

Ryszard Kuryjański

Obróbka skrawaniem i obrabiarki

Warszawa 2011



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Kierunek studiów "Edukacja techniczno informatyczna"
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel. (22) 849 43 07, (22) 234 83 48
ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Opiniodawca: dr inż. Andrzej KUBALSKI

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK

Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ

Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla studentów kierunku studiów
"Edukacja techniczno informatyczna"

Copyright © 2011 Politechnika Warszawska

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych,
kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw
autorskich.

ISBN 83-89703-72-6

Druk i oprawa: Drukarnia Expol P. Rybiński, J. Dąbek Spółka Jawna,
87-800 Włocławek, ul. Brzeska 4

Spis treści

Wstęp.....	5
1. Obróbka skrawaniem	7
1.1. Zakres przedmiotu	8
1.2. Pojęcia podstawowe	9
1.3. Krótki rys historyczny	10
1.4. Materiały obrabiane.....	13
2. Narzędzia i materiały narzędziowe	21
2.1. Podział narzędzi skrawających.....	22
2.2. Budowa narzędzi skrawających.....	26
2.3. Materiały narzędziowe	32
2.4. Pokrycia	42
2.5. Materiały ściernie	44
3. Proces skrawania i zjawiska z nim związane..	49
3.1. Kinematyka skrawania	50
3.2. Technologiczne parametry skrawania.....	51
3.3. Podział wiórów	54
3.4. Narost.....	55
3.5. Ciepło w procesie skrawania	56
3.6. Rozkład temperatur w strefie skrawania.....	57
3.7. Ciecze obróbkowe	58
3.8. Siły skrawania	62
3.9. Zużycie ostrza	65
3.10. Trwałość i żywotność narzędzia.....	70
4. Ekonomiczne aspekty obróbki skrawaniem.....	73
4.1. Dobór technologicznych parametrów skrawania	74
4.2. Czas i wydajność obróbki.....	75
4.3. Wydajność obróbki i jej koszty w funkcji trwałości.....	78
4.4. Koszty obróbki w funkcji dokładności obróbki	79

5. Obrabiarki	81
5.1. Podział obrabiarek	82
5.2. Tokarki	83
5.3. Wiertarki	85
5.4. Frezarki	88
5.5. Wytaczarki	91
5.6. Przecinarki	94
5.7. Przeciągarki	95
5.8. Szlifierki	98
5.9. Obrabiarki do obróbki ścierniej wykańczającej	100
5.10. Obrabiarki wielooperacyjne	101
 6. Literatura	 103

Wstęp

Niniejsze materiały zostały opracowane w ramach realizacji Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego - PROGRAM OPERACYJNY KAPITAŁ LUDZKI. Przeznaczone są dla studentów kierunku EDUKACJA TECHNICZNO INFORMACYJNA” na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

Niniejsze opracowanie przygotowano dla przedmiotu pt. „Obróbka skrawaniem i obrabiarki”. Jego zawartość merytoryczna w pełni odpowiada zakresowi opisanemu w sylabusie opracowanym dla tego przedmiotu.

Całość opracowanych materiałów dydaktycznych dla ww przedmiotu zawarta została w VI rozdziałach. Rozdział 1 został poświęcony omówieniu roli obróbki skrawaniem w procesach wytwarzania, przedstawieniu skróconej historii jej rozwoju, podaniu podstawowych pojęć z nią związanych i krótkiemu przeglądowi materiałów obrabianych przy jej użyciu. W rozdziale 2 omówiono narzędzia stosowane w obróbce skrawaniem z położeniem nacisku na ich zastosowanie, budowę i materiały, z których je się wytwarza. W rozdział 3 podano podstawowe informacje dotyczące kinematyki procesu skrawania i zjawisk z nim związanych takich, jak narost, ciepło, siły skrawania czy zużycie ostrza z uwypukleniem wpływu technologicznych parametrów skrawania na intensywność ich zachodzenia. W rozdziale 4 zwrócono uwagę na ekonomiczne aspekty obróbki skrawaniem, a przede wszystkim na wpływ doboru parametrów skrawania na wydajność obróbki i jej koszty oraz zależność kosztów obróbki od wymaganej jej dokładności. Rozdział 5 poświęcono krótkiemu przeglądowi obrabiarek stosowanych w obróbce skrawaniem. W rozdziale 6 podano bibliografię, z której korzystano przy przygotowywaniu tego opracowania.

