zorientowanych pionowo, np. żeber, powodując defekt podobny do zakucia (zawalcowania)	Ocena wizualna
Powierzchniowe pęcherze, zimne zakucia, pęknięcia, korozje itp.	Różne techniki kontroli powierzchni za pomocą fluoryzujących i barwnikowych penetrantów

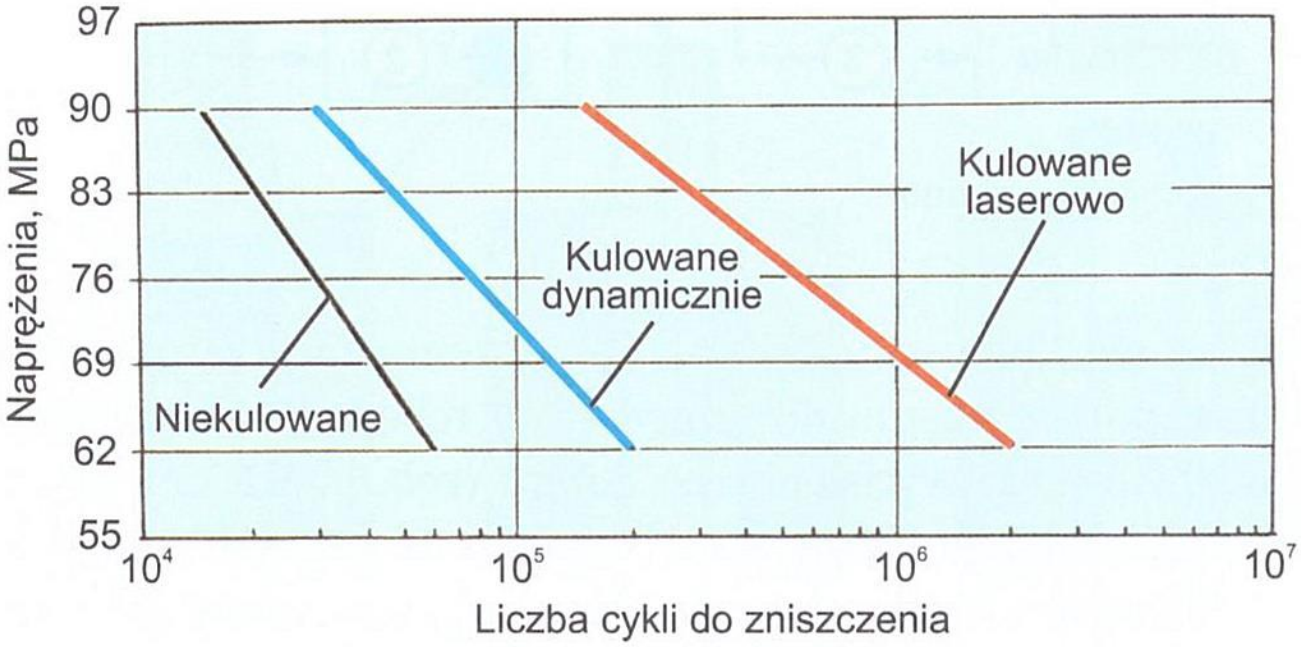
Niektóre defekty występujące w odkuwkach aluminiowych i metody ich ujawniania [14]

Metoda	Proces	Efekty
Przerywane lub zwolnione hartowanie	Hartowanie w gorącej wodzie zawierającej substancje opóźniające intensywność ochładzania	Mniejsze odkształcenia hartownicze, niewielkie pogorszenie właściwości fizycznych
Dodatkowe kucie kalibrujące na zimno, po przesyceniu w finalnej matrycy	Odkuwki o wybranych kształtach z brzegowymi (krawędziowymi) żebrami są prostowane przez rozciąganie (wyprężanie) w zależności od skurczów powstałych w wyniku kucia; centralne (środkowe) żebra są wyprężane na płasko, aby zminimalizować odchyłki w późniejszej obróbce ubytkowej	Metoda skuteczna w wielu przypadkach; najczęściej stosowana w przemyśle, choć nie dotyczy wszystkich kształtów części
Selektywna izolacja cienkich żeber	Malowanie grubych powłok ceramicznych na powierzchniach żeber, aby zmniejszyć prędkość ich hartowania, w celu zapewnienia porównywalnych właściwości cieplnych z grubszymi przekrojami danej części	Metoda skuteczna w niektórych przypadkach; istnieje dość mało danych dotyczących powtarzalności wyników

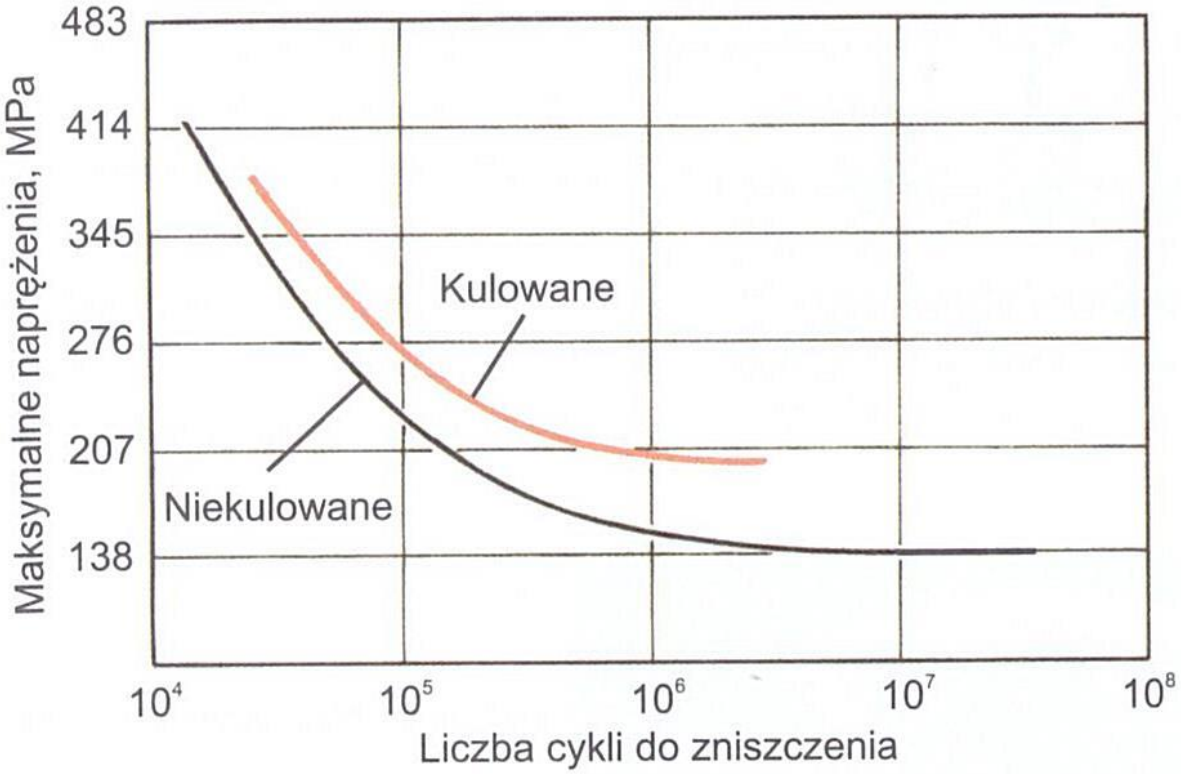
Metody zmniejszania niepożądanych odkształceń odkuwek wykonanych ze stopów aluminium w zamkniętych matrycach [14]



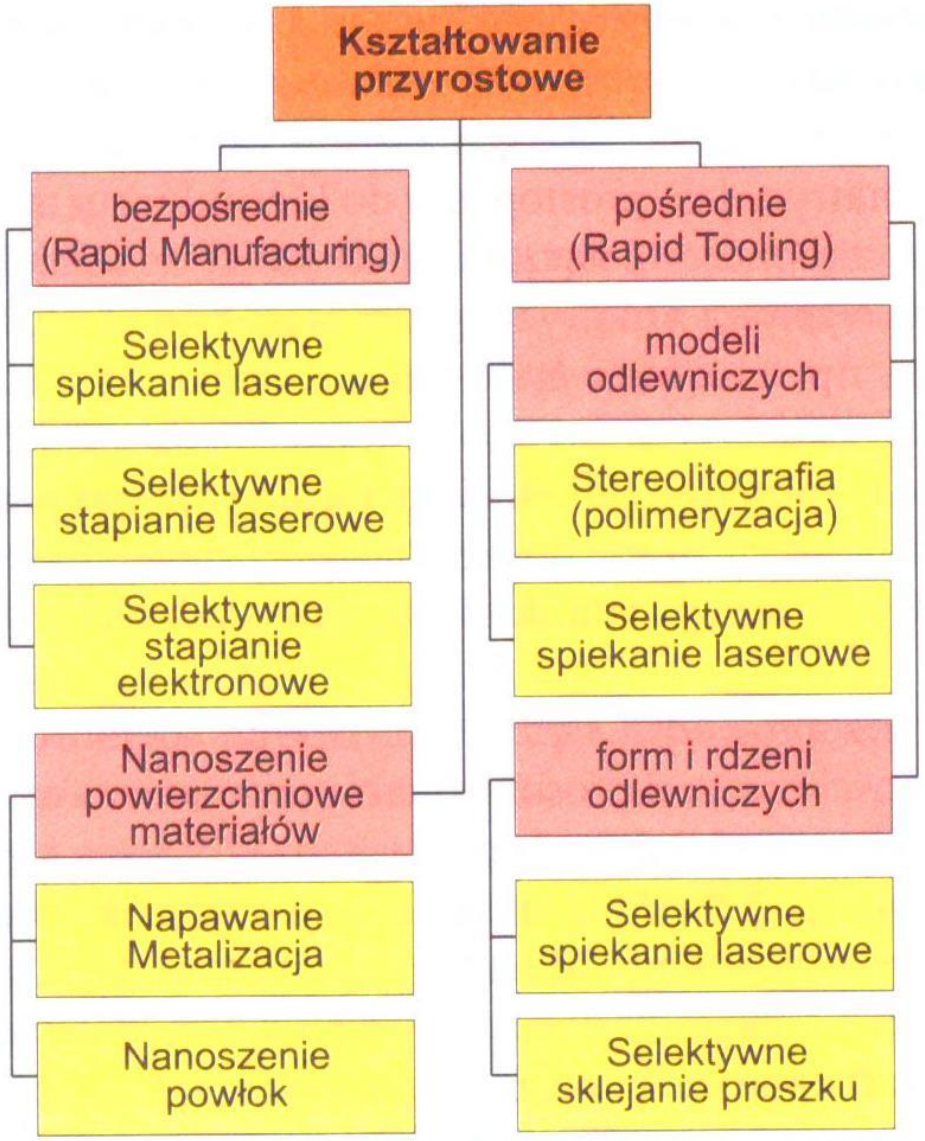
Laser na ramieniu minirobota
w zastosowaniu do kulowania [14]



