

Metalurgia proszków

Dr inż. Hanna Smoleńska

Materiały edukacyjne

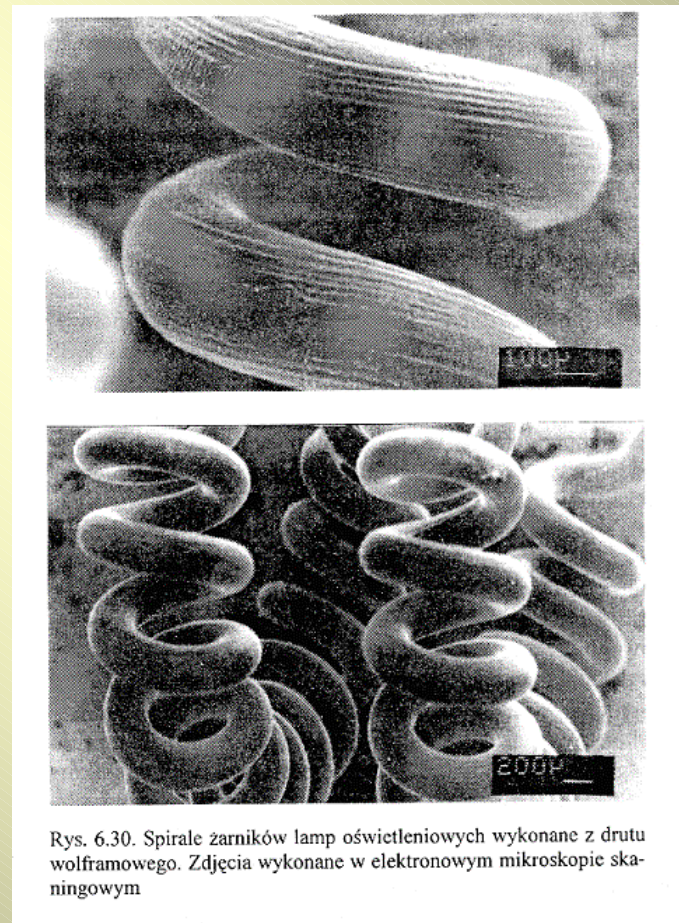
DO UŻYTKU WEWNĘTRZNEGO

Część II - wyroby

WYROBY SPIEKANE

- Wyroby konkurencyjne
 - Wyroby z żelaza, stali węglowej i stopowej, stopy miedzi
- Wyroby bezkonkurencyjne
 - Spieki o celowo zaprojektowanej dużej porowatości otwartej
 - Spieki kompozytowe metalowo-ceramiczne
 - Wyroby konstrukcyjne o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej (metale i stopy zbrojone dyspersyjną fazą ceramiczną)
 - Spieki z przeważającą ilościowo fazą ceramiczną (np. materiały narzędziowe)
 - Wyroby cierne
- Spieki pseudostopowe (np. styki elektryczne)

- Wyroby ze spiekanego wolframu i innych metali trudnotopliwych



- Proszkowe wyroby magnetyczne

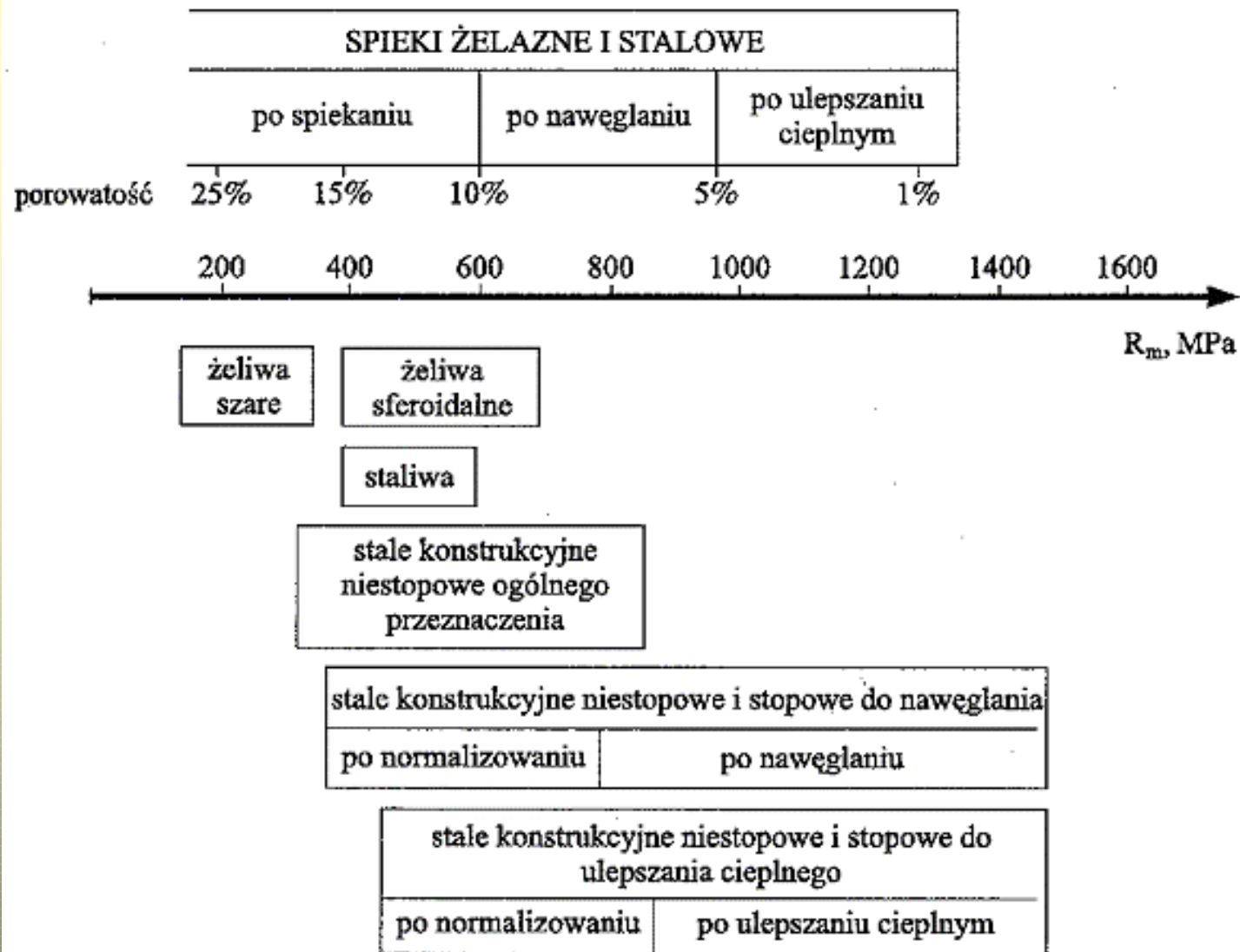
Masowe produkty spiekane

Własności

Zaletą elementów wykonanych z proszków spiekanych metali jest zwiększona odporność i wytrzymałość na korozję i ścieranie w przypadku spiekania proszków stalowych o specjalnym składzie chemicznym.

Parametry wytrzymałościowe tych elementów wynoszą:

- wytrzymałość na rozciąganie ok. 220 MPa,
- twardość ok. 50 HB,
- wydłużenie ok. 20 %.



Rys. 6.5. Porównanie spieków żelaznych i stalowych z konwencjonalnymi stopami żelaza pod względem wytrzymałości na rozciąganie

Zastosowanie

Spieki tego typu znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym i maszynowym.

Wykonuje się z nich elementy tj. koła zębate, rolki, podkładki, nakrętki, zapadki, części amortyzatorów, gniazda zaworów, okucia budowlane itp.

Bardzo szeroko rozpowszechnione są spieki proszków miedzi i jej stopów.

Wytwarza się z nich części maszyn, okucia budowlane i medale. Najczęściej miedź spiekana jest z proszkami Sn i Zn lub w postaci proszków ze stopów miedzi Cu-Pb i Cu-Zn.

Łożyska i filtry

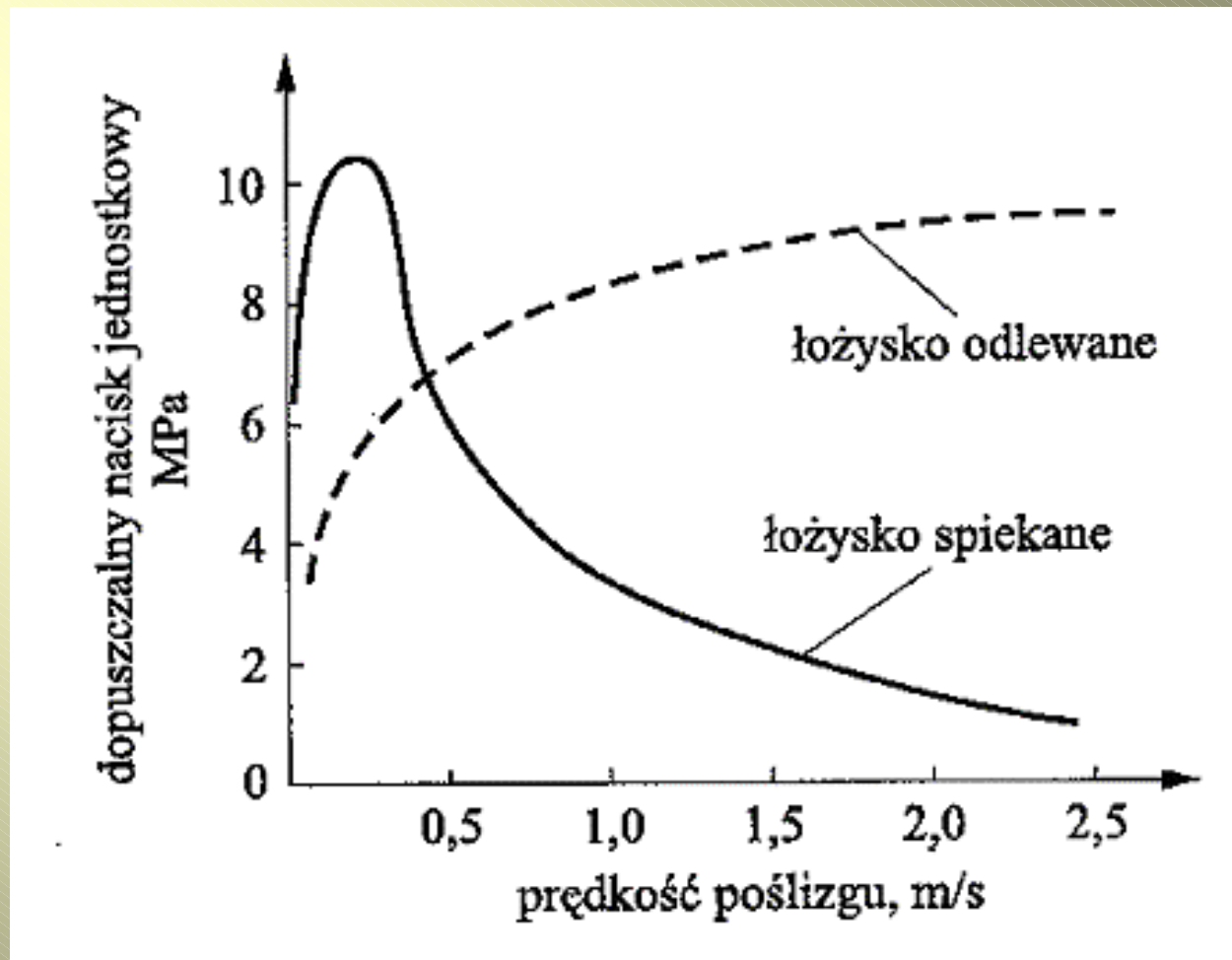
Łożyska lite

Łożyska takie są przeznaczone do pracy przy wysokich obciążeniach i w ekstremalnych warunkach temperaturowych (wysokich lub niskich) uniemożliwiających zastosowanie smarowania. Wytwarzane są one przez prasowanie na gorąco lub nasycanie spieków o wysokiej porowatości metalami o niższej temperaturze topnienia. Aby zapewnić samosmarowność posiadają one duży udział grafitu lub innych metali niskotopliwych. Najczęściej wytwarzane są one z **żelazografitu** i **miedziografitu** oraz **brązu ołowiowego** o stężeniu ołowiu 10 – 40%.

Łożyska samosmarowne porowate

Cechą charakterystyczną materiałów na te łożyska jest bardzo wysoka porowatość. Pory wewnątrz materiału tworzą kapilarne kanaliki, których objętość stanowi do 50 % całkowitej objętości łożyska. Najczęściej używanym surowcem do produkcji tych elementów to stopy **żelaza, miedzi** z dodatkiem proszków niemetalu lub grafitu. Łożyska te są produkowane w postaci cienkościennych tulei lub tulei z kołnierzami.

