Spis treści

1 Skrawalność 96

1.1 Procesy zachodzące przy powstawaniu wióra 96
1.1.1 Model tworzenia się wióra 96
1.1.2 Spęczanie wióra 97
1.1.3 Rodzaje wiórów 98
1.1.4 Kształt wiórów 99
1.1.5 Parametry warstwy skrawanej i procesu skrawania (np. toczenia wzdłużn.) 101
1.1.6 Tworzenie się narostów 102
1.2 Zużycie narzędzia 103
1.2.1 Przyczyny zużycia 103
1.2.2 Postacie zużycia 104
1.2.2.1 Zużycie powierzchni przyłożenia 105
1.2.2.2 Zużycie rowkowe 105
1.2.2.3 Odkształcenie plastyczne 106
1.2.2.4 Zużycie żłobkowe 107
1.2.2.5 Pęknięcia podłużne 107
1.2.2.6 Wykruszenie ostrza 108
1.3 Parametry trwałości - okres trwałości 109
1.3.1 Wykres i równanie okresu trwałości 109
1.3.2 Czynniki wpływające na okres trwałości 111
1.4 Siła skrawania i kryteria doboru mocy 114
1.4.1 Siła skrawania 114
1.4.1.1 Składowe siły skrawania 114
1.4.1.2 Siła skrawania i właściwy opór skrawania 116
1.4.1.3 Wielkości wpływające na wartość siły skrawania i właściwego oporu skrawania 121
1.4.1.4 Siła posuwowa i siła odporowa 122
1.4.2 Moc i moment obrotowy 124
1.4.3 Objętość mat. skrawanego w jednostce czasu i jednostkowa obj. skraw. mat. 125
1.4.4 Określanie zapotrzebowania mocy 125
1.5 Jakość powierzchni 126

2 Nowoczesne technologie produkcji 128

2.1 Skrawanie z wysokimi prędkościami (HSC) 129
2.1.1 Określenia i uwarunkowania 129
2.1.2 Czynniki procesu 130
2.2 Skrawanie wysokowydajne (HPC) 132
2.2.1 Cel skrawania wysokowydajnego 132
2.2.2 Skrawanie wysokowydajne na przykładzie frezowania 133
2.3 Obróbka skrawaniem na sucho 134
2.3.1 Celowość, efekty i właściwości 134
2.3.2 Narzędzia do obróbki na sucho 136

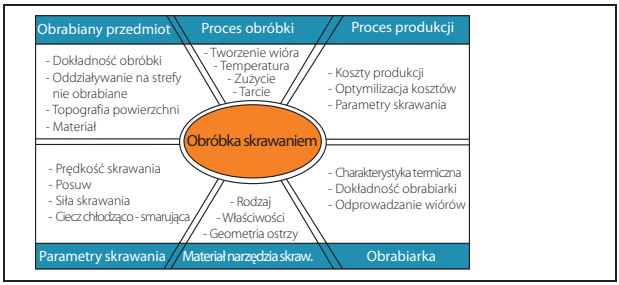
2.4 Smarowanie minimalne 137
2.5 Skrawanie materiałów twardych 139
2.5.1 Cechy szczególne, wymagania i możliwości 139
2.5.2 Skrawanie twardych materiałów na przykładzie frezowania 140

3 Materiały na narzędzia skrawające i powłoki 142

3.1 Podział materiałów na narzędzia skrawające 142
3.1.1 Wysokowydajne stale szybkotnące (HSS), stale proszkowe (PM) 144
3.1.2 Stopy twarde (HM albo VHM) 146
3.1.3 Cermetale 147
3.1.4 Polikrystaliczne, regularne azotki boru (PKB albo CBN) 148
3.1.5 Diament polikrystaliczny (PKD) 150
3.2 Powlekanie 151
3.2.1 Metody powlekania 151
3.2.2 Powłoki 152
3.3 Przegląd materiałów na narzędzia skrawające 153
3.3.1 Materiały GARANT do toczenia - ISO 153
3.3.2 Materiały GARANT na narzędzia do frezowania 154
3.3.3 Materiały SECO na narzędzia toczenia - ISO 156
3.3.4 Materiały SECO na narzędzia do frezowania 157
3.3.5 Materiały KOMET na płytki skrawające 159

1 Skrawalność

O wyniku procesu obróbki skrawaniem decyduje szereg czynników, powstających z wzajemnego oddziaływania obrabianego przedmiotu, narzędzia i obrabiarki oraz procesu tworzenia wióra. Część prawdopodobnych czynników wpływu przedstawiono na *Rys. 2.1*.



Rys. 2.1 Czynniki wpływające na proces obróbki wiórowej

1.1 Procesy zachodzące przy powstawaniu wióra

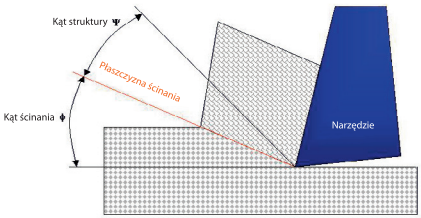
1.1.1 Model tworzenia się wióra

W **procesie tworzenia wióra** klin ostrza wnika w materiał obrabianego przedmiotu, który wskutek tego ulega odkształceniom sprężystym i plastycznym. Po przekroczeniu granicy plastyczności i wytrzymałości na rozrywanie, w obszarze strefy ścinania rozpoczyna się tworzenie wióra (ścinanie lub płynięcie materiału). Kąt pomiędzy płaszczyzną ścinania a kierunkiem skrawania jest kątem ścinania Φ (por. *Rys. 2.2*, z lewej strony). Przy powstawaniu wióra następuje zmiana orientacji kryształów w kierunku poślizgu. Można ją zauważyć w postaci linii struktury w tzw. strefach odkształceń obrabianego materiału, poprzedzających powstanie wióra (*Rys. 2.2*, z prawej strony). Linie te tworzą z płaszczyzną ścinania kąt struktury Ψ. Z modelu opracowanego przez Merchanta (por. *Rys. 2.2* i *2.3*) wynika poniższa zależność na określanie kąta ścinania Φ.

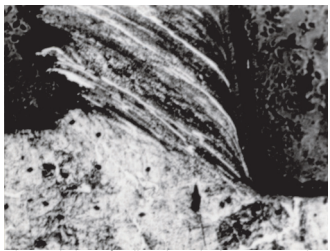
$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{\cos\gamma}{\lambda_h - \sin\gamma}$$

(równ. 2.1)

Φ kąt ścinania
γ kąt natarcia
λ_h spęczenie wióra



Model MERCHANTA



Zdjęcie zgładu strefy odkształceń obrab.mat., poprzedzającej powstanie wióra

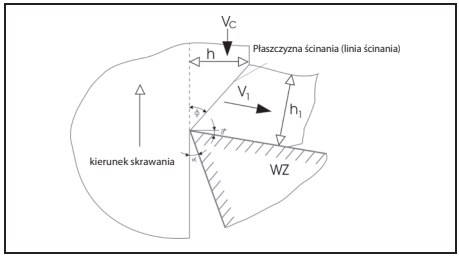
Rys. 2.2 Schemat procesu tworzenia się wióra

1.1.2 Spęczanie wióra

Wartość spęczenia wióra zależy od odkształcalności materiału i geometrii klina ostrza. W wyniku procesów spęczania przy skrawaniu z grubości skrawanej warstwy h powstaje grubość wióra h_1, która ze względu na spęczanie jest zawsze większa od grubości warstwy skrawanej h. **Spęczeniem grubości wióra** określa się stosunek grubości wióra h_1 do grubości warstwy skrawanej h. Spęczenie grubości wióra λ_h jest zawsze > 1 i oblicza się je w następujący sposób:

$$\lambda_h = \frac{h_1}{h} > 1$$

λ_h spęczenie grubości wióra (równ. 2.2)
h grubość warstwy skrawanej [mm]
h_1 grubość wióra [mm]



Rys. 2.3
Schemat spęczania wióra (według Merchanta)

Ogólnie obowiązują zależności:

Rozszerzenie wióra:

$$\lambda_b = \frac{b_1}{b} \approx 1$$

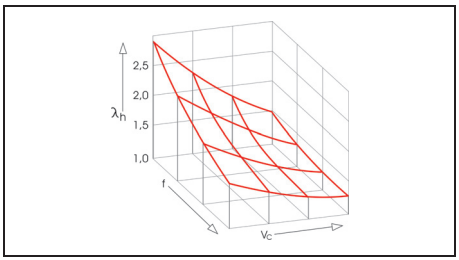
λ_b rozszerzenie wióra (równ. 2.3)
b szerokość warstwy skrawanej [mm]
b_1 szerokość wióra [mm]

Skrócenie wióra:

$$\lambda_l = \frac{l_1}{l} < 1$$

λ_l skrócenie wióra (równ. 2.4)
l długość skrawania [mm]
l_1 długość wióra [mm]

Spęczanie wióra jest czynnikiem bardzo odpowiednim zwłaszcza do oceny porównawczej procesów tworzenia wióra, bowiem jest ono związane ze wszystkimi innymi oddziaływaniami procesu tworzenia wióra (np. siła skrawania, jakość powierzchni). Przy czym wpływ na przebieg procesu wywierają zarówno cechy materiałowe, jak i parametry skrawania. Poniżej przedstawiono zależność pomiędzy spęczeniem grubości wióra λ_h, posuwem f a prędkością skrawania i v_c.

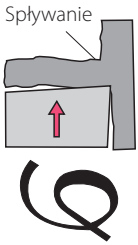


Rys. 2.4
Wpływ posuwu i prędkości skrawania na spęczanie grubości wióra

1.1.3 Rodzaje wiórów

Wskutek oddziaływania procesu powstawania wióra na tworzące się wióry rozróżnia się trzy **rodzaje wiórów.** Poszczególne rodzaje zależą w znacznym stopniu od obrabianego materiału i od warunków powstawania wióra. Rodzaje wiórów (nie należy mylić z kształtami wiórów - rozdział 1.1.4) często przechodzą jeden w drugi.

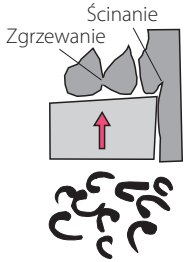
Wiór płynący



Cechy:
- wiór ciągły
- różny stan powierzchni obrobionej
- dolna powierzchnia zawsze gładka
- ciągły proces spływania obrabianego materiału
- elementy wiórów nie zostają oddzielone w strefie ścinania, lecz podlegają ciągłemu przekształcaniu

Warunki:
- ciągliwy materiał przy bardzo korzystnych warunkach skrawania (wysoka prędkość, dodatni kąt natarcia)

Wiór schodkowy

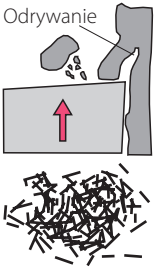


Cechy:
- zauważalne pojedyncze, nie połączone ze sobą elementy wiórów
- powierzchnia silnie ząbkowana

Powstawanie wióra:
- płytki wiórów ulegają tylko nieznacznemu odkształceniu w płaszczyźnie ścinania, zostają od siebie oddzielone, ale następnie ponownie zgrzane

Warunki:
- zakłócony kształt wióra płynącego
- przyczyny zakłóceń: niejednorodność materiału, drgania, za mały kąt natarcia, duża głębokość skrawania, mała prędkość skrawania

Wiór odrywany (odpryskowy)



Cechy:
- pojedyncze, nie związane ze sobą elementy wióra
- chropowata powierzchnia wskutek kruchej struktury (pęknięcie wyprzedzające ostrze)

Powstawanie wióra:
- materiały kruche pękają już po niewielkim odkształceniu w strefie ścinania (np. żeliwo, żeliwo utwardzone, brąz odlewniczy, mosiądz)
- w przypadku bardzo kruchych materiałów całkowity rozpad płytek wióra

Warunki:
- materiały o małej plastyczności (mała prędkość skrawania, ujemny kąt natarcia)

1.1.4 Kształt wiórów

Kształt powstających wiórów zależy od wielu czynników występujących w procesie skrawania. Można je zasadniczo podzielić w następujący sposób:

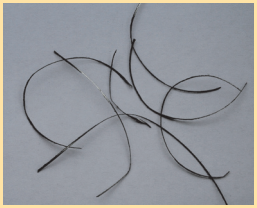
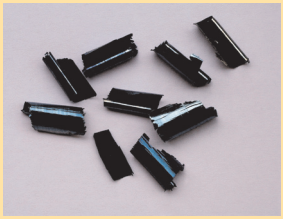
Klasa	Kształt wióra i współczynnik miejsca na wióry R		Ocena
1	Wiór wstęgowy R > 100		Niekorzystny ☹
2	Wiór skłębiony R > 100		
3	Wiór śrubowy R ≈ 60		Zadowalający 😐
4	Wiór śrubowy krótki R ≈ 30		Korzystny ☺

Tabela 2.1 Klasy kształtów wióra - ciąg dalszy na stronie 100.

Tabela 2.1 Klasy kształtów wióra - ciąg dalszy

Klasa	Kształt wióra i współczynnik miejsca na wióry R		Ocena
5	Wiór spiralny segmentowy R ≈ 10		Korzystny ☺
6	Wiór spiralny luźny R ≈ 5		
7 8	Wiór elementowy R ≈ 3 częściowo zgrzany		Zadowalający 😐

W **praktyce przemysłowej** wymagane są wióry krótkie, ponieważ długie wióry wstęgowe stanowią zagrożenie, wióry skłębione mogą uszkodzić narzędzie i obrabiany przedmiot, a jedynie krótkie wióry, ze względu na małe zapotrzebowanie przestrzeni, gwarantują płynne odprowadzanie wiórów. Wpływ warunków skrawania na kształt wiórów przedstawiono zbiorczo w *Tabeli 2.2* i na *Rys. 2.5*.

W celu sklasyfikowania kształtów wiórów według zapotrzebowania przestrzeni, wprowadzono współczynnik miejsca na wióry R.

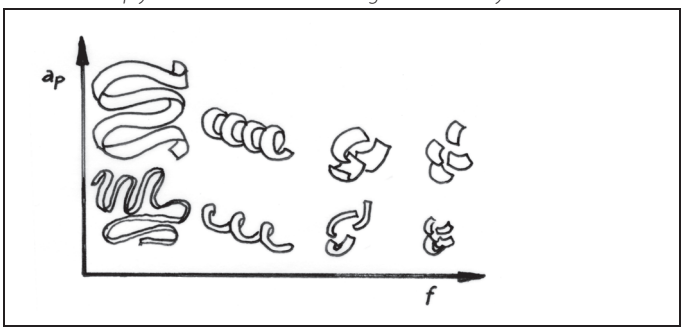
$$R = \frac{Q_{Sp}}{Q_W}$$

R współczynnik miejsca na wióry (równ. 2.5)
Q_{Sp} objętość albo zapotrzebowanie przestrzeni nieuporządkowanych wiórów [mm^3/min]
Q_W oddzielona objętość obrabianego materiału [mm^3/min]

Wióry wstęgowe i skłębione posiadają współczynnik miejsca na wióry R > 100, krótkie wióry odłamkowe R < 3. Korzystne są wióry spiralne o współczynniku miejsca na wióry R = 5 ... 10.

Warunki skrawania	Wpływ na kształt wiórów
Prędkość skrawania	Wzrost prędkości skrawania powoduje pogorszenie kształtu wiórów, w zależności od obrabianego materiału
Posuw	Wzrost posuwu polepsza łamanie wióra, jednak duże posuwy powodują pogorszenie jakości powierzchni
Głębokość skrawania	Im większa jest głębokość skrawania, tym gorsze jest łamanie wióra
Kąt natarcia	Ujemny kąt natarcia powoduje dobre łamanie wióra, jednak gorszą jakość powierzchni
Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej	Im większy jest kąt przystawienia, tym lepsze jest łamanie wióra
Zwijacze i łamacze wióra	Zwijacze i łamacze wióra poprawiają łamanie wióra (konieczne dopasowanie do procesu)

Tabela 2.2 Wpływ warunków skrawania i geometrii ostrzy na kształt wiórów



Rys. 2.5 Kształty wiórów w zależności od głębokości skrawania (a_p) i posuwu (f)

1.1.5 Parametry warstwy skrawanej i procesu skrawania (np. toczenia wzdłużnego)

Parametry warstwy skrawanej są istotne do określenia obciążenia mechanicznego. Wynikają one z parametrów skrawania (głębokość skrawania a_p i posuw f) i określają przekrój warstwy skrawanej A, leżący prostopadle do kierunku skrawania / prędkości skrawania (por. *Rys. 2.6*). Obowiązują poniższe zależności:

Grubość warstwy skrawanej h:

$$h = \frac{a_p}{\sin \kappa}$$

h grubość warstwy skrawanej [mm] (równ. 2.6)
a_p głębokość skrawania [mm]
κ kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej [°]

Szerokość warstwy skrawanej b (przy prostym ostrzu odpowiada odcinkowi zetknięcia się głównej krawędzi skrawającej z obrabianym przedmiotem):

$$b = f \cdot \sin \kappa$$

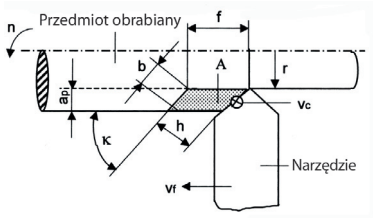
b szerokość warstwy skrawanej [mm] (równ. 2.7)
f posuw [mm/obr.]
κ kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej [°]

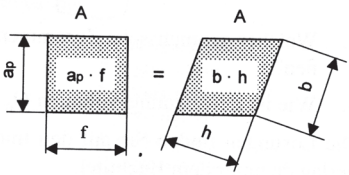
Przekrój warstwy skrawanej A:

$$A = a_p \cdot f = b \cdot h$$

A	przekrój warstwy skrawanej [mm^2]	(równ. 2.8)
a_p	głębokość skrawania [mm]	
f	posuw [mm/obr.]	
b	szerokość warstwy skrawanej [mm]	
h	grubość warstwy skrawanej [mm]	

Parametry skrawania, takie jak głębokość skrawania a_p i posuw f, nastawia się na obrabiarce. Parametry warstwy skrawanej, takie jak szerokość warstwy skrawanej b i jej grubość h, wynikają z kąta przystawienia i z parametrów skrawania a_p i f (por. również *Rys. 2.6*).





v_c *prędkość skrawania*
v_f *prędkość posuwu*
n *prędkość obrotowa*
r *promień obrabianego przedmiotu*

Rys. 2.6 Parametry warstwy skrawanej na przykładzie toczenia i przekrój warstwy skrawanej

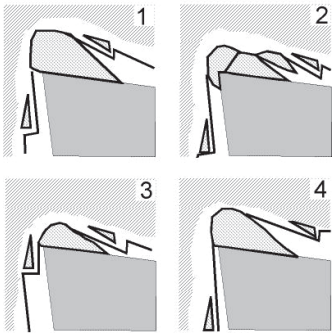
1.1.6 Tworzenie się narostów

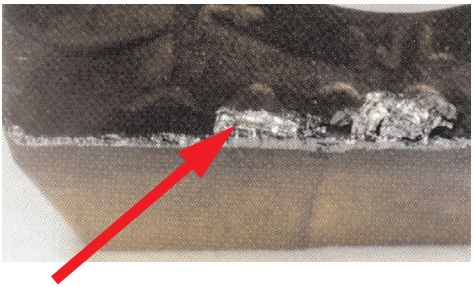
Podczas powstawania wióra silnemu odkształceniu plastycznemu ulegają warstwy materiału obrabianego przedmiotu, które po oddzieleniu tworzą warstwę graniczną, pomiędzy powierzchnią wióra a dolną powierzchnią skrawanej warstwy. Przy skrawaniu może wystąpić w niekorzystnych warunkach proces zgrzewania. Szczególnie przy małych prędkościach skrawania zagraża intensywne **tworzenie się narostów**.

Narosty powstają z silnie odkształconego i utwardzonego materiału obrabianego przedmiotu, który przykleja się do ostrza i przejmuje zadanie krawędzi skrawającej. W zależności od warunków skrawania, na dolnej powierzchni wióra następuje okresowe odrywanie cząstek materiału z powstałego narostu. Ma to niekorzystny wpływ na krawędź skrawającą narzędzia (wykruszenia) i na obrabiany przedmiot (jakość powierzchni, zachowanie wymiarów). Na *Rys. 2.7* przedstawiony jest schemat powstawania narostów.

Zastosowanie optymalnej geometrii ostrzy, dostosowanej do procesu obróbki oraz zoptymalizowanych parametrów skrawania stwarza możliwość zapobieżenia niepotrzebnemu tarciu na powierzchni styku i tym samym podwyższaniu temperatury. Tworzeniu się narostów mogą zwłaszcza zapobiec poniższe **środki**:

- zwiększenie prędkości skrawania,
- zwiększenie kąta natarcia,
- zastosowanie powłok,
- zastosowanie skutecznego chłodzenia.





Narost na powierzchni natarcia narzędzia

Rys. 2.7 Schemat okresowego tworzenia się narostów

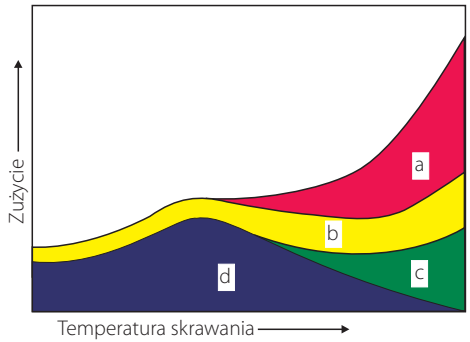
1.2 Zużycie narzędzia

1.2.1 Przyczyny zużycia

Zużycie jest wywołane przez jednoczesne obciążenie mechaniczne i cieplne klina ostrza. Ważniejsze przyczyny zużycia:

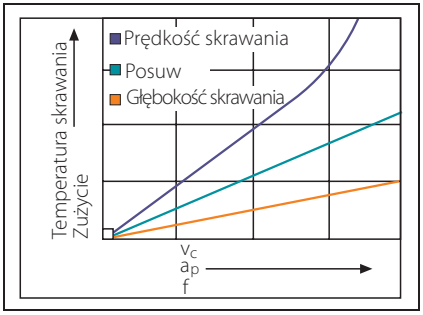
- ścieranie mechaniczne,
- ścinanie miejsc, w których doszło do zgrzewania materiału,
- procesy utleniania,
- dyfuzja.