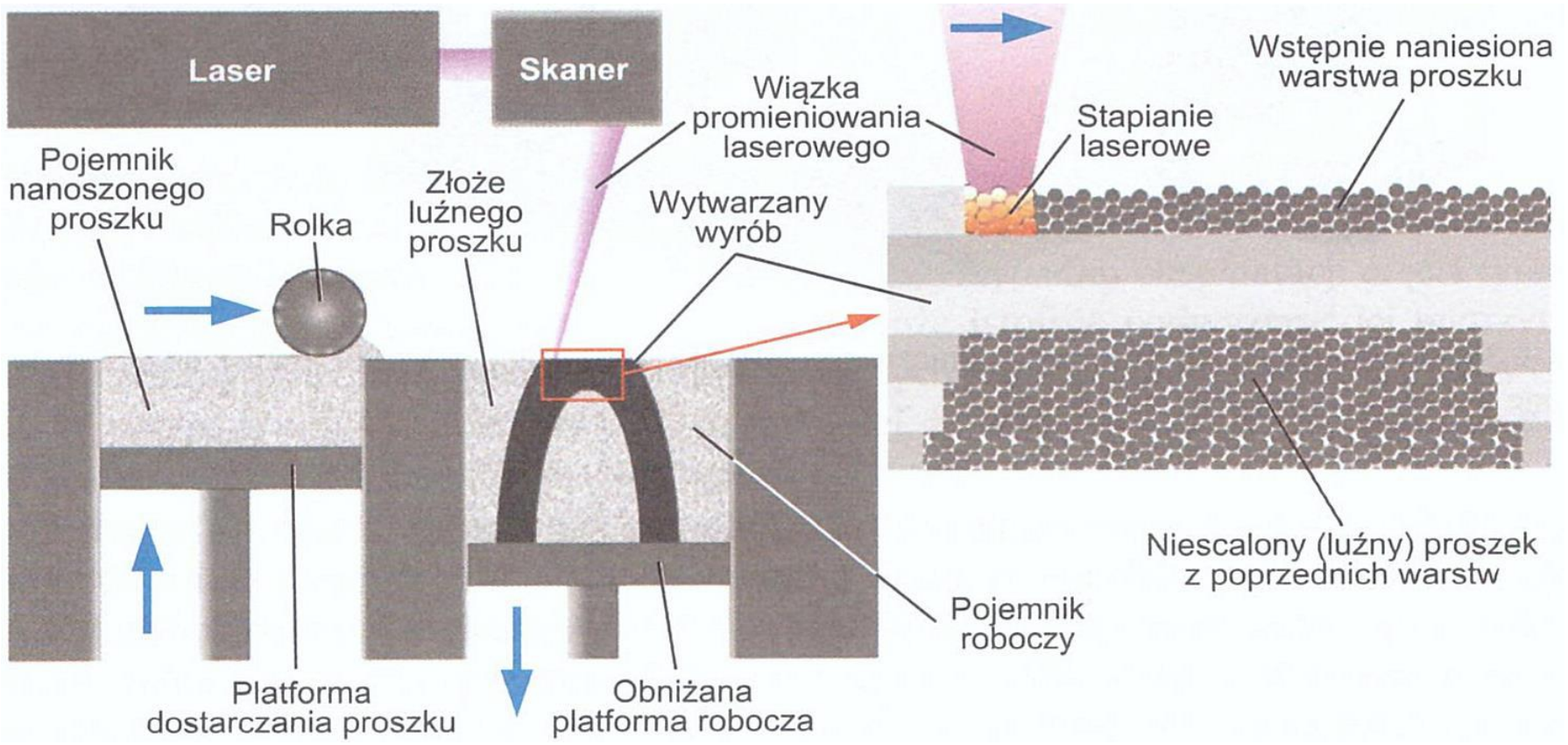
Wytrzymałość zmęczeniowa elementów ze stopu aluminium 6061-T6 kulowanych dynamicznie i laserowo oraz nie poddanych kulowaniu [14]



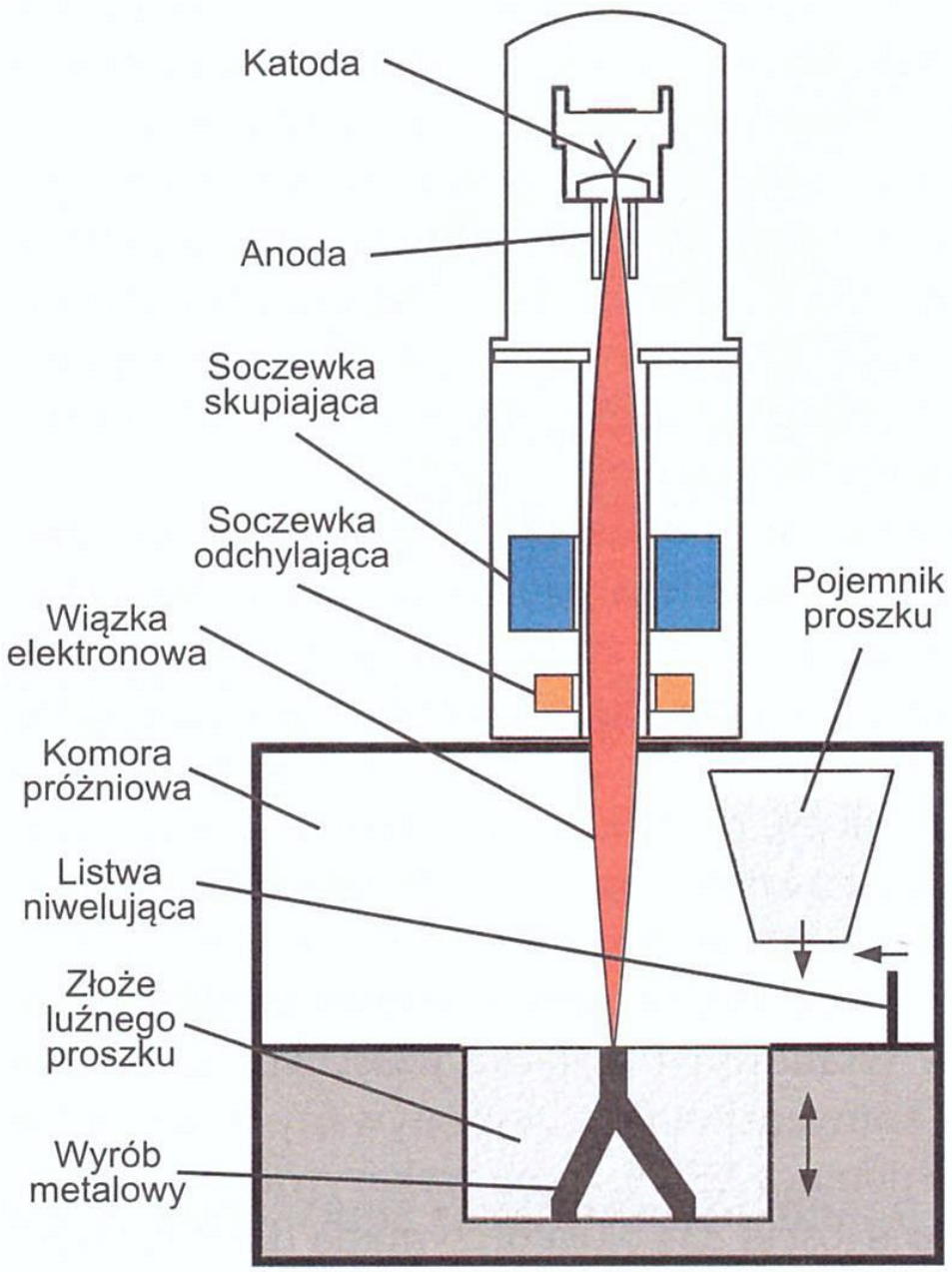
Porównanie wytrzymałości zmęczeniowej dla próbek niekulowanych i kulowanych ze stopu aluminium 7050-T765 [14]



Klasyfikacja głównych sposobów bezpośredniego i pośredniego kształtowania przyrostowego metali lekkich [14]