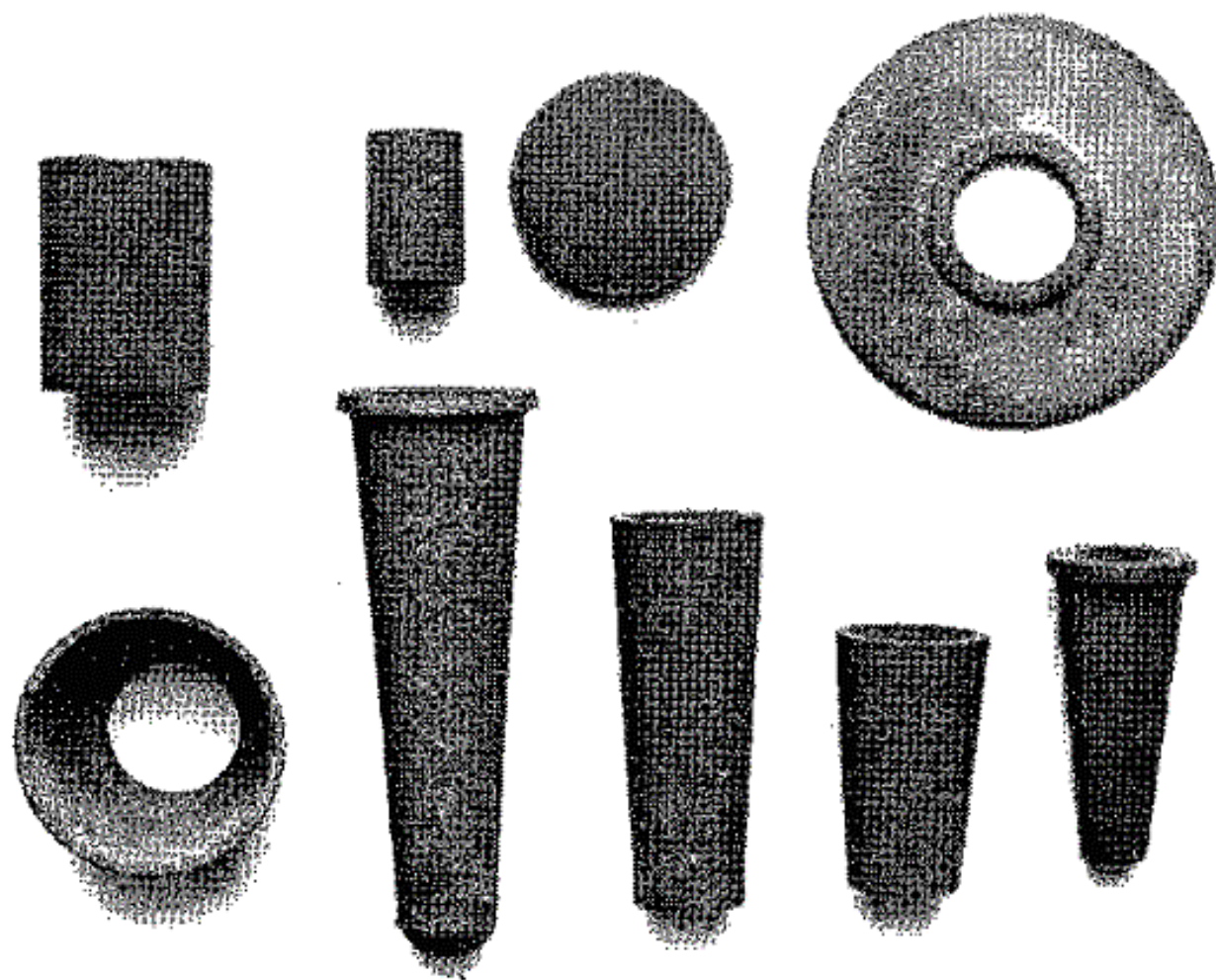
Podczas pracy eksploatacyjnej łożyska te są nasycane olejami, które smarują pracujący wał. Stosowane są one w układach gdzie nie można doprowadzić dodatkowego smarowania oraz tam gdzie nie można dopuścić do wycieku oleju.



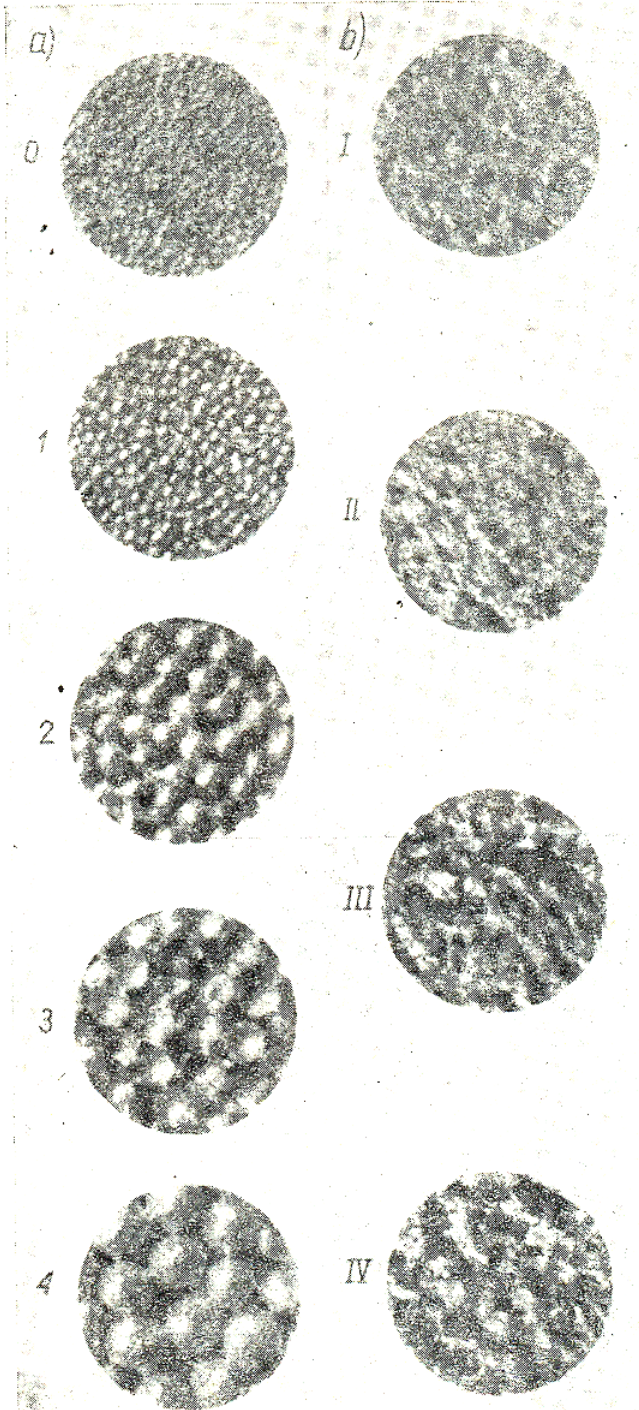
Porównanie łożysk spiekanych i odlewanych pod względem obciążalności

Filtry porowate

Elementy spiekane o porowatości do 50 % znajdują zastosowanie jako filtry. Umożliwiają one oczyszczanie z cząstek o średnicy 10^{-3} - 10^{-4} mm. Stosowane są także w przypadku gazów do osuszania i filtrowania a czasami do regulacji ciśnienia. Do wytwarzania tych filtrów stosuje się w zależności od warunków pracy, przede wszystkim temperatury, proszki różnych metali i stopów. Najczęściej wykonuje się je z **brązów cynowych, stali chromowych i austenitycznych lub mosiądzów niklowych**. Filtry te posiadają dobre własności wytrzymałościowe tj. **wytrzymałość na rozciąganie i zginanie, obciążenia udarowe i działanie wysokiej temperatury**. Mogą być oczyszczane przez przedmuchanie lub metodami chemicznymi. Znalazły one zastosowanie w przemyśle zbrojeniowym, lotniczym, motoryzacyjnym i chemicznym



Rys. 6.13. Przykłady spiekanych filtrów kształtowych



Struktury filtrów: a) z proszków kulistych, brązowych;

0 -4 stopień porowatości, odpowiednio: $1\mu\text{m}$; $1\div 10\mu\text{m}$; $10\div 25\mu\text{m}$; $50\div 100\mu\text{m}$

b) Z proszków stali nierdzewnej;

I-IV – stopień porowatości: $1\mu\text{m}$; $1\div 10\mu\text{m}$; $10\div 25\mu\text{m}$; $25\div 50\mu\text{m}$

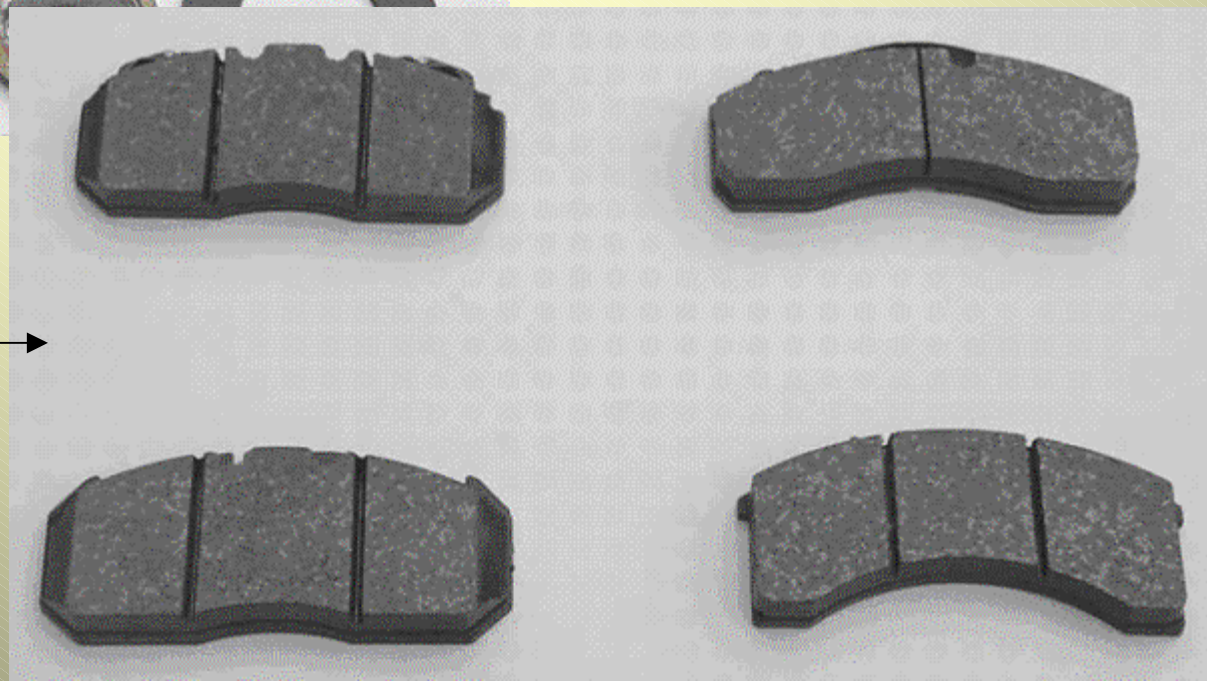
Materiały cierne

Tabela 6.2. Skład chemiczny wybranych spieków ciernych na osnowie miedzi lub żelaza

Rodzaj spieku	Zawartość składnika, %							
	Cu	Sn	Fe	Pb	grafit	MoS ₂	SiO ₂	inne
spieki na osnowie miedzi	67,7	5,1	8	1,5	6,2	5	2,5	3Al ₂ O ₃
	68,5	8	4,5	3	6	6	4	-
	70	-	-	5	12	-	-	8MgO, 5Ti
	72	5,7	3,3	6,8	8,7	1,4	1,9	0,2Al ₂ O ₃
spieki na osnowie żelaza	-	-	60	-	15	-	-	14 mulit, 11Bi
	-	-	80	-	10	-	-	10 SiC
	-	do 10	reszta	do 10	do 10	-	-	5-50 silimanit



← Okładziny cierne



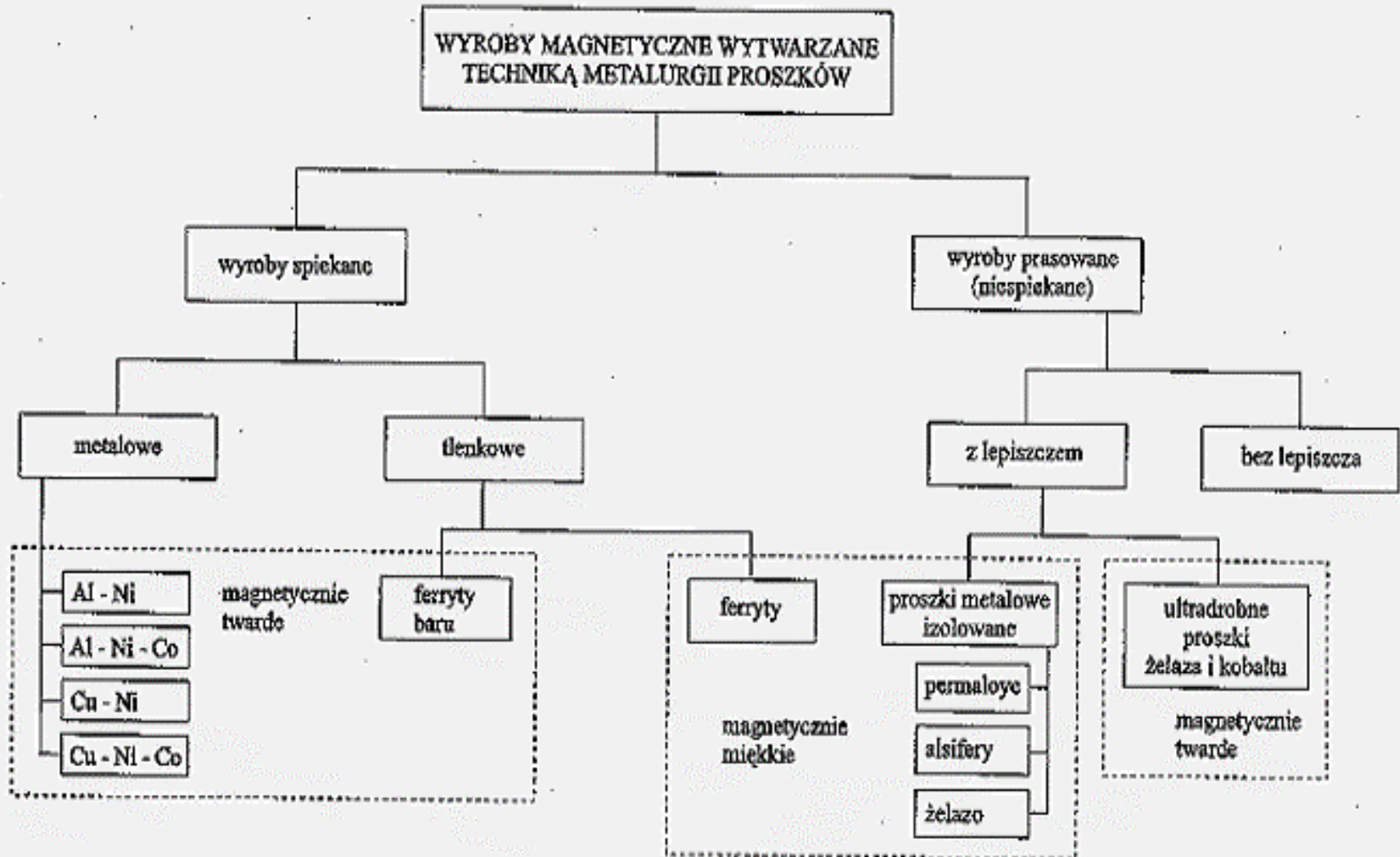
Klocki hamulcowe →

Spieki magnetyczne

Spiekane magnesy trwałe

Technika proszków spiekanych pozwala na mieszanie proszków a co za tym idzie możliwość projektowania ich własności magnetycznych. Magnesy trwałe spiekane produkuje się z proszków **żelaza, niklu, kobaltu i aluminium** w operacji prasowania na zimno oraz prasowania i spiekania. Prasowanie na gorąco wykorzystuje się do produkcji magnesów o skomplikowanych kształtach i ściśle określonych własnościach z proszków **żelaza, tytanu, aluminium i kobaltu**. Własności wytrzymałościowe magnesów spiekanych są bardzo niskie. Dodatkowo poddawane są one hartowaniu w temperaturze 1050° - 1250°C i następnie odpuszczaniu w temperaturze 600° - 650°C.