Przy niskich prędkościach skrawania łatwo skrawalnych materiałów największe znaczenie ma zużycie mechaniczne (ścierne). Przy większych prędkościach skrawania i trudniej skrawalnych materiałach większą rolę odgrywają natomiast takie przyczyny zużycia, jak utlenianie i dyfuzja, wynikające z podwyższonej temperatury *(Rys. 2.8)*.



a dyfuzja
b ścierność (ścieranie mechaniczne, odkształcenie plastyczne)
c utlenianie (tworzenie się zgorzeliny)
d adhezja (ścinanie miejsc, w których doszło do zgrzewania materiału)

Rys. 2.8 Przyczyny zużycia przy skrawaniu (według VIEREGGEGO)



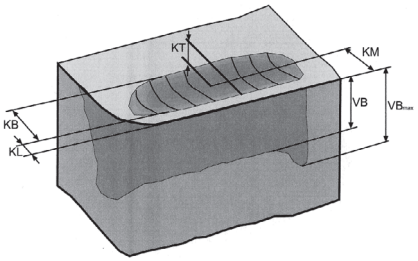
Rys. 2.9 Wpływ warunków skrawania na temperaturę skrawania i zużycie

Jak wynika z *Rys. 2.9.* temperatura skrawania występująca w procesie obróbki wiórowej i występujące zużycie zależą w istotnym stopniu od warunków skrawania. Zwiększenie prędkości skrawania, głębokości skrawania lub posuwu wpływa wprost proporcjonalnie na temperaturę skrawania i zużycie.

1.2.2 Postacie zużycia

Postać poszczególnych **rodzajów zużycia** służy do oceny trwałości narzędzia. Rozróżnia się zasadniczo niżej wymienione rodzaje zużycia:

- zużycie powierzchni przyłożenia,
- zużycie rowkowe,
- odkształcenie plastyczne,
- zużycie żłobkowe,
- wykruszenia,
- pęknięcia podłużne,
- Wykruszenie narzędzia.



VB	szerokość śladów zużycia
VB_{max}	maks. szerokość śladów zużycia
KT	głębokość rowków
KM	rozstaw osi rowków
KB	szerokość rowków
KL	szerokość warg rowków

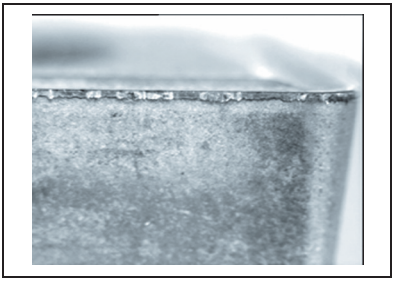
Rys. 2.10 Parametry zużycia na przykładzie noża tokarskiego

1.2.2.1 Zużycie powierzchni przyłożenia

Zużyciem powierzchni przyłożenia określa się w przybliżeniu równomierny ubytek materiału na powierzchni przyłożenia narzędzia. Powierzchnia zużycia przebiega mniej więcej równolegle do kierunku skrawania i jest określana jako szerokość śladów zużycia (VB albo $VB_{maks.}$).

Zużycie występujące na powierzchni przyłożenia narzędzia powoduje:

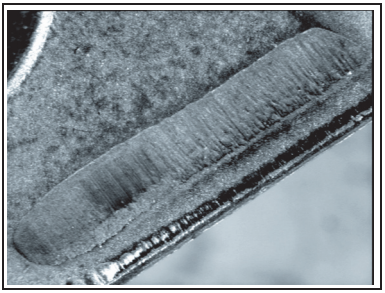
- wzrost sił skrawania,
- wzrost drgań,
- wzrost temperatury,
- pogorszenie jakości powierzchni,
- pogorszenie dokładności wymiarowej obrabianego przedmiotu.



Rys. 2.11 Zużycie powierzchni przyłożenia

Przyczyna	Sposób usunięcia
Za duża prędkość skrawania	Zmniejszyć prędkość skrawania
Materiał narzędzia skrawającego o niedostatecznej odporności na zużycie	Wybrać materiał o większej odporności na zużycie, wybrać gatunek powlekany
Nieodpowiedni posuw (za mały posuw)	Dobrać posuw o prawidłowym stosunku do prędkości i głębokości skrawania (zwiększyć posuw)

Tabela 2.3 Opis przyczyn nadmiernego zużycia powierzchni przyłożenia



Rys. 2.12 Zużycie rowkowe

1.2.2.2 Zużycie rowkowe

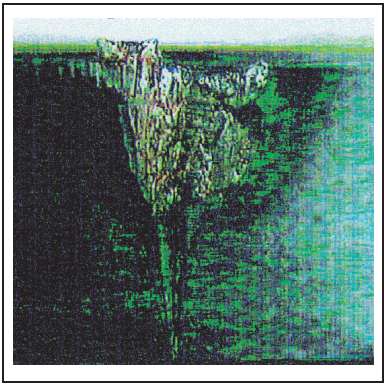
Zużyciem rowkowym określa się nieckowe ubytki materiału narzędzia skrawającego na powierzchni natarcia (dyfuzja i ścierność - porównaj *Rys. 2.8*). Zbyt duże zużycie rowkowe powoduje nadmierne zużycie powierzchni skrawającej, zbyt duże odkształcenia wióra i w ich następstwie wzrost sił skrawania. Wskutek tego zwiększa się zagrożenie pęknięcia ostrza.

Przyczyna	Sposób usunięcia
Za duża prędkość skrawania	Zmniejszyć prędkość skrawania, zastosować gatunek materiału narzędzia skrawającego o większej odporności na zużycie
Nieodpowiedni posuw	Wybrać właściwie dobrany posuw, prędkość skrawania i głębokość skrawania (za mała)
Za mały kąt natarcia	Zastosować imak narzędziowy i płytki skrawające z dodatnim kątem natarcia
Niewłaściwe doprowadzanie chłodziwa	Zwiększyć wydajność lub ciśnienie chłodziwa, zapewnić lepsze doprowadzanie do miejsca skrawania
Materiał narzędzia skrawającego o za małej odporności na zużycie	Wybrać materiał o większej odporności na zużycie, zastosować powłoki

Tabela 2.4 Opis przyczyn nadmiernego zużycia żłobkowego

1.2.2.3 Odkształcenie plastyczne

Odkształcenie plastyczne występuje zwłaszcza w wyniku przeciążenia cieplnego krawędzi skrawającej. Parametrem decydującym o ocenie materiału narzędzia skrawającego jest twardość w podwyższonych temperaturach.



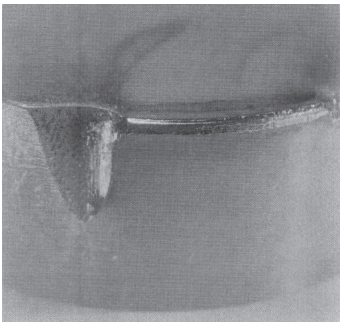
Rys. 2.13 Odkształcenie plastyczne

Przyczyna	Sposób usunięcia
Za wysoka temperatura robocza powodująca mięknienie materiału przy zbyt dużych prędkościach skrawania i posuwach oraz twardy materiał obrabianego przedmiotu	Zmniejszyć prędkość skrawania, zastosować materiał narzędzia skrawającego o większej odporności na zużycie, zmniejszyć przekrój wióra (zwłaszcza posuw), zastosować odpowiednie zaokrąglenia krawędzi, zmniejszyć kąt ustawienia, przewidzieć chłodzenie
Uszkodzenie powłoki	We właściwym czasie zmienić płytkę

Tabela 2.5 Opis przyczyn nadmiernego odkształcenia plastycznego

1.2.2.4 Zużycie żłobkowe

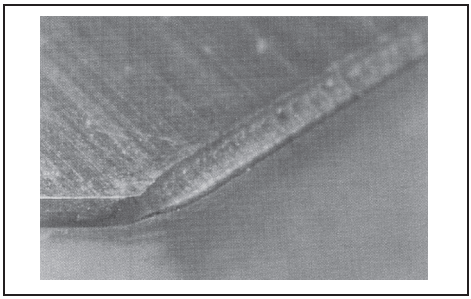
Zużycie żłobkowe może wystąpić zarówno na głównej, jak i na pomocniczej krawędzi skrawającej. Powoduje ono pogorszenie jakości obrabianej powierzchni i wywołuje ryzyko pęknięcia ostrza. Zużycie karbowe głównej krawędzi skrawającej wynika z przyczyn mechanicznych. Zużycie żłobkowe pomocniczej krawędzi skrawającej jest typowym zużyciem adhezyjnym (por. *Rys. 2.8*), może jednak występować również w związku ze zużyciem wskutek utleniania. Zużycie żłobkowe koncentruje się wówczas na krawędzi skrawającej, w miejscu gdzie powietrze może dotrzeć do strefy skrawania.



Rys 2.14 Zużycie żłobkowe

Przyczyna	Sposób usunięcia
Utlenianie Ścieranie	Wybrać odpowiednią powłokę Zmniejszyć prędkość skrawania, a w przypadku obrabiania materiału o dużej odporności cieplnej i gdy użyto narzędzia ze spieków ceramicznych → zwiększyć prędkość skrawania

Tabela 2.6 Opis zużycia żłobkowego



Rys. 2.15 Powstawanie pęknięć podłużnych

1.2.2.5 Powstawanie pęknięć podłużnych

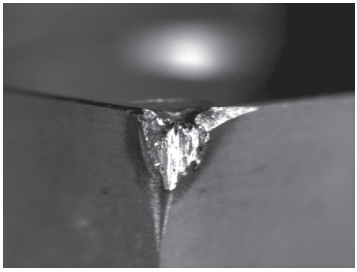
Pęknięcia cieplne **(Powstawanie pęknięć podłużnych)** występują w postaci zużycia zmęczeniowego, wskutek szoku termicznego (często w przypadku kruchych materiałów narzędzia skrawającego albo przy zmiennej temperaturze). Pęknięcia powstają przy tym prostopadle do krawędzi skrawającej, przy czym pojedyncze cząstki materiału wykruszają się w zwiększonym stopniu pomiędzy pęknięciami i mogą doprowadzić do nagłego wyłamania ostrza.

Przyczyna	Sposób
Zmienna grubość wióra	Dobrać równomierne warunki styku narzędzia z obrabianym przedmiotem
Zmienna wydajność chłodziwa	Chłodziwo doprowadzać równomiernie i z dostateczną wydajn., w przypadku stopów twardych i spieków ceram. unikać chłodzenia
Skrawanie przekrojów nieciągłych	Dobrać materiał narzędzia skrawającego o większej odporności na obciążenia dynamiczne i lepszej odporności na zmiany temp., chłodziwo doprowadzać z odpowiednią wydajn. albo całkowicie wyeliminować chłodzenie w przypadku stopów twardych

Tabela 2.7 Opis powstawania pęknięć podłużnych

1.2.2.6 Wyłamanie ostrza

W przypadku **wykruszeń i wyłamania ostrza** występują przeciążenia mechaniczne, które nie pozwalają na równomierne zużywanie się krawędzi skrawającej. Powodują one pogorszenie jakości obrabianej powierzchni. Żłobki i łuszczenie się pojedynczych cząstek materiału są zwiastunami wyłamania ostrza narzędzia. W przypadku mechanicznego wykruszenia zmęczeniowego, pęknięcia przebiegają zasadniczo równolegle do krawędzi skrawającej.



Rys. 2.16 Wyłamanie ostrza

Przyczyna	Sposób
Zbyt kruchy (odporny na zużycie) gatunek materiału narzędzia	Zastosować gatunek materiału narzędzia o większej odporności na obciążenia dynamiczne, sfazować krawędź skrawającą
Drgania	Zastosować dodatni kąt natarcia i nachylenia, zastosować mniejszy promień ostrza, zmniejszyć wysięg imaka narzędziowego, przewidzieć większy kąt przystawienia gł. krawędzi skrawającej, unikać obszaru powstawania narostów (por. rozdział 1.1.5)
Geometria powodująca osłabienie ostrza	Wybrać ostrza o geometrii nie powodującej osłabienia i o większym sfazowaniu, zwłaszcza w przypadku ostrzy ceramicznych
Powstawianie narostów	Zwiększyć prędkość skrawania, wybrać geometrię dodatnią
Za duży posuw lub głębokość skrawania	Zmniejszyć przekrój wióra, a szczególnie posuw lub głęb. skrawania, zastosować materiał narzędzia skrawającego o większej odporności na obciążenia dynamiczne, zastosować narzędzia o ujemnej geometrii ostrza, sfazować krawędź skrawającą
Nadmierne wahania obciążenia na krawędzi skrawającej, nieciągły przekrój obrabiany	Dostosować prędkość skrawania i posuw, wybrać materiał narzędzia skrawającego o większej odporności na obciążenia dynamiczne, sfazować krawędź skrawającą, poprawić stabilność, zastosować ujemną geometrię ostrza
Uderzenia wiórów	Sfazować krawędź skrawającą, zastosować ujemną geometrię ostrza, zmienić prowadzenie wiórów (zmiana posuwu, prędkości skrawania, zwijaczy i łamaczy wiórów...), zastosować materiał narzędzi skrawających o większej odporności na obciążenia dynamiczne

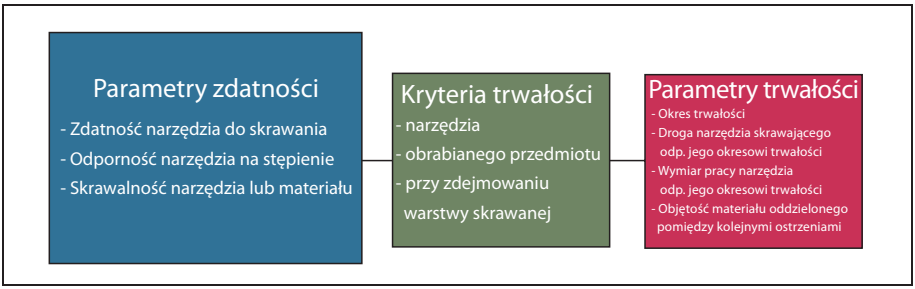
Tabela 2.8 Opis wykruszeń i wyłamań ostrza narzędzia

1.3 Parametry trwałości - okres trwałości

Parametry trwałości określają możliwość zachowania zdolności skrawania przez ostrze narzędzia w okresie eksploatacji.

Okres trwałości, będący najważniejszą wielkością oceny zdolności skrawania materiału, określa czas, w którym narzędzie zachowuje zdolność skrawania podczas eksploatacji, aż do osiągnięcia wybranego kryterium trwałości (bez czasów pomocniczych). Jeżeli np. nie będzie już można osiągać wymaganych tolerancji albo eksploatowane ostrze nie zapewni wymaganej jakości powierzchni w danym przypadku zastosowania, wówczas ostrze nie może być już dłużej używane - nastąpił koniec okresu trwałości.

Oprócz okresu trwałości, przy ocenie narzędzia wykorzystuje się również inne parametry trwałości, między innymi przy rozpatrywaniu wiercenia albo frezowania drogę pracy narzędzia, odpowiadającą jego okresowi trwałości oraz ilość pracy wykonaną w okresie trwałości w automatycznych, potokowych liniach obrabiarkowych albo centrach obróbczych.



Rys. 2.17 Pojęcia trwałości (według DIN 6583)

Jako **kryterium trwałości** przyjmuje się często dopuszczalną szerokość śladów zużycia VB (por. rozdział 1.2.2.1). Szerokość śladów zużycia jest przy tym ograniczona przez maksymalnie dopuszczalną wartość $VB_{dop.}$, (patrz. *Tabela 2.9*). Czas, który upływa do momentu osiągnięcia $VB_{dop.}$ jest okresem trwałości narzędzia.

Rodzaj obróbki	Wygładzanie wykańczające	Obróbka wykańczająca	Obróbka zgrubna wstępna	Obróbka zgrubna zdzierająca
Szerokość śladów zużycia $VB_{dop.}$ [mm]	0,1 ... 0,2	0,2 ... 0,4	0,4 ... 0,6	0,8 ... 1,2

Tabela 2.9 Dopuszczalna szerokość śladów zużycia stopów twardych, w zależności od rodzaju obróbki

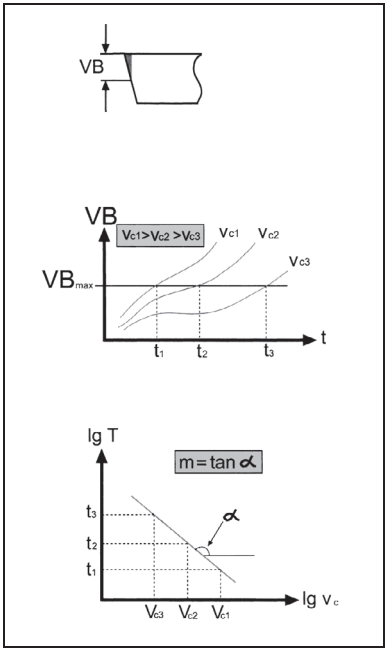
1.3.1 Wykres i równanie okresu trwałości

Warunkiem planowania produkcji są niezawodne i możliwe do obliczenia okresy trwałości. Podstawą ich określenia, nadającą się do wykorzystania w praktyce, są **badania długotrwałe**, które wymagają jednak dużego nakładu czasu i materiałów.

Badania krótkotrwałe redukują ten nakład, pozwalają jednak na wyciągnięcie ograniczonych wniosków dotyczących okresu trwałości narzędzia. Stosuje się je przeważnie przy kontroli przyjęciowej materiałów na narzędzia skrawające i materiałów do obróbki albo do nadzorowania skrawalności.

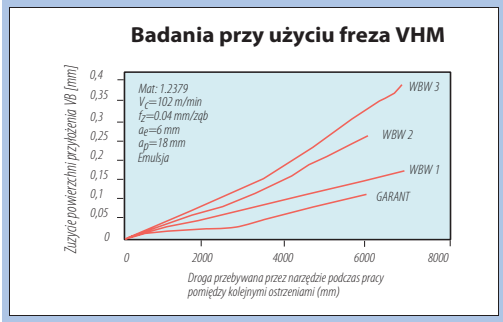
Badanie okresu trwałości przeprowadza się często w celu określenia okresu trwałości. Określane jest przy tym zużycie narzędzia aż do osiągnięcia granicznego zużycia końcowego. Przy porównywaniu wartości zużycia należy koniecznie zwracać uwagę na ujednoliconą i znormalizowaną metodę rejestracji zużycia. Względnie dobrą i łatwą do ustalenia wielkością zużycia jest zużycie powierzchni przyłożenia, często z tych powodów stosowane. Na *rysunku 2.18* przedstawiono przebieg tego rodzaju zużycia powierzchni przyłożenia (VB) przy toczeniu.

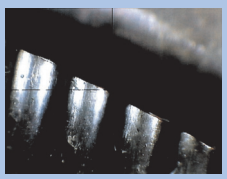
Z poszczególnych krzywych prędkości skrawania (*Rys. 2.18, w środku*) określa się np. dla stałej szerokości śladów zużycia $VB_{maks.}$ (ustalone kryterium zużycia albo okresu trwałości) odpowiadające im czasy t_1 do t_3 (okresy trwałości) i nanosi się je na wykres lg v_c (*Rys. 2.18, u dołu*). Dla wybranych prędkości skrawania można odczytać z tych krzywych odpowiadające im okresy trwałości.



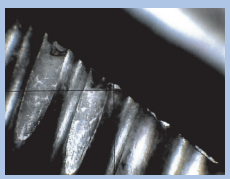
Rys. 2.18 Określanie okresu trwałości

Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowe zużycie powierzchni przyłożenia VB przy **frezowaniu zgrubnym**, w zależności od drogi L, przebywanej przez narzędzie podczas pracy między kolejnymi ostrzeniami, przy zastosowaniu różnych frezów wykonanych całkowicie ze stopów twardych.





Zużycie bardzo małe



Wyłamanie ostrza

Rys. 2.19 Badania skrawania w celu określenia drogi przebywanej przez narzędzie podczas pracy, pomiędzy kolejnymi ostrzeniami

Przebieg krzywych może być opisany w dużym zakresie przez równanie prostej, które po przekształceniach logarytmicznych doprowadza do tzw. równania Taylora:

$$T = v_c^k \cdot C_v$$

T okres trwałości (równ. 2.9)
v_c prędkość skrawania
k nachylenie prostej (k = m = tg α, por. *Rys. 2.18*)
C_v wartość stała trwałości T, przy v_c = 1 m/min

lub

$$T = \frac{v_c^k}{C_T^k}$$

T okres trwałości (równ. 2.10)
v_c prędkość skrawania
k nachylenie prostej (k = m = tg α, por. *Rys. 2.18*)
C_T wartość stała prędkości skrawania v_c przy T = 1 min
gdzie $C_T = C_V^{-(1/k)}$

Przekształcenie równania względem prędkości skrawania v_c doprowadza do użytecznej w praktyce postaci równania:

$$v_C = T^{\frac{1}{k}} \cdot C_T$$

T okres trwałości (równ. 2.11)
v_c prędkość skrawania
k nachylenie prostej (k = m = tg α, por. *Rys. 2.18*)
C_T wartość stała prędkości skrawania v_c przy T = 1 min

1.3.2 Czynniki wpływające na okres trwałości

W praktyce konieczne jest, aby znać i uwzględnić w rozważaniach również wpływ innych parametrów skrawania, jak np. posuwu, głębokości skrawania, rodzaju obrabianego materiału i materiału narzędzia skrawającego. W poniższej *Tabeli 2.10* przedstawiono przegląd wpływu tych wielkości.

