

5. Węgliki spiekane

5.1. Ogólna charakterystyka węglików spiekanych

OGÓLNY PRZEGLĄD WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Materiałami tradycyjnie wytwarzanymi metodami metalurgii proszków i powszechnie stosowanymi są spiekane węgliki metali.

Węgliki spiekane są materiałami składającymi się z węglików metali trudno topliwych, głównie W, a także Ti, Ta i Nb, o udziale objętościowym ok. 65-95% oraz metalu wiążącego, którym jest zwykle kobalt (tabl. 5.1, według PN-88/H-89500). Ponadto mogą być produkowane węgliki spiekane, w których metalem wiążącym jest nikiel, molibden oraz żelazo lub ich stopy z kobaltem.

Pierwszy etap produkcji węglików spiekanych polega na wytwarzaniu proszku węglików. Spośród licznych metod jego wytwarzania można wyróżnić:

- metodę stapiania,
- nawęglanie proszków czystych metali, tlenków lub wodorków metali w stanie stałym przez spiekanie,
- nawęglanie proszków czystych metali, tlenków lub wodorków metali gazami zawierającymi węgiel,
- wydzielanie z fazy gazowej,
- wytrącanie węglików ze stopionych metali,
- elektrolizę soli.

Węgliki otrzymane różnymi metodami są poddawane zwykle oczyszczaniu i rozdrabnianiu.

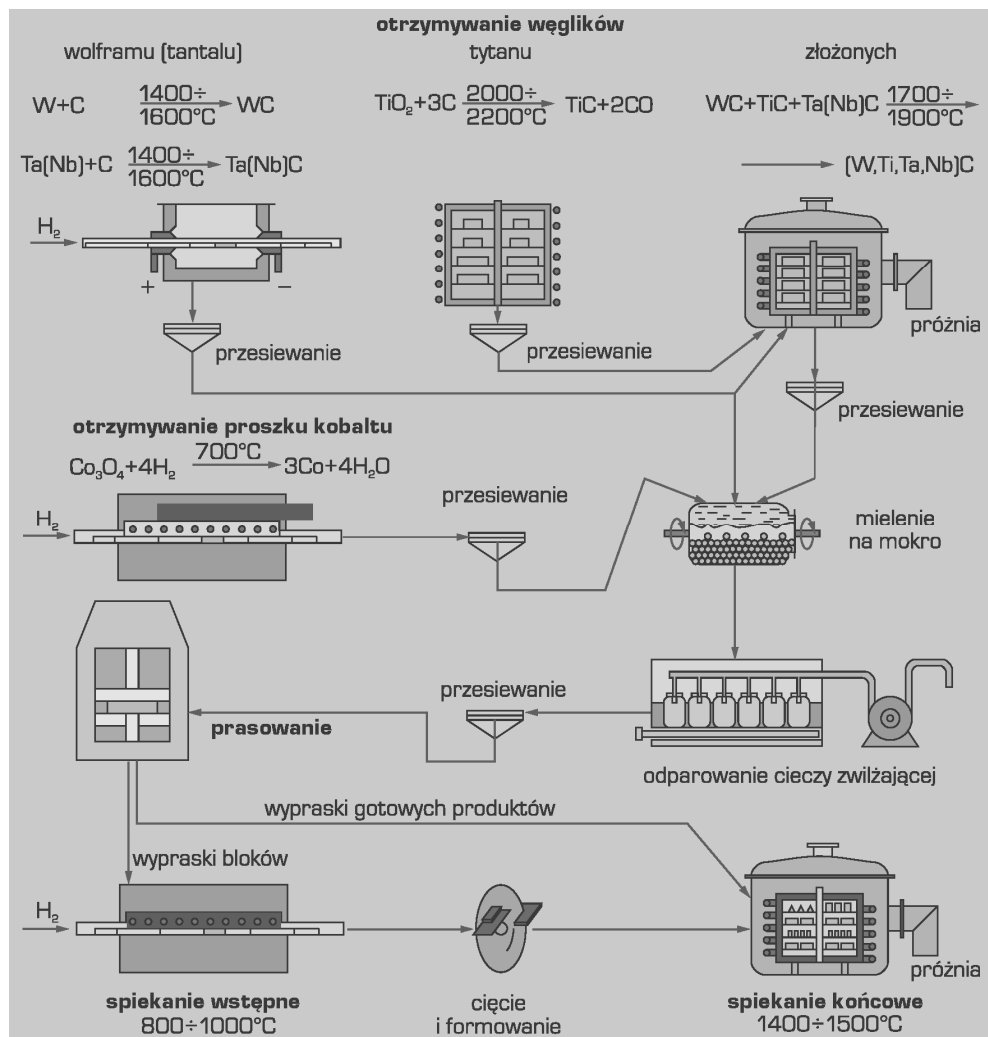
METODY WYTWARZANIA WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Produkty z węglików wytwarza się przez prasowanie i spiekanie oraz prasowanie na gorąco. Coraz większego znaczenia nabierają ponadto inne technologie, polegające np. na spiekaniu pod ciśnieniem z ogrzewaniem indukcyjnym, wyciskanie prętów i tulejek z proszków z dodatkiem plastyfikatorów oraz odlewanie w zawieszinie.