1

Obróbka skrawaniem

W tym rozdziale:

- zakres przedmiotu
- pojęcia podstawowe
- krótki rys historyczny
- materiały obrabiane

1.1. Zakres przedmiotu

Obróbka skrawaniem zwana również obróbką wiórową jest częścią procesu wytwarzania elementów urządzeń technicznych, w której przedmiot obrabiany, w wyniku usuwania ostrzem narzędzia określonej objętości (naddatku) materiału, uzyskuje wymagane kształty, wymiary i jakość powierzchni. Usuwany materiał zostaje zamieniony na wióry, stąd nazwa – obróbka wiórowa.

Alternatywą dla obróbki skrawaniem są:

- obróbka plastyczna,
- odlewnictwo,
- metalurgia proszków.

We wszystkich tych metodach unika się w zasadzie strat materiału, co jest ich ogromną zaletą w stosunku do obróbki skrawaniem.

Od wielu lat przewidywano więc eliminację obróbki skrawania z procesów technologicznych. Jednak nie udało się to do dnia dzisiejszego. Jest to bowiem jedyna metoda obróbki metali, dająca wymagane chropowatości i dokładności przy stosunkowo niewielkich kosztach.

Obserwuje się natomiast, wraz ze wzrostem dokładności obróbek bezwiórowych, przesunięcie obszaru zastosowania skrawania w kierunku obróbki z małymi naddatkami, a więc obróbki średnio dokładnej i bardzo dokładnej.

Proces skrawania prowadzony jest na obrabiarkach przy użyciu narzędzi skrawających na przedmiotach ustalanych na obrabiarkach uchwytyami obróbkowymi (układ OUPN).

Przedmiot obróbka skrawaniem obejmuje więc zagadnienia związane z:

- materiałami obrabianymi w procesie skrawania,
- narzędziami skrawającymi (przede wszystkim z ich konstrukcją i stosowanymi do ich produkcji materiałami)
- kinematyką skrawania,

- zjawiskami występującymi w procesie skrawania,
- uchwytami obróbkowymi,
- obrabiarkami.

1.2. Pojęcia podstawowe

Celem obróbki skrawaniem jest nadanie przedmiotowi obrabianemu określonego kształtu, określonych wymiarów z określoną dokładnością i określonej gładkości powierzchni, poprzez oddzielenie warstwy materiału o określonej grubości zwanej naddatkiem na obróbkę. Coraz częściej żąda się także ukształtowania odpowiedniego stanu warstwy wierzchniej.

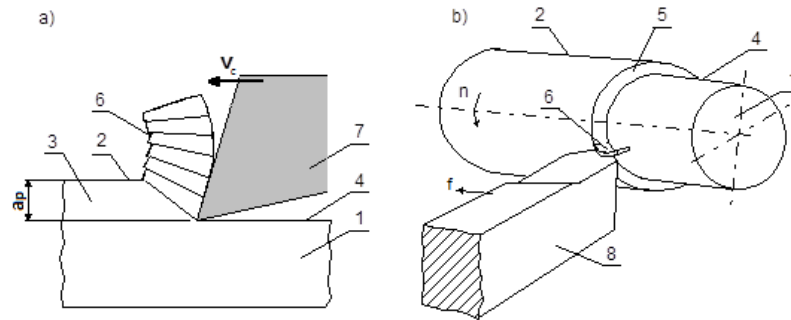
Obróbka skrawaniem jest obecnie podstawowym sposobem kształtowania „na gotowo” przedmiotów obrabianych o takich wymaganiach w zakresie dokładności wymiarowej i chropowatości powierzchni, których nie można osiągnąć przy innych stosownych technikach wytwarzania lub, gdy zastosowanie innych dokładnych technik wytwarzania nie jest ekonomicznie uzasadnione. Chociaż postępuje rozwój innych technik wytwarzania, to przy wytwarzaniu przedmiotów ze stopów metali, o wysokich i bardzo wysokich wymaganiach, co do dokładności wymiarowej, obróbka skrawaniem jest nie do zastąpienia. W szczególności przy obecnym szerokim asortymencie obrabiarek i narzędzi skrawających trzeba zwrócić uwagę na łatwość dostosowania obróbki skrawaniem do produkcji, od jednostkowej, aż do masowej

W zależności od postaci usuwanego materiału obróbkę skrawaniem dzielimy na *obróbkę wiórową* i na *obróbkę ścierną*. Przy obróbce wiórowej skrawana warstwa oddzielana jest w postaci wiórów. W zależności od rodzaju materiału obrabianego, parametrów obróbki i geometrii narzędzia wielkość i kształt wiórów jest zróżnicowany. Przy obróbce ścierniej oddzielane są drobne cząstki materiału, o kształtach nie rozpoznawalnych nieuzbrojonym okiem, w postaci pyłu.