Największy wpływ na okres trwałości wywiera prędkość skrawania. Następnym, najważniejszym czynnikiem wpływu jest posuw, którego różne wartości przedstawiono w postaci prostych na wykresie okresu trwałości, przy założeniu, że rozpatruje się te same pary materiału obrabianego i materiału narzędzia skrawającego. To samo dotyczy również wpływu głębokości skrawania, warunków geometrycznych, jak kątów natarcia, przyłożenia i przystawienia głównej krawędzi skrawającej oraz w przybliżeniu również wpływu materiału pomocniczego. Jeżeli rodzaj materiału obrabianego, materiału ostrza skrawającego albo kryterium zużycia będą zmieniane, wówczas uzyska się również inne kąty nachylenia prostych okresu trwałości

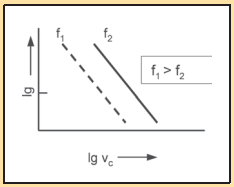
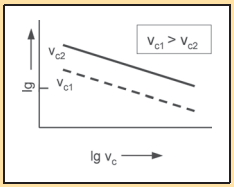
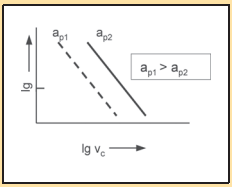
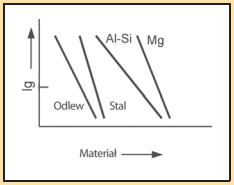
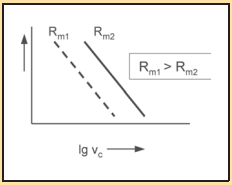
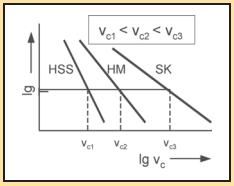
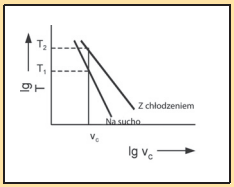
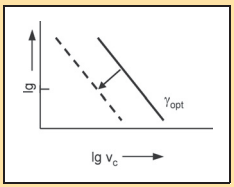
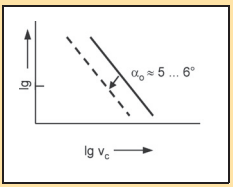
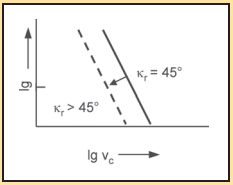
Warunki skrawania	Prędkość skrawania  Najczęściej używana postać wykresu trwałości Prędkość skrawania wywiera największy wpływ na okres trwałości. Okres ten szybko skraca się wraz ze wzrostem prędkości skrawania Wielkości stałe: obrabiany materiał, materiał narzędzia skrawającego, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej	Posuw  Wraz ze wzrostem posuwu zmniejsza się okres trwałości, przy stałych warunkach pozostałych. Posuw wywiera większy wpływ na okres trwałości niż głębokość skrawania Wielkości stałe: obrabiany materiał, materiał narzędzia skrawającego, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej	Głębokość skrawania  Wraz ze wzrostem głębokości skrawania zmniejsza się okres trwałości, przy takich samych warunkach pozostałych Wielkości stałe: obrabiany materiał, materiał narzędzia skrawającego, posuw, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej
Materiał obrabiany	 Kąt nachylenia prostych okresu trwałości jest różny w przypadku różnych materiałów obróbki	 Wielkości stałe: materiał narzędzia skrawającego, posuw, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej	Znaczny wpływ na okres trwałości wywiera struktura materiału, twardość, wytrzymałość na rozciąganie i dodatki stopowe. Okres trwałości skraca się przy takich samych warunkach pozostałych, wraz ze wzrostem zawartości perlitu w strukturze i ze wzrostem twardości lub wytrzymałości na rozciąganie obrabianego materiału
Materiał narzędzia skrawającego		Materiał narzędzia skrawającego ma bardzo duży wpływ na okres trwałości. Z sąsiedniego rysunku wynika, że przy zachowaniu stałego okresu trwałości możliwe jest zastosowanie większych prędkości skrawania przy wzroście jakości materiału narzędzia skrawającego. Jeżeli prędkość skrawania pozostanie stała w określonych przedziałach, wówczas podwyższenie jakości materiału narzędzia skrawającego powoduje wydłużenie okresu trwałości. Wielkości stałe: obrabiany materiał, posuw, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej	

Tabela 2.10 Czynniki wpływające na okres trwałości narzędzia - ciąg dalszy na następnej stronie

Tabela 2.10 Czynniki wpływające na okres trwałości narzędzia - ciąg dalszy

<table>
<tr>
<td>Materiał pomocniczy</td>
<td> 
</td>
<td colspan="3">Ciecze chłodząco-smarujące w zależności od składu mają działanie w większym stopniu smarujące lub chłodzące. Przy niskich prędkościach skrawania można wydłużyć okres trwałości przez zastosowanie cieczy posiadającej głównie działanie smarujące, a przy większych prędkościach skrawania można poprawić okres trwałości przez zastosowanie cieczy chłodząco-smarującej o działaniu głównie chłodzącym. Przy pozostałych warunkach stałych chłodzenie i smarowanie wydłuża okres trwałości przede wszystkim w przypadku narzędzi wykonanych ze stali szybkotnącej.
Wielkości stałe:
obrabiany materiał, posuw, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej
Materiał narzędzia skrawającego: stal szybkotnąca</td>
</tr>
<tr>
<td>Geometria ostrza</td>
<td>Kąt natarcia
 

Okres trwałości zmniejsza się przy stosowaniu kąta natarcia znacznie odbiegającego od zwykle zalecanych wartości, jeżeli pozostałe warunki są stałe.
Zbyt duży, dodatni kąt natarcia: osłabienie klina ostrza.
Zbyt duży ujemny kąt natarcia: zbyt duże zużycie żłobkowe.
Wielkości stałe:
obrabiany materiał narzędzia skrawającego, posuw, głębokość skrawania, kąt przyłożenia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej</td>
<td>Kąt przyłożenia
 

Jeżeli zachowuje się kąt przyłożenia mniejszy niż 5° do 6° i stałość pozostałych warunków, wówczas okres trwałości skraca się, ze względu na większe tarcie na powierzchni przyłożenia.
Zwiększ. kąta przyłożenia od 10° do 15° powoduje osłabienie klina ostrza.
Wielkości stałe:
obrabiany materiał, materiał narzędzia skrawającego, posuw, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej</td>
<td>Kąt przystaw. gł. krawędzi skraw.
 

Im mniejszy jest kąt przystawienia, tym większa jest czynna długość krawędzi skrawającej; przy pozostałych warunkach stałych i tym samym dłuższy jest okres trwałości. Zależność ta działa również w odwrotnym kierunku
Wielkości stałe:
obrabiany materiał, materiał narzędzia skrawającego, posuw, głębokość skrawania, kąt natarcia, kąt przyłożenia</td>
</tr>
</table>

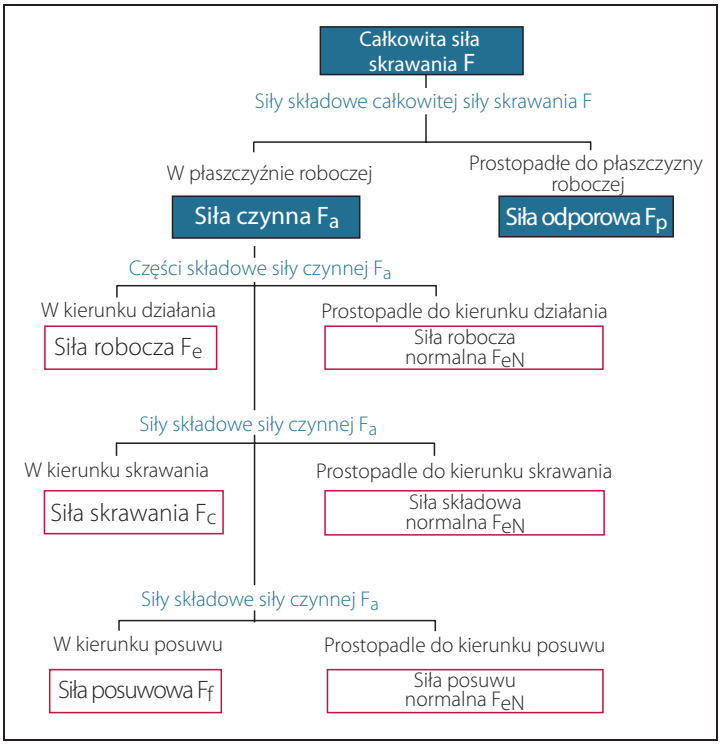
1.4 Siła skrawania i kryteria doboru mocy

1.4.1 Siła skrawania

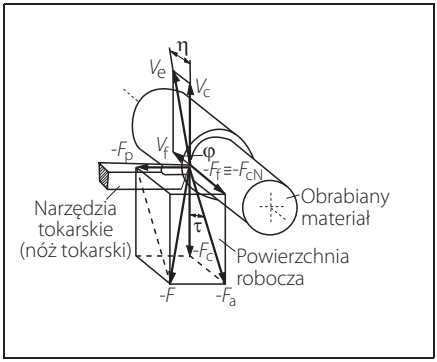
W niniejszym rozdziale zostaną rozpatrzone i zdefiniowane siły działające podczas skrawania na obrabiany przedmiot. Pojęcia z dziedziny obróbki skrawaniem są zebrane w DIN 6584.

1.4.1.1 Składowe siły skrawania

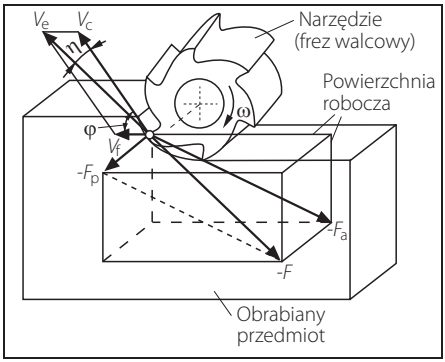
Siła skrawania F jest całkowitą siłą działającą na obrabiany przedmiot. Można ją rozłożyć na różne siły składowe, przy czym szczególne znaczenie mają składowe działające na powierzchnię roboczą oraz w kierunku skrawania i posuwu. Na *Rys. 2.20* przedstawiono zasadniczy podział siły skrawania, a na *Rys. 2.21* i *2.22* przedstawiono przykład dla toczenia lub frezowania obwodowego. Zakłada się przy tym, że siły te są przyłożone w punkcie skrawania. W przypadku narzędzi wieloostrzowych trzeba rozpatrywać siły na poszczególnych klinach ostrzy, znajdujących się w kontakcie z obrabianym materiałem. Przez dodawanie wektorowe można ponownie utworzyć całkowitą siłę skrawania.



Rys. 2.20
Rozkład całkowitej siły skrawania na siły składowe według DIN 6584



Rys. 2.21 Siły składowe całkowitej siły skrawania przy toczeniu (kąt kierunku posuwu $\varphi = 90°$)



Rys. 2.22 Siły składowe całkowitej siły skrawania przy przeciwbieżnym frezowaniu obwodowym (kąt kierunku posuwu $\varphi < 90°$)

Z możliwości rozkładania sił według *Rys. 2.21* wynikają różne zależności matematyczne.

Dla całkowitej siły skrawania obowiązuje zależność:

$$F = \sqrt{F_a^2 + F_p^2}$$

(równ. 2.12)

Moc skrawania tworzy się za pomocą **składowych siły czynnej F_a**. Szczególnie ważną siłą składową jest **siła skrawania F_c** (wcześniej zwana również główną siłą skrawania), która decyduje o rzeczywistym odspajaniu wióra, a jest istotna zwłaszcza przy obliczaniu mocy i doborze wytrzymałościowym obrabiarek.

Poza tym należy wspomnieć zwłaszcza o takich siłach składowych, jak **siła posuwu F_f** i **siła odporowa F_p** (wcześniej zwana również siłą odporu). Znajomość wielkości i kierunku siły posuwu jest konieczna zarówno do określenia mocy koniecznej do wykonania posuwu, jak i (wspólnie z siłą pasywną) do obliczenia narzędzi i ich zamocowań.

Rodzaj zużycia narzędzia pozwala na ustalenie wpływu różnych czynników na całkowitą siłę skrawania. Zużycie rowkowe, w wyniku którego zwiększa się dodatni kąt natarcia, powoduje najczęściej zmniejszenie całkowitej siły skrawania. Natomiast w przypadku dominującego zużycia powierzchni przyłożenia, siły zwiększają się, ponieważ zwiększa się powierzchnia tarcia pomiędzy obrabianym materiałem i powierzchnią przyłożenia. Ze względu na dużą liczbę czynników wpływu Ilościową ocenę wzrostu siły wraz ze wzrostem zużycia narzędzia można określić tylko w przybliżeniu.

Orientacyjnie można przyjąć następujące wartości **wzrostu siły**:

	Wzrost siły na każde 0,1 mm szerokości śladów zużycia powierzchni przyłożenia VB	Wzrost siły na każdy stopień kąta natarcia (zmniejszanie / zwiększanie kąta natarcia)
siła skrawania F_c	2 ... 5%	około 1,5%
siła posuwu F_f	około 10%	około 5%
siła odporowa F_p	około 12%	około 4%

Wartości te dotyczą toczenia i można je stosować do innych metod obróbki skrawaniem przy uwzględnieniu kinematyki metody lub geometrii ostrza. Nie dotyczą one skrawania w obszarze ostrza łukowego (obróbka wykańczająca).

1.4.1.2 Siła skrawania i właściwy opór skrawania

Siła skrawania F_c jako tak zwana "siła decydująca o mocy", ma wraz z prędkością skrawania największe znaczenie przy obliczaniu mocy skrawania lub napędu obrabiarki. Wielkość siły skrawania zależy w pierwszym rzędzie od skrawanego materiału i warunków skrawania oraz od wymiarów warstwy skrawanej (np. geometria ostrza, grubość warstwy skrawanej h). Dlatego jest ona określana w zależności od metody obróbki (przekroje warstwy skrawanej A, specyficzne dla metody obróbki).

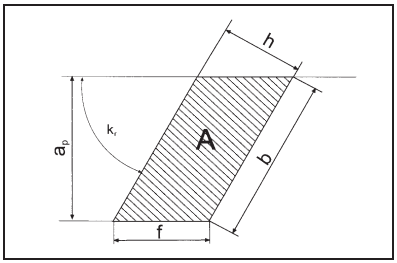
Równanie podstawowe siły skrawania (w odniesieniu do ostrza) jest przedstawione w równaniu 2.13, w postaci opracowanej pierwotnie do toczenia.
Siła skrawania F_c przy toczeniu jest według KIENTZLEGO określana równaniem:

$$F_c = A \cdot k_c = b \cdot h \cdot k_c$$

(równ. 2.13)

F_c siła skrawania [N]
A przekrój warstwy skrawanej [mm^2] według *Rys. 2.23* i rozdziału Podstawy, podrozdział 1.1.5
b szerokość warstwy skrawanej [mm]
h grubość warstwy skrawanej [mm]
k_c właściwy opór skrawania [N/mm^2]

Przekrój warstwy skrawanej A przy toczeniu, jak przedstawiono na *Rys. 2.23*, wynika z szerokości b i grubości h warstwy skrawanej. Grubość warstwy skrawanej może zmieniać się podczas skrawania (np. przy frezowaniu). Wówczas przy określaniu siły skrawania stosuje się średnią grubość warstwy skrawanej h_m (por. także rozdział Frezowanie i Zbiór wzorów).



Rys. 2.23 Parametry przekroju warstwy skrawanej przy toczeniu

Właściwy opór skrawania k_c zależy wprawdzie w znacznym stopniu od materiału, należy go jednak traktować wyłącznie jako współczynnik obliczeniowy, a nie jako wskaźnik materiałowy. Na *Rys. 2.24* przedstawiono zależność właściwego oporu skrawania k_c od grubości warstwy skrawanej h (por. *równanie 2.14* jak również *Tabela 2.11* dla wybranych materiałów i grubości warstwy skrawanej).

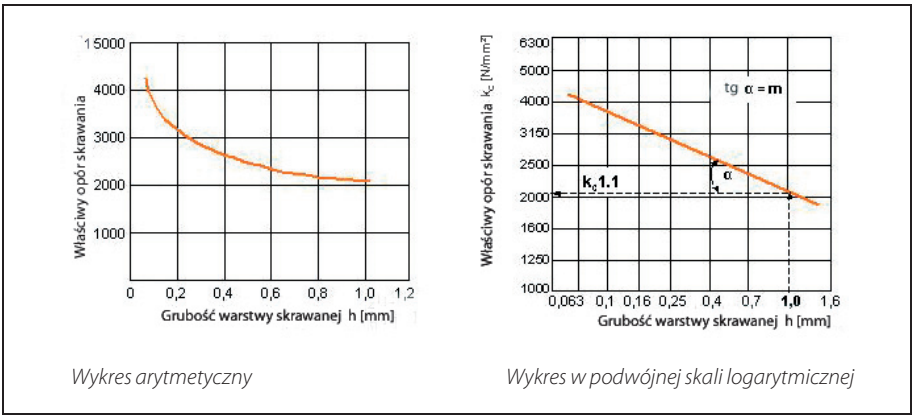
Istotnymi czynnikami wpływającymi na wartość k_c są:

- wytrzymałość i składniki stopowe obrabianego materiału,
- geometria ostrza narzędzia.

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m}$$

$k_{c\,1.1}$ główna wartość właściwego oporu (2.14) skrawania przy przekroju warstwy skrawanej A = 1 mm^2 [b = 1 mm, h = 1 mm]

m pochylenie stycznej kąta nachylenia α *(Rys. 2.24)*



Wykres arytmetyczny *Wykres w podwójnej skali logarytmicznej*

Rys. 2.24 Zależność właściwego oporu skrawania k_c od grubości warstwy skrawanej h

Główna wartość właściwego oporu skrawania $k_{c1.1}$ i pochylenie stycznej kąta nachylenia α zależą od rodzaju obrabianego materiału i zostały ustalone doświadczalnie dla różnych materiałów. Wartości te można przyjąć dla różnych materiałów z rozdziału Materiały, podrozdział 1. Orientacyjne wartości właściwego oporu skrawania k_c są podane w poniższej *Tabeli 2.1*.

Grupa materiałowa		Wytrzymałość [N/mm²]	Materiał				Właściwy opór skrawania kc [N/mm²] w zależności od grubości warstwy skrawanej h [mm]									
			Nr materiału	Oznaczenie materiału wg DIN	$kc_{1,1}$ [N/mm²]	m	0,05	0,06	0,1	0,16	0,3	0,4	0,5	0,8	1,6	2,5
1.0	Stal konstr. ogólnego przeznaczenia	do 500	1.0037	St 37-2	1.780	0,17	2.962	2.872	2.633	2.431	2.253	2.080	2.003	1.849	1.643	1.523
1.1	Stal konstr. ogólnego przeznaczenia	500–850	1.0050	St 50-2	1.990	0,26	4.336	4.136	3.621	3.205	2.854	2.525	2.383	2.109	1.761	1.568
			1.0060	St 60-2	2.110	0,17	3.511	3.404	3.121	2.881	2.671	2.466	2.374	2.192	1.948	1.806
			1.0070	St 70-2	2.260	0,30	5.552	5.256	4.509	3.916	3.426	2.975	2.782	2.416	1.963	1.717
2.0	Stal automatowa	do 500	1.0718	9SMnPb28	1200	0,18	1997	1.844	1.775	1.639	1.473	1.402	1.350	1.246	1.108	1.027
3.0	Niestopowa stal do ulepszania cieplnego	do 700	1.0402	C 22	1.800	0,16	2.907	2.823	2.602	2.413	2.247	2.084	2.011	1.865	1.670	1.555
			1.0501	C 35	1.516	0,27	3.404	3.240	2.823	2.486	2.204	1.942	1.828	1.610	1.335	1.184
3.1	Niestopowa stal do ulepszania cieplnego	700–850	1.0503	C 45	1.680	0,26	3.661	3.491	3.057	2.705	2.409	2.132	2.012	1.780	1.487	1.324
			1.1191	Ck 45	2.220	0,14	3.377	3.292	3.064	2.869	2.696	2.524	2.446	2.290	2.079	1.953
3.2	Niestopowa stal do ulepszania cieplnego	850–1000	1.1221	Ck 60	2.130	0,18	3.652	3.534	3.224	2.962	2.734	2.512	2.413	2.217	1.957	1.806
4.1	Stopowa stal do ulepszania cieplnego	1000–1200	1.7218	25CrMo4	2.070	0,25	4.378	4.182	3.681	3.273	2.927	2.603	2.462	2.189	1.841	1.646
			1.7225	42CrMo4	2.500	0,26	5448	5195	4549	4026	3585	3173	2994	2649	2212	1970
5.0	Niestopowa stal do nawęglania	do 750	1.0401	C 15	1.820	0,22	3.518	3.380	3.020	2.724	2.469	2.226	2.120	1.912	1.641	1.488
6.0	Niestopowa stal do nawęglania	do 1000	1.5919	15CrNi6	1.380	0,30	3390	2.944	2.753	2.391	1.980	1.817	1.699	1.476	1.199	1.048
			1.7131	16MnCr5	2.100	0,26	4.576	4.364	3.821	3.382	3.011	2.665	2.515	2.225	1.858	1.655
6.1	Niestopowa stal do nawęglania	powyżej 1000	1.7147	20MnCr5	2.140	0,25	4.526	4.324	3.806	3.384	3.026	2.691	2.545	2.263	1.903	1.702
			1.7262	15CrMo5	2.290	0,17	3.811	3.694	3.387	3.127	2.899	2.676	2.576	2.379	2.114	1.960
7.0	Stal do azotowania	do 1000	1.8507	34CrAlMo5	1.740	0,26	3.792	3.616	3.166	2.802	2.495	2.208	2.084	1.844	1.540	1.371
8.0	Stal narzędziowa	do 850	1.1730	C45W	1.680	0,26	3.661	3.491	3.057	2.705	2.409	2.132	2.012	1.780	1.487	1.324
			1.2067	100Cr6	1.410	0,39	4.535	3.776	3.461	2.881	2.255	2.016	1.848	1.538	1.174	986
8.1	Stal narzędziowa	850–1100	1.2312	40CrMnMoS8-6	1.800	0,27	4.042	3.847	3.352	2.952	2.617	2.305	2.170	1.912	1.585	1.405
			1.2842	90MnCrV	2.300	0.21	4.315	4.153	3.730	3.380	3.077	2.788	2.660	2.410	2.084	1.897
8.2	Stal narzędziowa	1100–1400	1.2080	X210Cr12	1.820	0.26	3.966	3.782	3.312	2.931	2.610	2.310	2.179	1.929	1.611	1.434

Tabela 2.11 Orientacyjne wartości właściwościowego oporu skrawania k_c

Tabela 2.11 Orientacyjne wartości właściwego oporu skrawania k_c - ciąg dalszy

Grupa materiałów		Wytrzymałość [N/mm²]	Materiał				Właściwy opór skrawania kc [N/mm²] w zależności od grubości warstwy skrawanej h [mm]									
			Nr materiału	Oznaczenie materiału wg DIN	$kc_{1.1}$ [N/mm²]	m	0,05	0,06	0,1	0,16	0,3	0,4	0,5	0,8	1,6	2,5
12.0	Stal sprężynowa	do 1200	1.5023	38Si7	1.800	0,27	4.042	3.847	3.352	2.952	2.617	2.305	2.170	1.912	1.585	1.405
			1.8159	50CrV4	2.220	0,26	4.925	4.697	4.113	3.639	3.241	2.868	2.706	2.395	2.000	1.781
13.0	Stal nierdzewna siarkowana	do 700	1.4104	X14CrMpS17	1.820	0,26	3.966	3.782	3.312	2.931	2.610	2.310	2.179	1.929	1.611	1.434
13.1	Stal nierdzewna austenityczna	do 700	1.4301	X5CrNi18 10	2.350	0,21	4.408	4.243	3.811	3.453	3.144	2.849	2.718	2.463	2.129	1.939
			1.4401	X5CrNiMo17122	2.600	0,19	4.594	4.437	4.027	3.683	3.383	3.094	2.966	2.713	2.378	2.185
13.2	Stal nierdzewna austenityczna	do 850	1.4034	X46Cr13	1.820	0,26	3.966	3.782	3.312	2.931	2.610	2.310	2.179	1.929	1.611	1.434
13.3	Stal nierdzewna martenzytyczno-ferrytyczna	do 1100	1.4028	X30Cr13	1.820	0,26	3.966	3.782	3.312	2.931	2.610	2.310	2.179	1.929	1.611	1.434
			2.4631	NiCr20TiAl	2.088	0,29	4.978	4.721	4.071	3.553	3.121	2.724	2.553	2.228	1.822	1.601
15.0	Żeliwo (GG)	do 180 HB	0.6020	GG 20	1.020	0,25	2.157	2.061	1.814	1.613	1.442	1.283	1.213	1.079	907	811
15.1	Żeliwo (GG)	powyż. 180HB	0.6040	GG 40	1.470	0,26	3.203	3.055	2.675	2.367	2.108	1.865	1.760	1.558	1.301	1.158
15.2	Żeliwo (GGG, GT)	powyż. 180HB	0.7040	GGG-40	1.005	0,25	2.125	2.031	1.787	1.589	1.421	1.264	1.195	1.063	894	799
			0.8040	GTW-40	2.060	0,19	3.640	3.516	3.191	2.918	2.681	2.452	2.350	2.149	1.884	1.731
15.3	Żeliwo (GGG, GT)	do 260 HB	0.7080	GGG-80	1.132	0,44	4.230	3.904	3.118	2.535	2.083	1.694	1.536	1.249	921	756
			0.8165	GTS-65	1.180	0,24	2.422	2.318	2.051	1.832	1.646	1.470	1.394	1.245	1.054	947
16.1	Ti, stopy Ti	850–1200	3.7164	TiAl6V4	1.370	0,21	2.570	2.378	2.222	2.013	1.764	1.661	1.585	1.436	1.241	1.130
17.0	Aluminium dające długi wiór, stopy aluminium do przeróbki plastycznej, magnez	do 350	3.1324	AlCuMg1	830	0,23	1.653	1.585	1.410	552	1.095	1.025	973	874	745	672
			3.5812	MgAl8Zn	390	0,19	689	666	604	1.189	490	464	445	407	357	328
17.1	Aluminium dające krótki wiór		3.3535	AlMg3	780	0,23	1.554	1.490	1.325	1.265	1.073	963	915	821	700	632
17.2	Stopy odlewnicze aluminium Si > 10%		3.2581	G-AlSi12	830	0,23	1.653	1.585	1.410	1.265	1.142	1.025	973	874	745	672
18.1	Mosiądz dający krótki wiór	do 600	2.0380	CuZn39Pb2	780	0,18	1.337	1.294	1.181	1.085	1.001	920	884	812	717	661
18.3	Brąz dający krótki wiór	do 600	2.1090	CuSn7ZnPb	640	0,25	1.353	1.293	1.138	1.012	905	805	761	677	569	509

Podane w *Tabeli 2.11* wartości właściwego oporu skrawania odnoszą się przy tym do:

- materiału narzędzia: stop twardy,
- prędkości skrawania: 100 m/min,
- kąta natarcia $\gamma = 6°$ do stali; lub $\gamma = 2°$ do żeliwa,
- kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej $\kappa = 45°$,
- ostrza o ostrości eksploatacyjnej.