Tablica 5.1. Orientacyjny skład chemiczny węglików spiekanych niepokrywanych

Grupa i zastosowanie	Gatunek	Udział masowy składników, %		
		WC	TiC+TaC+NbC	Co
S (P) ¹⁾ Gatunki stosowane do obróbki skrawaniem materiałów dających długi wiór, głównie stali i staliwa	S10S	56	35	9
	S10	78	16	6
	S20S	58	31,5	10,5
	S20	78	14	8
	SM25	69,5	21	9,5
	S30S	79	13	8
	S30	87	5	8
	S35S	78	12	10
	S40S	79	7	14
U (M) ¹⁾ Gatunek stosowany do obróbki skrawaniem materiałów dających zarówno długi, jak i krótki wiór	U10S	84,8	9,7	5,5
H (K) ¹⁾ Gatunki stosowane do obróbki skrawaniem materiałów dających krótki wiór, głównie żeliwa	H03	94	–	6
	H10S	91	4,5	4,5
	H10	94	–	6
	H15X	92,5	0,5	7
	H20S	92	2,5	5,5
	H20	94	–	6
	H30	91	–	9
G Gatunki stosowane do obróbki plastycznej i na elementy urządzeń odporne na ścieranie	G10	94	–	6
	G15	91	–	9
	G20	89	–	11
	G25N	86,5	–	13,5
	G30	85	–	15
	G35N	82	–	18
	G40	80	–	20
	G50S	74,8	0,2	25
B Gatunki stosowane do zbrojenia narzędzi górniczych	B0	93	–	7
	B1	92	–	8
	B2	91	–	9
	B23	90,5	–	9,5
	B40	89	–	11
	B45	89	–	11

¹⁾ Oznaczenie głównej grupy obróbki wiórowej według PN-ISO 513:1999 (porównaj tabl. 5.2).

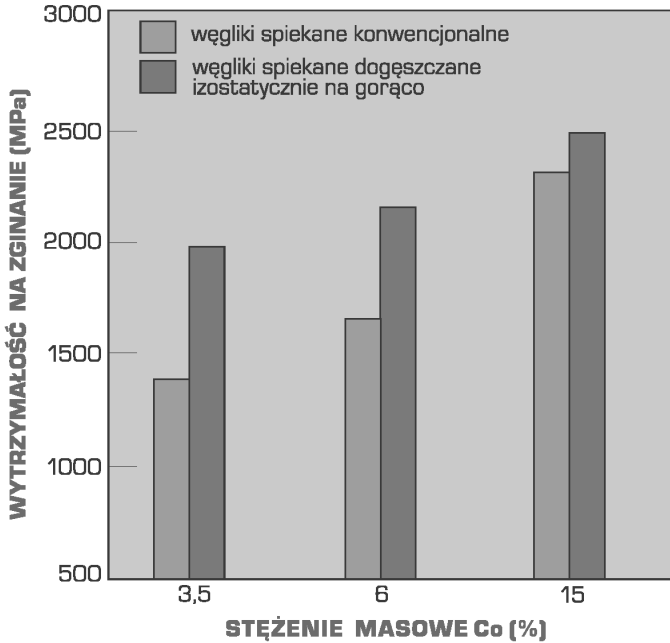


Rysunek 5.1. Schemat procesu technologicznego węglików spiekanych

Zwykle węgliki spiekane wytwarza się jedną z trzech metod (rys. 5.1):

- wielostopniową,
- skróconą,
- jednostopniową.