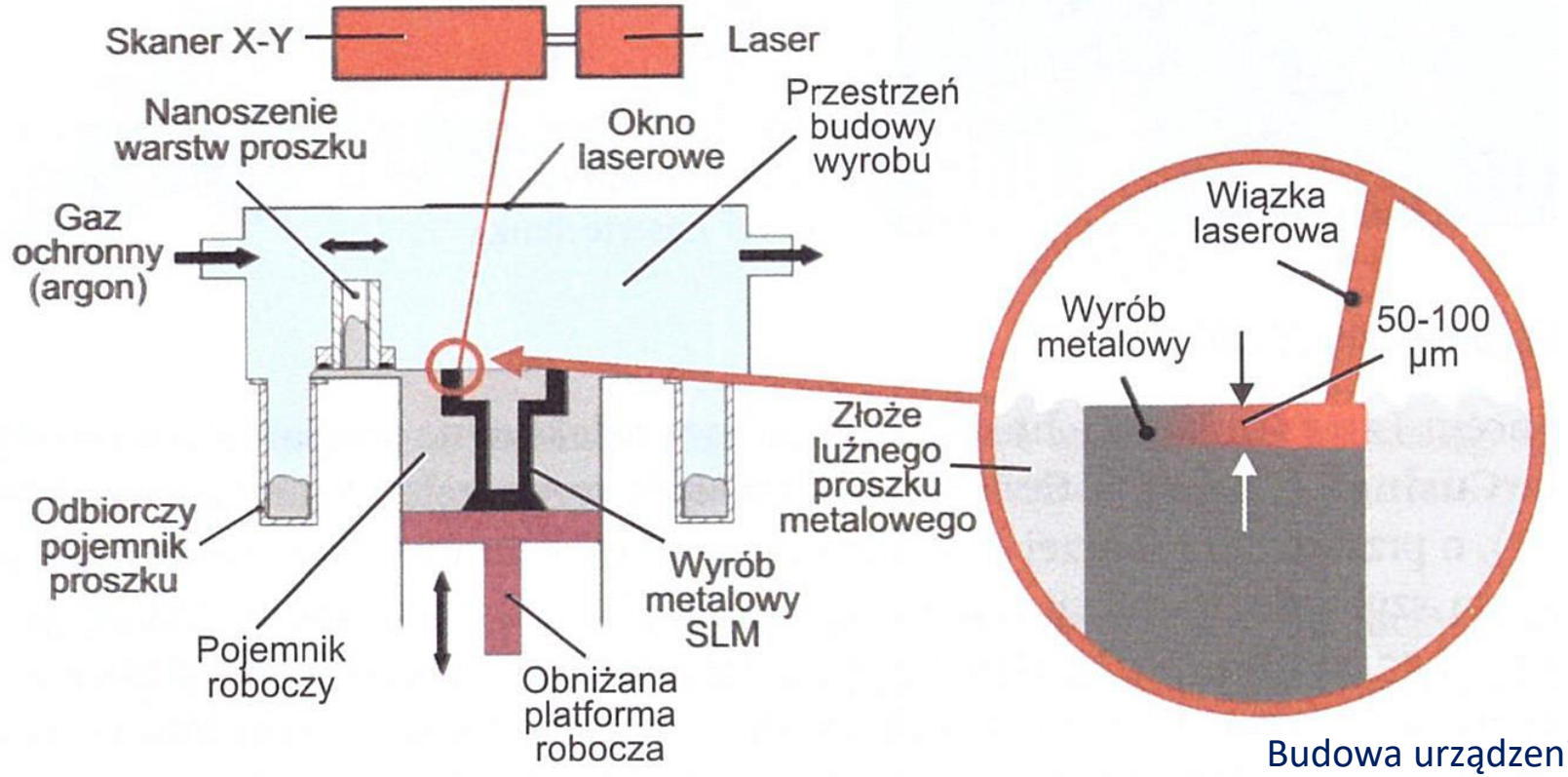


Wytwarzanie wyrobów metalowych metodą bezpośredniego spiekania laserowego proszku metalowego (DMLS – *direct metal laser sintering)* [14]

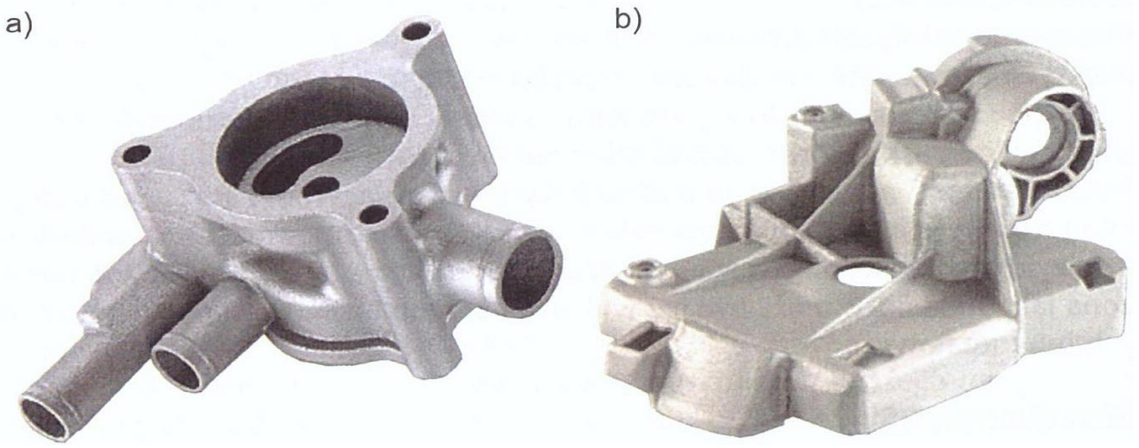


Schemat procesu EBM (**E**lektron **B**eam **M**elting) – selektywnego spiekania laserowego [14].

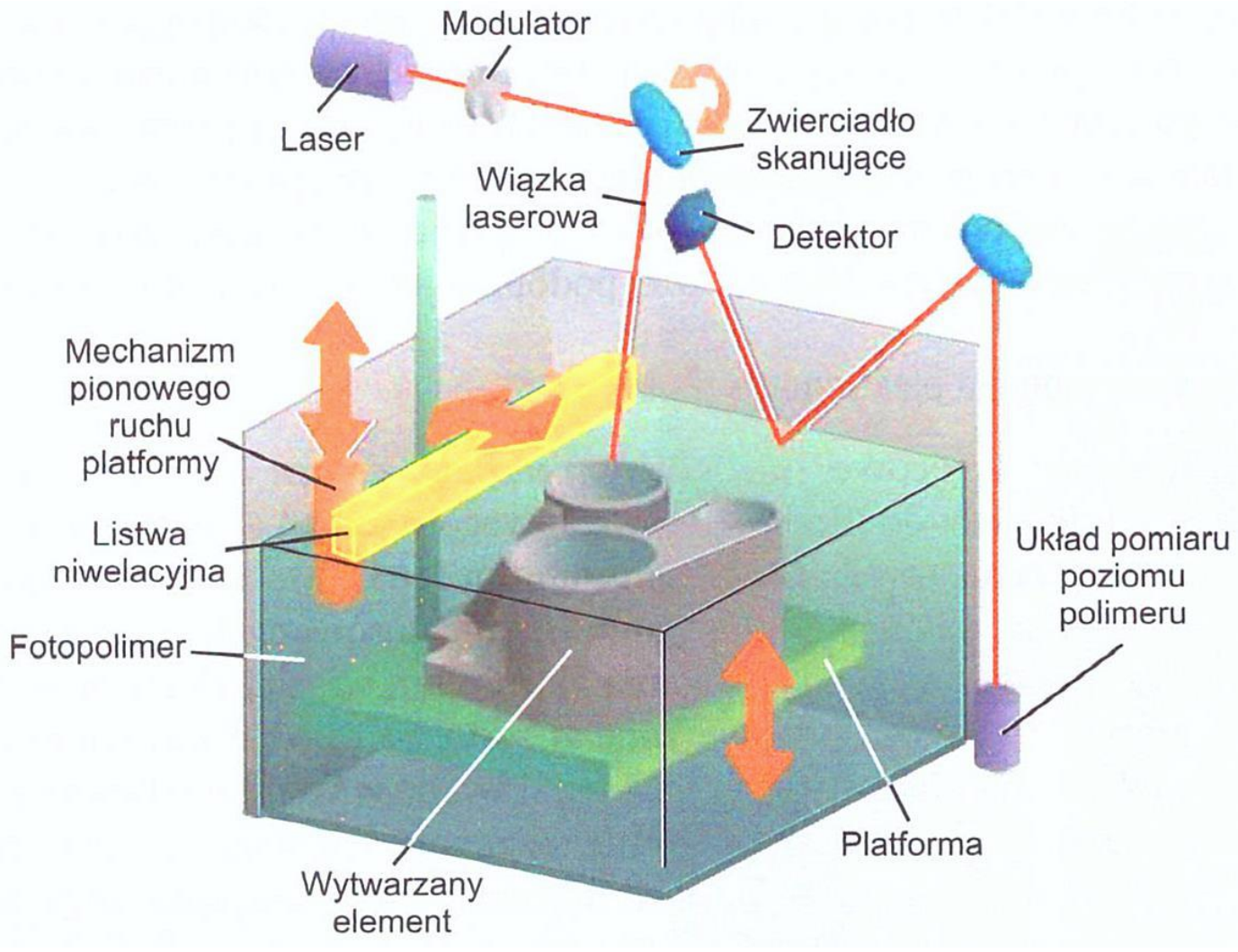
Z podgrzanej do temperatury ok.2500 katody wolframowej jest emitowany strumień elektronów, rozpędzony do prędkości równej prędkości światła.