W przypadku innych warunków skrawania przy obliczaniu siły skrawania F_c konieczne jest stosowanie **współczynników korekcyjnych**.

Dotyczy to szczególnie:

- korekty kąta natarcia K_γ,
- korekty prędkości skrawania K_v,
- korekty materiału narzędzia skrawającego K_{Sch},
- korekty zużycia K_{Ver}.

$$F_c = b \cdot h \cdot k_c \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{Sch} \cdot K_{Ver} \qquad \text{(równ. 2.15)}$$

Współczynniki korekcyjne do obliczania siły skrawania są podane w *Tabeli 2.12*.

	Wartość przyjmowana do obliczeń / zakres wielkości	**Uwagi**
K_γ	$K_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66,7°}$	γ wypadkowy kąt natarcia γ_k przy obróbce stali: 6° γ_k przy obróbce żeliwa: 2°
K_v	przy $v_c > 80$ m/min można pominąć	Ostrza ze stopów twardych
	1,15	Ostrza ze stali szybkotnącej
K_{Sch}	1	Stop twardy
	0,9 ... 0,95	Spiek ceramiczny
K_{Ver}	1	Narzędzie o ostrości eksploatacyjnej
	1,3 ... 1,5	Narzędzie zużyte

Tabela 2.12 Określanie współczynników korekcyjnych do obliczania siły skrawania

1.4.1.3 Wielkości wpływające na wartość siły skrawania i właściwego oporu skrawania

Wielkość całkowitej siły skrawania służy do oceny skrawalności, ponieważ zazwyczaj przy obróbce trudniej skrawalnych materiałów występują również większe siły. W *Tabeli 2.13* zebrano występujące czynniki wpływu.

Czynniki te działają w takim samym stopniu na właściwy opor skrawania. Jeśli chodzi o wpływ posuwu, grubości warstwy skrawanej, głębokości skrawania lub szerokości warstwy skrawanej na właściwy opór skrawania, obowiązują jednak zasadniczo inne zależności. W zakresie ważności obowiązującej siły skrawania (h = 0,05...2,5 mm) w miarę wzrastania posuwu lub grubości skrawania, zmniejsza się właściwy opór skrawania *(por. Rys. 2.24)*. Wpływ głębokości skrawania lub szerokości warstwy skrawanej można w przybliżeniu traktować jako stały.

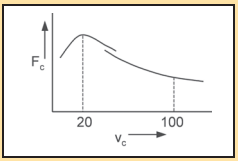
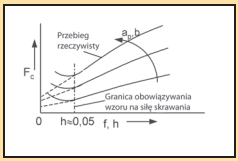
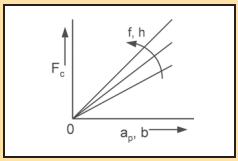
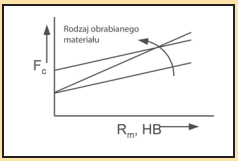
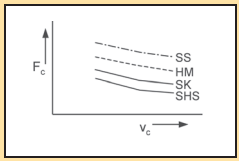
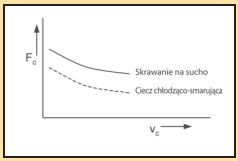
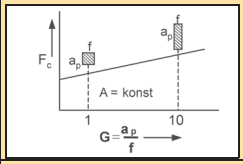
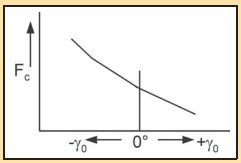
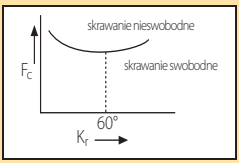
Warunki skrawania	Prędkość skrawania	Posuw	Głębokość skrawania
			
	W obszarze powyżej 100 m/min siła skrawania zmniejsza się tylko nieznacznie, wraz ze wzrostem prędkości skrawania. W obszarze poniżej 100 m/min, wzrost F_c jest zależny od obrabianego materiału.	Posuw *f* lub grubość warstwy skrawanej *h* wywierają znaczący wpływ na siłę skrawania.	Wraz ze wzrostem głębokości skrawania proporcjonalnie zwiększa się siła skrawania. W zależności od wybranego posuwu, proste uzyskują większe albo mniejsze nachylenie.
	Obrabiany materiał	**Materiał narzędzia**	**Środek chłodząco-smarujący**
			
	Przy obróbce różnych materiałów powstają siły skrawania o różnej wartości, jeżeli pozostałe warunki skrawania są stałe. Wynika to z właściwości obrabianego materiału. W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że siła skrawania zwiększa się wraz ze wzrostem wytrzymałości na rozciąganie lub twardości.	SS stal szybkotnąca HM stop twardy SK spiek ceramiczny SHS supertwarde materiały narzędzi skrawających (CBN) Przedstawione zależności dotyczą skrawania materiałów żelaznych.	Zastosowanie odpowiedniej cieczy chłodząco-smarującej może nieznacznie obniżyć siły skrawania w stosunku do obróbki na sucho. Decydujący wpływ na siły skrawania ma jednak dobór odpowiedniego materiału narzędzia skrawającego (por. rozdział Podstawy, podrozdział 3).

Tabela 2.13 Wielkości wpływające na wartość siły skrawania - ciąg dalszy na stronie 122.

Tabela 2.13 Wielkości wpływające na wartość siły skrawania - ciąg dalszy

Stosunek wymiarów warstwy skrawanej $G = a_p / f$		Na ogół przy obróbce zgrubnej przyjmuje się stosunek wymiarów warstwy skrawanej w zakresie G = 2...10, a przy obróbce wykańczającej - 10...20. Wpływ stosunku wymiarów warstwy skrawanej nie jest tak duży, jak wpływ posuwu albo głębokości skrawania. Mały stosunek wymiarów warstwy skrawanej jest korzystniejszy, ze względu na występujące siły. Duży stosunek warstwy skrawanej jest natomiast korzystniejszy z punktu widzenia osiągnięcia dłuższego okresu trwałości.
Geometria ostrza	**Kąt natarcia**  Zmiana siły skrawania na każdy stopień zmiany kąta natarcia: ok. 1 ... 2% (dla γ = –20° ... +30°).	**Kąt przyst. głównej krawędzi skrawającej**  Kąt przystawienia ma stosunkowo niewielki wpływ na siłę skrawania.

1.4.1.4 Siła posuwowa i siła odporowa

Na temat **siły posuwowej** F_f i **siły odporowej** F_p literatura podaje stosunkowo niewiele wyników badań w porównaniu z siłą skrawania. Oblicza się je w sposób analogiczny do siły skrawania. Obowiązują poniższe analogiczne zależności:

$$F_f = b \cdot k_{f1.1} \cdot h^{1-m_f}$$

(równ. 2.16)

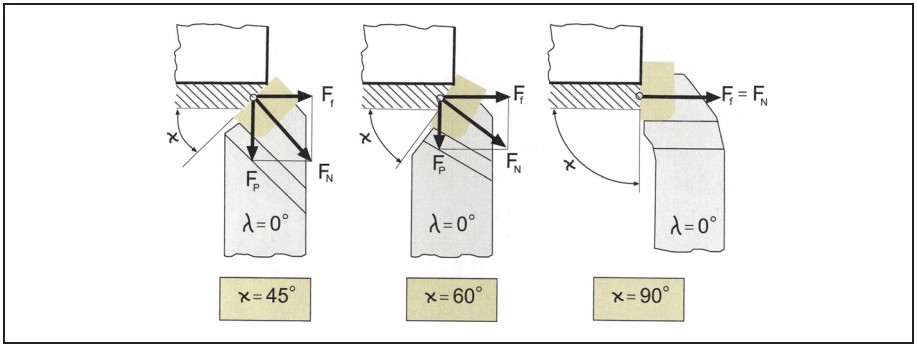
F_f siła posuwowa [N]
b szerokość warstwy skrawanej [mm]
h grubość warstwy skrawanej [mm]
$k_{f\,1.1}$ główna wartość jednostkowej siły posuwowej [N/mm^2]
$1\text{-}m_f$ wskaźnik wzrostu

$$F_p = b \cdot k_{p1.1} \cdot h^{1-m_p}$$

(równ. 2.17)

F_p siła odporowa [N]
b szerokość warstwy skrawanej [mm]
h grubość warstwy skrawanej [mm]
$k_{p\,1.1}$ główna wartość jednostkowej siły posuwowej [N/mm^2]
$1\text{-}m_p$ wskaźnik wzrostu

Na *Rys. 2.25* przedstawiono wpływ kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej na siłę posuwową i siłę odporową przy toczeniu. Można zauważyć, że wraz ze wzrostem kąta przystawienia siła odporowa zmniejsza się, a siła posuwu zwiększa się.



Rys. 2.25 Wpływ kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej κ na siłę posuwową i siłę odporową przy toczeniu

Główne wartości jednostkowej siły skrawania, siły posuwowej i siły odporowej, wraz z ich wskaźnikami wzrostu, wynikają z podstawowych badań KIENZLEGO i VICTORA, uzupełnionych przez KÖNIGA, ESSELA oraz DEGNERA i LUTZE'A i przedstawiono je zbiorczo dla wybranych materiałów w *Tabeli 2.14*.

Grupa materiałowa GARANT	Materiał		$kc_{1.1}$ [N/mm²]	Wskaźn. wzrostu m	$kf_{1.1}$ [N/mm²]	Wskaźn. wzrostu m_f	$Kp_{1.1}$ [N/mm²]	Wskaźn. wzrostu m_p
1.1	1.0050	St50-2	1990	0,26	351	0,70	274	0,49
	1.0070	St70-2	2260	0,30	364	0,62	311	0,49
3.0	1.0401	C15	1820	0,22	333	0,80	260	0,80
	1.0501	C35	1516	0,27	321	0,8	259	0,54
3.1	1.0503	Ck45	2220	0,14	343	0,68	263	0,48
3.2	1.1221	Ck60	2130	0,18	347	0,71	250	0,41
4.1	1.7225	42CrMo4	2500	0,26	334	0,67	271	0,48
6.0	1.7131	16MnCr5	2100	0,26	391	0,7	324	0,46
6.1	1.7147	20MnCr5	2140	0,25	337	0,68	246	0,52
8.0	1.2067	100Cr6	1410	0,39	318	0,86	362	0,53
8.2	1.2713	55NiCrMoV6	1595	0,21	269	0,79	198	0,66
12.0	1.8159	50CrV4	2220	0,26	317	0,77	315	0,39
13.2	1.4580	X10CrNiMoNb18 10	2550	0,18	181	0,74	173	0,59
15.0	0.6020	GG20	1020	0,25	240	0,70	178	0,46
15.1	0.6030	GG30	1470	0,26	170	0,91	164	0,7
15.2	0.7060	GGG60	1480	0,17	290	0,76	240	0,43
Warunki pomiaru:		*v_c = 100 m/min, stop twardy P10, α = 5°, γ = 6° (stal) lub γ = 2° (żeliwo), κ = 70°, r_ε = 90°, λ = 0°, r_n = 0,8 mm*						

Tabela 2.14 Główne wartości jednostkowych sił składowych i ich wskaźniki wzrostu

1.4.2 Moc i moment obrotowy

Zasadniczo moc skrawania jest iloczynem składników prędkości i działających w jej kierunku sił składowych całkowitej siły skrawania. Tak więc ogólnie obowiązuje zależność:

$$P = \frac{F \cdot v}{60000}$$

P moc [kW]
F siła [N] (równ. 2.18)
v prędkość [m/min]

Jeżeli przy określaniu mocy wykorzystuje się moment obrotowy i prędkość obrotową, wówczas otrzymuje się zależność:

$$P = \frac{M_d \cdot n}{9554}$$

P moc [kW]
M_d moment obrotowy [N/m] (równ. 2.19)
n prędkość obrotowa [obr./min]

Dla ustalenia mocy przy projektowaniu obrabiarek najważniejsza jest moc skrawania P_c. Występuje ona bezpośrednio na narzędziu i oblicza się ją w sposób następujący:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60000}$$

P_c moc skrawania [kW]
F_c siła skrawania [N] (równ. 2.20)
v_c prędkość [m/min]

Moc posuwu P_f oblicza się w sposób następujący:

$$P_f = F_f \cdot v_f$$

P_f moc posuwu [kW]
F_f siła posuwu [N] (równ. 2.21)
v_f prędkość posuwu [mm/min]

Moc czynna P_e jest sumą odpowiednich mocy skrawania i posuwu.

$$P_e = P_c + P_f$$

P_e moc czynna [kW]
P_c moc skrawania [kW] (równ. 2.22)
P_f moc posuwu [kW]

Ze względu na stosunkowo małą prędkość posuwu w porównaniu z prędkością skrawania, można w większości przypadków przyjmować moc skrawania w przybliżeniu równą mocy czynnej ($P_e \approx P_c$).

O doborze silnika napędowego decyduje **moc napędu P_a**, przy czym uwzględnia się współczynnik sprawności η.

$$P_a = \frac{P_c}{\eta}$$

P_a moc napędu [kW]
P_c moc skrawania [kW] (równ. 2.23)
η współczynnik sprawności

albo:

$$P_a = P_c + P_{a\,jał.}$$

$P_{a\,jał.}$ moc silnika na biegu jałowym [kW] (równ. 2.24)

1.4.3 Objętość materiału skrawanego w jednostce czasu i jednostkowa objętość skrawanego materiału

Miarą wydajności obrabiarki skrawającej jest objętość materiału skrawana w jednostce czasu albo jednostkowa objętość skrawanego materiału. Obowiązuje przy tym zależność, że przy wzroście objętości materiału skrawanego w jednostce czasu względnie jednostkowej objętości skrawanego materiału, skraca się czas główny obrabiarki.

Pod pojęciem **objętości materiału skrawanego w jednostce czasu Q** należy rozumieć ilość wiórów odspojonych w jednostce czasu. Obowiązuje następująca zależność:

$$Q = A \cdot v_c$$

Q objętość materiału skrawanego w jednostce czasu [cm^3/min]
A przekrój warstwy skrawanej [mm^2] (równ. 2.25)
v_c prędkość skrawania [m/min]

Jednostkowa objętość skrawanego materiału Q_c, będąca objętością materiału skrawanego w jednostce czasu odniesioną do mocy, wyraża ilość wiórów odspojonych w jednostce czasu odniesioną do 1 kW. Obowiązuje zależność:

$$Q_c = \frac{Q}{P_c} = \frac{A \cdot v_c}{F_c \cdot v_c} = \frac{1}{k_c}$$

Q_c jedn. objętość skrawanego materiału [cm^3/kW * min]
P_c moc skrawania [kW] (równ. 2.26)
A przekrój warstwy skrawanej [mm^2]
F_c siła skrawania [N]
v_c prędkość skrawania [m/min]

Zależność ta pozwala obliczyć jednostkową objętość skrawanego materiału Q_c z właściwego oporu skrawania k_c i na odwrót. Odniesiona do mocy objętość materiału skrawanego w jednostce czasu Q_c nie jest więc zależna od obrabiarki, ale od występującej w procesie skrawania, odniesionej do materiału, właściwego oporu skrawania k_c.

1.4.4 Określanie zapotrzebowania mocy

Dobór parametrów roboczych można kontrolować na podstawie zapotrzebowania mocy. Nie jest przy tym istotne, czy zapotrzebowanie mocy jest określane przy użyciu jednostkowej siły skrawania k_c albo jednostkowej objętości materiału skrawanego w jednostce czasu Q_c.. Określana jest moc, która musi być do dyspozycji na końcówce wrzeciona.

Przy wstępnym doborze parametrów eksploatacyjnych można posłużyć się wstępną analizą zapotrzebowania mocy. Do tego celu służą poniższe, przybliżone zależności dotyczące obróbki różnych materiałów:

Obróbka stali:

$$P_c = \frac{a_p \cdot f \cdot v_c}{20}$$

Obróbka żeliwa:

$$P_c = \frac{a_p \cdot f \cdot v_c}{30}$$

Obróbka aluminium:

$$P_c = \frac{a_p \cdot f \cdot v_c}{54,5}$$

a_p głębokość skrawania [mm]
f posuw [mm/obr.] (równ. 2.27)
v_c prędkość skrawania [m/min]

(równ. 2.28)

(równ. 2.29)

Przykład:

Obliczana wartość: P_c (obróbka stali, np. C 45)

Dane: $a_p = 2$ mm, $f = 0{,}1$ mm, $v_c = 180$ m/min

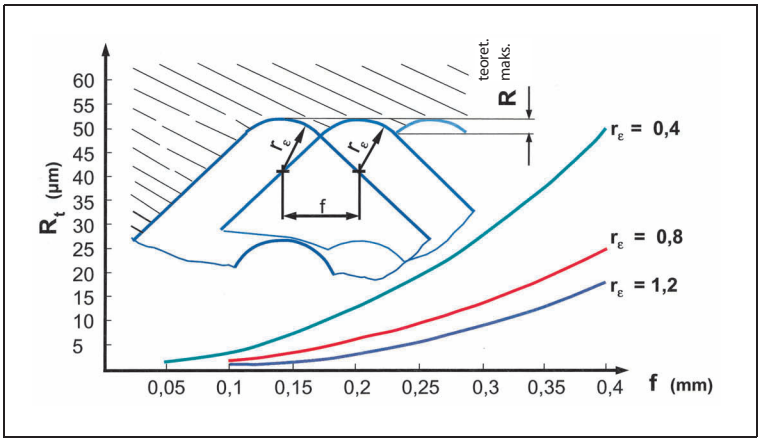
Rozwiązanie:

$$P_c = \frac{2 \cdot 0{,}1 \cdot 180}{20} = \underline{\underline{1{,}8 \text{ kW}}}$$

Wskazówka: w porównaniu z dokładnymi obliczeniami (patrz wzór 2.20), odchylenie jest bardzo niewielkie (1,85 kW przy dokładnym obliczeniu). W przypadku materiałów o większych, jednostkowych siłach skrawania, np. stali narzędziowych albo stali nierdzewnych i kwasoodpornych, ustalone obliczeniowo zapotrzebowanie mocy jest za małe.

1.5 Jakość powierzchni

W procesie wykańczającej obróbki jakość uzyskiwanej powierzchni może stanowić kryterium doboru procesu skrawania. **Teoretyczna wysokość nierówności** wynika



Rys. 2.26 Geometryczne warunki kontaktu narzędzia z obrabianym przedmiotem przy toczeniu

z kształtu krawędzi skrawającej i z ruchu względnego narzędzia względem obrabianego przedmiotu. Zależności obowiązujące przy toczeniu przedstawiono na *Rys 2.26* .

$$f = \sqrt{8 \cdot r_\varepsilon \cdot R_t}$$

(równ. 2.30)

R_t wysokość nierówności (teoretyczna) [mm]
r_ε promień narożników ostrza [mm]
f posuw [mm/obr.]
a_p głębokość skrawania [mm]

Tak więc wysokość nierówności wzrasta według kwadratu posuwu i zmniejsza się liniowo wraz ze zwiększaniem promienia naroża ostrza. *Równanie 2.30* dotyczy posuwów o wartości

do $f \geq 0{,}08$ mm. Zwiększenie zaokrąglenia naroży ostrza daje również poprawę jakości powierzchni; trzeba jednak stosować je bardzo ostrożnie, ponieważ płaskie ostrza (duży r_ε) w miarę zużycia, zwiększają skłonność do karbowania.

W poniższej tabeli przedstawiono zależności pomiędzy najczęściej używanymi wskaźnikami chropowatości.