Ze względu na największą wydajność i najniższe koszty najczęściej jest stosowana metoda skrócona. Spiekanie odbywa się zwykle w piecach próżniowych indukcyjnych lub oporowych. Metoda jednostopniowa jest stosowana do celów specjalnych – do wytwarzania produktów



Rysunek 5.2. Wpływ dogęszczania izostatycznego na gorąco na wytrzymałość na zginanie węglików spiekanych WC-Co o różnym stężeniu kobaltu

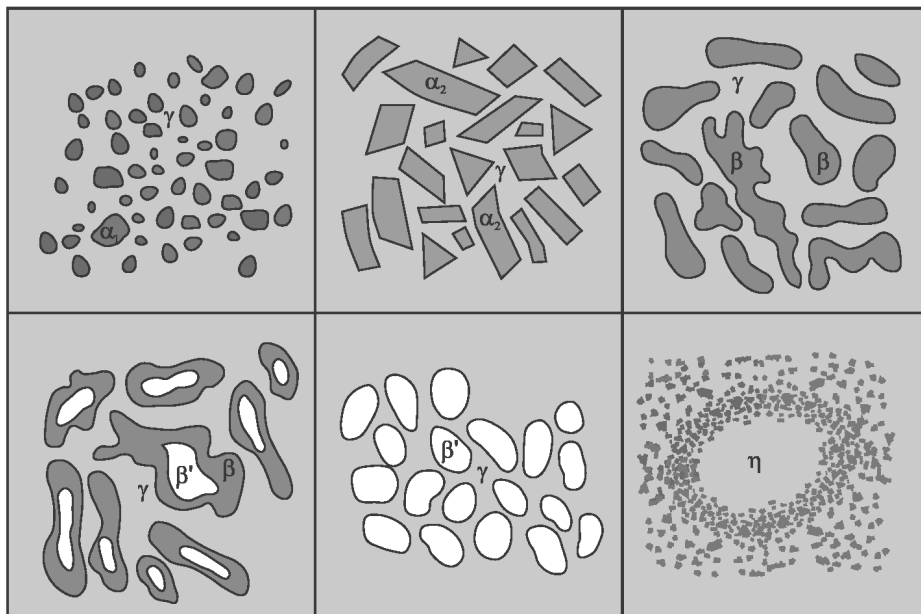
dużych i bez porów, a także do wytwarzania produktów narażonych w czasie eksploatacji na obciążenia udarowe oraz produktów stosowanych na narzędzia do obróbki plastycznej. Dodatkowo dogęszczanie podczas prasowania izostatycznego na gorąco w temperaturze 1350-1450°C pod ciśnieniem argonu 100-300 MPa wpływa decydująco na zwiększenie wytrzymałości na zginanie węglików spiekanych i zwiększenie ich gęstości (rys. 5.2).

Węglików spiekanych nie poddaje się obróbce cieplnej, gdyż metal wiążący nie podlega przemianom fazowym. Węglik spiekane nie nadają się również do obróbki plastycznej i mechanicznej polegającej na toczeniu i frezowaniu. Mogą być jednak szlifowane lub docierane.

STRUKTURA I SKŁAD FAZOWY WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

W strukturze węglików spiekanych w temperaturze pokojowej mogą występować następujące fazy:

- α – spiekane cząstki pierwotne węgla wolframu WC,



Rysunek 5.3. Morfologia poszczególnych faz w strukturze węglików spiekanych

- α_1 – roztwór stały wtórny kobaltu w węgliku wolframu WC, nieprzekrystalizowanym w czasie spiekania, występujący w postaci drobnych zaokrąglonych ziarn,
- α_2 – roztwór stały wtórny kobaltu w węgliku wolframu WC, utworzony w wyniku przekrystalizowania w czasie spiekania, występujący w postaci dużych ziarn o regularnych kształtach,
- γ – roztwór stały wolframu, tantalu i węgla w kobalcie,
- β – węgliki (Ti,W)C, (Ta,W)C lub (Ti,Ta,W)C w postaci łańcuchów lub ziarn kulistych,
- β' – faza β zubożona w wolfram o zwiększonym stężeniu tytanu lub tantalu.

W przypadku niedomiaru węgla mogą utworzyć się fazy:

- η – faza o strukturze złożonej $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$,
- Θ – faza o strukturze złożonej $\text{Co}_3\text{W}_6\text{C}_2$,
- χ – faza o strukturze złożonej $\text{Co}_3\text{W}_{10}\text{C}_4$,
- δ – faza typu Co_3W .