Budowa urządzenia i schemat procesu selektywnego spiekania laserowego (**S**elektive **L**aser **M**elting –SLM) do wytwarzania wyrobów za pomocą warstwowego stapiania czystego proszku metalowego sterowana wiązką laserową [14]

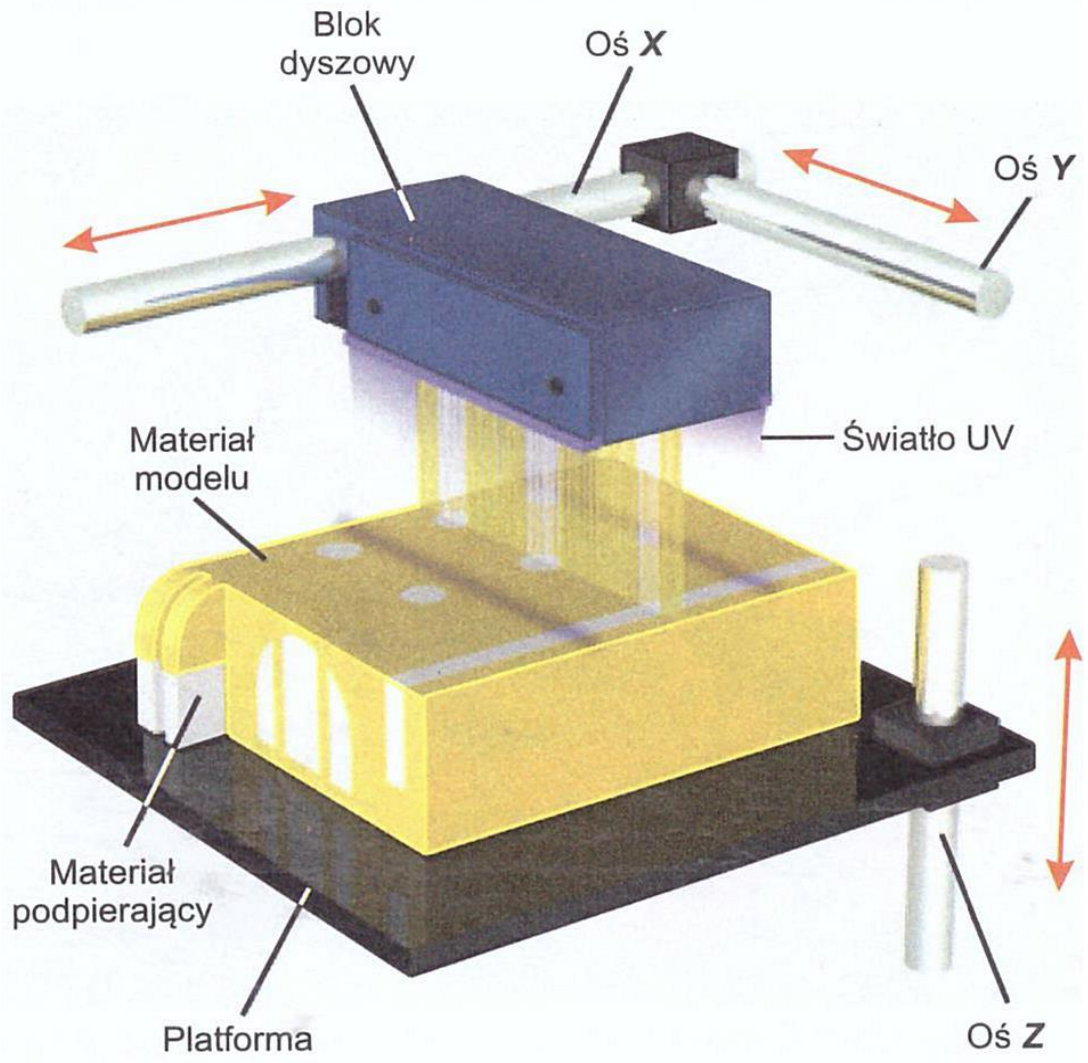


Przykłady wyrobów ze stopu aluminium wykonanych technologią SLM [14]: a) obudowa pompy olejowej, b) podstawa zwierciadła

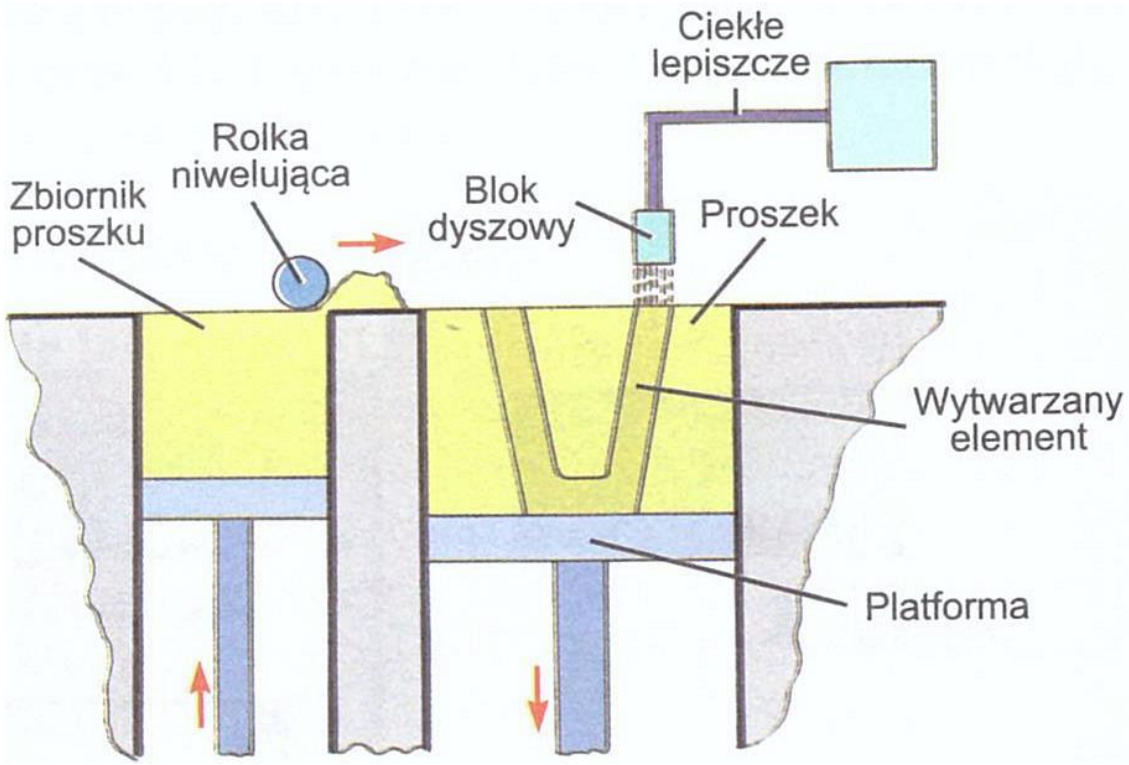


Zasada procesu stereolitografii (Stereolithogrphy – SL)[14]

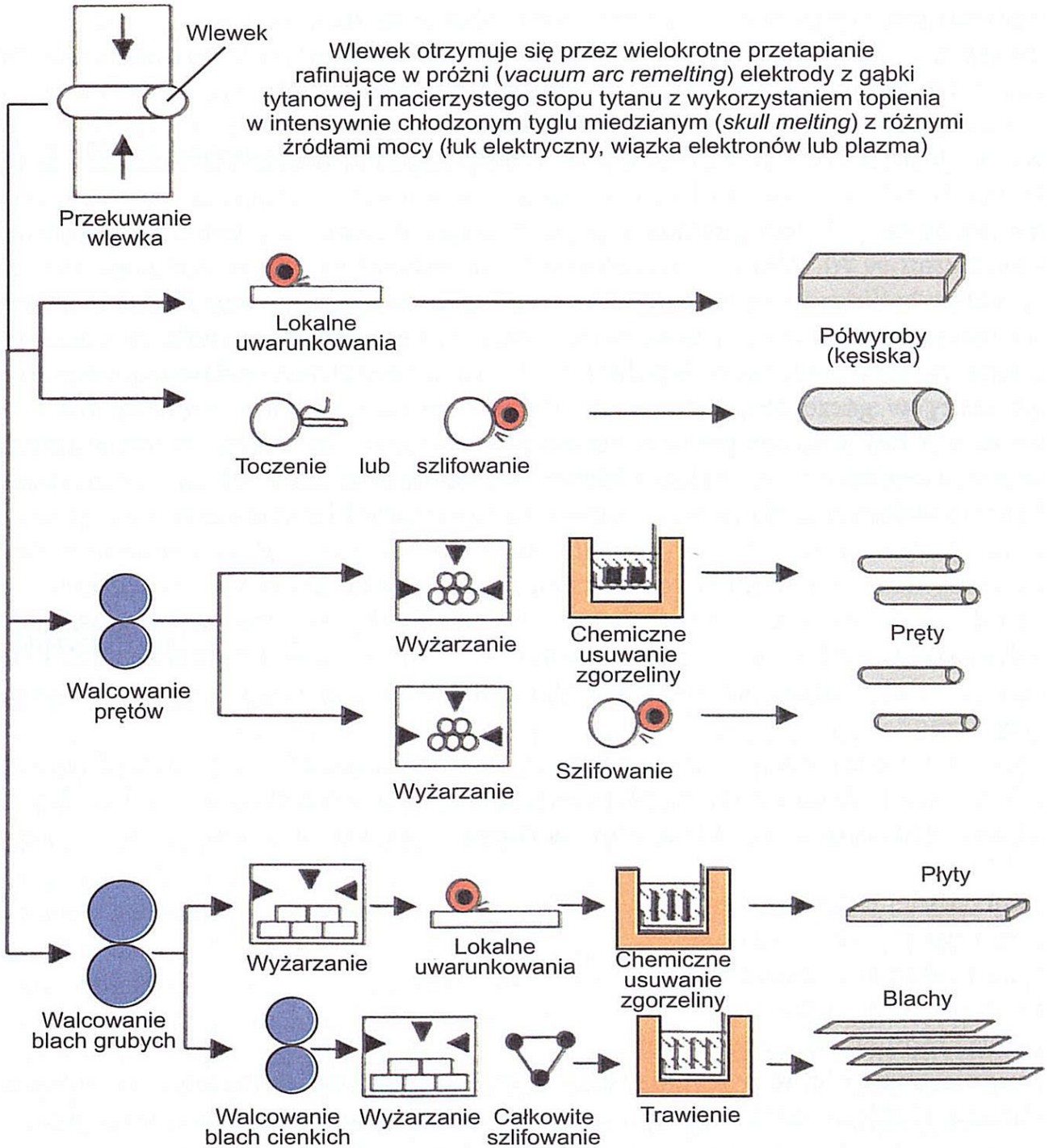
Istota procesu SL polega na utwardzaniu fotopolimeru (żywicy epoksydowej) przez działanie zogniskowanej wiązki nadfioletowego promieniowania laserowego (np. z lasera He-Cd).