Klasyfikacja wyrobów magnetycznych



Spieki magnetycznie miękkie

Magnetycznie miękkie rdzenie różnych cewek są najczęściej wykonywane przez prasowanie lub prasowanie i spiekanie. Najczęściej stosowanym materiałem spiekany magnetycznie miękkim jest tzw. **ferryt**. Są to roztwory stałe tlenku żelaza Fe_2O_3 z tlenkami innych metali.

Najczęściej stosuje się **ferryty manganowo-cynkowe, niklowo-cynkowe, magnezowo-cynkowe**.

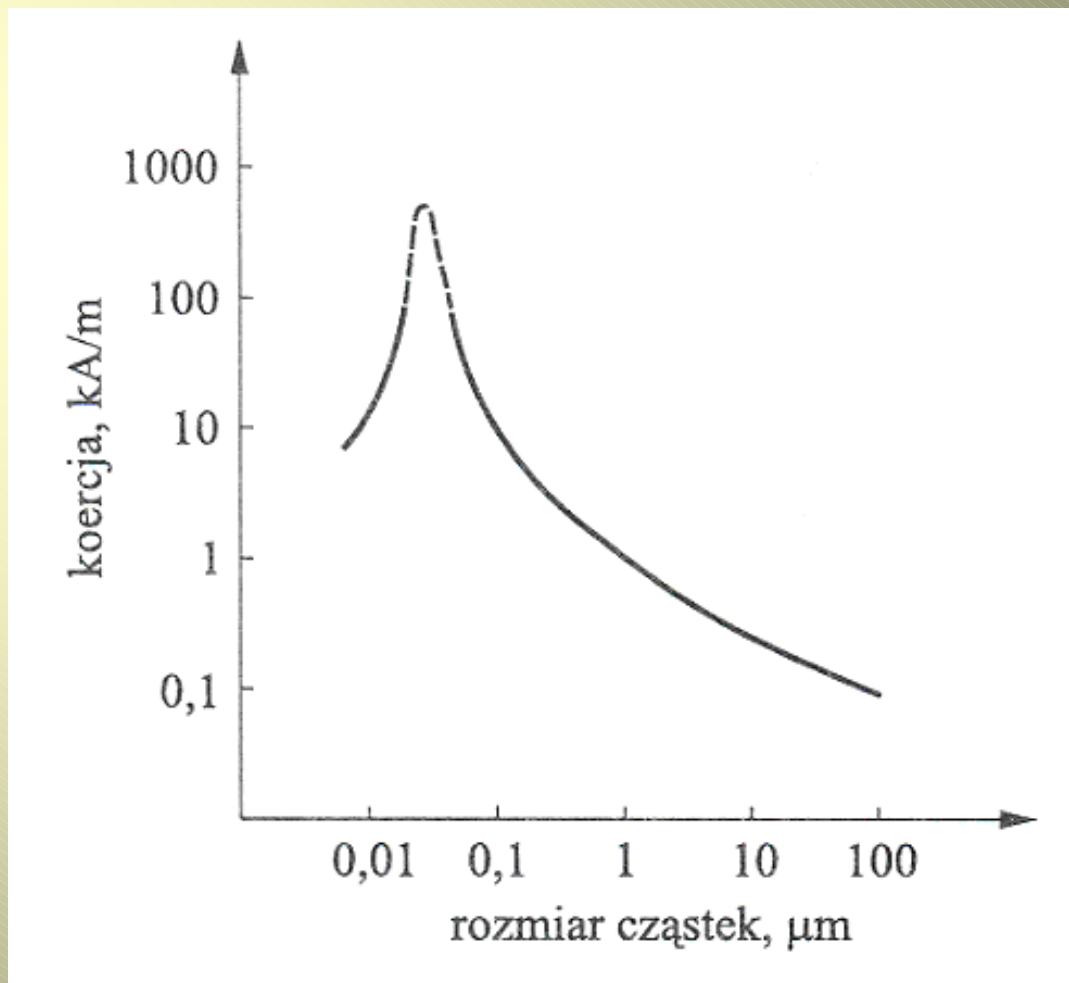
Charakterystyka ferrytów

Rodzaj ferrytów	Typ struktury	Skład chemiczny		Charakterystyka magnetyczna
		wzór ogólny	przykłady	
magnetycznie twarde	struktura magnetoplumbitu	$(Me^{II}O)_{m/2} \cdot (Fe^{III}_m Me^{III}_x O_3)_n$ $1 \leq m \leq 10, 6 \leq n \leq 14$ $Me^{II} = Ba, Sr, Pb$ $Me^{III} = Al, Ga$	$BaFe_{12}O_{19}$	koercja $H_c = 100-300$ kA/m, materiały izotropowe i anizotropowe
magnetycznie miękkie	struktura spinelu	$Me^{II} Fe_2^{III} O_4$ $Me^{II} = Ni, Zn, Mn, Mg, Co, Cu$	$Mn_{0,56}Mg_{0,61}Fe_{1,94}O_4$	$H_c = 0,15-0,45$ kA/m, prostokątna pętla histerezy
			$Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$	$H_c = 0,064$ kA/m, pętla histerezy w kształcie litery S
	struktura granatu	$Me_3^{III} Fe_5^{III} O_{12}$ $Me^{III} = Y, Nd, Sm$	$Y_3Fe_5O_{12}$	$H_c = 0,06$ kA/m, materiał wykazuje właściwości ferroelektryczne

Różnorodne własności magnetyczne uzyskuje się przez dobór:

- Składu chemicznego
- Zaprojektowanie odpowiedniej struktury spieku (wielkość ziarn, udział objętościowy porów)
- Technologii

Zależność koercji proszku żelaza od wielkości cząstek



Styki i spieki elektryczne

Spiekane styki elektryczne

Proszki spiekane zostały zastosowane na styki elektryczne tj. szczotki kolektorowe ze względu na posiadane odporność na **iskrzyenie, spiekanie oraz zgrzewanie** podczas pracy oraz w przypadku styków pracujących głównie w zwarcu, tzn. głównie przewodzących prąd, ze względu na niską rezystywność. Zalety proszków spiekanych wykorzystywane są w produkcji **spiekanych styków pseudostopowych**. Powstają one poprzez spieczenie porowatego **szkieletu** z trudno topliwych proszków metali tj. **wolfram i molibden**, o dużej wytrzymałości mechanicznej i odporności na ścieranie. Następnie nasycy się je metalem o dużej przewodności elektrycznej tj. **miedź czy srebro**.

Rodzaje zestyków, warunki pracy i wymagania:

Zestyki rozłączne – łączniki elektryczne (przewodzenie prądu i przejściowe stany wywołane łączeniem)

- Elektryczne warunki pracy (np. napięcie, rodzaj prądu, iskrzenie itp.)
- Mechaniczne warunki pracy (np. Siła nacisku, wibracje itp.)
- oddziaływanie korozyjne środowiska

wymagania:

- ❖ Duża gęstość
- ❖ Znaczna przewodność elektryczna i cieplna
- ❖ Odporność na zgrzewanie i spiekanie
- ❖ Odporność na elektroerozję i korozję

Zestyki ślizgowe – łączenie w sposób ciągły uzwojenia wirników maszyn elektrycznych z obwodami zewnętrznymi - szczotki

- ❖ Dobra przewodność elektryczna
- ❖ Odporność na ścieranie
- ❖ Mały współczynnik tarcia
- ❖ Wystarczająca twardość
- ❖ Wystarczająca wytrzymałość

SPIEKANE STYKI ELEKTRYCZNE

spieki do zestyków rozłącznych

spieki do zestyków ślizgowych

metale trudno topliwe

W
Mo
Re

kompozyty

pseudostopy

W - Cu
W - Ag
Cu - Pb
Ag - Ni
Mo - Cu

spieki ciężkie

W - Cu - Ni
W - Cu - Co

metal - tlenek

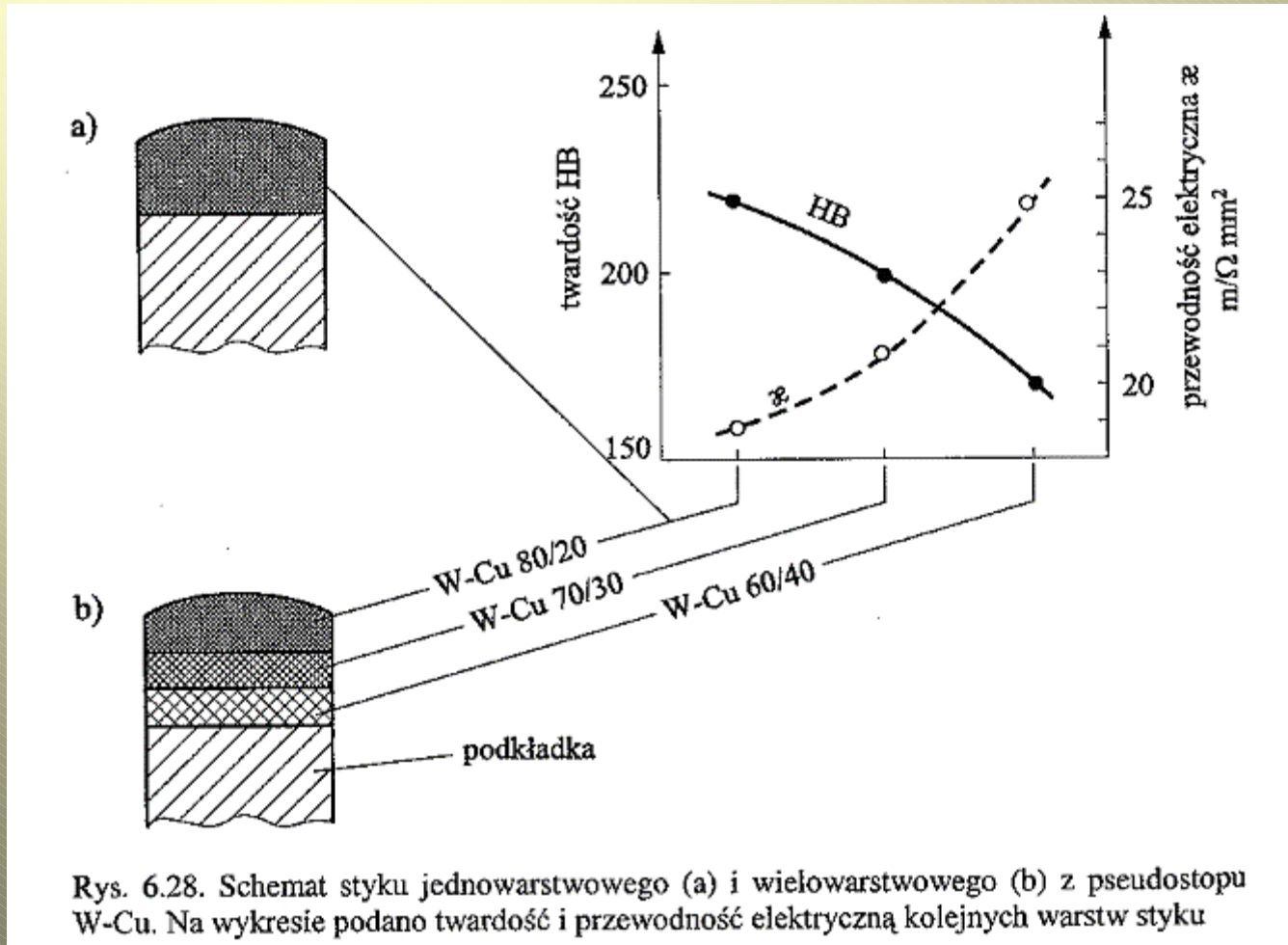
Ag - CdO
Ag - CuO
Ag - ZnO
Ag - PbO
Ag - SnO₂
Ag - NiO
Ag - CdO - CuO
Ag - CdO - ZrO₂
Ag - CdO - Al₂O₃

metal - grafit

Ag - grafit
Cu - grafit
brąz - grafit

Klasyfikacja spiekanych styków elektrycznych

Styki spiekane produkują się także **metodą wielowarstwową** polegającą na nakładaniu kolejnych warstw materiału o coraz mniejszej zawartości materiału stanowiącego szkielet. W ten sposób uzyskuje się ciągłą zmianę oporności styku wraz z oddalaniem się od powierzchni roboczej, co zapobiega tworzeniu się łuku elektrycznego. Najczęściej stosowanymi **stykami przy pracy z niskim i wysokim napięciem** są styki na **osnowie wolframu i molibdenu**. Na **stykach ślizgowych** typu szczotki kolektorowe stosuje się spieki typu **srebro-grafit i miedź-grafit**.