Na rysunku 5.3 przedstawiono schematycznie morfologię niektórych faz występujących w węglikach spiekanych. Osnowę węglików spiekanych stanowi roztwór γ .

W gatunkach węglików spiekanych z grup zastosowań S, U i H według PN (tabl. 5.1) – odpowiednio P, M i K według PN-ISO (tabl. 5.2) – występują fazy α_2 , β i γ lub tylko β i γ . W gatunkach tych faza β występuje w postaci łańcuchów. W przypadku niewłaściwego spiekania następuje rozpad fazy β na pojedyncze okrągłe ziarna. Jeżeli węgiel tytanu nie jest nasycony wolframem, to powstaje faza β' . Znaczne zwiększenie udziału węgla (Ti,W)C powoduje zanik fazy α w strukturze.

W gatunkach węglików spiekanych z grup zastosowań C i B wg PN (tabl. 5.1) złożonych z węglików wolframu WC niezawierających węglików tytanu TiC i tantalu TaC występują jedynie fazy α_1 , α_2 i γ .

5.2. Własności i zastosowanie węglików spiekanych

WŁASNOŚCI WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

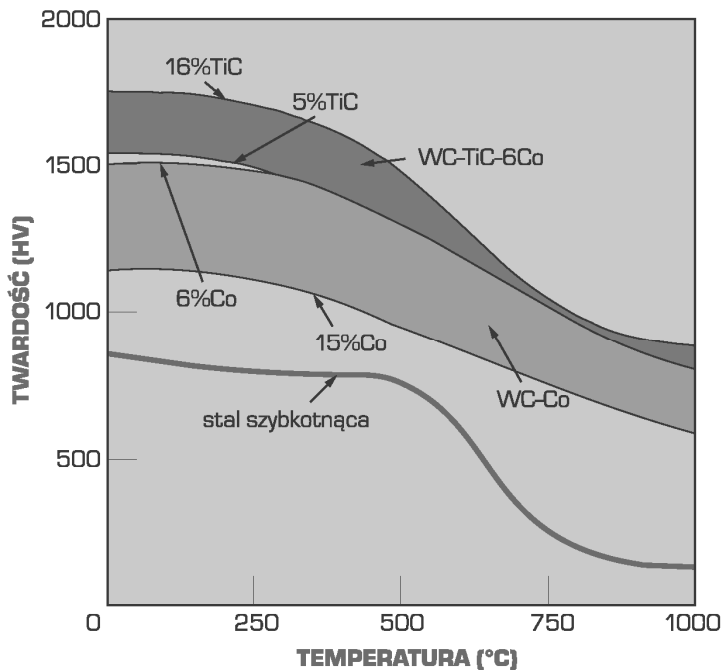
Własności węglików spiekanych zależą głównie od składu chemicznego i składu fazowego węglików, kształtu i wielkości jego ziarn oraz udziału objętościowego w strukturze.

Węglik spiekane wykazują dużą odporność na działanie wysokiej temperatury – do ok. 1000°C nie tracą swej dużej twardości (rys. 5.4) i odporności na ścieranie. Umożliwia to ich stosowanie do skrawania z dużą szybkością.

Wytrzymałość na zginanie węglików spiekanych ulega zwiększeniu ze wzrostem stężenia kobaltu, zwiększeniem udziału węgla tantalu i zmniejszeniem udziału węgla tytanu. Wytrzymałość na zginanie zależy również od wielkości ziarn osnowy i ziarn węglików, przy czym maksymalna wytrzymałość na zginanie odpowiada określonej wielkości ziarn osnowy zwiększającej się ze zwiększeniem stężenia kobaltu w węglkach spiekanych.

Węglik spiekane wykazują bardzo dużą wytrzymałość na ściskanie. Wytrzymałość na ściskanie zmniejsza się ze zwiększeniem stężenia kobaltu oraz udziału węgla tytanu.