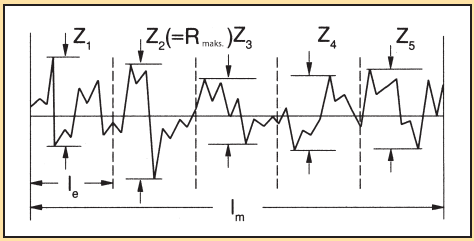
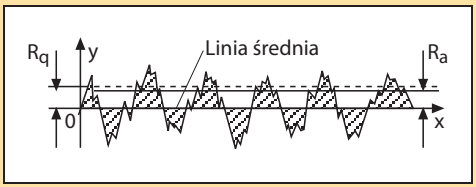
Wysokość nierówności R_t ($R_{maks.}$), R_z	
Maksymalna wysokość nierówności R_t ($R_{maks.}$) jest największą wysokością nierówności na całym odcinku pomiarowym l_m. *Średnia wysokość nierówności* R_z jest średnią wartością z jednostkowych wysokości nierówności Z_i na kolejnych odcinkach pomiarowych l_e. Znajduje ona często zastosowanie w praktyce.  	$R_z = R_{zDIN} = \frac{1}{n} \cdot (Z_1 + Z_2 + \ldots + Z_n)$ (równ. 2.31)
Średnia arytmetyczna odchylenia zarysu chropowatości powierzchni od linii średniej R_a, R_q	
Średnia arytmetyczna odchylenia zarysu chropowatości powierzchni od linii średniej R_a jest arytmetyczną wartością średnią wszystkich wysokości profilu nierówności. Znajduje ona często zastosowanie w praktyce. Kwadratowe odchylenie zarysu chropowatości powierzchni od linii średniej R_q jest kwadratową wartością średnią wszystkich wysokości profilu nierówności. $y(x)$ = wysokości profilu nierówności.  	$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l \lvert y(x) \rvert dx$ (równ. 2.32) $R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \lvert y(x) \rvert dx}$ (równ. 2.33)

Tabela 2.15 Określanie najczęściej stosowanych wskaźników chropowatości według DIN

2 Nowoczesne technologie produkcji

Wzrastająca konkurencja zmusza przedsiębiorców do intensywniejszego niż kiedykolwiek dotąd wprowadzania innowacji technicznych. W dziedzinie obróbki wiórowej polega to głównie na skracaniu czasów głównych i pomocniczych (61% kosztów produkcji) oraz na oszczędnościach środków produkcji (chłodziwo itp.). Natomiast narzędzia mają tylko 3,5% udział w kosztach. Tym samym w tej dziedzinie nie można osiągnąć żadnych oszczędności, w odniesieniu do całego procesu produkcji, albo będą one bardzo niewielkie (por. *Rys.* 2.32).

Wykorzystanie i wdrożenie istniejących możliwości przez:

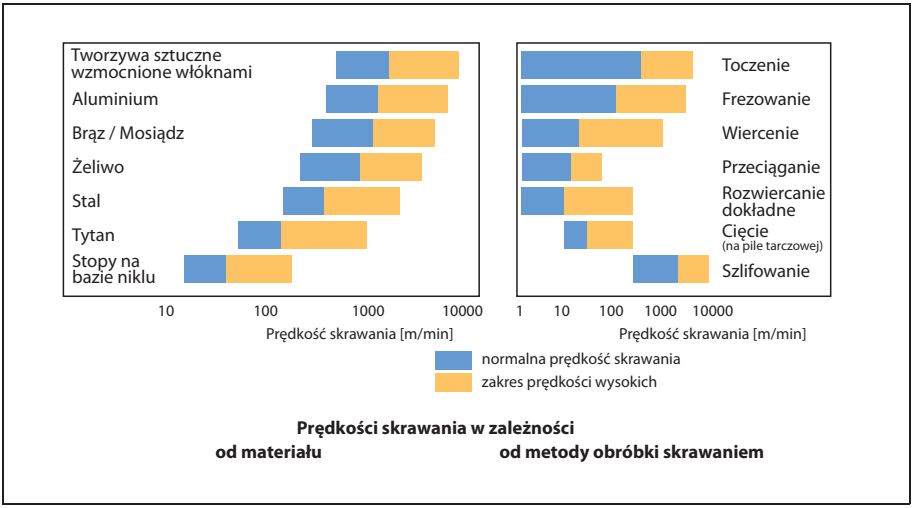
- skrawanie z wysokimi prędkościami (HSC),
- skrawanie wysokowydajne (HPC),
- skrawanie na sucho lub skrawanie z minimalnym smarowaniem (MMS) oraz
- skrawanie materiałów bardzo twardych.

Rys. 2.27 Nowoczesne technologie obróbki skrawaniem

2.1 Skrawanie z wysokimi prędkościami (HSC)

2.1.1 Określenia i uwarunkowania

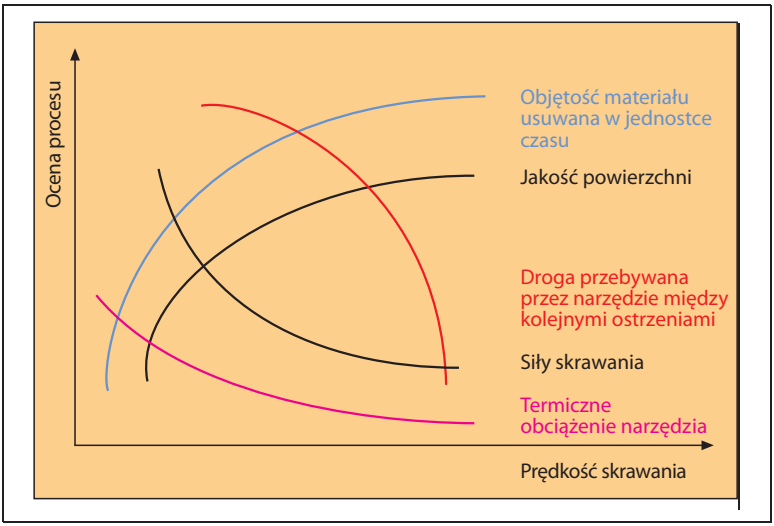
Skrawanie z wysokimi prędkościami (High Speed Cutting) polega na pracy z wyraźnie zwiększoną prędkością skrawania v_c, przy względnie niewielkiej głębokości skrawania. Przyporządkowanie tego pojęcia do określonych prędkości skrawania należy zawsze rozpatrywać w połączeniu z metodą obróbki, jak również obrabianym materiałem *(Rys. 2.28)*.



Rys. 2.28 Obszary prędkości skrawania HSC

Wzrost prędkości skrawania ma następujące zalety:

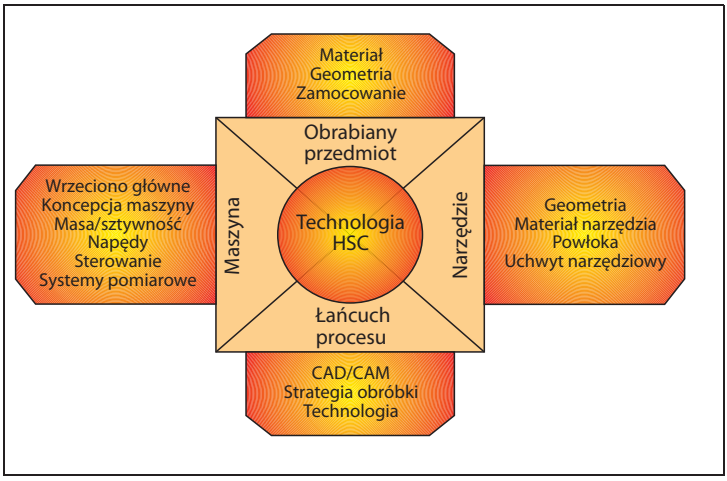
- znaczne skrócenie czasów głównych,
- możliwość zwiększenia jednostkowych objętości usuwanego materiału o około 30%,
- 5- do 10-krotne zwiększenie prędkości posuwu,
- możliwość zmniejszenia siły skrawania o ponad 30%,
- możliwość obróbki bez drgań przedmiotów o skomplikowanych kształtach geometrycznych,
- możliwa wykańczająca obróbka wiórowa w technologii HSC (jakość powierzchni zbliżona do jakości uzyskiwanej po szlifowaniu, obróbka nie powodująca odkształceń, dzięki odprowadzaniu ciepła powstającego podczas procesu głównie przez wióry).



Rys. 2.29 Wpływ obróbki metodą HSC na proces skrawania

2.1.2 Czynniki procesu

Parametry obróbki HSC wpływają nie tylko na sam proces, ale działają na cały układ obrabiarka - narzędzie - obrabiany przedmiot *(Rys. 2.30)*.



Rys. 2.30 Czynniki wpływające na cały proces i czynniki będące impulsem całego procesu

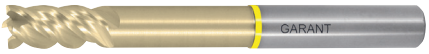
Optymalne zastosowanie tej technologii wymaga spełnienia poniższych warunków:

Maszyna:

- Praca bez luzów i drgań
- Wysoka sztywność
- Lekka konstrukcja części ruchomych
- Duża prędkość obrotowa i dokładność ruchu obrotowego wrzeciona
- Stosowanie wysokich posuwów (napędy liniowe)

Narzędzie:

- Wysoka dokładność ruchu obrotowego
- Wysoka jakość wyważenia (geometria, ukształtowanie chwytu)
- Duża trwałość (specjalna geometria ostrzy i powłoki)
- Duża sztywność



– Specjalna powłoka ZOX
– Specjalna geometria ostrzy
– Wysoka dokładność ruchu obrotowego

Rys. 2.31 Frez zgrubny GARANT VHM do skrawania w technologii HSC (v_c do 1000 m/min)

Uchwyty narzędziowe:

- Duża dokładność ruchu obrotowego
- Uchwyty hydrauliczne, precyzyjne albo termoskurczowe

Obrabiany przedmiot:

- Stabilne, pozbawione drgań zamocowanie

Długi okres trwałości i lepszą jakość powierzchni przy użyciu odpowiednich materiałów narzędzi skrawających można osiągnąć tylko wtedy, gdy zapewni się wysoką dokładność ruchu obrotowego od wrzeciona, poprzez uchwyt narzędziowy aż do ostrza. Zwłaszcza przy obróbce HSC jest to warunek nieodzowny. Zakłada to jednak nie tylko poprawę dokładności wykonania chwytów narzędzia skrawającego, ale również uchwytów narzędziowych, których technika mocowania została tak zoptymalizowana, że na ostrze jest przenoszona możliwie jak najmniejsza liczba błędów mocowania (patrz także rozdział Mocowanie).

Znany jest szereg konwencjonalnych technik mocowania, takich jak uchwyty zaciskowe do tulei zaciskowych o różnych wykonaniach, albo Weldon/Whistle-Notch, które w wielu zakresach odpowiednio do potrzeb zostały już ulepszone przez zastosowanie techniki hydraulicznej. Jest ona dzisiaj z powodzeniem stosowana w wielu dziedzinach, również przy obróbce z dużymi prędkościami, ze względu na swoją wysoką dokładność ruchu obrotowego i łatwość użycia.

Inna metoda, wykorzystująca technikę termoskurczową, charakteryzuje się bardzo wysoką dokładnością, niezawodnym połączeniem zaciskowym i dużą sztywnością oraz, ze względu na obrotowo-symetryczny kształt uchwytów zaciskowych, nadaje się zwłaszcza do obróbki HSC. Uzyskuje się dokładność ruchu obrotowego poniżej 0,003 mm, przy długości wysięgu 3 x D. Przy stosowaniu narzędzi o dużej dokładności ruchu obrotowego, dokładności te mogą się przenosić w znacznym stopniu na ostrze. Dzięki temu uzyskuje się wyraźne zwiększenie okresu trwałości i poprawę jakości powierzchni (porównaj rozdział Mocowanie).

Siły odśrodkowe mają szczególne znaczenie, zwłaszcza przy obróbce w technologii HSC. Powodują one obciążenie łożysk wrzeciona (zniszczenie wrzeciona), drgania, które mają niekorzystny wpływ na jakość powierzchni, pogarszają dokładność wykonawczą i skracają okres trwałości narzędzia. Wyważanie dokładne albo bardzo dokładne jest konieczne zawsze wtedy, gdy powinny zostać osiągnięte optymalne warunki pracy (patrz obróbka wykańczająca).

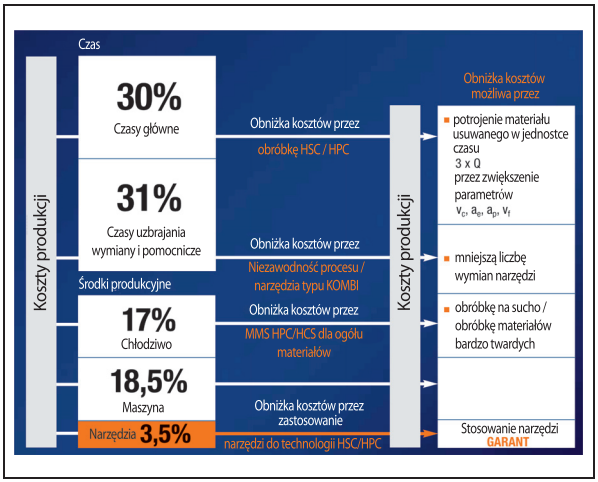
Szersze informacje na temat wyważania i jakości wyważania są podane w rozdziale Mocowanie.

2.2 Skrawanie wysokowydajne (HPC)

2.2.1 Cel skrawania wysokowydajnego

Przy skrawaniu wysokowydajnym (High Performance Cutting), w przeciwieństwie do skrawania z dużymi prędkościami (HSC) pierwszoplanowe znaczenie dla skrócenia czasu głównego ma optymalizacja objętości materiału usuwanego w jednostce czasu (patrz rozdział 1.4.3). Obejmuje ono również obszar małych prędkości skrawania, przy wyraźnie wyższych posuwach, gdyż również wtedy można uzyskać bardzo duże objętości materiału usuwane w jedn. czasu. HPC obejmuje również skrócenie czasów pomoc. przez zwiększenie prędkości pozycjonowania i prędkości przesuwów szybkich oraz zmniejszenie czasów wymiany narzędzi. Podczas gdy możliwy do uzyskania posuw wynika w istocie z liczby ostrzy, prędkość skrawania jest uzależniona od materiału, z którego wykonane jest narzędzie.

W poniższym rozdziale 3. omówiono istotne nowe opracowania i możliwości w zakresie materiałów na narzędzia skrawające.



Rys 2.32 Cele skrawania HPC

Narzędzia wysokowydajne muszą więc wytrzymywać siły skrawania występujące zwłaszcza przy obróbce HPC, jak również większe siły odśrodkowe, znacząco wyższe, niż przy obróbce HSC. Narzędzia do skrawania wysokowydajnego i z wysokimi prędkościami, wraz z odpowiednio skonstruowanymi obrabiarkami, stwarzają podstawę do znaczącego wzrostu wydajności obróbki wiórowej przez zwiększenie prędkości skrawania, posuwu i jakości powierzchni obrabianych przedmiotów, przy osiąganej ilości usuwanego materiału od 5000 do 10000 cm^3/min, np. w obróbce wiórowej metali lekkich.

2.2.2 Skrawanie wysokowydajne na przykładzie frezowania

Wieloznaczność pojęcia obróbki wysokowydajnej staje się szczególnie wyraźna przy omawianiu skrawania materiałów bardzo twardych. Wysokowydajne frezy ze stopów twardych stwarzają najlepsze warunki osiągania ekstremalnych posuwów i wskutek tego największych objętości materiału usuwanego w jednostce czasu Q_c oraz skrócenia czasu obróbki. Dzięki ekstremalnej sztywności i tym samym możliwości osiągania wysokich posuwów, narzędzia te odpowiadają obciążeniom występującym podczas skrawania wysokowydajnego.

Przykład obróbki:	**Frezowanie w pełnym materiale (1.0037)**
Materiał:	X2CrMnNiN17-7-5 (1.4371)
Narzędzie:	Frez trzpieniowy HPC GARANT VHM (203000)
	średnica 20 mm
Parametry skrawania:	v_f = 1200 mm/min
	n = 2500 obr./min
	a_e = 20 mm
	a_p = 15 mm

Wynik:

zwiększenie wydajności o 200%

– skrócenie czasu głównego ze 140 do 40 minut
– zwiększenie okresu trwałości ze 120 do 240 minut
– krótkie wióry o jednakowej długości
– precyzyjne i szybsze frezowanie
– spokojna praca, wydłużająca okres trwałości obrabiarki

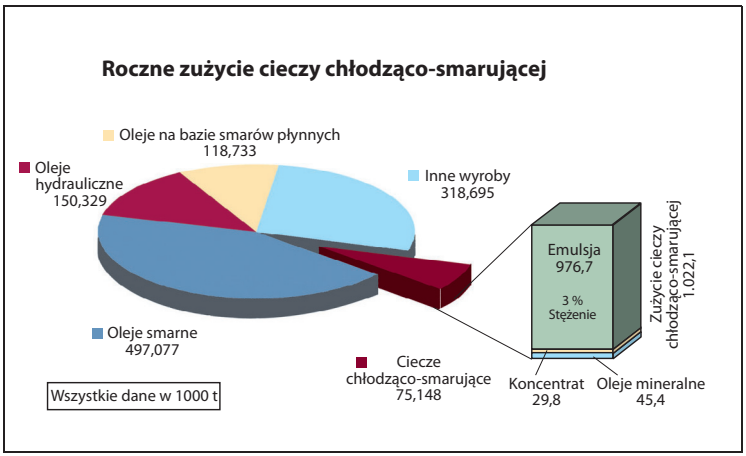
2.3 Obróbka skrawaniem na sucho

2.3.1 Celowość, efekty i właściwości

Najbardziej efektywnym połączeniem skrawania z geometrycznie określonym ostrzem, zalet ekonomicznych i realizacji celów ekologicznych, jest obróbka na sucho. Jej stosowanie zakłada bardzo szczegółową wiedzę na temat skomplikowanych zależności pomiędzy:

- obrabianym przedmiotem,
- materiałem obrabianego przedmiotu,
- narzędziem,
- technologią obróbki,
- warunkami obróbki oraz
- obrabiarką

- i ich wpływem na proces skrawania i wyniki obróbki.



Rys. 2.33 Zużycie cieczy chłodząco-smarujących w Niemczech

Celem obróbki na sucho musi być odpowiednie zastąpienie podstawowych funkcji cieczy chłodząco-smarującej, aby wyprodukować części o wymaganej jakości przy utrzymaniu założonych kosztów. Ekologiczne znaczenie cieczy chłodząco-smarującej jest wyraźne, jeżeli rozważy się zużywaną rocznie ilość cieczy chłodząco-smarujących. Według informacji Bundesamt für Wirtschaft (Federalny Urząd Gospodarki), zużycie roczne cieczy chłodząco-smarujących w Niemczech wynosi około 75.148 ton *(por. Rys. 2.33)*.

W *Tabeli 2.16* przedstawiono zasadniczą przydatność różnych technologii do obróbki na sucho. Poszczególne technologie osiągnęły różne poziomy rozwoju i muszą być oceniane w zróżnicowany sposób. Przedstawione w tabeli rozwiązania stanowią częściowo wiedzę dopiero na etapie badań podstawowych (przeciąganie). W niektórych przypadkach obróbka na sucho jest już stosowana w produkcji seryjnej (np. frezowanie stopów Al do przeróbki plastycznej).

Obrabiany materiał / Proces	Aluminium		Stal		Żeliwo szare
	Stopy odlewnicze	Stopy do przeróbki plastycznej	Stale wysokostopowe, stale łożyskowe	Stale automatowe, stale do ulepszania cieplnego	GG20 GGG70
Wiercenie Powłoka	MMS TiAlN	MMS bez powłoki	MMS TiAlN + warstwa poślizgowa	na sucho TiN	na sucho TiN
Rozwiercanie dokładne Powłoka	MMS TiAlN, PKD	MMS bez powłoki	—	MMS listwa PKD	MMS listwa PKD
Gwintowanie Powłoka	MMS TiN	—	MMS TiN	—	MMS TiCN
Gwintowanie bezwiórowe Powłoka	MMS CrN, WC/C	MMS	MMS	MMS TiCN	—
Frezowanie Powłoka	na sucho TiN+ warstwa poślizgowa CVD-Diamant	MMS bez powłoki	MMS TiAlN+ warstwa poślizgowa	na sucho TiN	na sucho TiN
Frezowanie obwiedniowe	—	—	—	na sucho	na sucho
Cięcie	MMS	MMS	MMS	MMS	—
Przeciąganie otworów Powłoka	—	—	na sucho TiCN-Multilayer	na sucho TiCN-Multilayer	—

— nie są znane żadne sprawdzone przypadki zastosowań lub brak wyników badań

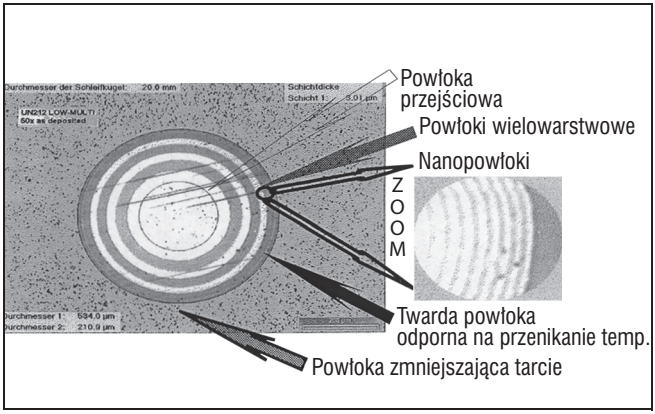
Tabela 2.16 Możliwości obróbki na sucho przy skrawaniu z użyciem zdefiniowanego ostrza (MMS = smarowanie minimalne, patrz także rozdział 2.4)

2.3.2 *Narzędzia do obróbki na sucho*

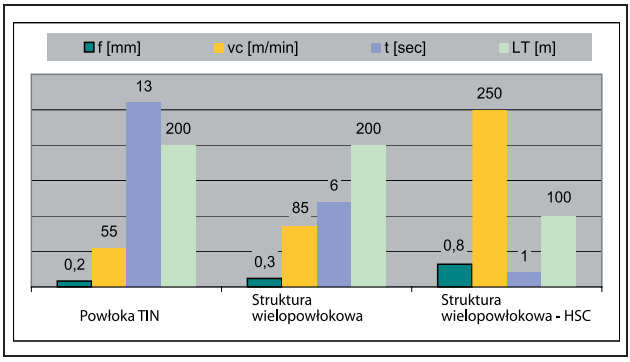
Ze względu na wysoką twardość w podwyższonych temperaturach i odporność na zużycie w wysokich temperaturach, do obróbki na sucho nadają się przede wszystkim powlekane stopy twarde, a oprócz nich również spieki ceramiczne, narzędzia z CBN i diamentowe.

Także narzędzia ze stali szybkotnącej, z odpowiednimi systemami powłok, mogą być z korzyścią stosowane w obróbce na sucho. Chodzi przy tym o skrawanie z małymi prędkościami skrawania, przy wysokich wymaganiach w stosunku do odporności podłoża na obciążenia dynamiczne, jak np. przy gwintowaniu.

Bardzo dobre wynik wiercenia stali osiąga się przy użyciu powłok TiAlN-TiN-Multilayer.
Dzięki smarnemu działaniu miękkich warstw poślizgowych następuje zmniejszenie tarcia pomiędzy wiórem a narzędziem.



Rys. 2.34 Struktura TiAlN-TiN - wielopowłokowa



Rys. 2.35 Wzrost wydajności przy wierceniu na sucho w GG26Cr (LT = droga narzędzia pomiędzy kolejnymi ostrzeniami)

Przy uzyskiwaniu wysokiej niezawodności technologicznej dużego znaczenia nabiera opracowanie i stosowanie narzędzi o zoptymalizowanej geometrii.