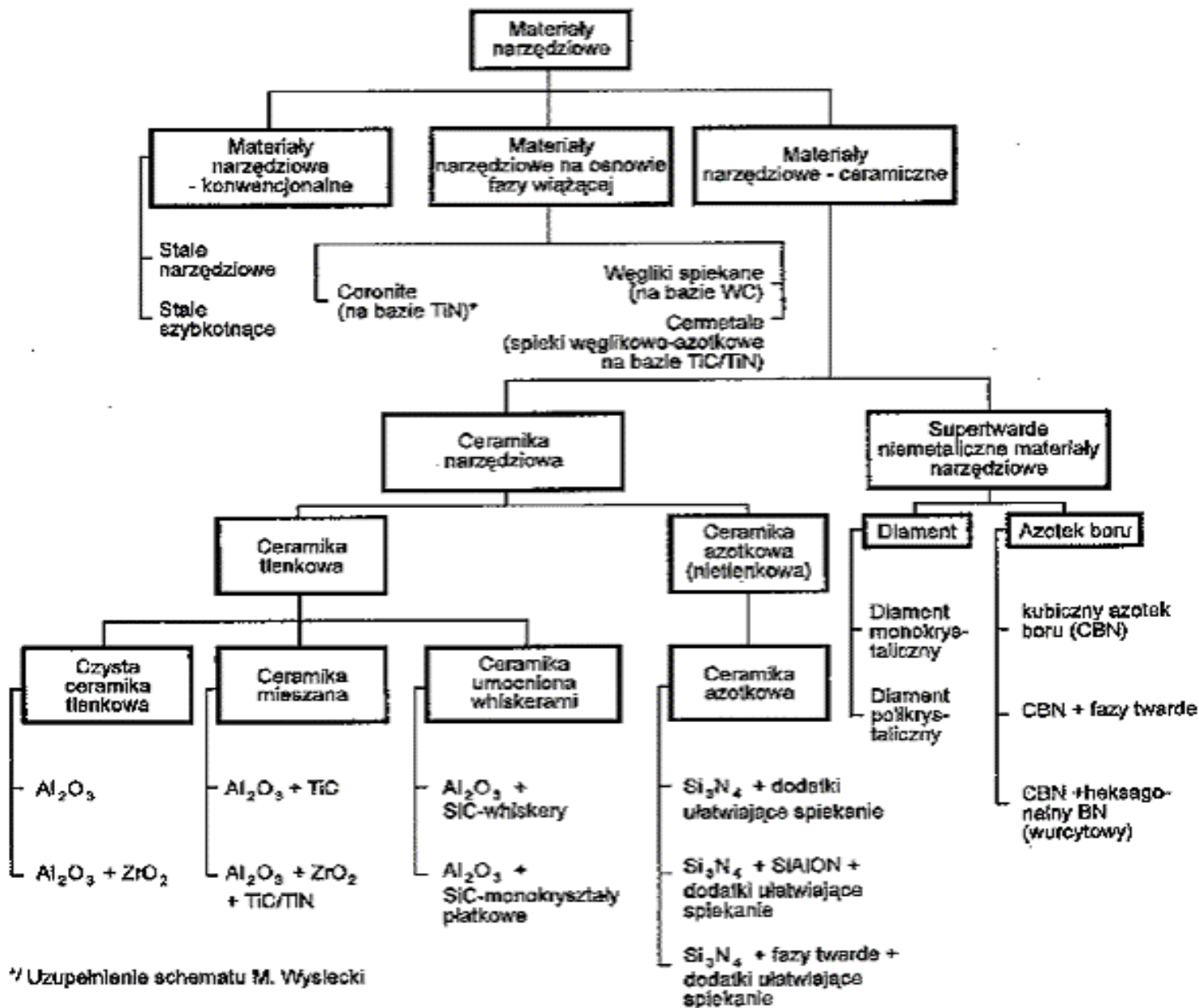


Rys. 6.28. Schemat styku jednowarstwowego (a) i wielowarstwowego (b) z pseudostopu W-Cu. Na wykresie podano twardość i przewodność elektryczną kolejnych warstw styku

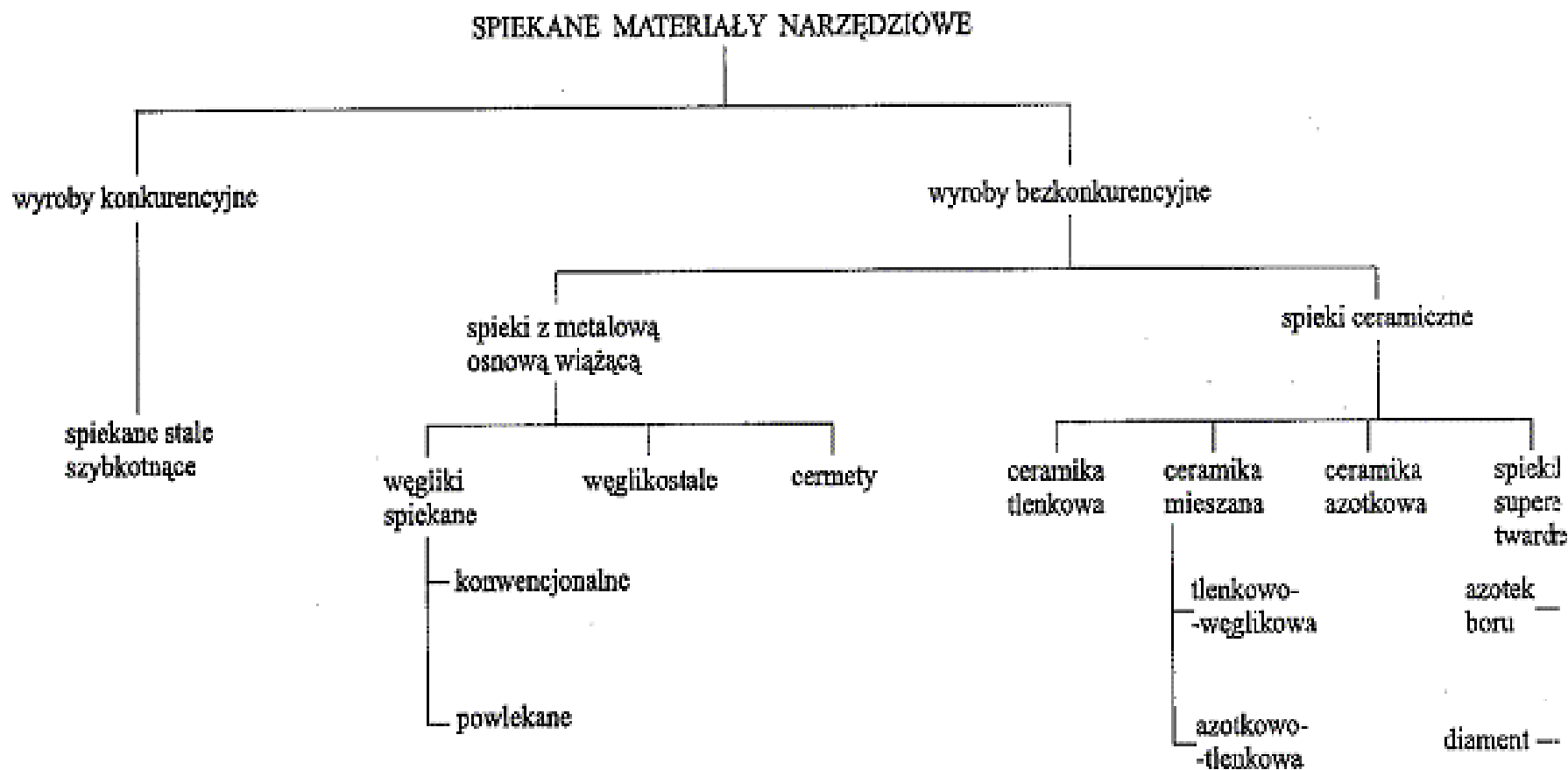
Spiekane przewodniki elektryczne

Przewodniki wykonywane w technice proszków spiekanych wykorzystywane są głównie na elementy aparatury próżniowej lamp żarowych i elektronowych. Często są to elementy wykonywane z proszków czystych metali, tj. miedź, żelazo, nikiel oraz mieszanin metali umożliwiających regulowanie własności fizycznych produktu. Przykładami takich mieszanin proszków są: Fe-Cr, Fe-Cr-Ni, Fe-Ni, Fe-Ni-Mo. Metodą spiekania proszków można także wykonać półprzewodniki stosowane w elektronice z mieszanin proszków tlenków metali $ZrO_2-Fe_2O_3$ lub tlenków metali z metalami, np. Ni-TiO₂ i inne.

Materiały narzędziowe



Spiekane materiały narzędziowe



Wymogi wobec materiału narzędziowego

- ❖ twardość
- ❖ odporność na ścieranie
- ❖ odporność na zużycie

Zdolność skrawania z dużymi prędkościami i ciągliwość materiału są to cechy wzajemnie zależne i przeciwstawne.

Użyteczność poszczególnych materiałów skrawających można rozpatrywać z różnego punktu widzenia:

- ❖ twardość materiału w temperaturze otoczenia,
- ❖ twardość w podwyższonej temperaturze,
- ❖ stabilność składników strukturalnych,
- ❖ własności smarne,
- ❖ powinowactwo chemiczne składników materiału skrawającego do materiału skrawanego,
- ❖ zjawiska dyfuzji wzajemnej składnik narzędzia i obrabianego przedmiotu.

Podczas obróbki skrawaniem ostrze narzędzia rozgrzewa się do wysokiej temperatury, dlatego cechą wszystkich materiałów przeznaczonych na narzędzia do intensywnej obróbki skrawaniem jest **wysoka twardość w podwyższonej temperaturze.**

Tabela ilustruje znaczenie poszczególnych materiałów narzędziowych według wartości produkcji wykonanej za ich pomocą oraz masy zeskranych wiórów.

Znaczenie materiałów narzędziowych według wartości wykonanej za ich pomocą produkcji oraz masy zeskranych wiórów		
Materiał narzędziowy	Wartość produkcji, [%]	Masa zeskranych wiórów, [%]
stal szybko tnąca	65	28
węgliki spiekane	33	68
spiekane ceramiczne Si-Al-O-N	2	4
polikrystaliczny diament i azotek boru	1	1

Siekane stale szybkoonące

Stale szybkoonące sę narzędziowymi stalami wysokostopowymi zawierającymi do około: 1,6% węgla, 18% wolframu, 9% molibdenu, 5% wanadu i 10% kobaltu. W przypadku wytwarzania tych stali metalurgia proszków jest metodę konkurencyjnę w stosunku do tradycyjnego wytapiania.

metoda tradycyjna - uzysk w procesie przerobu od wlewka do narzędzia wynosi 25%.

metalurgia proszków - uzysk do 85% (+ niższa pracochłonność procesu).

Własności

W porównaniu ze stalami konwencjonalnymi spiekane stale szybko tnące wykazują następujące zalety:

- lepsze własności użytkowe (można dowolnie dobierać skład tych stali przez mieszanie w odpowiednich proporcjach proszków węglików: WC, VC, TiC, Mo₂C, NbC oraz osnowy)
- brak segregacji węglików
- brak pasmowości,
- bardzo dobrą szlifowalność,
- dobrą plastyczność (nawet przy zawartości węglików do 40% objętości nadają się do obróbki plastycznej)
- dobrą obrabialność mechaniczną,
- dużą stabilność wymiarowa po hartowaniu i odpuszczaniu.

Zalety metody

Techniką metalurgii proszków można wytwarzać każdą ze stali szybkoitnących, jednak szczególnie opłacalna jest produkcja stali zawierających **najwięcej drogich pierwiastków stopowych**.

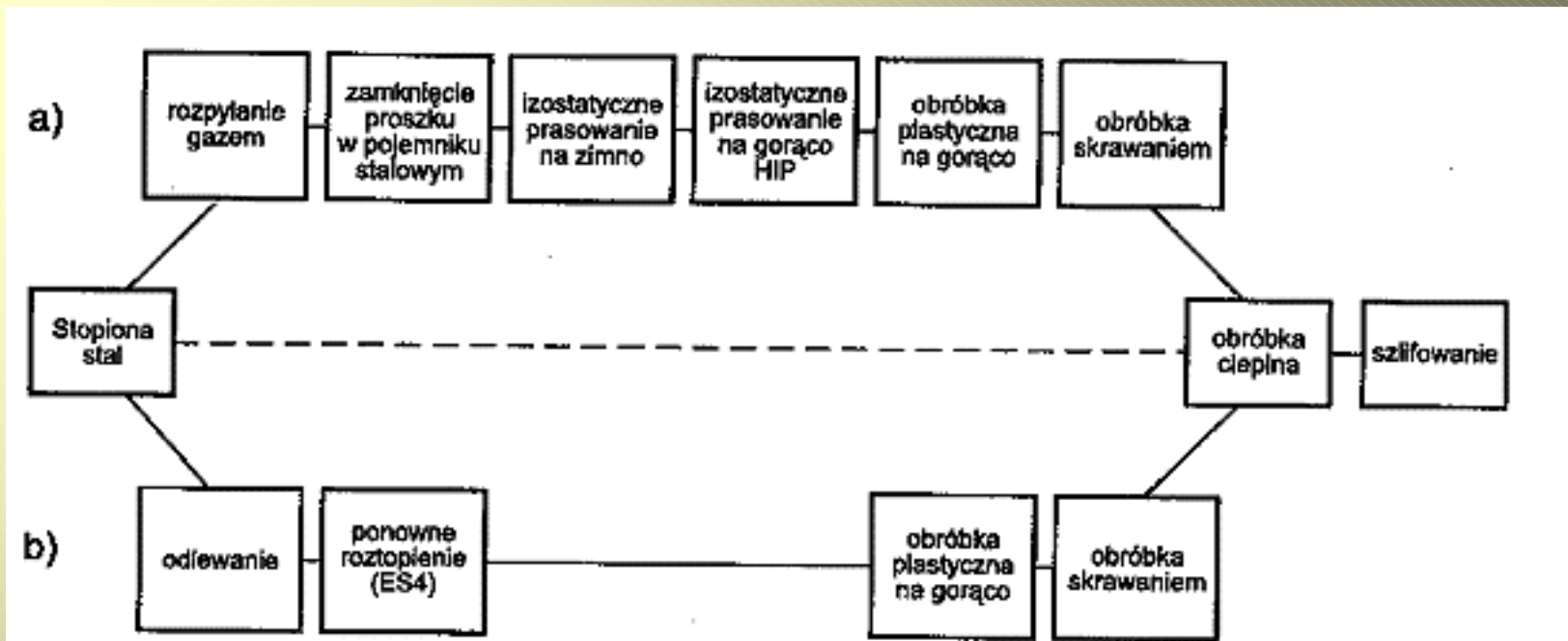
Produkcja polega na prasowaniu proszków stopowych na zimno lub gorąco.