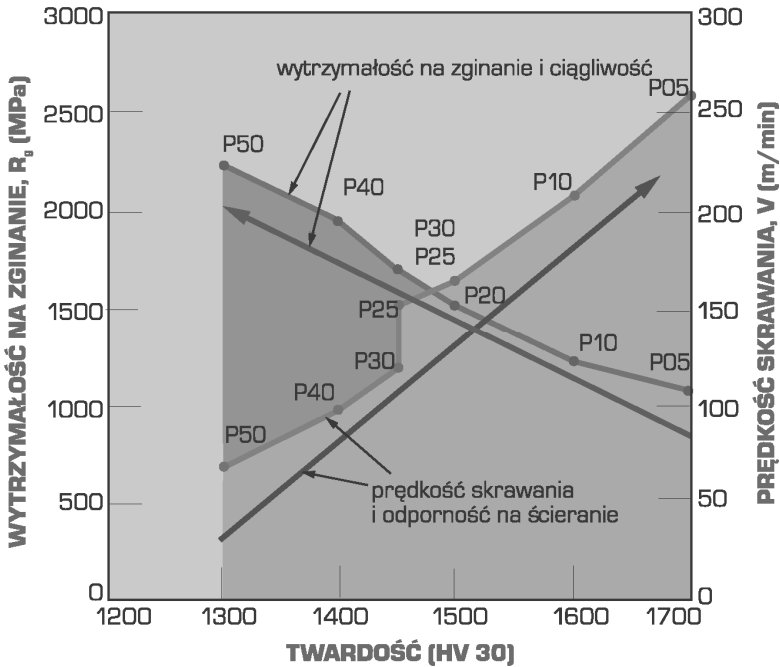
W licznych zastosowaniach węglików spiekanych wykorzystano ich bardzo dużą odporność na ścieranie, która zależy od składu chemicznego. Największą odporność na ścieranie uzyskują węgliki spiekane WC-Co z małym stężeniem kobaltu. Gatunki te mogą być stosowane wyłącznie w przypadku, gdy w czasie pracy nie występują uderzenia, a głównym mechanizmem zużycia jest ścieranie. W przypadku, gdy w czasie pracy występują obciążenia udarowe, stosuje się węgliki spiekane o większym stężeniu kobaltu.



Rysunek 5.4. Wpływ temperatury badania na twardość węglików spiekanych na osnowie kobaltu WC-Co i WC-TiC-Co oraz stali szybko tnącej

Do podstawowych właściwości użytkowych węglików spiekanych należą bardzo dobre właściwości skrawne, ulegające polepszeniu ze zmniejszeniem stężenia kobaltu oraz ze zwiększeniem udziału węgliku TiC w węgliku spiekany. Polepszeniu właściwości skrawnych spowodowanych zwiększeniem twardości węglików spiekanych towarzyszy zmniejszenie ciągliwości, której miarą jest m.in. wytrzymałość na zginanie (rys. 5.5).

Do obróbki z dużą prędkością skrawania i w wysokiej temperaturze skrawania stosuje się węgliki spiekane z dodatkiem węgliku tytanu TiC. Dodatek węgliku TiC zmniejsza około 20-krotnie skłonność węglików spiekanych do zgrzewania się z materiałem obrabianym i wykazuje większą od węgliku WC odporność na ścieranie w wysokiej temperaturze. Powoduje on jednak równocześnie zmniejszenie właściwości wytrzymałościowych, w tym głównie wytrzymałości na ściskanie, dlatego też węgliki spiekane zawierające w składzie chemicznym węgliki TiC stosowane są głównie do obróbki metali. Nowoczesne gatunki węglików spiekanych zawierają oprócz WC i TiC, także węgliki TaC oraz niewielki udział węgliku NbC. Dodatki węglików tantalum i niobu sprzyjają znacznemu zwiększeniu twardości i wytrzymałości na