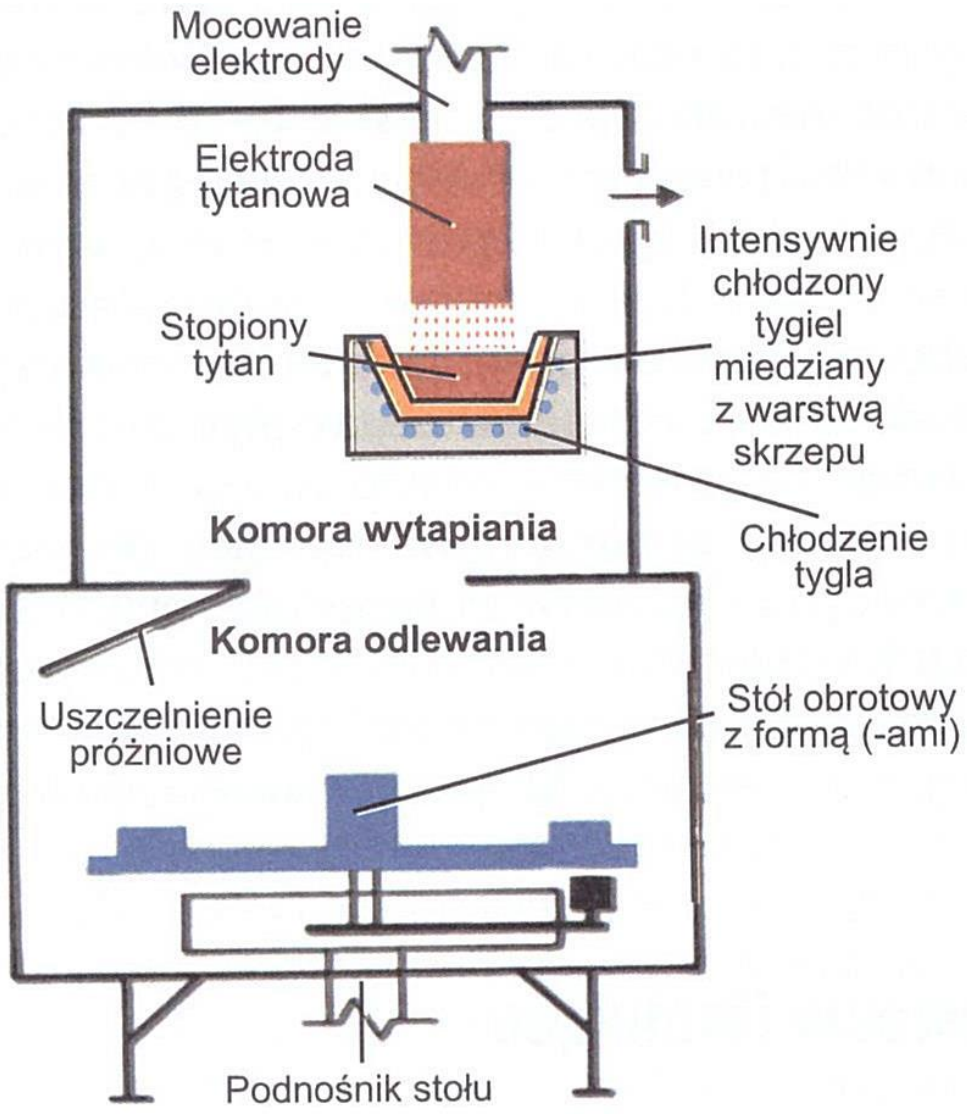
Istota procesu Polyjet - natryskiwanie ciekłego fotopolimeru na stalową platformę przy jednoczesnym utwardzaniu światłem UV [14]



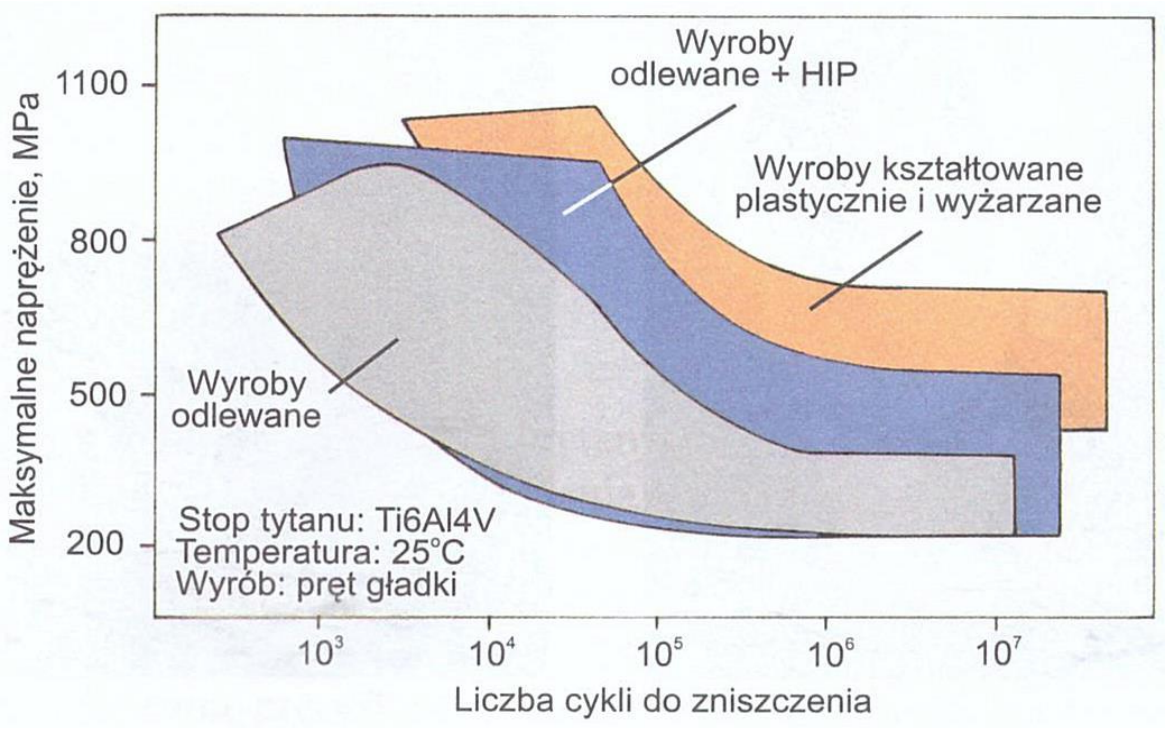
Selektywne sklejanie proszku – 3D printing [14]
Czynnikiem spajającym proszek na bazie skrobi i celulozy jest ciekłe lepiszcze w postaci odpowiedniego roztworu wodnego.



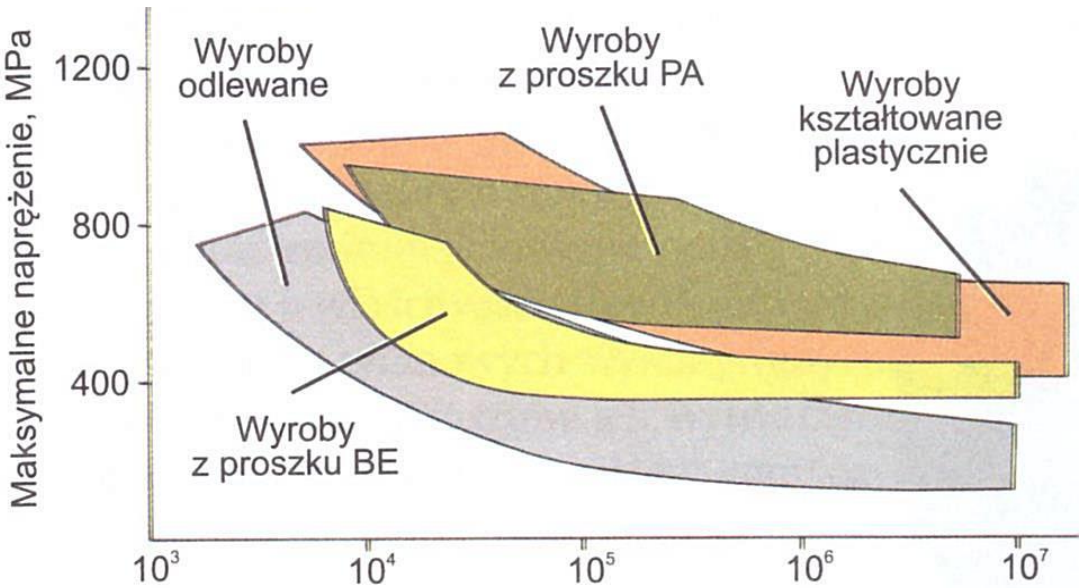
Podstawowe metody kształtowania półwyrobów tytanowych [14]



Schemat próżniowego pieca łukowego z zimnym tyglem i komorą odśrodkowego odlewania do form grafitowych tytanu i jego stopów [14]



Porównanie wytrzymałości zmęczeniowej wyrobów odlewanych i przerobionych plastycznie HIP *(Hot Isostatic Pressing)* – prasowanie izostatyczne na gorąco) [14]