W przypadku stosowania prasowania **izostatycznego** można produkować bloki stali szybkoitnącej **o masie dochodzącej do 1800 kg**.

Tą metodą wytwarza się także bardzo duże narzędzia o masie od **kilkunastu do kilkudziesięciu kilogramów**.

Narzędzia wykonane z wysokiej jakości stali szybkoitnącej wyprodukowanej metodą metalurgii proszków odznaczają się **1,5-3 razy większą trwałością** niż narzędzia wykonane ze stali szybkoitnącej otrzymanej metodą tradycyjną.

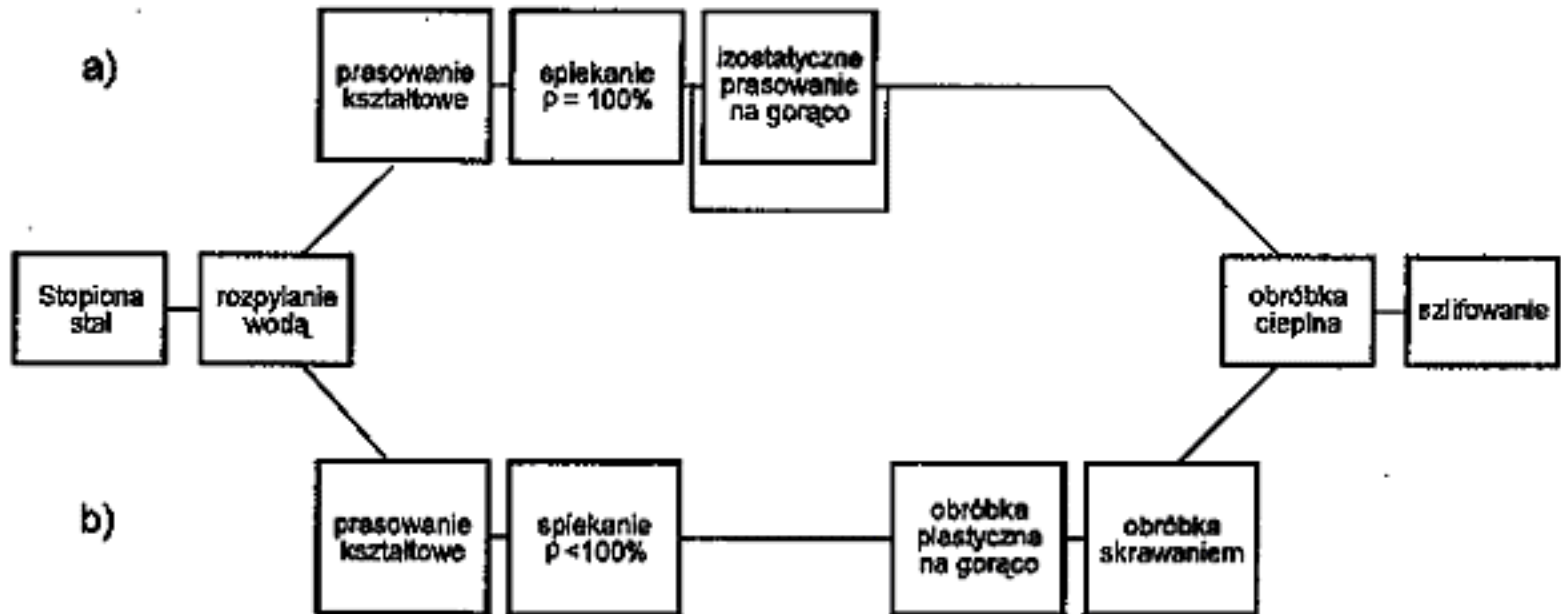
Metody wytwarzania



Rysunek 4.3. Schematyczne porównanie metod wytwarzania półwyrobów ze stali szybko tnącej: a) spiekanej, b) konwencjonalnej [5]

Metody technologiczne wytwarzania elementów ze spiekanej stali szybko tnącej dzieli się na:

- **specjalistyczne**, które pozwalają wytworzyć gotowe narzędzia i produkty o kształcie zbliżonym do końcowego, zwane też metalurgicznymi;
- **kombinacje** technologii metalurgii proszków i konwencjonalnej obróbki plastycznej, metoda ta pozwala na wykonanie wielkogabarytowych bloków, które następnie kształtuje się metodą obróbki skrawaniem.



Rysunek 4.4. Schemat wytwarzania gotowych wyrobów (a) i półwyrobów (b) ze spiekanych stali szybko tnących [5]

Przeznaczony do prasowania proszek stali szybko tnącej, zawierający nie więcej niż 0,02% tlenu, umieszcza się w cylindrycznych, stalowych kapsułach i wstępnie **zagęszcza wibracyjnie**. W kapsułach tych jest on następnie **prasowany izostatycznie na zimno** pod ciśnieniem ok. 400 MPa.

Po odpompowaniu gazów z wnętrza kapsuły, wykonuje się z kolei **prasowanie na gorąco** w temperaturze 1100°C i przy ciśnieniu 100 MPa.

Wskazania związane z wytwarzaniem:

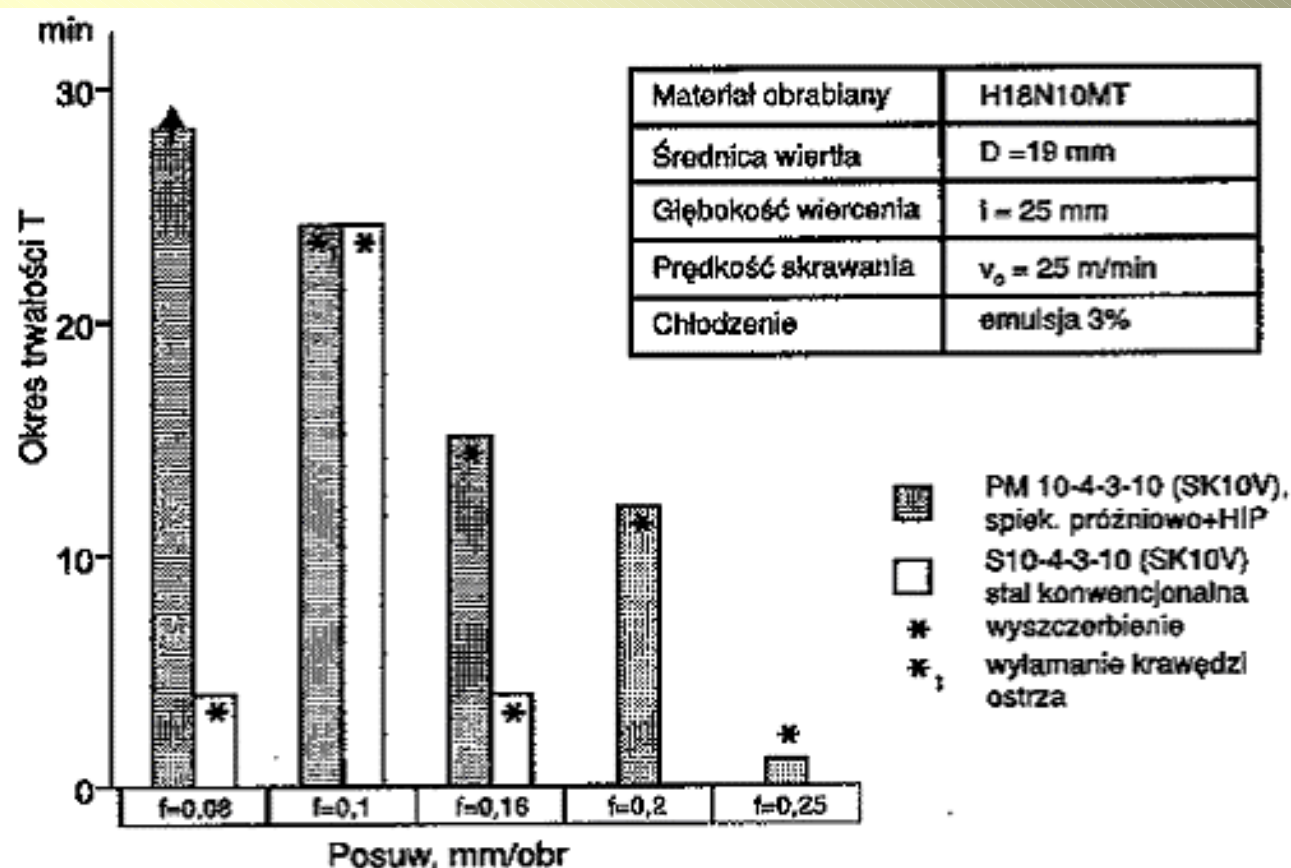
- Mniejsze narzędzia ze stali szybko tnących wytwarza się przez prasowanie w sztywnych matrycach.
- Narzędzia o skomplikowanych kształtach prasowane są w matrycach elastycznych. Spiekanie wyprasek przebiega w próżni lub w atmosferze ochronnej.
- Po spiekaniu ostateczny kształt nadaje się narzędziu metodą obróbki skrawaniem.
- Obróbka cieplna polega, podobnie jak w przypadku stali szybko tnących konwencjonalnych, na hartowaniu i odpuszczaniu. Po odpuszczaniu można przeprowadzić szlifowanie krawędzi tnących narzędzia.

Zastosowanie

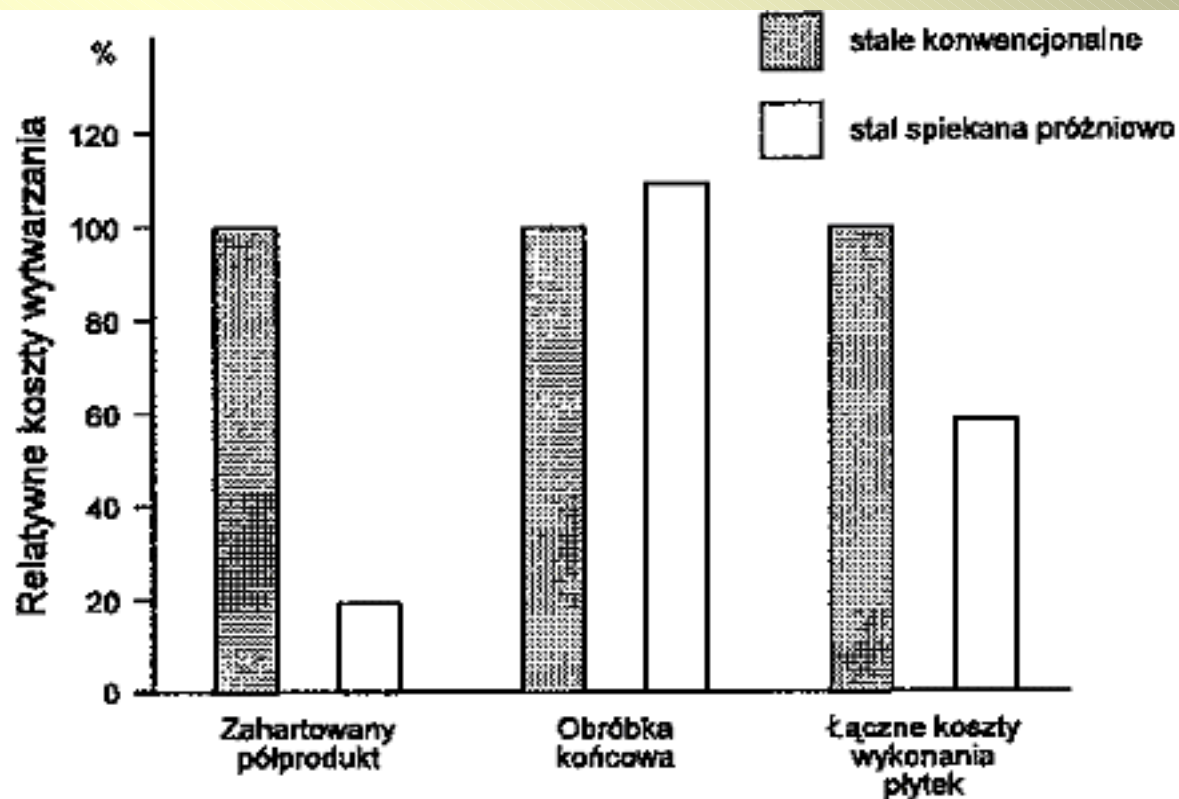
Główne zastosowanie spiekanych stali szybko tnących to narzędzia skrawające do **obróbki materiałów trudnoobrabialnych**. Skrawa się nimi takie materiały jak stale stopowe, stale o dużej wytrzymałości, stale konstrukcyjne ulepszone cieplnie.

Materiały te sprawdzają się jako narzędzia o **dużych wymiarach i masie** oraz **złożonym kształcie**.

Są one kilkunastokrotnie **trwalsze** niż narzędzia ze stali konwencjonalnej.