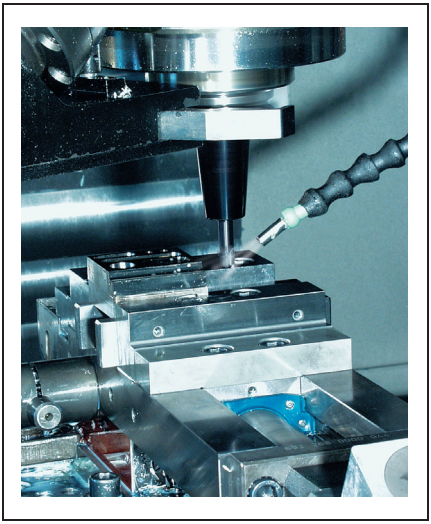
Wciąż jeszcze problemy sprawia zwłaszcza wiercenie na sucho. Głównym problemem przy wierceniu na sucho jest właściwe odprowadzanie wiórów z otworu. Oprócz systemów powłok, obiecujące wyniki daje zastosowanie narzędzi z powiększonymi rowkami wiórowymi.

2.4 Smarowanie minimalne

Ponieważ ze względu na niewłaściwe wyniki, możliwości obróbki wyłącznie na sucho są ograniczone lub niemożliwe, w praktyce często stosuje się minimalne smarowanie połączone z chłodzeniem (obróbka quasi na sucho). Niewielkie ilości cieczy chłodząco-smarującej poprawiają wynik obróbki i zapewniają możliwość zmniejszenia zużycia cieczy chłodząco-smarującej.
Przy omawianiu doprowadzania szczególnie niewielkich ilości cieczy chłodząco-smarującej przyjęły się dzisiaj następujące pojęcia:

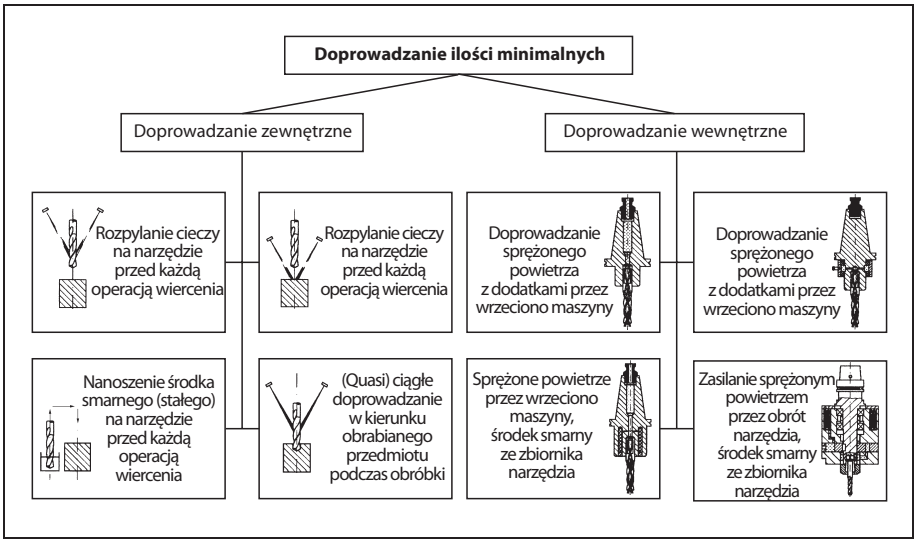
- minimalne smarowanie (chłodzenie) MMKS (ilość środka smarnego na ogół **mniejsza niż 50 ml/h**),
- smarowanie / chłodzenie zmniejszone MKS (ilość cieczy chłodząco-smarującej na ogół mniejsza niż 120 l/h).

Działanie chłodzące w systemach cieczy chłodząco-smarujących jest jednak sprawą sporną, więc wielu autorów faworyzuje termin **smarowanie minimalne MMS**.



Rys. 2.36 Zastosowanie zewnętrznego smarowania minimalnego

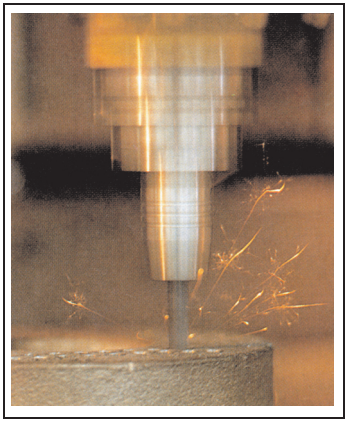
Przy omawianiu smarowania minimalnego należy zasadniczo rozróżnić sposób doprowadzania od sposobu przygotowania mieszanki, ponieważ ma to znaczenie dla końcowego rezultatu. Istnieje wiele możliwości doprowadzania środka smarnego, co przedstawiono na *Rys. 2.37* dla przypadku wiercenia.



Rys. 2.37 Doprowadzanie minimalnych ilości podczas wiercenia

2.5 Skrawanie materiałów twardych

2.5.1 Cechy szczególne, wymagania i możliwości



Rys. 2.38 Frezowanie stali hartowanej

Obróbka materiałów twardych charakteryzuje się szczególnym mechanizmem tworzenia wióra.

Materiały twarde nie ulegają odkształceniom plastycznym przy normalnych temperaturach i ciśnieniach. Podczas tworzenia wióra nie tworzy się więc powierzchnia albo strefa ścinania (por. podrozdział 1.1).
Na początku odspajania materiału powstaje przed powierzchnią natarcia przesuwające się pęknięcie na powierzchni obrabianego przedmiotu. Tworzą się wióry segmentowe, które przeważnie "spiekają się" w kształcie zębów piły. Przy skrawaniu materiałów twardych powstają mechanizmy tworzenia wióra, które w porównaniu z obróbką materiałów miękkich powodują powstanie wysokich sił i temperatur skrawania.

Obciążenia występujące przy skrawaniu materiałów twardych wyznaczają wymagania dla stosowanych do tego celu materiałów narzędzi skrawających:

Obciążenia wywołane skrawaniem materiałów twardych	Wymagania w stosunku do materiału narzędzia
Wysokie temperatury eksploatacyjne	Odporność na dyfuzję i utrzymywanie twardości w podwyższonych temperaturach
Wysoki nacisk w pobliżu krawędzi skrawającej	Wytrzymałość na zginanie i ściskanie
Duże obciążenia dynamiczne przy skrawaniu przekrojów nieciągłych	Odporność na obciążenia dynamiczne, wytrzymałość krawędzi

Rys. 2.17 Wymagania w stosunku do materiału narzędzi przy skrawaniu materiałów twardych

Podczas gdy w przeszłości przy obróbce materiałów o twardościach powyżej 60 HRC trzeba było z reguły stosować obróbkę elektroiskrową albo szlifowanie, jako metodę obróbki wykańczającej, dzisiaj, dzięki konsekwentnemu wykorzystaniu materiałów na narzędzia o wysokiej odporności na zużycie i dokładnemu poznaniu procesów, stosuje się technologię z użyciem ostrzy o określonej geometrii. Zaletą jest wysoka elastyczność, kompleksowa obróbka w jednym zamocowaniu i możliwość optymalizacji produkcji, przy oszczędności energii i krótszym czasie produkcji. Do obróbki materiałów twardych (toczenie, frezowanie frezami trzpieniowymi i z użyciem płytek skrawających, wiercenie, gwintowanie, pogłębianie i rozwiercanie) GARANT oferuje szeroki asortyment odpowiednich narzędzi.

W celu pełnego i skutecznego wykorzystania możliwości obróbki skrawaniem materiałów twardych z zastosowaniem ostrzy o określonej geometrii (np. toczenie materiałów twardych), w przeciwieństwie do szlifowania, konieczny jest dalszy rozwój materiałów na narzędzia, jak również dostępność odpowiednich środków mocujących i obrabiarek.

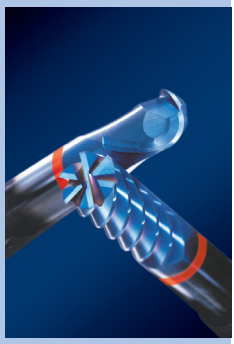
2.5.2 Skrawanie twardych materiałów na przykładzie frezowania

Obróbka frezarska i tokarska jest już stosowana na skalę przemysłową, przy czym mogą być stosowane bardzo odporne na zużycie materiały narzędzi skrawających, takie jak polikrystaliczny azotek boru (PKB lub CBN) albo cermetale Al_2O_3 (por. podrozdział 3. Materiały narzędzi skrawających). Poniżej zostanie przedstawionych kilka przykładów frezowania twardych materiałów.

Frezowanie Toolox 44

Materiał obrabianego przedmiotu:

Toolox 44 jest całkowicie nowym rodzajem hartowanej na wskroś stali narzędziowej o twardości 45 HRC. Zawartości węgla i siarki są znacznie zmniejszone, natomiast wysoka jest zawartość krzemu. Ta opracowana przez szwedzkiego producenta SSAB Öxelsund stal jest poddana końcowej obróbce cieplnej. Wyeliminowane jest końcowe hartowanie po obróbce, w związku z czym nie występuje ryzyko deformacji albo pęknięć.



Zalety dla producentów narzędzi i form:

- szczególnie duża stabilność kształtu i odporność na zużycie,
- bardzo dobra skrawalność, pomimo tward. 45 HRC,
- idealna do produkcji form, wyginaków oraz elementów konstr. i narażonych na szybkie zużycie,
- zmniejszony nakład czasu, niższe koszty.

Narzędzie: Ważna jest przede wszystkim ostrość narzędzia, poza tym wyeliminowanie drgań przy obróbce.

Frez kulisty D = 6 mm

Parametry skrawania:

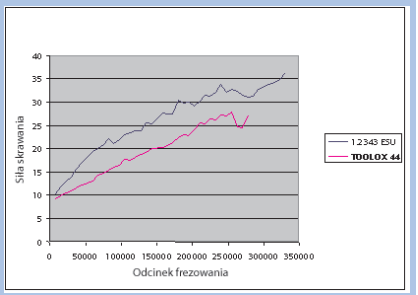
v_c = 150 m/min n = 22.208 min^{-1}

f_z = 0,08 mm/ząb v_f = 3.553 mm/min

a_p = 0,2 mm a_e = 0,3 mm

Wynik: Zużycie: **VB = 0,1 mm**

po odcinku frezow. 277 m



Frezowanie twardej stali narzędziowej

Narzędzie: Frez trzpieniowy drobnoziarnisty VHM GARANT, średnica 10 mm, 6 ostrzy, powłoka TiAlN Monolayer, tolerancja dokładności ruchu obrotowego < 10 µm

Materiał obrabianego przedmiotu: X155CrMoV12 1 (1.2379, narzędziowa hartowana do twardości f 62 HRC)

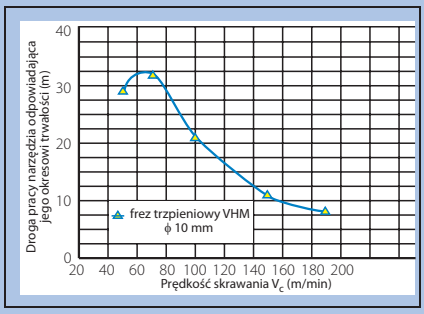
Parametry skrawania: f_z = 0,07 mm/ząb v_c zmienna

a_p = 10 mm a_e = 0,2 mm

1. Określanie optymalnej prędkości skrawania na sucho

Wynik:

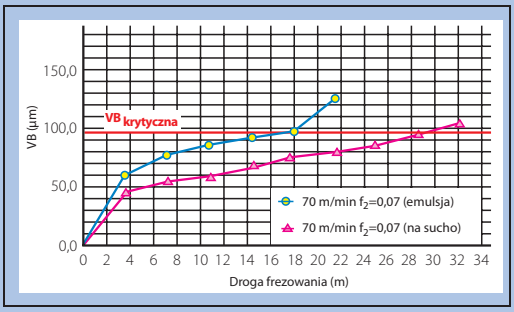
v_c optymalna przy 70 m/min (patrz wykres z prawej)



2. Porównanie skrawania na sucho i na mokro

Wynik:

obróbka na sucho optymalna (por. wykres z prawej)



Przy założeniu zastosowania obrabiarek o odpowiedniej stabilności i wystarczającej mocy napędu można osiągnąć wysoką jakość powierzchni.

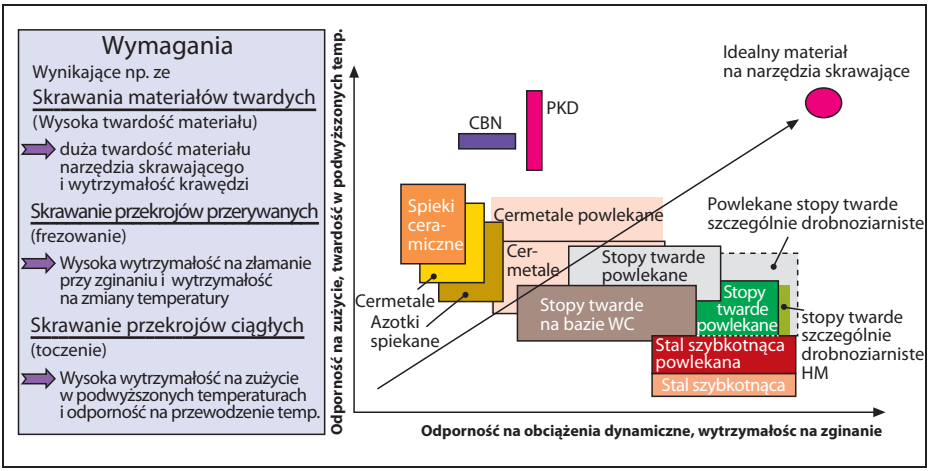
3 Materiały na narzędzia skrawające i powłoki

3.1 Podział materiałów na narzędzia skrawające

Zazwyczaj materiałom na narzędzia skrawające (część czynna narzędzia) stawia się poniższe wymagania:

- duża twardość i wytrzymałość na ściskanie,
- wysoka wytrzymałość na zginanie i odporność na obciążenia dynamiczne,
- duża odporność na zużycie,
- duża odporność na temperaturę.

Hierarchia wyżej wymienionych wymagań zależy od konkretnego zadania obróbkowego. Materiały na narzędzia skrawające można podzielić w następujący sposób:



Rys. 2.39 Właściwości stosowanych materiałów na narzędzia skrawające

W *Tabeli 2.18* przedstawiono niektóre istotne właściwości materiałów na narzędzia skrawające. Z porównania wynika np., że stale szybkotnące i stopy twarde mają istotnie wyższą wytrzymałość na złamanie przy zginaniu, przy mniejszej twardości i wytrzymałości na ściskanie, w porównaniu ze spiekami ceramicznymi i materiałami supertwardymi (CBN, PKD).

Właściwości	Materiały na narzędzia skrawające					
	Stal szybkotnąca	Stopy twarde			Spieki ceramiczne	Supertwarde materiały na narzędzia skrawające (CBN, PKD)
		P02–P40	M10–M40	K03–K40		
Gęstość [g/cm^3]	8,0 do 9,0	6,0 do 15,0			3,2 do 4,5	3,12 do 3,5
Twardość Vickersa HV30	700 do 900	1.350 do 1.650	1.350 do 1.700	1.300 do 1.800	1.350 do 2.100	3.500 2)
Wytrzymałość na złamanie przy zginaniu [MPa]	2.500 do 4.000	800 do 1.900	1.350 do 2.100	1.200 do 2.200	400 do 950	500 do 1.100
Wytrzymałość na ściskanie [Mpa]	2.800 do 3.800	4.600 do 5.100	4.400 do 6.000	4.500 do 6.200	3.500 do 5.500 1)	7.600 3)
Moduł E [GPa]	260 do 300	440 do 560	540 do 580	580 do 630	300 do 450	680 do 840
Rozszerzalność cieplna [$10^{-6}K^{-1}$]	9 do 12	5,5 do 7,5	5,5	5,0 do 5,5	3,0 do 8,0	–

1) dotyczy spieków ceramicznych
2) dotyczy CBN
3) dotyczy PKD

Tabela 2.18 Właściwości różnych materiałów na narzędzia skrawające w temperaturze pokojowej

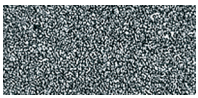
Poniżej opisano istotne materiały na narzędzia skrawające i ich powłoki. Bliższe dane na temat wskaźników i zastosowania są podane w rozdziałach Wiercenie i Toczenie, przy omawianiu metod obróbki. Teoretyczne zależności odnoszące się do sił skrawania, zużycia, okresów trwałości i tak dalej są podane w podrozdziale 1.

3.1.1 Wysokowydajne stale szybkotnące (HSS), stale proszkowe (PM)

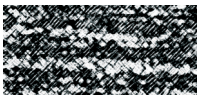
Wysokowydajne stale szybkotnące stosuje się w szerokim zakresie na wiertła kręte, pogłębiacze i narzędzia do rozwiercania, frezy i brzeszczoty pił. Stale te stosuje się również często na noże tokarskie kształtowe i przecinaki tokarskie. Charakterystyka eksploatacyjna:

- małe prędkości skrawania,
- chłodzenie ostrza (najczęściej nieodzowne),
- mniejsza wytrzymałość na zużycie w porównaniu ze stopami twardymi,
- wysoka wytrzymałość na podwyższone temperatury i wytrzymałość na złamanie przy zginaniu,
- niskie koszty.

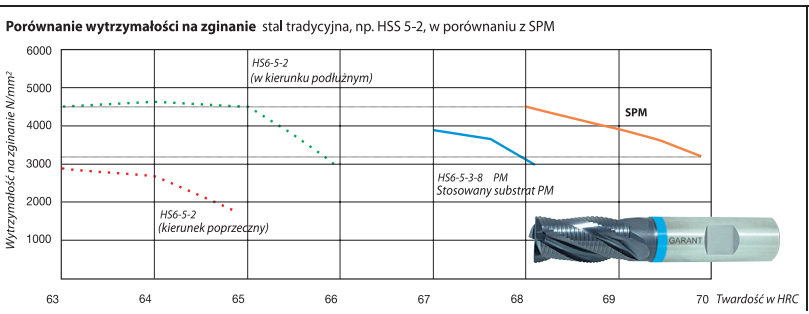
Szereg uprzywilejowanych gatunków przedstawiono w *Tabeli 2.19*. Najczęściej stalą **HSS** określa się stal szybkotnącą HS 6-5-2 (1.3343). Oznaczenie **HSCO** lub **HSS/Co** oznacza materiał HS 6-5-2-5 (1.3243). Stale szybkotnące o większej zawartości składników stopowych są zwykle oznaczane jako **HSS-E**. Poprawę jakości można osiągnąć przez technologię metalurgii proszkowej **(stale PM)**. Metoda ta polega na rozpylaniu przez dysze ciekłej stali, która następnie szybko krzepnie w postaci drobnych kropli (postać proszkowa). Nie tworzą się przy tym duże węgliki pierwotne (por. *Rys. 2.40*, z lewej strony). Przy wytwarzaniu półfabrykatów następuje prasowanie proszku, nie zawierającego porów pod wysokim ciśnieniem i przy wysokiej temperaturze (metoda izostatyczna w zakresie wysokich temperatur). Powstaje bardzo drobnoziarnista struktura o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, która wyraźnie poprawia charakterystykę zużycia. Nowy substrat **SPM** zawiera poza tym istotnie więcej składników stopowych. SPM posiada dzięki temu doskonałą **twardość i odporność na obciążenia dynamiczne** (por. *Rys. 2.40*).



Struktura stali wykonanej w technologii proszkowej:
drobne i równomiernie rozmieszczone węgliki



Struktura konwencjonalna:
duże, rozmieszczone rzędowo węgliki



Porównanie wytrzymałości na zginanie różnych stali wysokowydajnych

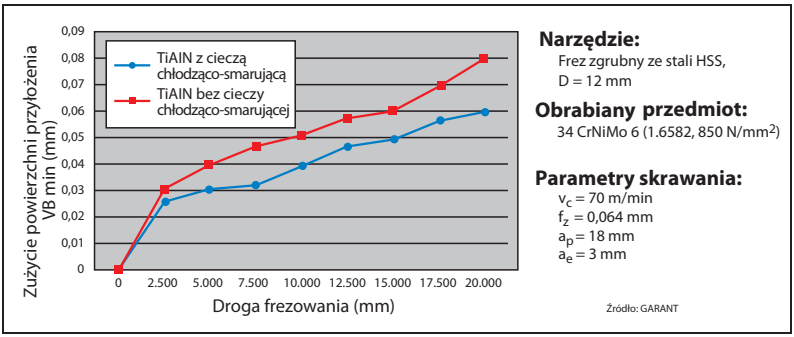
Rys. 2.40 Struktura i wytrzymałość na złamanie przy zginaniu różnych, wysokowydajnych stali szybkotnących

W poniższej tabeli przedstawiono zbiorczo pierwiastki stopowe i cechy eksploatacyjne wysokowydajnych stali szybkotnących.

Materiał narzędzia skrawającego	Zastosowanie	Zawartość składników stopowych [%]					
		C	W	Mo	V	Co	Cr
HSS	Zastosowanie ogólne	0,9	6,5	5,0	2,0	–	4,2
HSS z ca. 5% Co (HSS/Co5)	Wysoka wytrzymałość cieplna, do dużych prędkości skrawania, wiercenie: obróbka materiałów o wysokiej wytrzymałości	0,9	6,5	5,0	2,0	4,8	4,2
HSS z Co albo V (HSS/E)	Oznaczenie HSS/Co5 i HSS/V3, szczególnie przy gwintowaniu	0,9 1,2	6,5 6,5	5,0 5,0	2,0 3,0	4,8 –	4,2 4,2
HSS z 8% Co (HSS/Co8)	Zwłaszcza do skrawania przekrojów nieciągłych, jak np. przy frezowaniu	0,9	6,5	5,0	2,0	8,0	4,2
HSS z 10% Co lub 12,5% Co (HSS/Co10) (HSS/Co12,5)	Szczególnie wysoka wytrzymałość cieplna, do frezowania stali nierdzewnych i kwasoodpornych	1,2	9,3	3,6	3,2	10,0 12,5	4,2
Stal szybkotnąca wykonana technologią metalurgii proszkowej	Zwłaszcza do obróbki na sucho i przy wysokich obciążeniach podczas frezowania i gwintowania	1,3	6,5	5,0	3,1	8,5	4,2

Tabela 2.19 Składniki stopowe i przeznaczenie wysokowydajnych stali szybkotnących GARANT

Powłoka narzędzi wykonanych z wysokowydajnych stali szybkotnących, dobrana odpowiednio do zadania obróbkowego, powoduje zwiększenie ilości pracy wykonywanej między kolejnymi ostrzeniami. Na *Rys. 2.41* przedstawiono związany z tym przykład:



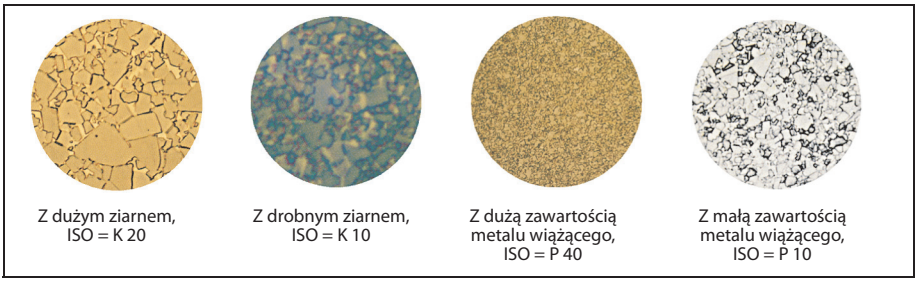
Rys. 2.41 Zastosowanie różnych powłok przy frezowaniu zgrubnym narzędziami z wysokowydajnej stali szybkotnącej

3.1.2 Stopy twarde (HM albo VHM)

W obróbce skrawaniem istotną rolę odgrywają zwłaszcza spiekane stopy twarde, wykonywane z szeregu różnych węglików oraz metalu wiążącego. Stopy twarde (w skrócie oznaczane HM) dzieli się zwykle według ISO na trzy grupy skrawania:

- P do obróbki materiałów dających długi wiór, jak stal, staliwo, stal nierdzewna i żeliwo ciągliwe,
- M do obróbki materiałów dających długi i krótki wiór, jak austenityczna stal nierdzewna, materiały żaroodporne, stale manganowe, żeliwa stopowe itd.,
- K do obróbki materiałów dających krótki wiór, jak żeliwo szare, stal hartowana oraz materiały nieżelazne, jak aluminium, brąz, tworzywa sztuczne itd.