Porównanie wytrzymałości zmęczeniowej elementów z proszków tytanowych BE *(blended elemental)* i PA z wyrobami otrzymywanymi odlewaniem i przeróbką plastyczną [14]

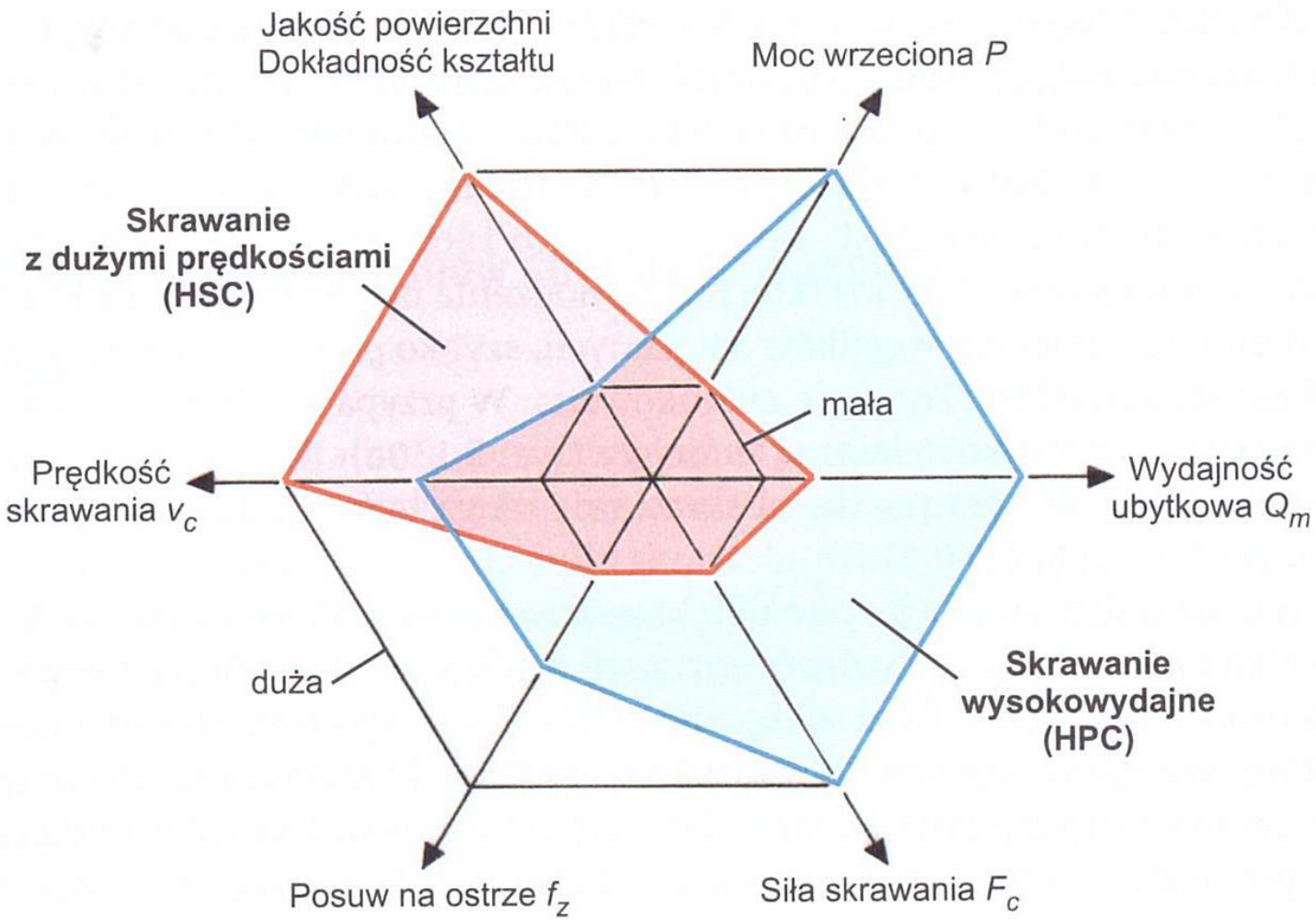
Metoda BE *(blended elemental)* polega na zmieszaniu drobno zmielonej gąbki tytanowej z dodatkami stopowymi, np. proszkiem Al-V.

Metoda PA *(pre-alloyed)* polega na otrzymywaniu proszku z materiału wyjściowego w postaci odlanego lub przerobionego plastycznie stopu tytanu

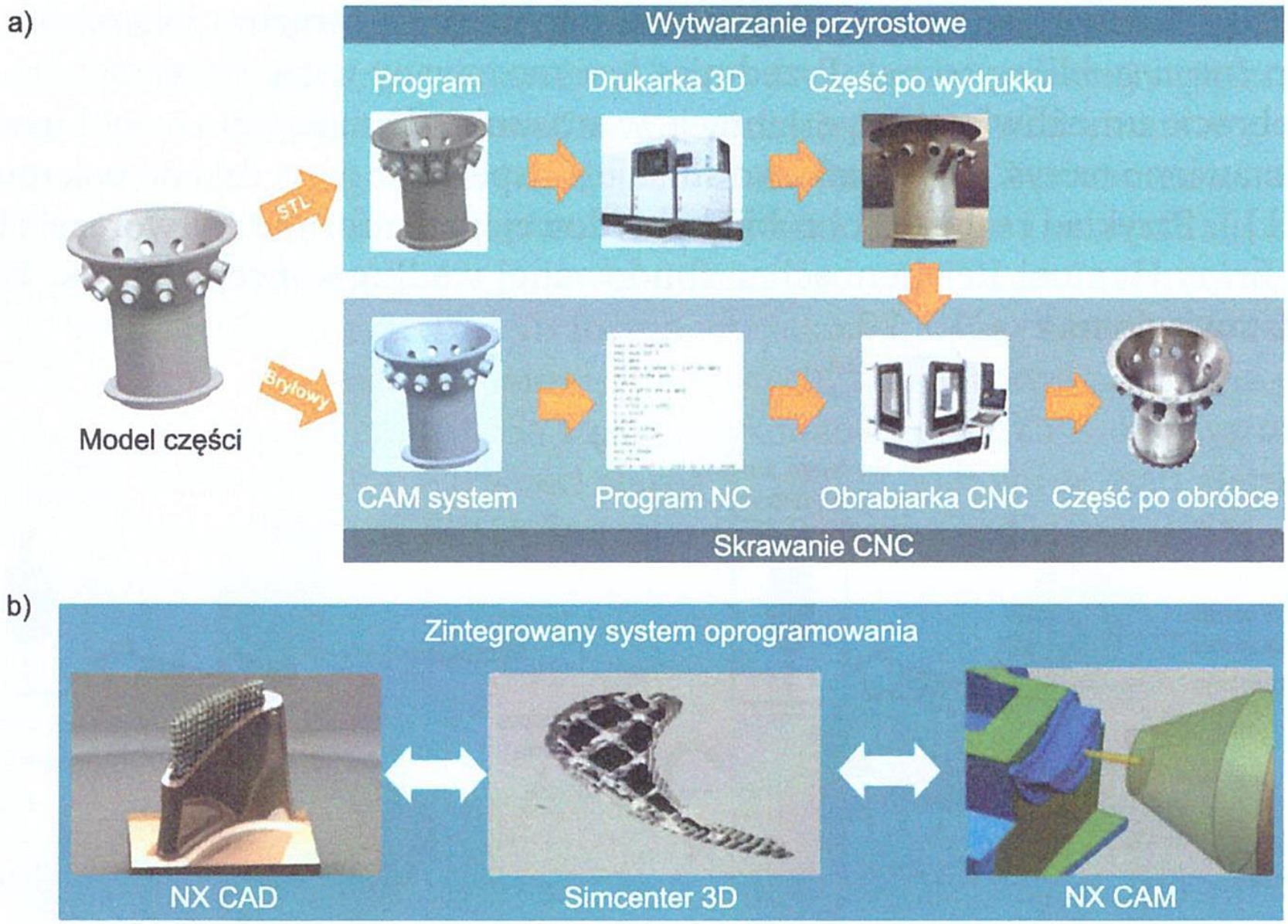
Cecha implantu / procesu	Proces wytwarzania			
	EBM	Odlewanie precyzyjne	Kucie	Obróbka ubytkowa
Mikro-struktura	Drobnoziarnista, iglasta $\alpha+\beta$ z cienkim granicami ziaren pierwot-nego β	Drobnoziarnista, iglasta $\alpha+\beta$ z grubymi granicami ziaren pierwotnego β	Zależnie od parametrów procesu, brak granic ziaren β	Zależnie od parametrów procesu, brak granic ziaren β
Wytrzymałość	Średnio wysoka	Wystarczająco wysoka	Zwykle najwyższa	Wysoka
Wymagania narzędziowe	Brak kosztów narzędziowych, brak czasów przygotowawczych, minimalne programowanie	Wysokie koszty i długi czas przygotowania produkcji	Wysokie koszty i długi czas przygotowania produkcji	Średnie koszty i czas przygotowania produkcji
Intensywność procesu i czas przygotowania	Średni czas procesu, minimalna pracochłonność	Bardzo złożony łańcuch procesowy, bardzo duża pracochłonność	Średnio złożony łańcuch procesowy, szybka produkcja	Średni czas procesu, mała pracochłonność
Wykończenie powierzchni wyrobu – potrzeba dodatkowej obróbki	Karbowana powierzchnia, usuwanie powłok porowatych, utrzymanie wystarczającej wytrzymałości	Powierzchnia typu „skórka pomarańczowa", usuwanie wlewów	Powierzchnia gładka, usuwanie wypływek z linii podziału	Powierzchnia średnio wykończona, usuwanie gratów
Stosowanie powłok porowatych	Czas wykonywania powłók porowatych nieokreślony, utrzymanie wystarczającej wytrzymałości	Dodatkowy łańcuch procesowy, utrzyma-nie wystarczającej wytrzymałości	Dodatkowy czas procesowy, utrata wysokiej wytrzy-małości, dotyczy niektórych powłok	Dodatkowy czas pro-cesowy, utrata wyso-kiej wytrzymałości, dotyczy niektórych powłok