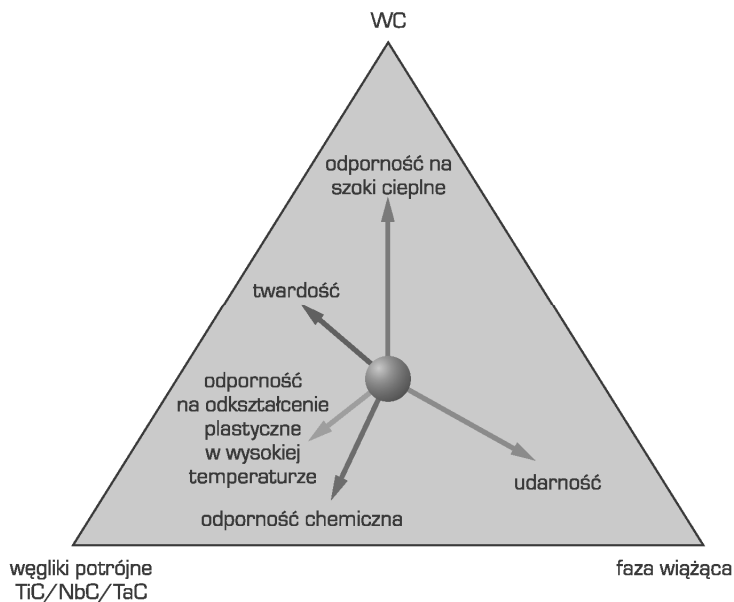


Rysunek 5.5. Zależności prędkości skrawania i odporności na ścieranie oraz wytrzymałości na zginanie i ciągliwości od twardości węglików grupy zastosowania P wg PN-ISO (tabl. 5.2); $VB = 0,3 \text{ mm}$, $\varepsilon = 10 \text{ min}$, $a = 2 \text{ mm}$, $s = 0,46 \text{ mm}$, materiał obrabiany – stal 0,6% C

zginanie w wysokiej temperaturze skrawania, a ponadto zmniejszeniu skłonności do erozji w wyniku przywierania wióra. Wpływ składu chemicznego na własności węglików spiekanych przedstawiono schematycznie na rysunku 5.6.

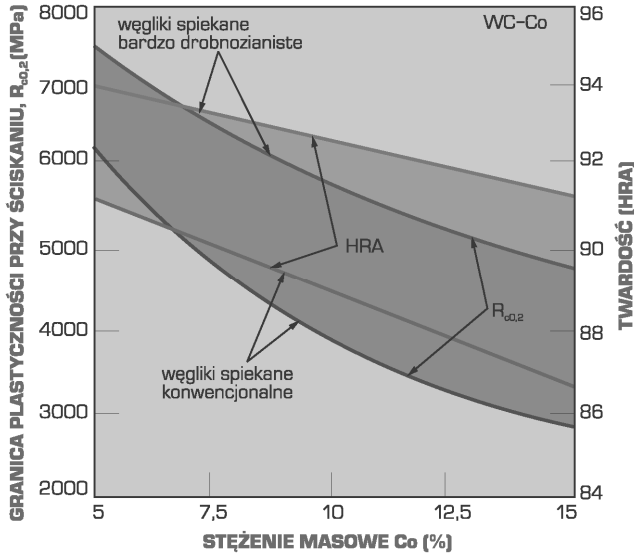
Wśród licznych działań dotyczących poprawy własności węglików spiekanych, podjętych głównie w przedostatnim i ostatnim dziesięcioleciu XX wieku, należy wymienić:

- doskonalenie procesu wytwarzania węglików spiekanych w celu zapewnienia powtarzalności własności produktów, głównie przez dodatkowe dogęszczanie podczas prasowania izostaticznego na gorąco w temperaturze 1350-1450°C pod ciśnieniem argonu 100-300 MPa, co wpływa decydująco na zwiększenie wytrzymałości na zginanie węglików spiekanych, a ich gęstość osiąga w przybliżeniu teoretyczną gęstość krystaliczną,
- stosowanie stopów układu Fe-Ni-Co oraz niklu i żelaza jako osnowy technicznych węglików w miejsce czystego kobaltu,

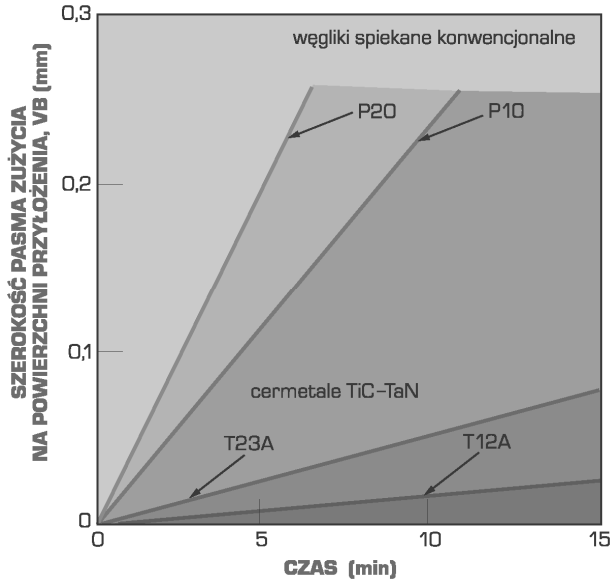


Rysunek 5.6. Schemat wpływu składu chemicznego na wybrane własności węglików spiekanych typu WC-Co (opracowano według pomysłu W. Grzesika)