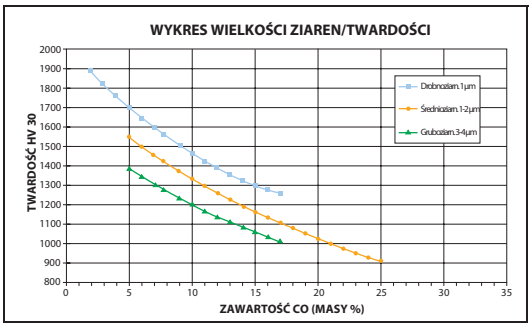
Charakterystyka eksploatacyjna:



Rys. 2.42 Struktura różnych gatunków stopów twardych

- istotnie dłuższe okresy trwałości w porównaniu z wysokowydajną stalą szybkotnącą,
- większa wytrzymałość na zużycie,
- możliwość zastosowania wyższych prędkości skrawania i posuwów (zwiększone objętości materiału usuniętego w jednostce czasu).

Twarde cząstki, zawarte w konwencjonalnych stopach twardych, mają wielkość, w zależności od producenta w zakresie od 1 do 5 µm. Jeżeli do obróbki potrzebne są ostre krawędzie skrawające, o najwyższych wymaganiach w stosunku do odporności na obciążenia dynamiczne, wytrzymałości krawędzi i odporności na zużycie materiału narzędzia skrawającego, wówczas stosuje się stopy twarde bardzo drobnoziarniste, które zostały w szerokim zakresie opracowane w ostatnim czasie.



Rys. 2.43 Właściwości różnych stopów twardych

Drobnoziarnisty stop twardy GARANT (Universal-VHM) składa się z drobnoziarnistych węglików o wielkości 0,3 µm. Takie drobnoziarniste stopy twarde pokrywają obszar gatunków od P do K (por. również Rys. 2.42). Tego rodzaju materiały narzędzi skrawających stosuje się do skrawania stali ulepszonych cieplnie i hartowanych, żeliwa, kompozytów wzmocnionych włóknami i metali nieżelaznych.

3.1.3 Cermetale

Cermetale są to stopy twarde zawierające węgliki tytanu (TiC, TiCN). Stanowią one połączenie cząstek ceramicznych z metalicznym środkiem wiążącym (**CER**amic-**MET**al).

Godnymi podkreślenia właściwościami cermetali są:

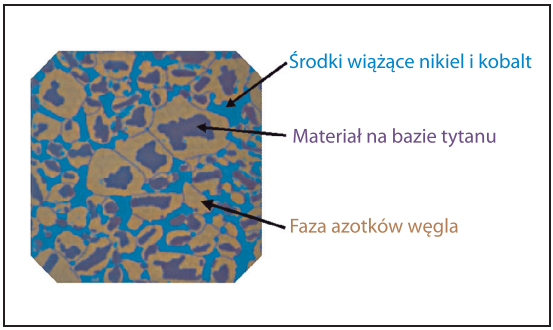
- duża odporność powierzchni przyłożenia i odporność na zużycie rowkowe,
- wysoka stabilność chemiczna i twardość w podwyższonych temperaturach,
- niewielka skłonność do tworzenia narostów,
- niewielka skłonność do zużycia na skutek utleniania.

Ich powolny przebieg zużycia i związane z tym długie okresy trwałości pozwalają na uzyskanie znakomitych dokładności i jakości powierzchni. Stosuje się je przy wysokich prędkościach skrawania, małych posuwach i równomiernej głębokości skrawania. W idealnym przypadku warunki obróbki, umożliwiające optymalne wykorzystanie cermetali, powinny być względnie stabilne, co oznacza, że ich główną dziedziną zastosowania jest obróbka wykańczająca.

Wysoka odporność cermetali na obciążenia dynamiczne przy frezowaniu pozwala więc na obróbkę stali nierdzewnych i austenitycznych. W porównaniu z spektrum powlekanych, wykonanych na bazie wolframu stopów twardych, cermetale pokrywają stosunkowo niewielki obszar. Stanowią one jednak dobrą alternatywę dla niektórych operacji wykańczających, zwłaszcza w przypadku materiałów "mażących się".

Zastosowanie powłoki pozwala na zwiększenie twardości powierzchni i tym samym na zwiększenie odporności na ścieranie oraz na zmniejszenie narostów. Cermetale mogą być powlekane tylko przez PVD (porównaj informacje na temat powłok).

Cermetal GARANT składa się z drobnoziarnistych węglików o wielkości około 0,2 do 0,4 µm. Zawartość niklu, będącego środkiem wiążącym, dobiera się dokładnie procentowo, odpowiednio do zastosowania, na frezy wykonane całkowicie z cermetali albo na płytki skrawające. Nadają się one zwłaszcza do wykonywania operacji na sucho w obróbce wykańczającej.

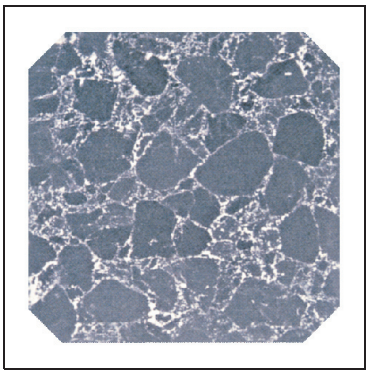


Rys. 2.44 Struktura jednego z gatunków cermetali

3.1.4 Polikrystaliczne, regularne azotki boru (PKB albo CBN)

Regularny azotek boru (CBN) jest stosowany jako polikrystaliczny materiał na narzędzia skrawające w trzech różnych rodzajach wykonania:

- pełne płytki skrawające,
- powłoka nakładana przez spiekanie na podłożu ze stopów twardych,
- materiał skrawający, lutowany na podłożu stopu twardego.



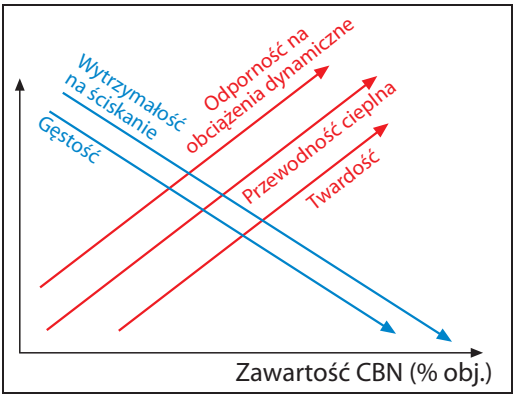
Rys. 2.45 Mikrostruktura regularnego azotku boru (CBN)

Właściwości:

- szczególna twardość,
- wysoka twardość w temperaturach do 2000°C,
- wysoka odporność na zużycie abrazyjne,
- względnie kruchy, jednak bardziej ciągliwy i twardszy niż spieki ceramiczne,
- dobra stabilność chemiczna podczas skrawania.

Właściwości CBN można kształtować przez zmianę wielkości kryształów, oraz zawartości i typu środka wiążącego. Mniejsza zawartość CBN, w połączeniu z ceramicznym środkiem wiążącym, pozwala na uzyskanie lepszej wytrzymałości na zużycie i chemicznej stabilności. Tego rodzaju materiał narzędzia skrawającego nadaje się zwłaszcza do wykańczającej obróbki twardych stali i żeliw.

Większa zawartość CBN powoduje większą odporność na obciążenia dynamiczne. Materiały te stosuje się przede wszystkim tam, gdzie przy skrawaniu zgrubnym należy liczyć się z dużymi obciążeniami mechanicznymi i z wysokimi obciążeniami termicznymi. Nadają się one w pierwszym rzędzie do obróbki twardych żeliw i żaroodpornych stopów *(Rys. 2.46* i *Tabela 2.20)*.



Rys. 2.46
Właściwości CBN

	Mała zawartość CBN	Duża zawartość CBN
Cechy Właściwości	Zawartość CBN < 60%, mała wytrzymałość na ściskanie, mała przewodność cieplna	Zawartość CBN 80 do 95%, wysoka odporność na wykruszenia, duża przewodność cieplna
Zalecane zastosowanie	Obróbka wykańczająca: ● stali hartowanej, ● żeliwa, ● powłok twardych (na bazie Co, Ni i Fe)	Obróbka zgrubna: ● stali hartowanych, ● żeliw utwardzanych, ● powłok twardych (na bazie Co, Ni i Fe) Obróbka wykańczająca: ● żeliwa utwardzanego, ● perlitycznego żeliwa szarego

Tabela 2.20 Zastosowanie materiałów na narzędzia skrawające zawierających CBN

CBN stosuje się również do obróbki stali kutych, stali hartowanych i żeliw, stopów żaroodpornych oraz metali na bazie kobaltu i żelaza, wykonanych technologią metalurgii proszkowej. CBN poleca się do obróbki twardych materiałów, o twardości powyżej 45 do 65 HRC. Jeżeli materiały są zbyt miękkie, wówczas należy liczyć się z nienormalnie wysokim zużyciem. Ostrza z CBN umożliwiają poza tym uzyskanie powierzchni znakomitej jakości.

GARANT oferuje niżej wymienione gatunki materiałów na narzędzia skrawające, wykonanych na bazie CBN:

- **CBN 710** Gatunek szczególnie odporny na zużycie i najwyższej odporności na obciążenia dynamiczne, przeznaczony do skrawania przekrojów ciągłych.
- **CBN 720** Gatunek odporny na zużycie, o wysokiej odporności na obciążenia dynamiczne.
- **CBN 725** Zastosowanie uniwersalne. Gatunek odporny na zużycie i o najwyższej odporności na obciążenia dynamiczne, również do obróbki przekrojów przerywanych.

3.1.5 Diament polikrystaliczny (PKD)

Diament polikrystaliczny (PKD), stosowany do wyrobu narzędzi skrawających, jest materiałem najtwardszym. Niezwykła twardość zapewnia odporność na zużycie abrazyjne. Okresy trwałości przy obróbce za pomocą PKD są w porównaniu ze stopem twardym nawet 100-krotnie większe . Pomimo tych pozytywnych cech, zastosowanie PKD napotyka również na następujące ograniczenia:

- temperatura strefy skrawania nie wyższa niż 600°C,
- ze względu na powinowactwo nie nadają się do obróbki materiałów żelaznych,
- nie nadają się do obróbki materiałów ciągliwych, o wysokiej wytrzymałości.

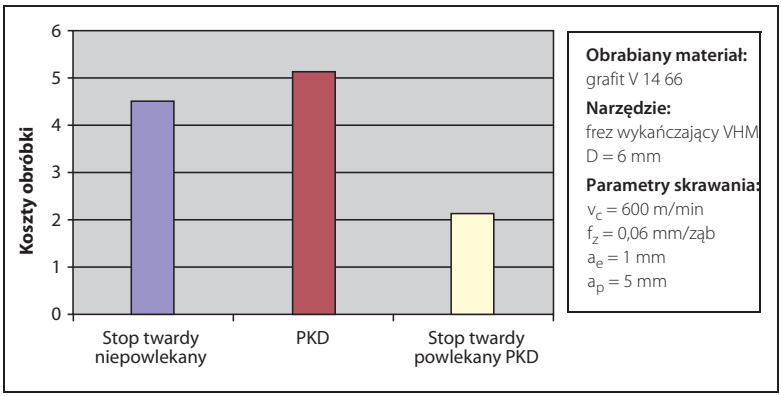
Materiał ten jest przeznaczony do:

- materiałów nieżelaznych i niemetalicznych,
- obróbki wymagającej wysokiej dokładności i jakości powierzchni.

Ze względu na kruchość PKD wymaga stabilnych warunków obróbki, narzędzi i obrabiarek o wysokiej sztywności oraz wysokiej prędkości skrawania. Użycie cieczy chłodząco-smarujących nie stanowi przy stosowaniu tego materiału żadnego problemu. PKD stosuje się zwykle do operacji wykańczających.

Na *Rys 2.47* przedstawiono porównanie kosztów skrawania grafitu z zastosowaniem narzędzi z różnych materiałów. Użycie narzędzi z PKD umożliwia osiągnięcie 10-krotnie większego okresu trwałości w porównaniu z narzędziami wykonanymi ze stopów twardych. Poza tym narzędzia posiadające powłokę diamentową nie wykazują niewyważenia, spowodowanego wlutowanymi ostrzami i gwarantują dzięki temu większą dokładność ruchu obrotowego frezów trzpieniowych.

Optymalny pod względem kosztów materiał narzędzia skrawającego można wybrać tylko przy starannym rozważeniu konkretnych warunków eksploatacyjnych i warunków skrajnych.



Rys 2.47 Skrawanie grafitu

3.2 Powlekanie

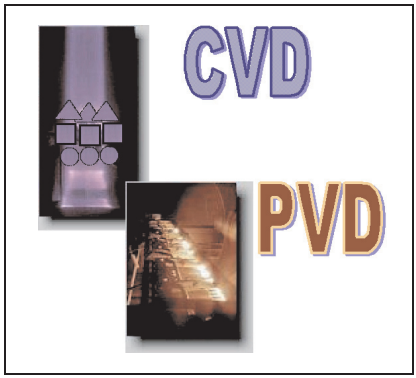
Powłoki mają duży wpływ na proces skrawania. Starannie dobrana do zadania obróbkowego, powłoka ostrza narzędzia pozwala na osiągnięcie niżej wymienionych korzyści:

- wydłużenie okresu trwałości,
- mniejsze siły skrawania,
- wyższe prędkości skrawania i posuwu,
- lepsza jakość powierzchni,
- lepsze warunki obróbki na sucho,
- lepsze warunki obróbki materiałów twardych, o twardości do 68 HRC.

3.2.1 Metody powlekania

Warstwy materiałów twardych mogą być nakładane zarówno metodami chemicznymi, jak i fizycznymi. Stosowane są metody

- CVD (**C**hemical **V**apor **D**eposition) oraz
- PVD (**P**hysical **V**apor **D**eposition).



Rys. 2.48 Metody powlekania

Metoda CVD (chemiczne wydzielanie z fazy gazowej) jest stosowana w dużym zakresie np. do powlekania stopów twardych.
Nadaje się ona szczególnie do wykonywania powłok wielowarstwowych, ponieważ poprzez zmianę składu fazy gazowej można nakładać powłokę o różnym składzie.
Na powierzchni mogą być nakładane warstwy o różnej grubości, w różnej kombinacji i kolejności.

Zaletą metody PVD (chemiczne osadzanie w próżni) w porównaniu z metodą CVD jest osadzanie materiałów wysokotopliwych w niskich temperaturach, co związane jest z ochroną podłoża. Inna zaleta polega na mniejszej grubości warstwy. Związane jest z tym zachowanie względnie ostrej krawędzi ostrza (mniejszy promień krawędzi ostrza), co jest wymagane zwłaszcza przy precyzyjnej obróbce.

3.2.2 Powłoki

Oprócz różnych, konwencjonalnych powłok z materiałów bardzo twardych jak np. TiN albo TiAlN, coraz większe znaczenie uzyskują supertwarde warstwy węglowe, zmniejszające zużycie, tarcie i korozję. Dzięki jedynym w swoim rodzaju i wyróżniającym się właściwościom **powłoki DLC** (Diamond Like Carbon) wykazują, w porównaniu z konwencjonalnymi powłokami TiN, dobre działanie antyadhezyjne w kontakcie z różnymi materiałami. Chociaż pod względem struktury są spokrewnione raczej z grafitem, ich właściwości mają charakter podobny do diamentu. Pomimo bardzo wysokiej mikrotwardości, wynoszącej od 1500 do 3000 N/mm^2, powłoki DLC są dość elastyczne (granica sprężystości około 1,5%). Powłoki DLC mogą być nanoszone metodą CVD, z dużą przyczepnością i za pomocą plazmy zawierającej węgiel, na prawie wszystkich metalach i stopach metali, na metalach lekkich, stopach twardych, jak również na niemetalach (krzem, szkło, ceramika, tworzywa sztuczne itp.)

W następstwie tego powłoki stwarzają możliwość osiągnięcia o wiele dłuższych okresów trwałości i dodatkowo umożliwiają zastąpienie materiałów poddanych specjalistycznej obróbce cieplnej przez mniej twarde materiały wyposażone w powłokę (np. powłoki DLC na ciągliwych stalach narzędziowych zastępują kruche stopy twarde). W *Tabeli 2.21* porównano różne właściwości powłok z materiałów bardzo twardych. Dobór odpowiedniej powłoki należy zawsze dopasować do zadania obróbkowego.

	Twardość [HV]	**Współczynnik przewodności cieplnej** [kW/mK]	**Maksymalna temperatura użytkowa** [°C]
TiN	2.200	0,07	600
TiCN	3.000	0,1	450
TiAlN	3.300	0,05	800
Diament	10.000	2,0	600

Tabela 2.21 Właściwości powlekanych narzędzi specjalnych

Ważne właściwości różnych powłok są podane w poniższej tabeli. Wskaźniki technologiczne są podane w rozdziałach Wiercenie i Toczenie.

Typ powłoki	**Właściwości**
TiN	Odporność na zużycie rowkowe i dyfuzyjne
TiCN	Twarda, odporna na obciążenia dynamiczne
TiAlN	Twarda w podwyższonych temperaturach, odporna na utlenianie
DLC	Twarda, dobre właściwości poślizgowe, odporność na zużycie i korozję
Diament	Twarda, odporna na zużycie

Tabela 2.22 Szczególne właściwości różnego rodzaju powłok

W jeszcze większym stopniu można spełnić wymagania różnych zadań obróbkowych przez zastosowanie powłok wielowarstwowych.

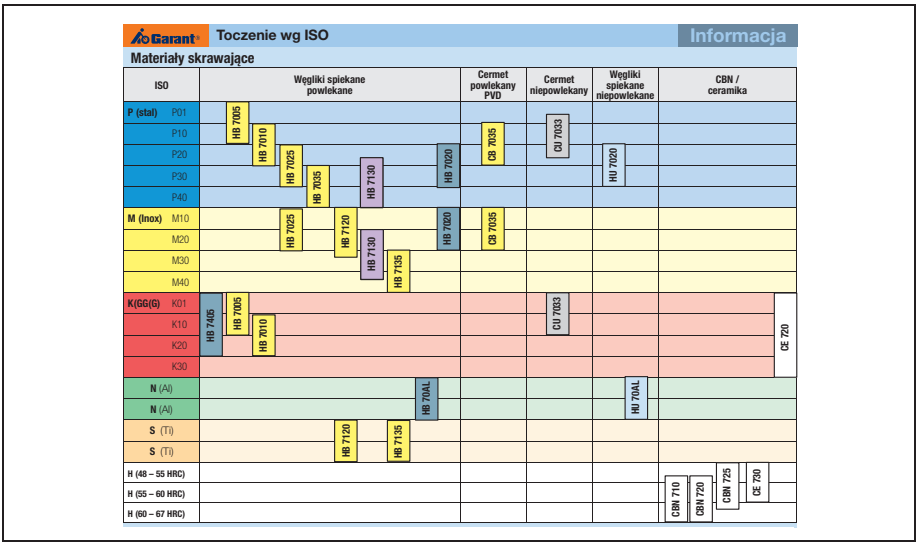
3.3 Przegląd materiałów na narzędzia skrawające

Na narzędzia skrawające stosuje się, spośród materiałów GARANT do toczenia i frezowania, zarówno wysokowydajne stale szybkotnące (HSS i PM), jak i różne stopy twarde lub cermetale (powlekane i niepowlekane) oraz CBN.