Porównanie procesów wytwarzania implantów z Ti-6Al-4V ELI o kształtach zbliżonych do końcowych [14]

ELI: Extra Low Intersstitials – ekstra niskie parametry



Porównanie skrawania z dużymi prędkościami (HSC) i skrawania wysokowydajnego (PC) [14]



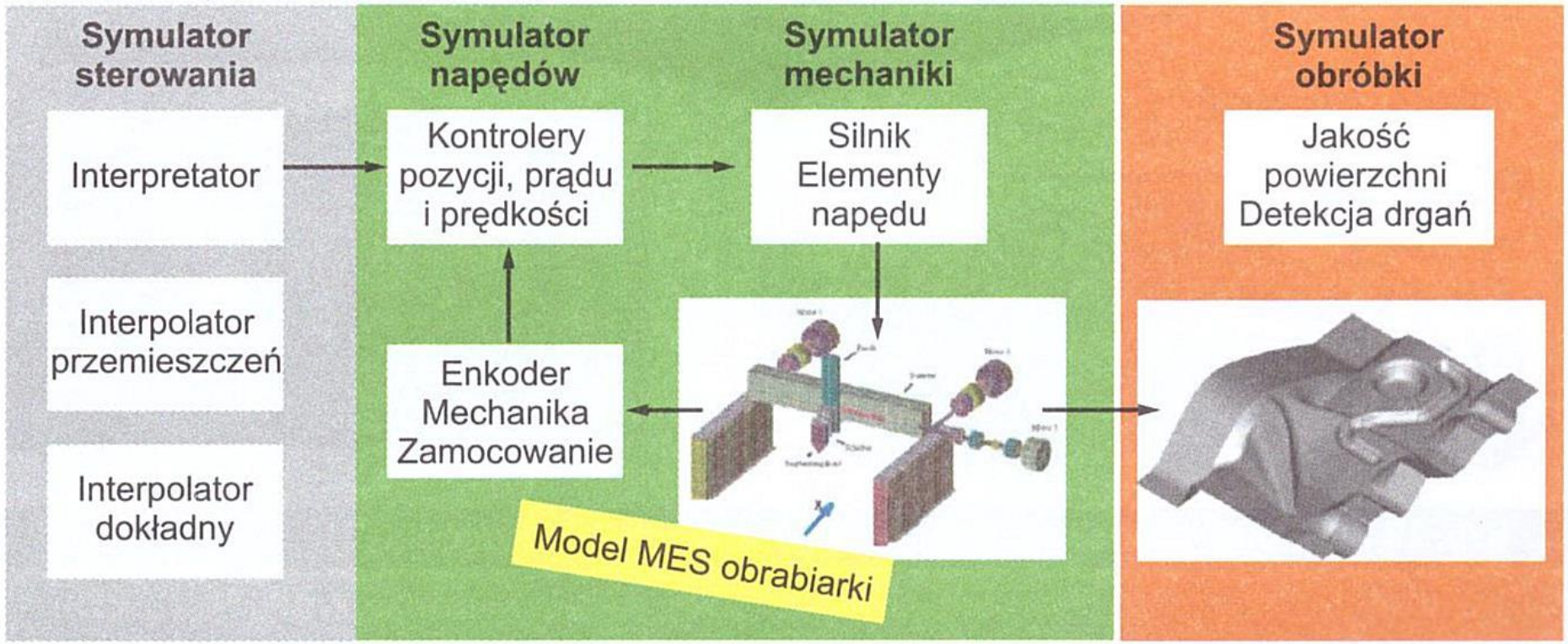
Koncepcja integracji (a) oraz kompletnego programowania obróbki przyrostowej i ubytkowej [27-2]

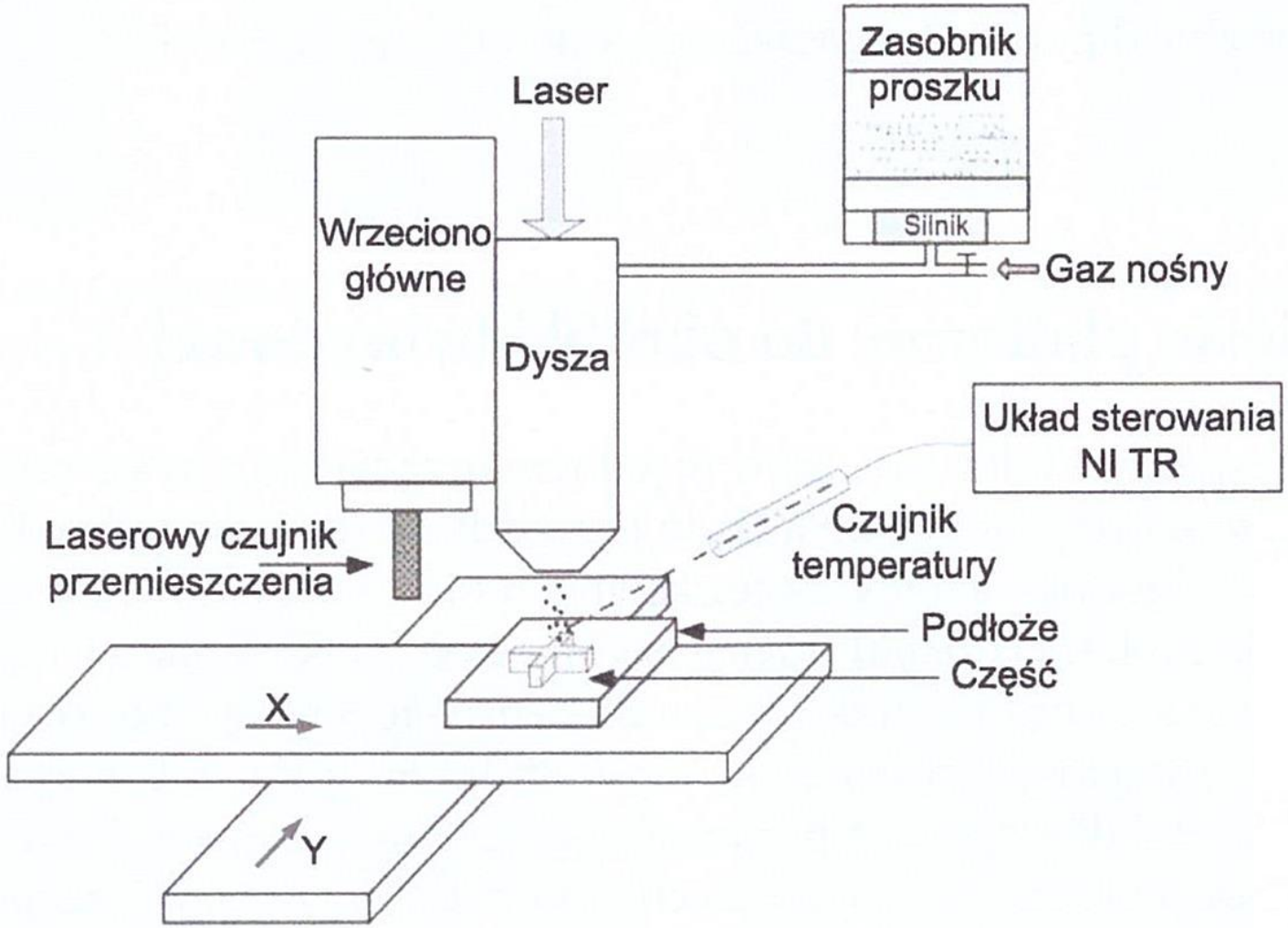
Analizowany program NC

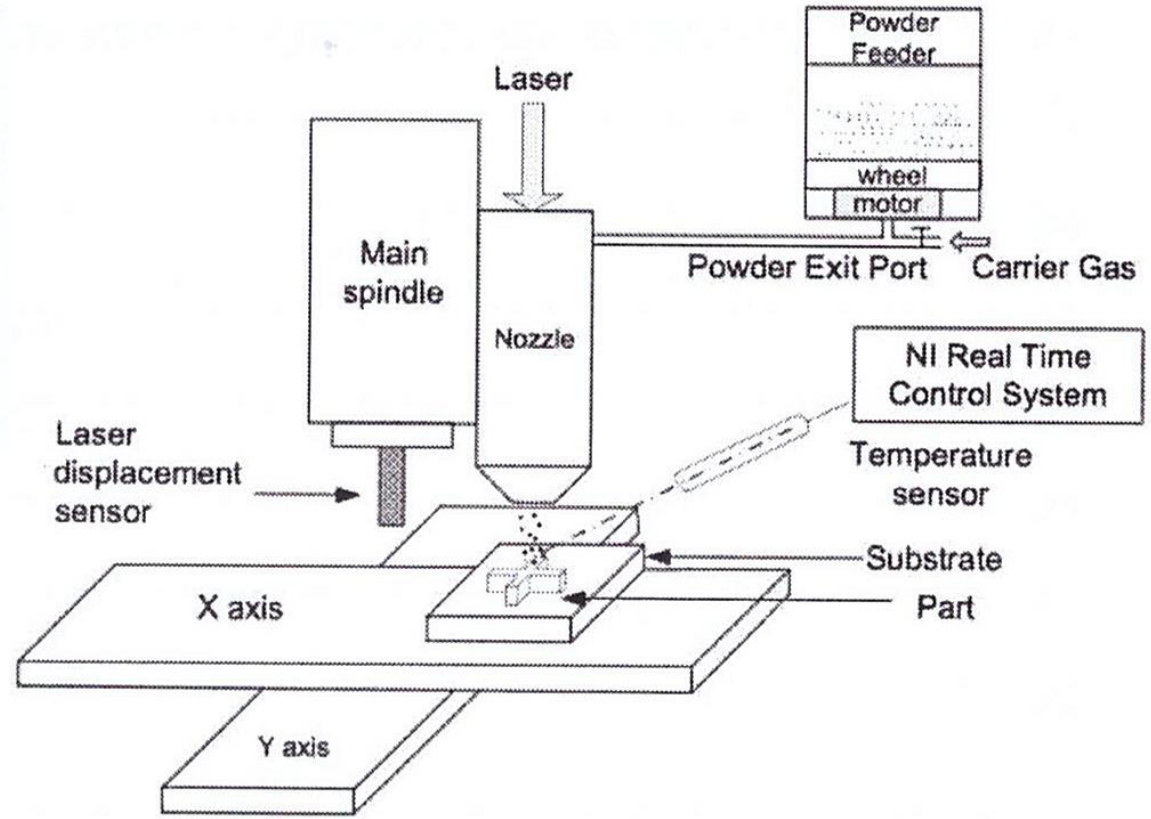
```
N10 G0 Z20
N20 X-23,883 Y-1,858
N30 Z11,298
N40 G1 Z6,289 F5000
N50 G1 Y-1,865 Z5,76
N60 G1 X-23,875 Z5,61
```