Rysunek 4.11. Porównanie okresu trwałości wiertel wykonanych ze spiekanej i konwencjonalnej stali szybko tnącej przy wierceniu stali kwasoodpornej [27]

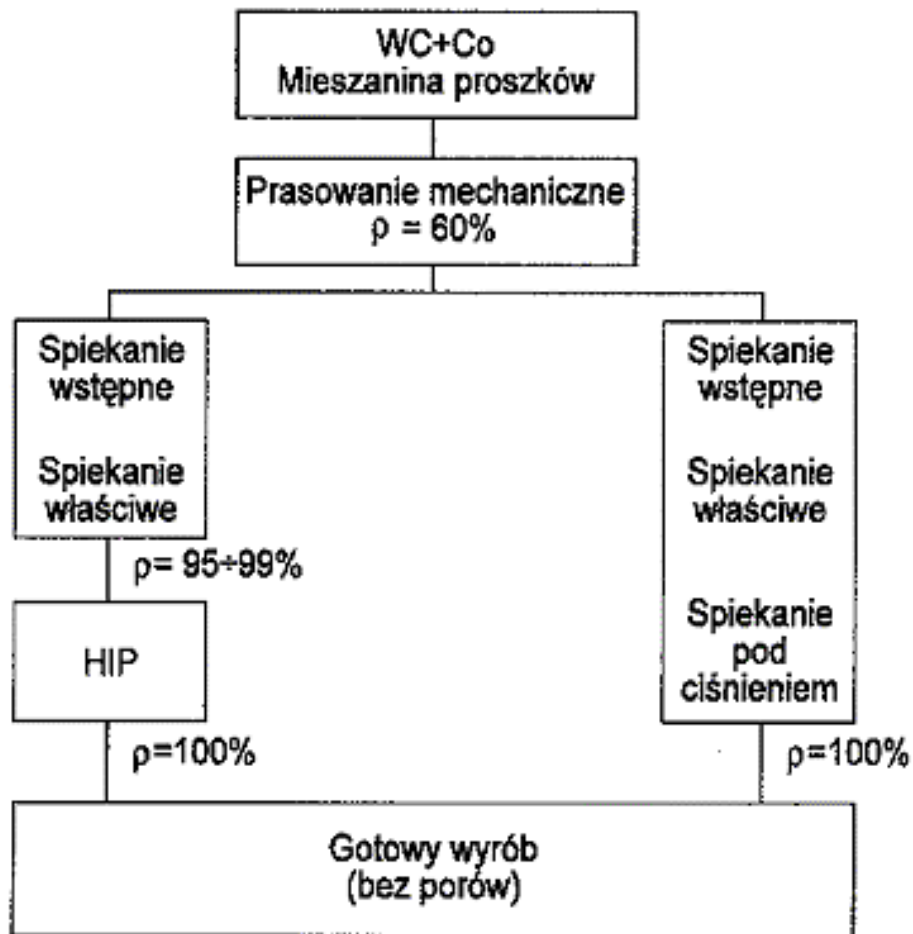


Rysunek 4.17. Porównanie kosztów wykonania płytek narzędziowych ze stali szybko tnącej konwencjonalnej i spiekanej [28]

Węglik spiekane

Nazwą **węglik spiekane** określamy grupę narzędziowych materiałów spiekanych, w których strukturze od **70 do 90%** objętości zajmują **węglik metali**, a resztę stop wiążący np.:

Skład chemiczny węglików spiekanych			
Gatunek	WC, [%]	TiC+TaC+NbC, [%]	Co, [%]
S 10 S	56	35	9
S 20	78	14	8
H 03	94	-	6
H 10 S	91	4,5	4,5
U 10 S	84,8	9,7	5,5
G 30	85	-	15
G 50 S	74,8	0,2	25
B 0	93	-	7
B 45	89	-	11



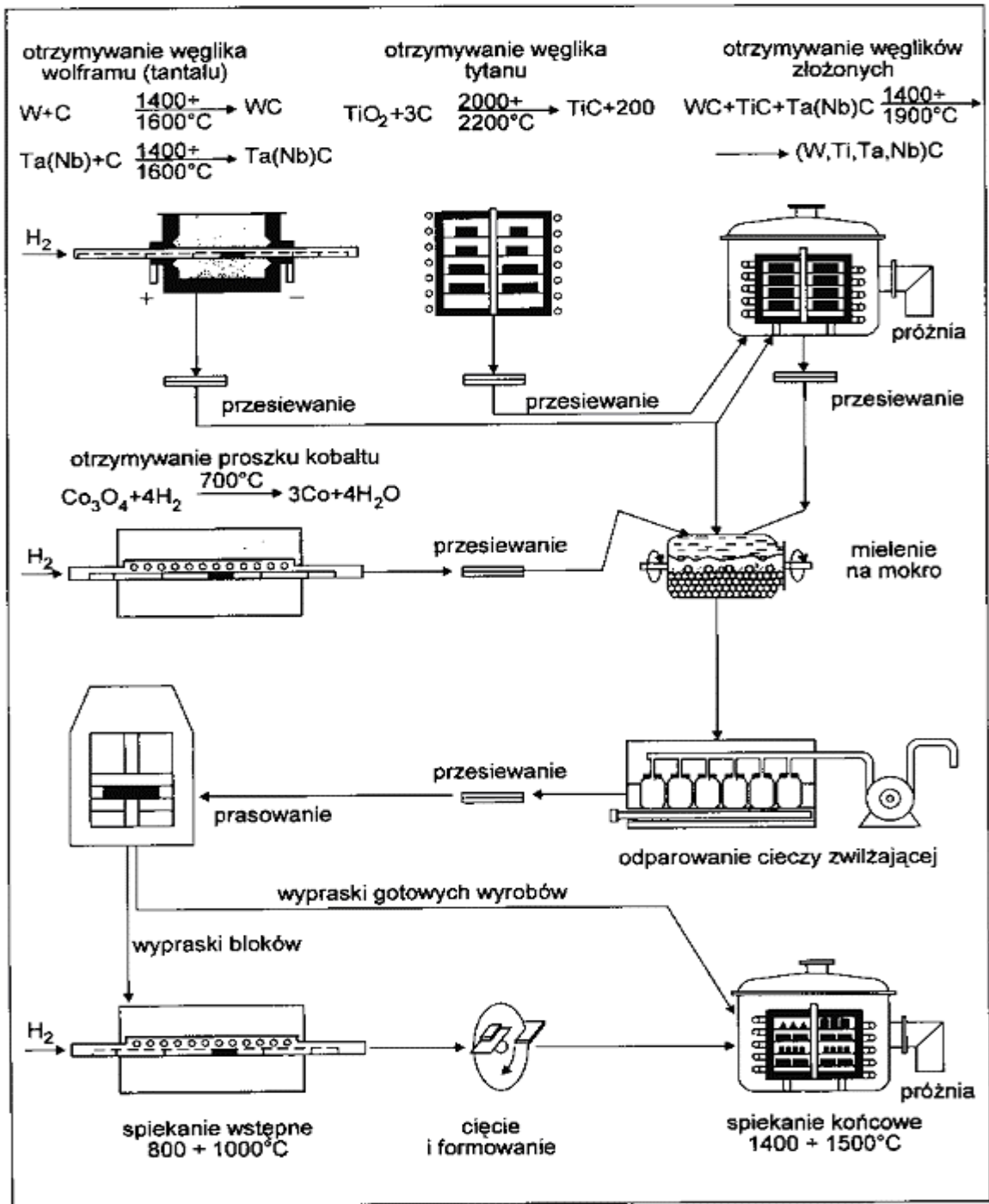
Rysunek 4.19

Metody wytwarzania płytek narzędziowych z węglików spiekanych [5] (wg, firmy Degussa)

Metal wiążący; kobalt lub w węglkach spiekanych wyższej klasy - stop **kobaltu z rutenem**. Wersja oszczędnościowa - zamiast kobaltu, tańsze metale - **nikiel i żelazo**.

Twarda faza; węgiel wolframu (WC), a także węgliki innych metali: tytanu (**TiC**), tantalu (**TaC**), niobu (**NbC**), molibdenu (**MoC**), chromu (**Cr₃C₂**). Udział TiC do 35%, TaC do 7%, VC i Cr₃C₂ około 1-2% (zapobiegają rozrostowi podczas spiekania ziarn pozostałych węglików)

Schemat procesu technologicznego węglików spiekanych



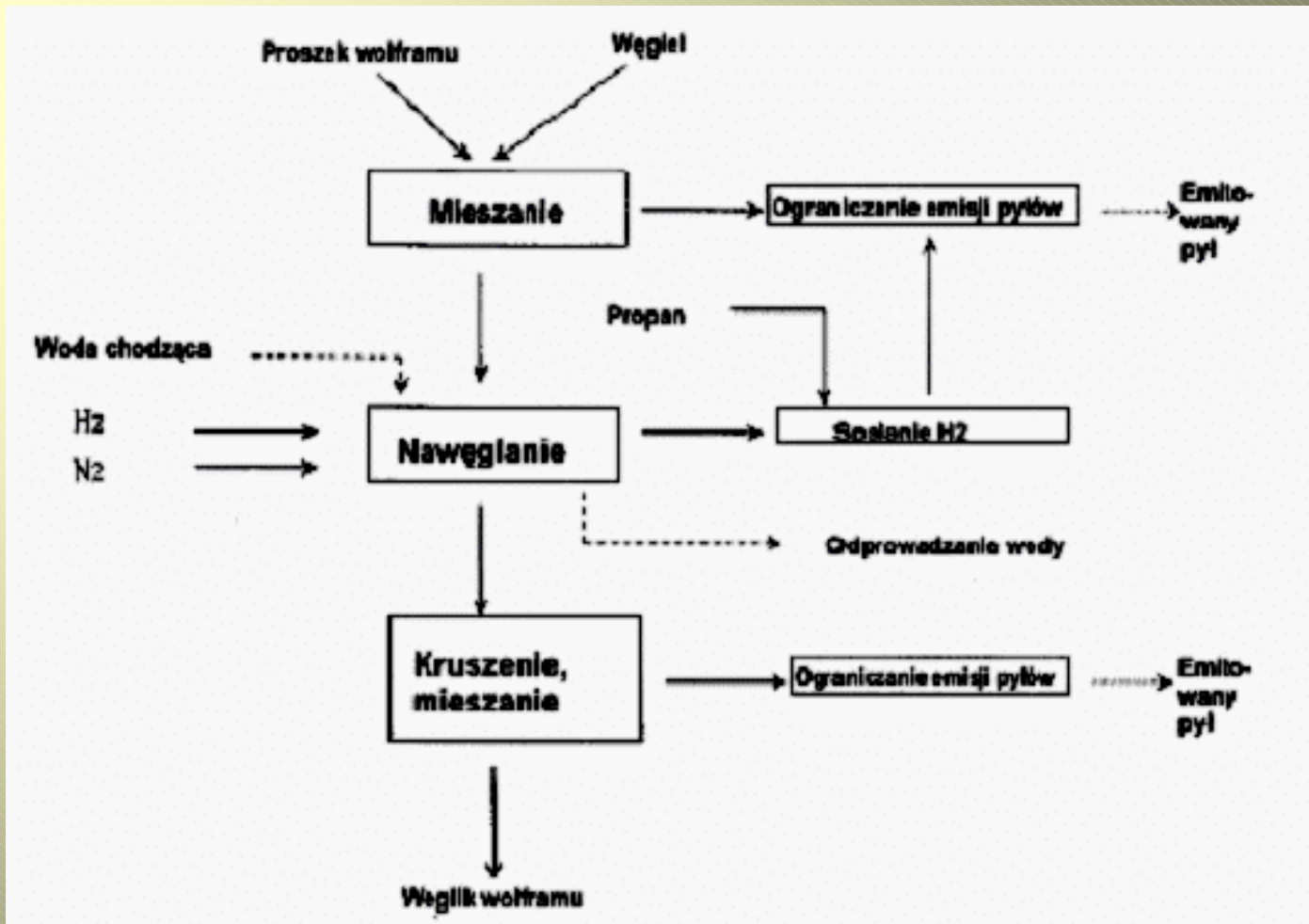
Węglik spiekane produkowane są wyłącznie techniką metalurgii proszków.

Wytwarzanie węglików spiekanych odbywa się w dwóch etapach,

- ❖ pierwszy etap to wytwarzanie proszków węglików,
- ❖ drugi etap to spiekanie.

Z pośród używanych metod można wyróżnić kilka ciekawszych np.:

- metodą stapiania,
- nawęglanie proszków czystych metali, tlenków lub wodoroków metali przez spiekanie;
- wydzielanie z fazy gazowej,
- wydzielanie węglików z fazy gazowej,
- wytrącenie węglików ze stopionych metali.



Produkcja węglika wolframu

Proszki węglików obrabia się przez **prasowanie i spiekanie** oraz **prasowanie na gorąco**. Coraz częściej stosuje się jednak inne technologie tj. wyciskanie prętów i tulejek proszków zawierających plastyfikatory a także spiekanie pod ciśnieniem z ogrzewaniem indukcyjnym.

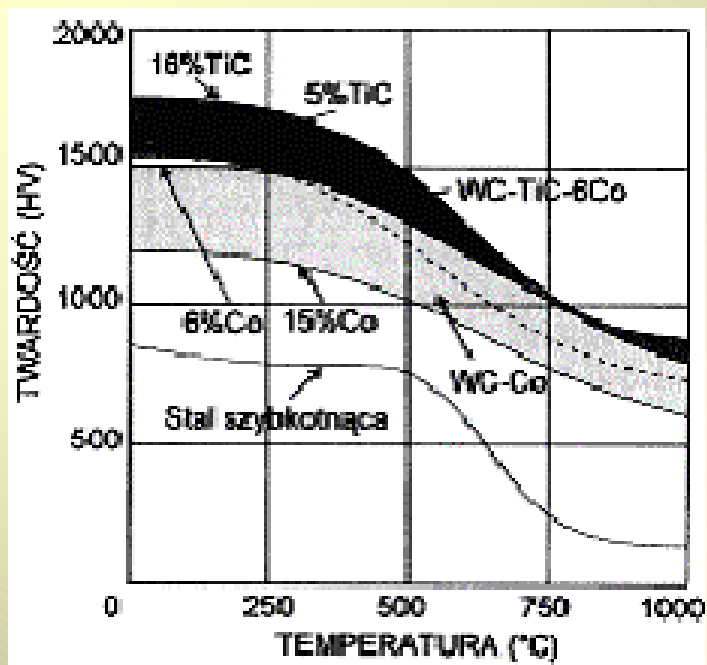
Operacja spiekania przeprowadza się w temperaturze:

wstępne 800 – 1000°C ,
końcowe 1500 – 1800°C.