3.3.1 Materiały GARANT do toczenia ISO

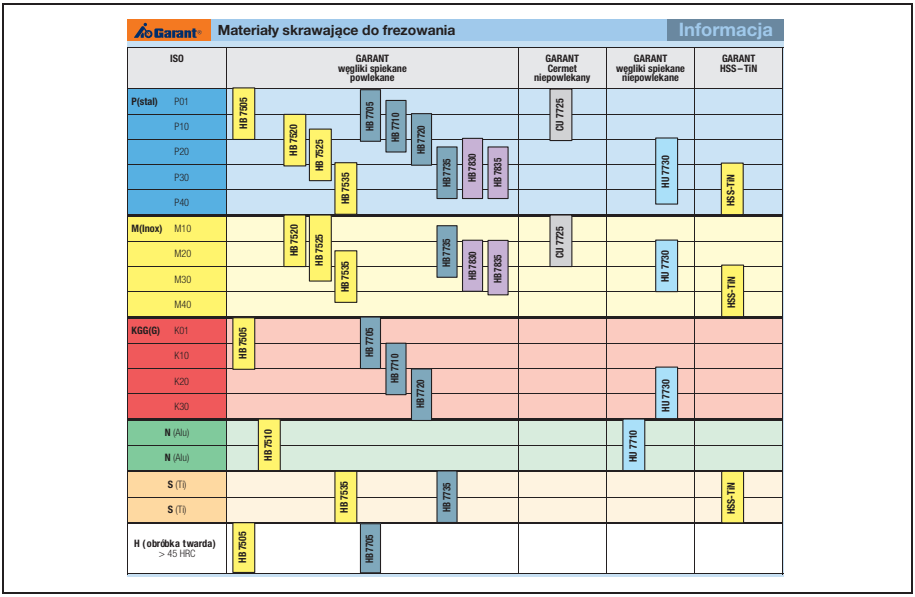
Węgliki spiekane powlekane		P	M	K	N	S	H
HB 7405 (K05/K20))	**1. wybór do żeliwa.** Do skrawania ciągłego i przerywanego. (TiCN, Al_2O_3) powłoka CVD. Specjalna obróbka powierzchni w celu zmniejszenia oporu tarcia.			●			
HB 7005 (P05/10) (K05/10)	**Gatunek niezwykle odporny na ścieranie, do skrawania ciągłego.** Do stali i żeliwa szarego przy najwyższych prędkościach skrawania. (TiN / Al_2O_3 / TiCN, powłoka wielowarstwowa)	●		○			
HB 7010 (P10/20) (K10/20)	**Zastosowanie głównie do skrawania ciągłego lub z niewielkimi przerwami** (Otwór poprzeczny) do stali przy większych prędkościach skrawania. Jako gatunek uniwersalny również do żeliwa. (TiN / Al_2O_3 / TiCN, powłoka wielowarstwowa)	●	○	○			
HB 7025 (P10/25) (K20)	Zastosowanie zasadniczo do dużych mocy skrawania. (TiCN, Al_2O_3/ Ti, powłoka wielowarstwowa).	●	○				
HB 7035 (P30/40)	**Zastosowanie do skrawania od średnio dokładnego do zgrubnego** stali przy średnich prędkościach skrawania. Bardzo dobry do skrawania przerywanego dzięki najwyższej odporności na obciążenia dynamiczne. (TiN / Al_2O_3 / TiCN, powłoka wielowarstwowa)	●					
HB 7120 (P10/20) (M10/M20)	**Specjalny gatunek do stali nierdzewnych (VA). Najwyższa odporność na ścieranie przy skrawaniu ciągłym.** (TiN/Al_2O_3/TiCN, powłoka wielowarstwowa z małym zaokrągleniem krawędzi tnącej)	○	●			○	
HB 7130 (P20/P35) (M20/M35)	**Bardzo odporny na udarność gatunek uniwersalny,** specjalnie do Garant'a "5 w 1". 1. wybór dla wszystkich rodzajów stali i stali nierdzewnej. Opatentowana powłoka wielowarstwowa.	●	●			○	
HB 7135 (P30/40) (M30/40)	**Specjalny gatunek do stali nierdzewnych (VA) i do toczenia gwintów** dzięki niewielkiemu zaokrągleniu krawędzi tnącej oraz dużej odporności na obciążenia dynamiczne (wielowarstwowa powłoka PVD-TiN).	○	●			●	
HB 7020 (P20/30) (M20/30)	**Specjalny gatunek do toczenia gwintów.** (wielowarstwowa powłoka PVD-TiAlN). Najwyższa jakość, uniwersalne zastosowanie.	●	●	●		●	
HB 70AL (K10)	**Powlekany TiAlN w celu uzyskania najwyższej odporności na ścieranie. Idealny do materiałów o dużej zawartości krzemu.**	○	○		●	○	
Cermet							
CB 7035 (P10/20)	**Cermet powlekany. Do gładzenie i toczenia wykańczającego** stali przy średnich prędkościach skrawania. **Również do skrawania z niewielkimi przerwami (otwór poprzeczny)**	●	○				
CU 7033 (P15 M)	**Cermet, niepowlekany. Bardzo dokładna obróbka i wykańczanie** stali i żeliwa przy najwyższych prędkościach skrawania.	●		●			
Węgliki spiekane niepowlekane							
HU 70AL (K10)	**Specjalnie do obróbki aluminium** dzięki niezwykłej odporności na ścieranie i najwyższej stabilności krawędzi tnących.				●		
HU 7020 (P25/35)	**Uniwersalne do skrawania średnio dokładnej stali. Ekonomiczny wybór dzięki bardzo dobremu stosunkowi ceny do wydajności.**				●	○	
CBN i skrawające materiały ceramiczne							
CBN 710:	**Niezwykle odporny na ścieranie gatunek CBN, do skrawania ciągłego.**						●
CBN 720:	**Gatunek CBN odporny na ścieranie i o dużej odporności na obciążenia dynamiczne.**						●
CBN 725:	**Uniwersalny gat. CBN odporny na ścieranie i najwyższe obciążenia dyn., nadaje się również do obróbki przerywanej.**						●
CE 720:	**Metaloceramika Al_2O_3/TiCN do obrabiania żeliwa.**			●			
CE 730:	**Metaloceramika Al_2O_3 do obróbki twardych materiałów (> 45 HRC) przy skrawaniu ciągłym.**						●

Tabela 2.23 Możliwości zastosowania materiałów na narzędzia skrawające GARANT do toczenia



Rys. 2.49 Przegląd materiałów na narzędzia tokarskie GARANT według ISO

3.3.2 Materiały GARANT na narzędzia do frezowania



Rys. 2.50 Przegląd materiałów na narzędzia do frezowania GARANT

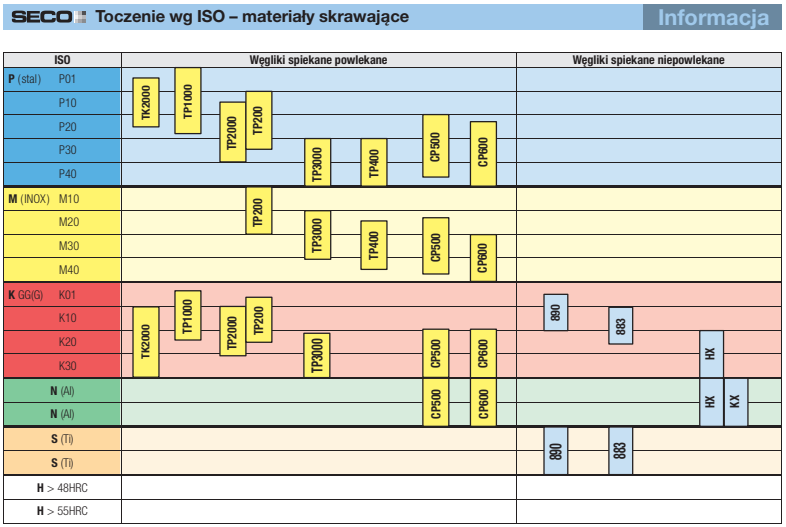
GARANT Gatunki węglików spiekanych		P	M	K	N	S	H
HB 7505 (P05) (K05)	Gatunek bardzo odporny na ścieranie, do obróbki twardych materiałów do 60 HRC (obróbka na sucho lub z min. ilością chłodziwa). Gatunek drobnoziarnisty (K05) z grubą, wielowarstwową powłoką TiC/TiN-CVD.	●		●			●
HB 7510 (K10/20)	Gatunek specjalny do aluminium, metali nieżelaznych i tworzyw sztucznych; bardzo drobne ziarno, TiAlN/TiN-PVD.				●		
HB 7520 (P15/25) (M10/20)	Gatunek odporny na ścieranie. Najwyższa wydajność przy obróbce na sucho i najwyższe prędkości skrawania. Gatunek drobnoziarnisty (P20/30) (M10/20) z wielowarstwową powłoką TiC/TiN-CVD o wysokiej odporności na ścieranie.	●	○	○			
HB 7525 (P25) (M10/20)	Gatunek do obróbki na mokro i na sucho oraz do dużych prędkości skrawania. (K05) Gatunek drobnoziarnisty z grubą, wielowarstwową powłoką TiC/TiN-CVD.	●	○				
HB 7535 (P30/40) (M20/M35)	Gatunek odporny na obciąż. dynam., również do obróbki na mokro i do zmiennych prędk. skrawania; idealny w ciężkich, zmiennych warunkach i do stali nierdzewnych. Gatunek drobnoziarnisty (P30/40) (M20/35) z wielowarstwową powłoką TiAlN/TiN-PVD.	●	●			●	
HB 7705 (P05) (K05)	Gatunek bardzo odporny na ścieranie, do obróbki twardych materiałów do 60 HRC (obróbka na sucho lub z min. ilością chłodziwa). Gatunek drobnoziarnisty (K.05) z grubą, wielowarstwową powłoką TiC/TiN-CVD.	●		●			●
HB 7710 (P10) (K10/20)	Gatunek odporny na ścieranie do obróbki żeliwa. Węgliki spiekane (P10) (K10/20) z powłoką TiAlN-CVD.			●			
HB 7720 (P20) (K20/30)	Gatunek odporny na ścieranie, do narzędziowych stali wysokostopowych i stopów niklu; do obróbki na mokro i na sucho (również do obróbki żeliwa).	●		●			○
HB 7735 (P30/40) (M20)	Gatunek bardzo odporny na udarność, do obróbki na mokro i spec. obróbki na sucho materiałów o niskiej wytrzymałosci. Węgliki spiekane (P30/40) (M20) z powłoką TiAlN-CVD.	●	○			○	
HB 7830 (P20/40) (M20)	Gatunek uniwersalny z powłoką Multilayer, najnowsze rozwiązania w zakresie nanotechnologii. Powłoka wielowarstwowa TiN i AlN, bardzo gładka i o dużej odporności na ścieranie.	●	●		○	○	
HB 7835 (P30/40) (M20)	Gatunek uniwersalny, odporny na udarność, do obróbki na mokro i na sucho. Węgliki spiekane (P30/40) (M20) z wielowarstwową powłoką TiCN.	●					
CU 7725 (P15) (M10)	Bardzo wytrzymały i o bardzo wysokiej odporności na ścieranie Cermet, do obróbki na sucho przy małych głębokościach skrawania.	●	●	○		○	
HU 7710 (K10/20)	Gatunek (K10/20) często w wersji polerowanej na wysoki połysk. Przeznaczony szczególnie do aluminium, metali nieżelaznych i tworzyw sztucznych.				●		
HU 7730 (P20/35) (M20/30)	Gatunek odporny na udarność (P20/35), do małych prędkości skrawania.	●					
HSS-TiN	Stal szybkotnąca (HSS) z powłoką TiN, bardzo twarda i wysoko odporna na udarność.	○	●			●	

Tabela 2.24 Możliwości zastosowania materiałów GARANT na narzędzia do frezowania

3.3.3 Materiały SECO na narzędzia do toczenia - ISO

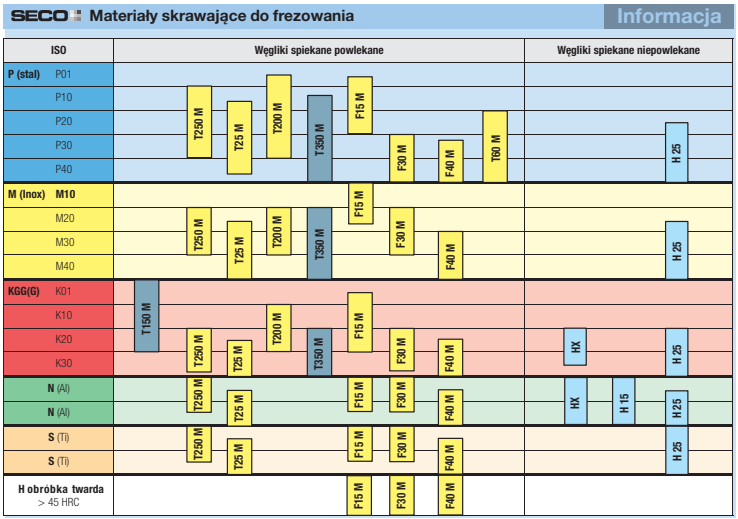
Węgliki spiekane HM, powlekane			P	M	K	N	S	H
	TP1000	Wydajny, o najwyższej odporności na ścieranie. Do obróbki dokładnej i średnio dokładnej żeliwa, stali i stali stopowych przy dużych prędkościach skrawania. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**	●		●			○
	TP2000	Najlepszy wybór do produkcji jednostkowej. TP2000 doskonale łączy odporność na ścieranie z dobrą wytrzymałością na obciążenia dynamiczne oraz stabilnością krawędzi tnących. Niezawodny przy dużych prędkościach skrawania, również przy obróbce na sucho. Do ogólnej obróbki stali i stali stopowych. Ti (C, N) + Al_2O_3 + Ti(C,N) + TiN **(CVD)**	●		○			○
	(TP200)	TP200 jest niezawodnym gatunkiem o szerokim zakresie zastosowań, do średnio dokładnej obróbki stali, łatwo skrawalnych stali nierdzewnych i żeliwa. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**	●	○	○			
	TP3000	Niezawodny gatunek odporny na udarność, o szerokim zakresie zastosowań, szczególnie, jeśli wymagana jest wysoka trwałość i odporność na obciążenia dynamiczne krawędzi tnących. Do obróbki stali nierdzewnych oraz materiałów i przedmiotów trudnych do obróbki, również przy skrawaniu przekrojów przerywanych. TP3000 jest najlepszym wyborem, gdy wymagana jest niezawodność. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**	○	●	○		○	
	TP400	TP400 jest najlepszym wyborem do obróbki nierdzewnych stali austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych (Duplex). Gatunek jest w najwyższym stopniu odporny na ścieranie, odkształcenia plastyczne i wykruszenia. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**		●				○
	TK2000	Uzupełniający gatunek specjalny do obróbki żeliwa sferoidalnego. Bardziej odporny na udarność niż TP1000. Nadaje się również do obrabiania stali hartowanych oraz stopowych o najwyższej wytrzymałości. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**	○		●			○
	CP500	Bardzo odporny na udarność, drobnoziarnisty gatunek do dokładnej i średnio dokładnej obróbki stali nierdzewnych, dobrze nadaje się do skrawania przerywanego. CP500 jest również alternatywnym materiałem do obrabiania stopów aluminium. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(PVD)**		●		●	○	
	CP600	Bardzo odporny na udarność drobnoziarnisty gatunek do dokładnej i średnio dokładnej obróbki stali nierdzewnych, dobrze nadaje się do skrawania przerywanego. CP600 jest również alternatywnym materiałem do obrabiania stopów aluminium. Specjalnie do płytek skrawających 150.10–.. Ti (C, N) + (Ti, Al)N + TiN **(PVD)**		●		●	○	
Gatunki niepowlekane			**P**	**M**	**K**	**N**	**S**	**H**
	890	Gatunek bardzo twardy i odporny na udarność, podobny do CP200. 890 jest podstawowym materiałem skrawającym do nadstopów Ni, Co i Fe. Również do hartowanych stali, żeliwa oraz stopów metali nieżelaznych, takich jak Al i Cu.				●	●	●
	883	Gatunek o wyższej odporności na udarność niż 890, głównie do zgrubnej obróbki żaroodpornych nadstopów.					●	
	HX	Uniwersalne zastosowanie do żeliwa i metali nieżelaznych.			●	●		
	KX	Uniwersalne zastosowanie do metali nieżelaznych.				●		

Tabela 2.25 Możliwości zastosowania materiałów SECO na narzędzia do toczenia - ISO



Rys. 2.51 Przegląd materiałów SECO na narzędzia do toczenia według ISO

3.3.4 Materiały SECO na narzędzia do frezowania

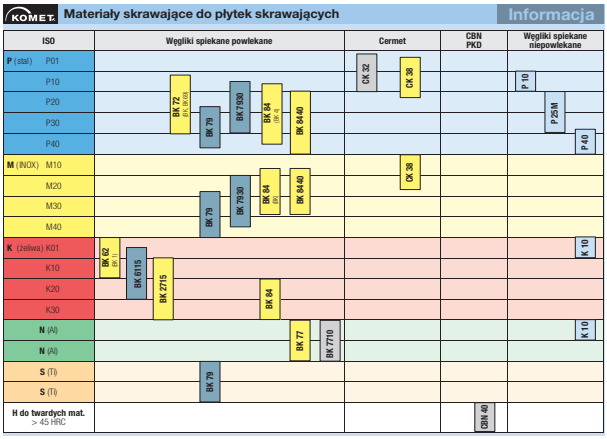


Rys. 2.52 Przegląd materiałów SECO na narzędzia do frezowania

Węgliki spiekane powlekane			P	M	K	N	S	H
	T150 M	Podstawowy gatunek do frezowania żeliwa szarego, żeliwa sferoidalnego i żeliwa GGG40, z chłodzeniem lub bez. Ti (C, N) + Al_2O_3 **(CVD)**			●			
	T250 M	Do obróbki średnio dokładnej i zgrubnej stali i stali nierdzewnych przy prędkościach skrawania od średnich do wysokich, z chłodzeniem lub bez. Ti (C, N) – TiN/Al_2O_3 **(CVD)**	●	●				
	T25 M	Odporny na udarność gatunek powlekany CVD, do obróbki zgrubnej stali i stali nierdzewnych, z chłodzeniem lub bez. Ti (C, N) – TiC/Ti (C, N) – TiN **(CVD)**	●	●				
	T200 M	Do prac łatwych i średnio trudnych, do stali i stali hartowanych oraz nierdzewnych przy dużych prędkościach skrawania. Doskonałe do zgrubnej obróbki żeliwa szarego i sferoidalnego. Ti (C, N) + Al_2O_3 + TiN **(CVD)**	●	●	●			○
	T350 M	**Zalecane** do uniwersalnego zastosowania przy obróbce stali, stali nierdzewnej oraz łatwo i średnio skrawalnych stopach specjalnych. Bardzo wytrzymałe podłoże z powłoką MT-CVD i warstwą nawierzchniową Al_2O_3 minimalizującą powstawanie narostów. Ti (C, N) + Al_2O_3 **(CVD)**	●	●	○		●	
	F15 M	Do łatwej i średnio trudnej obróbki aluminium i jego stopów oraz materiałów o skłonności do tworzenia narostów. Niezwykle odporny na zużycie. Ostre krawędzie skrawające. (Ti, Al) N + TiN **(PVD)**		○		●	○	●
	F30 M **F25 M**	Podstawowy gatunek do frezów Minimaster. Odporny na udarność gatunek do obróbki wykańczającej wszystkich materiałów. Do zgrubnej obróbki twardego żeliwa, trudno skrawalnych stali nierdzewnych i stopów specjalnych przy małych posuwach. Ostre krawędzie skrawające. (Ti, Al) N + TiN **(PVD)**	●	●	●		●	●
	F40 M	**Gatunek uniwersalny**. Zalecany do obróbki wykańczającej i wstępnej obróbki wykańczającej stali, stali nierdzewnej, żeliwa szarego, metali nieżelaznych i stopów specjalnych z zastosowaniem małych posuwów. Ostre krawędzie skrawające. (Ti, Al) N + TiN **(PVD)**	●	●	●	●	●	●
	T60 M	Gatunek uniwersalny do głowic skrawających Minimaster. Dobra kombinacja odporności na obciążenia dynamiczne i na ścieranie. Ti (C, N) – (Ti, Al)N – TiN **(PVD)**	●	●	●	●	●	
Węgliki spiekane niepowlekane			**P**	**M**	**K**	**N**	**S**	**H**
	HX	Do średnio trudnej obróbki żeliwa szarego i metali nieżelaznych. Gatunek drobnoziarnisty, twardy i odporny na obciążenia dynamiczne.			●	●	○	
	H15	Gatunek odporny na zużycie, do frezowania metali nieżelaznych. Powierzchnia polerowana na wysoki połysk.				●		
	H25	Odporny na udarność, drobnoziarnisty gatunek do frezowania stopów specjalnych i metali nieżelaznych.				●	●	

Tabela 2.26 Możliwości zastosowania materiałów SECO na narzędzia do frezowania

3.3.5 Materiały KOMET na płytki skrawające



Rys. 2.53 Przegląd materiałów KOMET na płytki skrawające

Węgliki spiekane, powlekane		P	M	K	N	S	H
BK	Powłoka wielowarstwowa TiC/TiN na podłożu z węglika spiekanego P 25M. Duża trwałość również w górnym zakresie prędkości skrawania. Pod względem wytrzymałości na obciążenia dynamiczne obejmuje zakres między P 10 a P 20.	●	○	○			
BK 4	Powłoka wielowarstwowa TiC/TiN na podłożu z węglika spiekanego P 40. Nadaje się do skrawania przerywanego oraz na płytkę centrującą do pełnych wierceń, co zapobiega powstawaniu narostów.		●				
BK 6115	Węgliki spiekane z powłoką CVD-Al_2O_3, przeznaczone specjalnie do obróbki żeliwa w warunkach normalnych i stabilnych.			●			
BK 62	Naparowywana powłoka z CVD-TiCN/Al O , do wyższych prędkosci skrawania do żeliwa szarego **(zastępuje BK 1).**			●			
BK 72	Powłoka wielowarstwowa TiCN/Al O -TiN na podłożu z węglika spiekanego P 25 **(zastępuje BK).** Gatunek bardzo odporny na ścieranie, do dużych prędkości skrawania.	●		○			
BK 7930	Powłoka TiAlN-PVD o wysokiej zawart. aluminium na odpornych na ścieranie drobnoziarnistych węglikach spiekanych zapewnia dużą wydajność wiercenia, zwłaszcza w stali nierdzewnej.	●	●			○	
BK 79	Powłoka TiAlN na węgliku spiekanym P 40, do obróbki przerywanej przy średnich prędkościach skrawania.	○	●			○	
BK 8440	Powłoka TiCN/TiN-PVD na wytrzymałym podłozu. Wysoka stabilność kraw. skrawającej, dzięki czemu nadają się zwłaszcza do średnich prędkości, także podczas obróbki przerywanej.	●	●	○		○	
BK 84	Gatunek powlekany TiCN/TiN-PVD o zrównoważonym stosunku odporności na obciążenia do odporności na ścieranie; również do obróbki przerywanej oraz jako płytka centralna do wiercenia.	●	●	○		○	
BK 77	Powłoka TiN-PVD na węgliku spiekanym K 10, do stopów aluminium i tworzyw sztucznych przy średnich prędkościach skrawania.				●		
BK 7710	Powłoka TiB2-PVD z odpornych na ścieranie węglików spiekanych K10 o wysokiej twardości. Do stopów aluminium o zaw. do 10% Si.				●		
BK 2715	Specjalnie do obróbki żeliwa.			●			
BK 2730	Powlekany TiAlN gatunek drobnoziarnisty z ekstremalnie stabilnymi krawędziami i najwyższą odpornością na ścieranie w środkowym i górnym zakresie prędkości.		●			●	
CERMET							
CX 32	CERMET – materiał skrawający do toczenia dokładnego i wykańczającego. Niższa ścieralność i wyższe prędkosci skrawania zapewniają większą trwałość i wyższą jakość obrabianych powierzchni.	●					
CX 38	CERMET powlekany TiCN/TiN – materiał skrawający o dużej wytrzymałości na obciążenia dynamiczne i wysokiej odporności na ścieranie. Uniwersalne zastosowanie do stali, stali nierdzewnych (VA) i żeliwa.	●	●	●			
Węgliki spiekane, niepowlekane							
P 25M	Do toczenia i wiercenia w pełnym materiale. Główne przeznaczenie jako płytka centrująca do narzędzi KOMET-KUB do pełnych wierceń.	○					
P 40	Nadaje się do skrawania silnie przerywanego w dolnym i średnim zakresie prędkości skrawania.	○	○			○	
K 10	Ostrze sfazowane i geometria neutralna do wszystkich gatunków żeliwa szarego. Ostre krawędzie skrawające ostrza i geometria dodatnia do metali nieżelaznych (Al).			○	○		
CBN – sześcienny azotek boru							
CBN 40	Przestrzenny, regularny azotek boru do obróbki twardych materiałów (powyżej 45 HRC).						●

Tabela 2.27 Możliwości zastosowania materiałów KOMET na narzędzia skrawające