Wnioski z badań symulacyjnych:

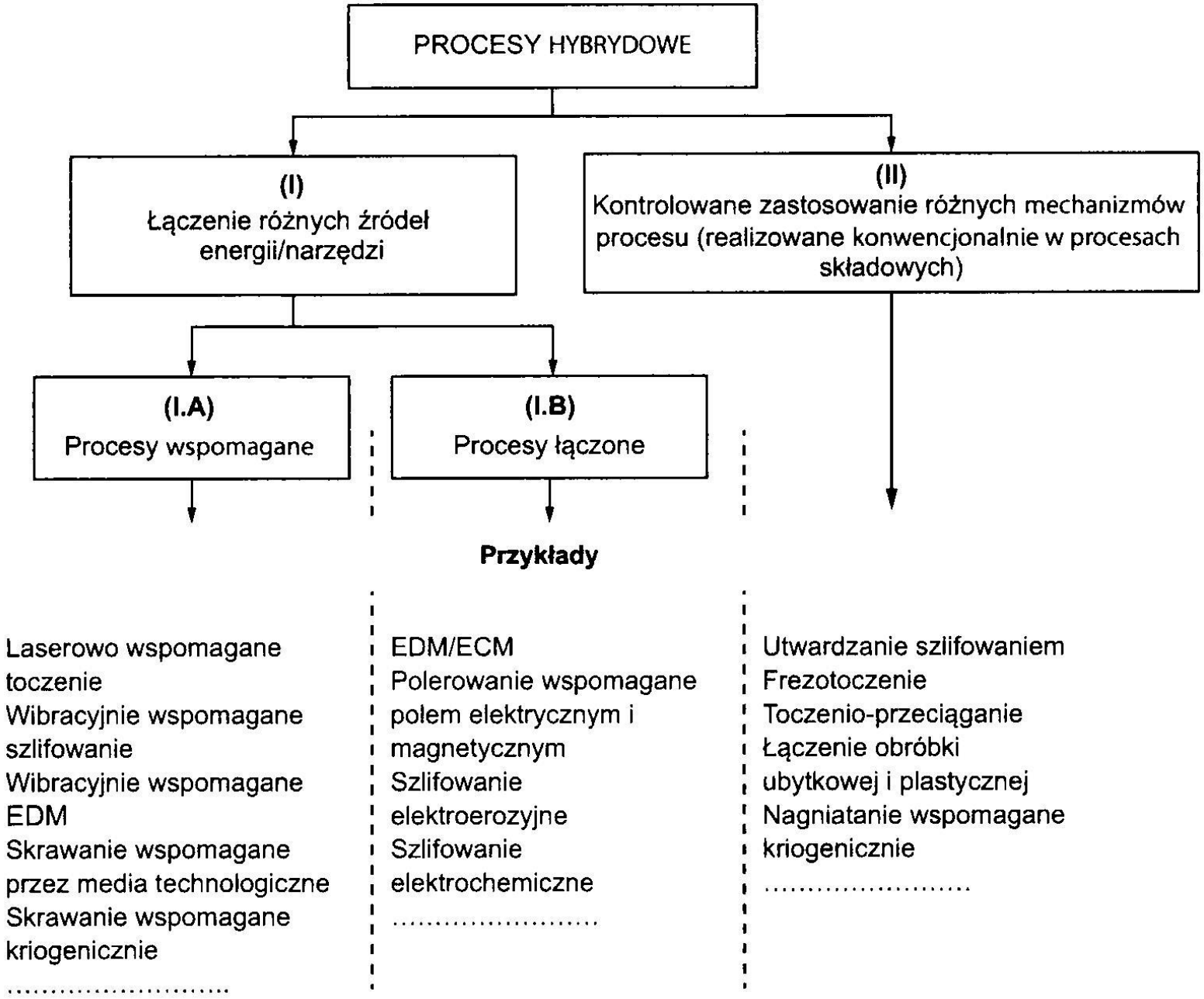
- Maksymalna dynamika
- Elementy ograniczające w przypadku konkretnej obróbki
- Częstotliwość rezonansowa/Sztywność
- Wpływ ustawienia obrabiarki i fundamentowania
- Wirtualna obróbka (czas i jakość)
- **Wykrycie słabych punktów modelu obrabiarki i ich korekcja**



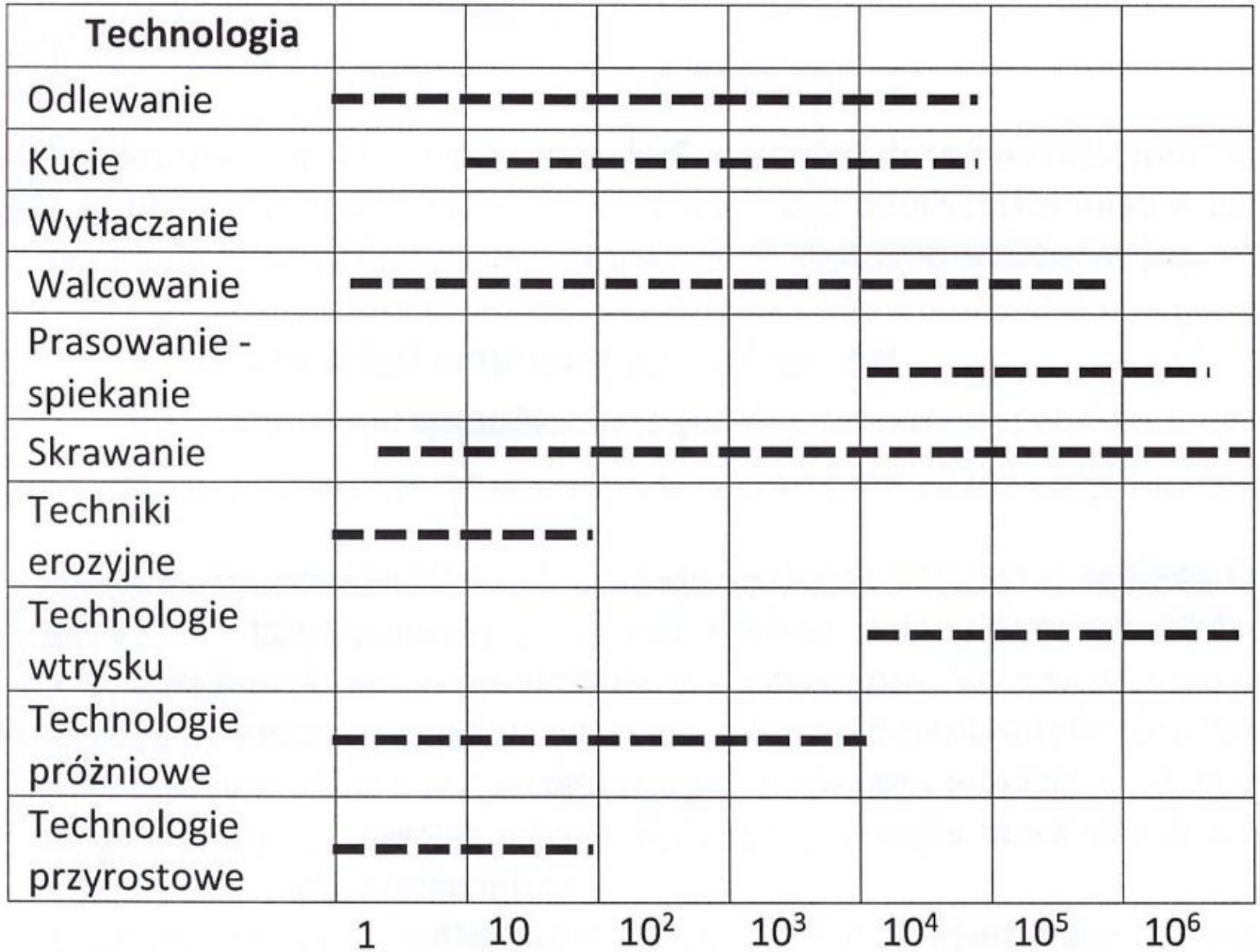




Koncepcja obrabiarki hybrydowej z wrzecionem frezarskim i głowicą do laserowego napawania proszkowego [27-2]



Hybrydowe procesy wytwarzania/obróbki [wg CIRP]



Orientacyjne zakresy ekonomicznej ilości wyrobów wytwarzanych z zastosowaniem różnych technologii