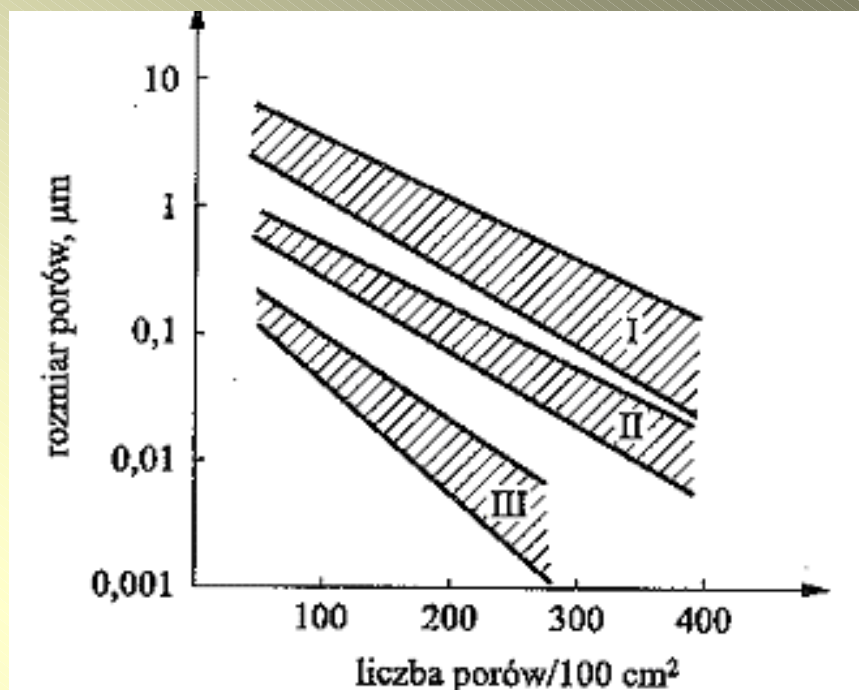
Elementów z węglików spiekanych nie poddaje się obróbce cieplnej, plastycznej toczeniu i frezowaniu. Mogą być cięte i szlifowane.

Własności węglików spiekanych zależą od składu chemicznego, wielkości ziarna i udziałów objętościowych składników. Cechy charakterystyczne węglików to:

- odporność na działanie temperatury,
- dużą wytrzymałość na ściskanie,
- dużą twardością,
- dużą odpornością na ścieranie,
- wytrzymałość na zginanie jest bardzo zależna od składu chemicznego i ziarnistości struktury.



Wpływ temperatury na twardość węglików spiekanych na osnowie kobaltu WC-Co i WC-TiC-Co oraz stali szybkotnącej



Rys. 6.36. Charakterystyka porowatości szczątkowej w węglkach spiekanych wytwarzanych różnymi metodami: I - technologia konwencjonalna (prasowanie na zimno + spiekanie), II - prasowanie na gorąco w matrycy, III - prasowanie izostatyczne na gorąco

Węglikostale

Węglikostale są to spiekane materiały narzędziowe, w których udział **twardych faz** wynosi od **45 do 60% objętości**.

Faza twarda: **węglik tytanu**, rzadziej - **węglikoazotek tytanu**, **węglik wolframu** i **węglik wanadu**.

Osnowa: **stale niskostopowe i wysokostopowe**, np.: narzędziowe, szybko tnące, kwasoodporne, "maraging". Osnowę, można obrabiać cieplnie (przemiana martenzytyczna, przemiany dyfuzyjne, zjawisko utwardzenia wydzieleniowego). Po obróbce cieplnej osnowa węglikostali ma najczęściej strukturę martenzytyczną lub austenityczną. Mogą w niej także występować wtrącenia grafitu zwiększające odporność na ścieranie.

➤ Twardość w stanie obrobionym cieplnie - do **1100HV** (zachowana do 550-800°C).

➤ Nie są obrabialne plastycznie

➤ Można je obrabiać skrawaniem z użyciem węglików spiekanych (w stanie wyżarzonym twardość 480-560 HV). Stanowi to ogromną zaletę węglikostali umożliwiającą wytwarzanie z nich narzędzi i detali o skomplikowanym kształcie.

Skład chemiczny kilku węglikostali typu **Ferro-Titanit** (nazwa firmowa)

Gatunek	TiC %wg	C	Cr	Mo	Cu	Al	Ni	Co	Nb	Ti	Si	Fe	Struktura
C-specjal	33	0,65	3,0	3,0	1,5	-	-	-	-	-	-	reszta	TiC+martenzyt
S	32	0,5	19,5	2,0	1,0	-	0,25	-	-	-	-	reszta	TiC+martenzyt
nikro 128	30	-	13,3	5,0	0,8	1,0	4,0	9,0	-	1,0	-	reszta	TiC+martenzyt niklowy
U	34	-	18,0	2,0	1,0	-	12,0	-	0,85	-	-	reszta	TiC+austenit
cromoni	22	-	20,0	15,5	0,8	-	reszta	-	0,5	-	-	-	TiC+stop niklu
nikro 292	28	-	-	15	0,5	-	15,0	15,0	-	0,2	-	reszta	TiC+martenzyt niklowy
6 U 30	32	3,55	-	-	1,8	-	1,0	-	-	-	2,0	reszta	TiC+martenzyt +grafit

Formowanie wyprasek z węglkostali odbywa się z mieszanki proszków z dodatkiem plastyfikatora pod ciśnieniem 200-300 MPa.

Pierwsze spiekanie, w trakcie, którego zachodzi także usunięcie plastyfikatora, przeprowadza się w atmosferze wodoru w temperaturze 900-1000°C.

Drugie spiekanie przebiega w próżni w temperaturze 1300-1400°C. Odbywa się ono z udziałem fazy ciekłej i prowadzi do utworzenia materiału praktycznie bezporowatego.

Do węglkostali zalicza się również materiały wytworzone drogą **infiltracji** spieczonego porowatego szkieletu, utworzonego z węglików, ciekłymi stopami niklu i żelaza.

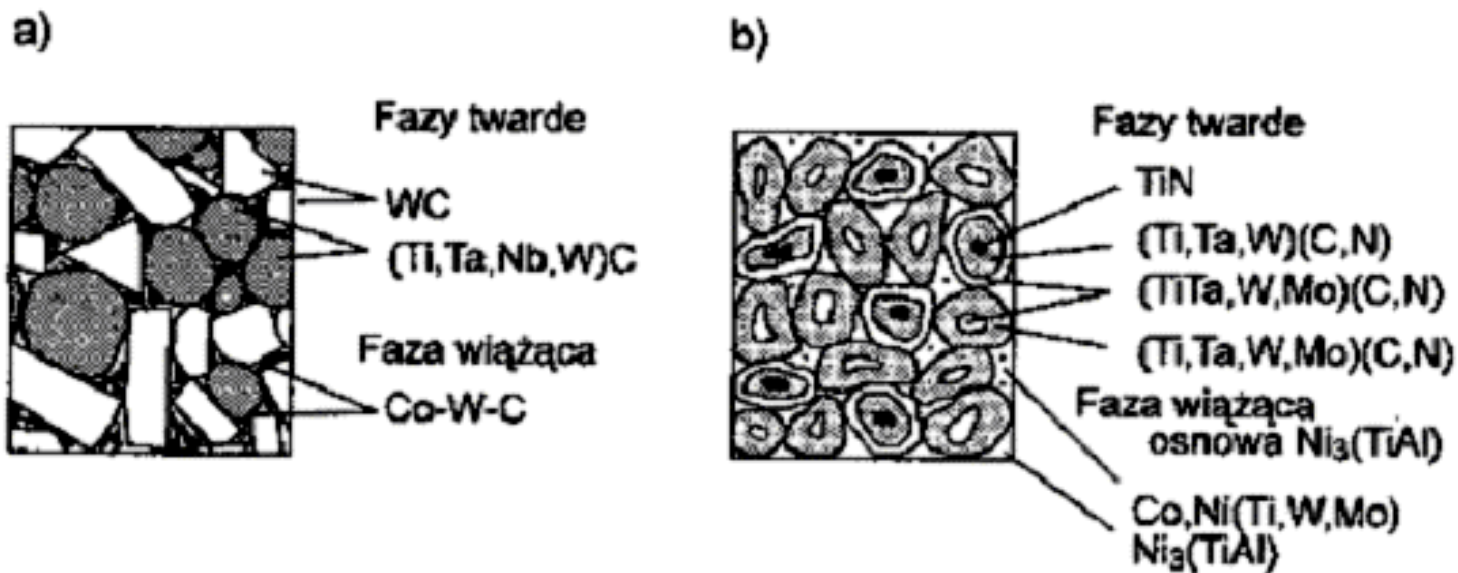
Z węglkostali wykonuje się wykrojniki, matryce, stemple walce i narzędzia pomiarowe. **Trwałość** narzędzi z węglkostali jest **10-20-krotnie** wyższa niż narzędzi wykonanych ze stali narzędziowych. Stosuje się je tam, gdzie niezbędna jest wysoka **odporność na ścieranie; duża odporność na korozję lub własności paramagnetyczne.**

Cermetale

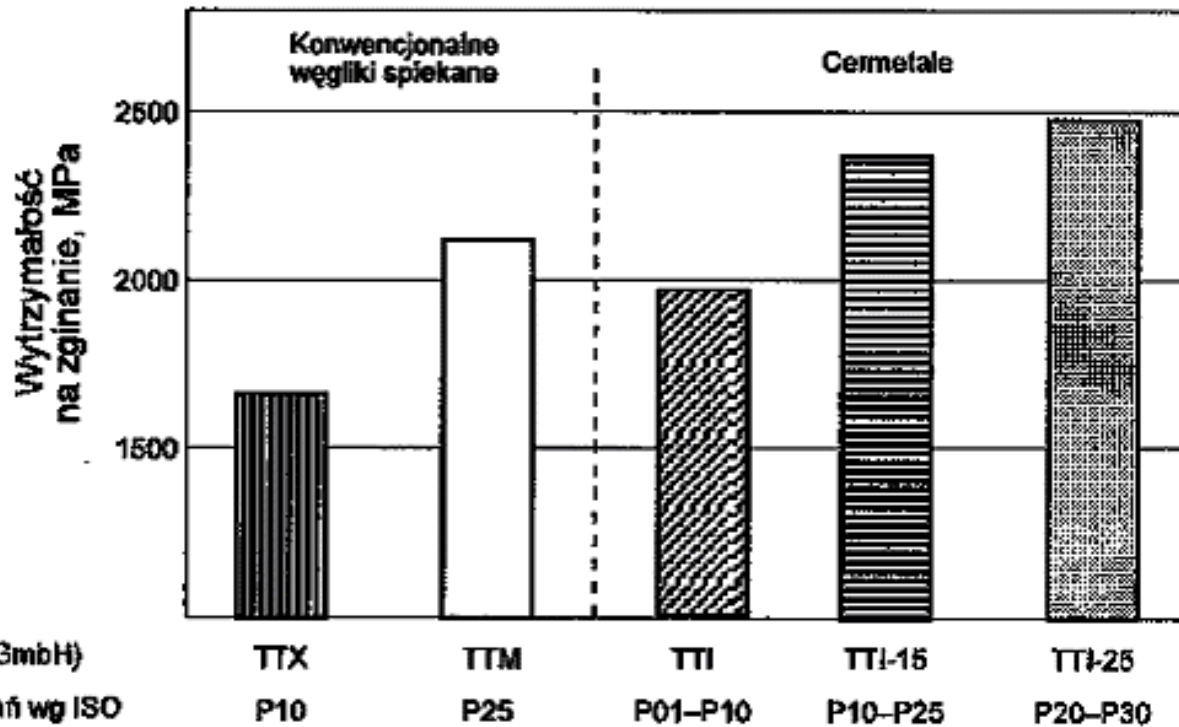
Z pośród kompozytów ceramicznych, cermetale znalazły najszersze zastosowanie w technice. Są to **kompozyty** otrzymywane na drodze metalurgii proszków na bazie proszków **ceramicznych** i **metalicznych**.

Najczęściej stosowanymi **proszkami ceramicznymi** są: **korund**, rzadziej **dwutlenek cyrkonu**, **tlenek magnezu** a także **węglík wolframu**, **molibdenu**, **tantalu**, **tytanu lub krzemu**, **azotki i borki**.

Składnikiem **metalicznym** cermetali są proszki **wolframu**, **kobaltu**, **niklu lub żelaza**.