- opracowanie węglików spiekanych typu WC-Co, bardzo drobnoziarnistych o jednolitej wielkości ziarn stosowanych w przypadku, gdy występuje głównie zużycie ściernie narzędzi (rys. 5.7),
- wykorzystanie odkształcenia plastycznego ziarn fazy WC w węglkach spiekanych typu WC-Co podczas quasi-izostatycznego ściskania,
- stosowanie wyłącznie węglików TiC w miejsce węglików WC, co wpływa na znaczne zmniejszenie zużycia ostrza w porównaniu z węglkami konwencjonalnymi (rys. 5.8) lub stosowanie mieszaniny węglików WC, TaC i TiC, a także TiC, TaC i Mo_2C przy równoczesnej zamianie kobaltu w osnowie na nikiel i molibden lub mieszaninę tych pierwiastków z kobaltem,
- stosowanie azotków TaN i TiN częściowo w miejsce węglików TiC w węglkach spiekanych o osnowie Ni-Mo typu TaN-TiC-Ni-Mo i TiC- Mo_2C -TiN-TaN-Ni-Mo oraz o osnowie niklu typu TiC-TiN- Mo_2C -Ni,
- dobór składów chemicznych i fazowych węglików spiekanych umożliwiającących rozpuszczanie lub wydzielanie faz Lavesa i innych faz międzymetalicznych w osnowie węglików spiekanych podczas chłodzenia z temperatury spiekania lub podczas ewentualnej obróbki cieplnej.



Rysunek 5.7. Wpływ drobnoziarnistości na własności spiekanych węglików WC-Co o różnym stężeniu kobaltu



Rysunek 5.8. Porównanie własności konwencjonalnych węglików spiekanych oraz cermetali zawierających TiC-TaN zamiast węglików WC; materiał obrabiany: stal stopowa Cr-Mo, $p = 0,36 \text{ mm/obrót}$, $a = 1,5 \text{ mm}$, $V = 170 \text{ m/min}$ (według materiałów firmy Sumitomo Electric Industries Ltd., Itami, Hyogo, Japan)

ZASTOSOWANIE WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Węglik spiekane znalazły zastosowanie głównie na nakładki narzędzi używanych do obróbki wiórowej, a także na ostrza świdrów i narzędzi górniczych, narzędzia do obróbki plastycznej i inne narzędzia lub elementy o dużej twardości i odporności na ścieranie. Twarde materiały skrawające (do których należą i węgliki spiekane) pod względem zastosowania podzielono według PN-ISO 513:1999 na trzy główne grupy (tabl. 5.2).

Oznaczenie grupy węglików spiekanych z przeważającym udziałem WC, przeznaczonych do obróbki skrawaniem, składa się z liter HW i oznaczenia grupy zastosowania, np. HW–P20, lub tylko z symbolu grupy zastosowania, np. P40. Niepokrywane spieki zawierające głównie TiC i/lub TiN są oznaczane literami HT i symbolem odpowiedniej grupy zastosowania, np. HT–K01.

Tablica 5.2. Klasyfikacja twardych materiałów skrawających pod względem zastosowania

Grupa zastosowania			Zmiana parametru	
Ozna-czenie	Materiał obrabiany	Zastosowanie i warunki pracy ¹⁾	skra-wania	twardego materiału skrawającego
Główna grupa obróbki wiórowej P – do obróbki stopów żelaza dających długi wiór				
P01	stal, staliwo	toczenie i wytaczanie wykończające, duża prędkość skrawania, mały przekrój wióra, dokładne wymiary i powierzchnia, brak drgań podczas obróbki	wzrost prędkości ↑ ↓ wzrost posuwu	wzrost odporności na zużycie cieme ↑ ↓ wzrost odporności na obciążenia dynamiczne
P10	stal, staliwo	toczenie, kopiowanie, gwintowanie i frezowanie, duża prędkość skrawania, mały i średni przekrój wióra		
P20	stal, staliwo, żeliwo ciągliwe (wiór wstęgowy)	toczenie, kopiowanie, frezowanie, średnia prędkość skrawania i przekrój wióra, toczenie czołowe z małym przekrojem wióra		
P30	stal, staliwo	toczenie, frezowanie, toczenie czołowe, średnia i mała prędkość skrawania, średni lub duży przekrój wióra, niekorzystne warunki pracy ²⁾		
P40	stal, staliwo z zapiaszczeniem i pęcherzami	toczenie, toczenie czołowe, dłutowanie, duża prędkość skrawania, duży przekrój wióra, niekorzystne warunki pracy ²⁾ na obrabiarkach automatycznych		
P50	stal, staliwo o średniej lub małej wytrzymałości z zapiaszczeniem i pęcherzami	obróbka wymagająca materiału skrawającego o bardzo dużej wytrzymałości na obciążenia dynamiczne: toczenie, toczenie czołowe, dłutowanie, mała prędkość skrawania, duży przekrój wióra, obróbka w niekorzystnych warunkach ²⁾ i na obrabiarkach automatycznych		

Grupa zastosowania			Zmiana parametru	
Oznaczenie	Material obrabiany	Zastosowanie i warunki pracy ¹⁾	skrawania	twardego materiału skrawającego
Główna grupa obróbki wiórowej M – do obróbki stopów żelaza dających wiór długi lub krótki oraz metali nieżelaznych				
M10	stal, staliwo, stal manganowa, żeliwo szare, żeliwo stopowe	toczenie, średnia lub duża prędkość skrawania, mały lub średni przekrój wióra	wzrost prędkości ↑ ↓ wzrost posuwu	wzrost odporności na zużycie cierne → ↓ wzrost odporności na obciążenia dynamiczne
M20	stal, staliwo, stal austenityczna lub manganowa, żeliwo szare	toczenie, frezowanie, średnia prędkość skrawania i przekrój wióra		
M30	stal, staliwo, stal austenityczna, żeliwo szare, stopy żaroodporne	toczenie, frezowanie, toczenie czołowe, średnia prędkość skrawania, średni lub duży przekrój wióra		
M40	stal automatowa, stal o niskiej wytrzymałości, metale nieżelazne i stopy lekkie	toczenie, odcinanie, np. na obrabiarkach automatycznych		
Główna grupa obróbki wiórowej K – do obróbki stopów żelaza dających wiór krótki, metali nieżelaznych oraz materiałów niemetalowych				
K01	bardzo twarde żeliwo szare, wysokokrzemowe stopy Al, stal utwardzona, tworzywa sztuczne ścierne, twardy karton, materiały ceramiczne	toczenie, toczenie wykończające, wytaczanie, frezowanie, skrobanie	wzrost prędkości ↑ ↓ wzrost posuwu	wzrost odporności na zużycie cierne ↑ ↓ wzrost odporności na obciążenia dynamiczne
K10	żeliwo szare >220 HBW, żeliwo ciągliwe (wiór odpryskowy), stal utwardzona, stopy Si-Al, stopy Cu, tworzywa polimerowe, szkło, twarda guma, twardy karton, porcelana, kamień	toczenie, frezowanie, wiercenie, wytaczanie, przeciąganie, skrobanie		
K20	żeliwo szare ≤220 HBW, metale nieżelazne: miedź, stop Cu-Zn, aluminium	toczenie, frezowanie, toczenie czołowe, wytaczanie, przeciąganie, wymagające materiału skrawającego o bardzo dużej wytrzymałości na obciążenia dynamiczne		
K30	żeliwo szare o niskiej twardości, stal o małej wytrzymałości, drewno prasowane	toczenie, frezowanie, toczenie czołowe, dłutowanie, obróbka w niekorzystnych warunkach ²⁾		
K40	miękkie lub twarde drewno, metale nieżelazne	toczenie, frezowanie, toczenie czołowe, dłutowanie, obróbka w niekorzystnych warunkach ²⁾		
¹⁾ Grupa zastosowania nie jest oznaczeniem gatunku twardego materiału skrawającego, dlatego liter P, M, K nie można stosować w handlowych oznaczeniach gatunków. Jeśli występuje rzeczywista potrzeba wyróżnienia pośredniej grupy zastosowania, można ją oznaczyć pośrednią liczbą, np. M15. Jedynie grupę P01 można wyjątkowo dzielić stosując oznaczenia dziesiętne, np. P01.1, P01.2, jeżeli konieczne jest wyróżnienie odrębnych stopni odporności na zużycie cierne i wytrzymałości na kruche pękanie materiałów tej grupy. ²⁾ Materiał obrabiany w stanie surowym, półprodukt o kształcie trudnym do obróbki, z naskórkiem odlewniczym lub kuźniczym, o zmiennej twardości i/lub zmiennej głębokości skrawania, możliwość drgań podczas obróbki.				