Rysunek 4.29. Schemat morfolologii faz występujących w mikrostrukturze węglików spiekanych typu HW-P10 (a) i cermetalu typu HT-P15 (b) [81]



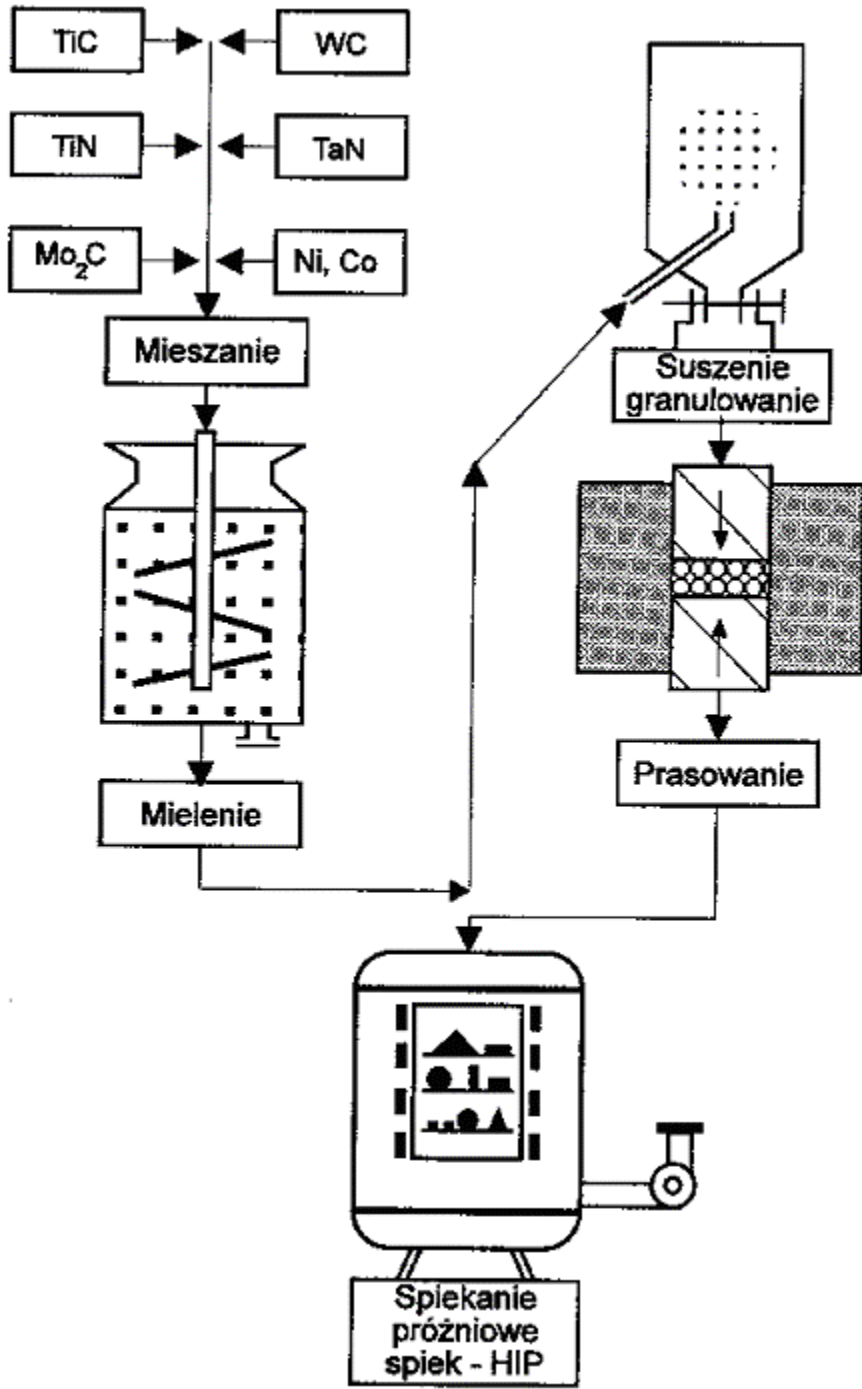
Rysunek 4.31. Porównanie wytrzymałości na zginanie konwencjonalnych węglików spiekanych i cermetali identycznych grup zastosowań [82]

Zastosowanie

Cermentale stosuje się na elementy pracujące w wysokiej temperaturze i w warunkach wymagających określonych własności wytrzymałościowych.

Szeroko stosuje się je do produkcji **narzędzi skrawających** i do **obróbki plastycznej**.

Są one także stosowane w silnikach odrzutowych i na **niechłodzone elementy rakiet** a także do produkcji **dysz** w silnikach rakietowych na paliwo stałe.



Schematyczny przebieg wytwarzania cermetali

Materiały o najwyższej twardości.

- ❖ diament (7000 HV),
- ❖ azotek boru (odmiana alotropowa o sieci regularnej zwaną borazonem) - 4700HV,
- ❖ węglik krzemu (2600-3300 HV),
- ❖ węglik boru (2600-3900 HV)
- ❖ tlenek glinu (2080 HV).

Z materiałów tych wytwarzane są narzędzia służące do obróbki kamieni szlachetnych, twardych tarcz szlifierskich (ściernic), ceramiki, minerałów, materiałów o osnowie Si_3N_4 (sialonów), betonu, szkła, węglików spiekanych.

Najbardziej rozpowszechnione są narzędzia wykonane z cząstek **diamentu** osadzonych w **metalowej osnowie**.

Osnową metalową jest najczęściej **brąz** zawierający 15-20% cyny. Rzadziej stosuje się w tym celu **stale wysokostopowe** zawierające dodatkowo, w charakterze *twardej fazy*, **cząstki węglików** wprowadzanych pod postacią proszku.

Sposoby wytwarzania narzędzi diamentowo-metalowych;

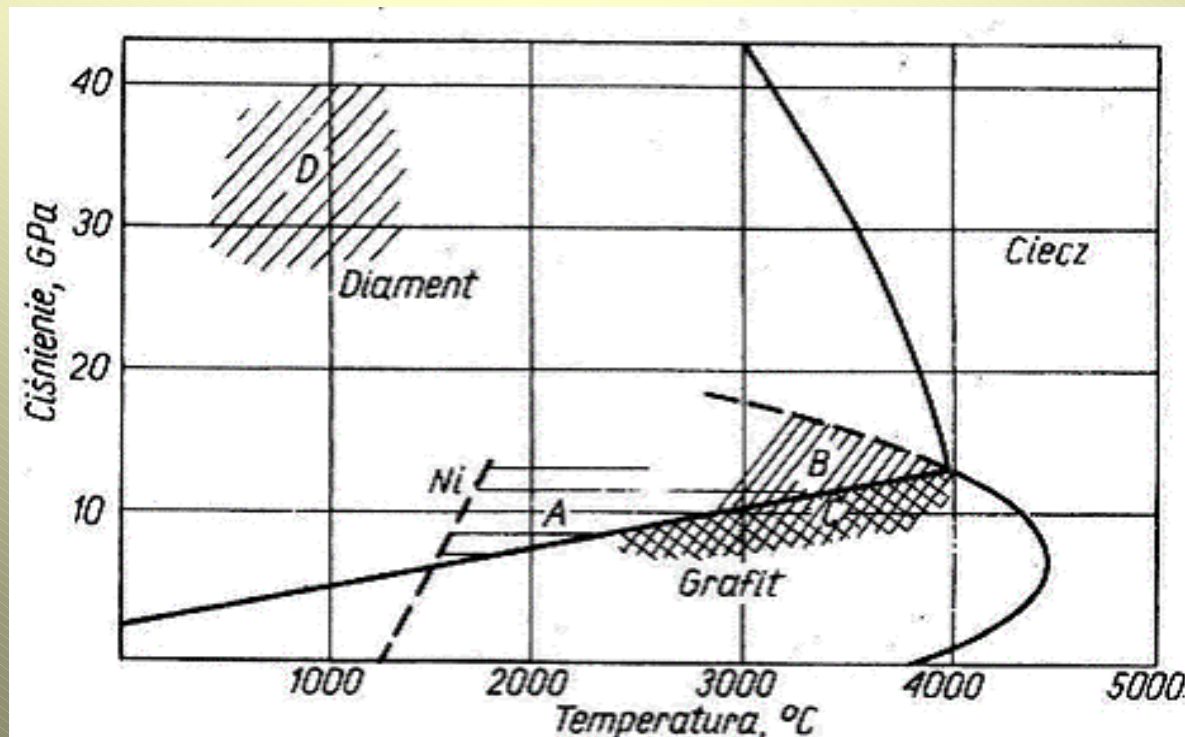
- ❖ Mieszanka proszków metali i diamentu może być prasowana na zimno, a następnie spiekana
- ❖ Od razu prasowana na gorąco w matrycach grafitowych.

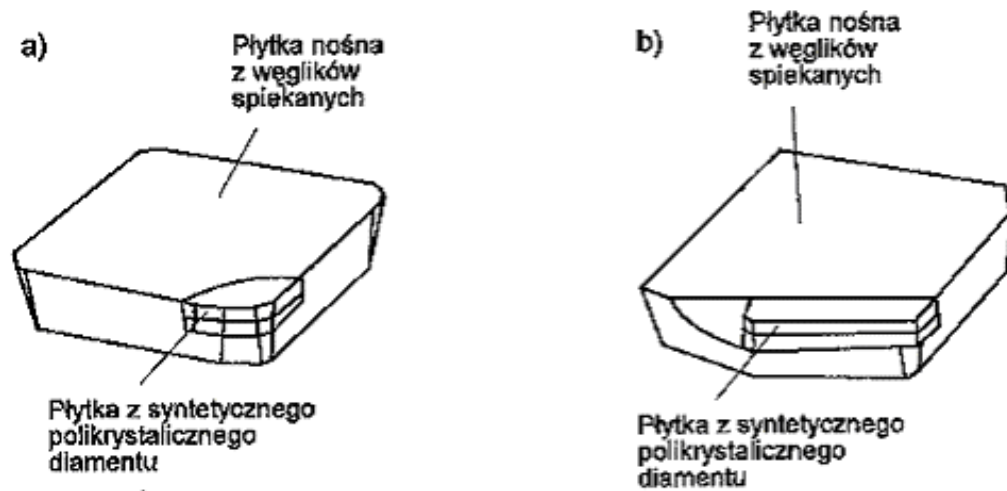
Ten drugi sposób jest korzystniejszy w przypadku materiałów **metalowo-diamentowych**, gdyż czas oddziaływania na diament wysokiej temperatury jest w tym przypadku znacznie krótszy. **Wytrzymywanie diamentu przez dłuższy czas w wysokiej temperaturze stwarza niebezpieczeństwo jego przemiany w grafit.**

Diamenty używane do wyrobu narzędzi mogą być pochodzenia naturalnego, głównie jednak wykorzystuje się w tym celu diamenty syntetyczne. Obecnie w 2/3 narzędzi diamentowo-metalowych produkowanych na świecie stosuje się diamenty syntetyczne. Są one otrzymywane z grafitu. Metalami - rozpuszczalnikami mogą być poza niklem: mangan, tantal, kobalt, pallad, żelazo.

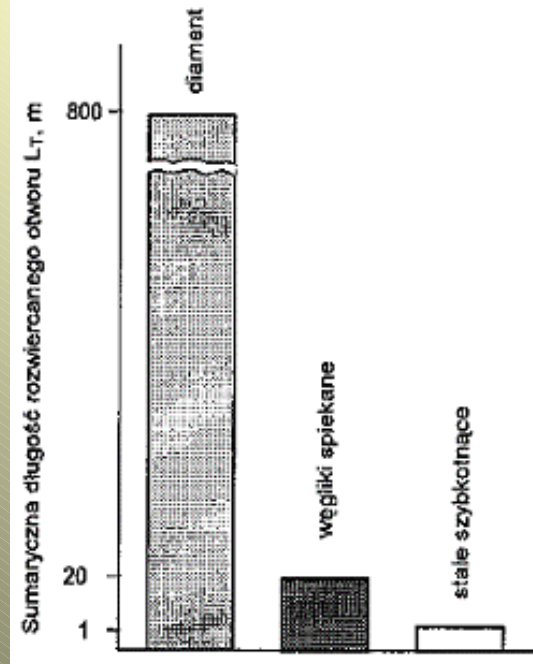
W spiekonym diamencie występują także bezpośrednie wiązania typu diament-diaament. Gdy spełnione zostaną pewne warunki, wiązanie diament-diaament dominuje w spieku. Spiekanie przebiega pod **ciśnieniem 5-8 GPa** w temperaturze **2500-3000°C** (w obszarze stabilności grafitu). Aby zapobiec przemianie diamentu w grafit stosuje się bardzo **krótkie czasy spiekania**. Jako materiału wyjściowego używa się drobnego proszku diamentu naturalnego. Diamenty polikrystaliczne w postaci warstwy o grubości 0,5÷1,0 mm jest łączony bezpośrednio z płytką z węglików spiekanych (podłoże) lub przez warstwę pośrednią z materiału o małej sprężystości wzdłużnej (wyrównanie naprężeń między diamentem a węglikiem).

Własności izotropowe w całej masie diamentu.

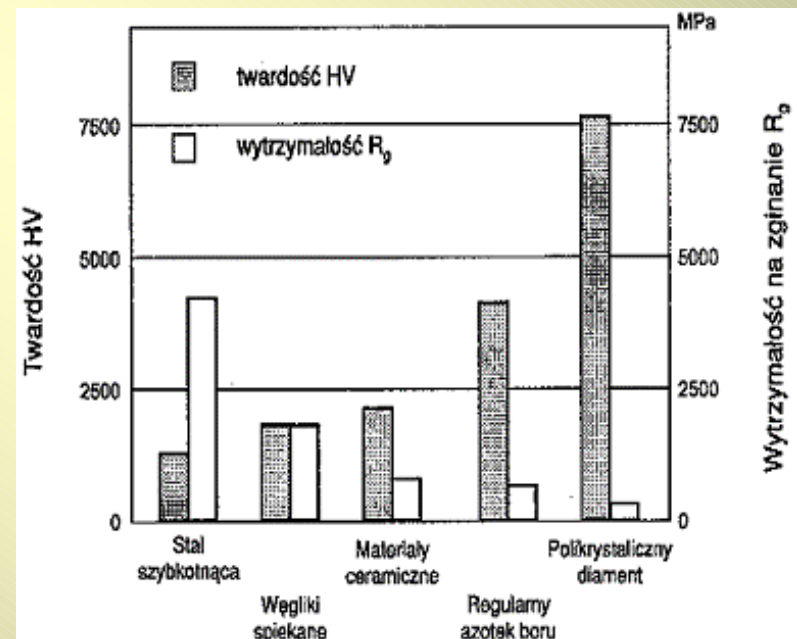




Rysunek 4.67. Schemat płytek narzędziowych z polikrystalicznym syntetycznym diamentem [14]



Porównanie skrawalności przy rozwiercaniu tworzywa sztucznego zbrojonego włóknami metalowymi



Porównanie twardości i wytrzymałości na zginanie różnych materiałów