W zależności od sposobu skrawania rozróżniamy: *toczenie, struganie, dłutowanie, frezowanie, przeciąganie i przepychanie, wiercenie, rozwiercanie, pogłębianie, cięcie, szlifowanie i inne sposoby obróbki ścierniej*.

W zależności od osiąganey dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni rozróżniamy obróbkę: zgrubną, średnio dokładną, bardzo dokładną i gładkościową.

Oddzielenie warstwy skrawanej od przedmiotu obrabianego odbywa się za pośrednictwem klinowego narzędzia, przemieszczającego się z prędkością skrawania v_c względem powierzchni obrabianej, rysunek 1.1.



Rysunek 1.1. a) ideowy schemat skrawania, b) poglądowy obraz skrawania na przykładzie toczenia wzdłużnego;

1 – przedmiot obrabiany, 2 – powierzchnia obrabiana, 3 – warstwa skrawana, 4 – powierzchnia obrobiona, 5 – powierzchnia skrawania, 6 - wiór, 7 – ostrze narzędzia, 8 – nóż tokarski;
 v_c – prędkość skrawania, a_n – głębokość skrawania, f - posuw

Przekształcenie warstwy skrawanej w wiór jest spowodowane naciskiem narzędzia na materiał obrabiany. W materiale obrabianym w obszarze przylegającym do miejsca kontaktu z narzędziem powstaje złożony stan naprężeń ściskających, rozciągających i tnących. Na styku narzędzia z powierzchnią obrobioną i z wiórem powstaje tarcie. Naprężenia wywołują odkształcenia sprężyste i plastyczne. Na pewnych powierzchniach następuje pokonanie sił spójności materiału. Rozpoczyna się formowanie wióra (w przypadku wiórów odpryskowych w momencie pokonania sił spójności materiału następuje początek i koniec formowania wióra).

1.3. Krótki rys historyczny

W najszerszym rozumieniu pojęcia obróbka skrawaniem jej historia jest niemal tak długa jak historia ludzkości. Już w neolicie bowiem człowiek posiadał umiejętność polerowania kamienia i wiercenia w nim otworów, a

w epoce żelaza umiał prowadzić obróbkę nawęglania i hartowania. Obróbka skrawaniem miała jednak wówczas charakter obróbki ręcznej. Wprowadzenie napędu parowego i powstanie obrabiarek napędzanych silnikiem parowym uważa się za początek nowoczesnej obróbki skrawaniem. W tabeli 1.1 zestawiono w ujęciu chronologicznym najważniejsze fakty z historii obróbki skrawaniem.

Tabela 1.1 Historia obróbki skrawaniem

XVIII w	szeroko rozpowszechniona obróbka drewna, a obróbka metali na obrabiarkach bardzo rzadko spotykana i wykonywana przez kowala ,
1775 r	John Wilkinson wynalazł precyzyjną wiertarkę poziomą napędzaną silnikiem parowym
1797 r	Henry Maudslay skonstruował tokarkę: był to pierwszy suport mechaniczny, który zastąpił podtrzymywane ręką narzędzie, a wrzeciono było napędzane silnikiem parowym; umożliwiała ona wymiennność śrub i nakrętek i standaryzację gwintów
pocz. XIX w	dalszy rozwój obrabiarek dzięki nowym źródłom energii (silnikom parowym, a potem elektrycznym); napęd z wału pędnego był przenoszony przy pomocy pasów bezpośrednio na wrzeciono obrabiarek; pierwszymi obrabiarkami były strugarki wzdłużne, frezarki i tokarki uniwersalne (mogące naciąć gwinty),
1818 r	pierwsza frezarka Eli Whitney (masowa produkcja muszkietów)
1829 r	Henry Maudslay skonstruował mikrometr
1830 r	Joseph Whitworth skonstruował sprawdziany do gwintu, które pozwoliły na bardzo dokładne wykonywanie obrabiarek: strugarek, obrabiarek do kół zębatach i frezarek,
1837 r	Thomas Davenport skonstruował pierwszy w USA pracujący silnik elektryczny i zastosował go do napędu wiertarki i tokarki do drewna
1849-54	Samuel Colt i Elisha Root opracowali głowicę rewolwerową, umożliwiającą szybką zmianę narzędzi oraz skonstruowali tokarki rewolwerowe i automatyczne tokarki do gwintu;
1862 r	Joseph R. Brown skonstruował pierwszą frezarkę uniwersalną, nadającą się do zastosowania w produkcji,
druga połowa XIX w.	pojawiły się uniwersalne frezarki i szlifierki; obróbka narzędziami ze stali wysokowęglowych i węglowych stopowych; wprowadzono skrzynki prędkości i posuwu;

1890 rok	skonstruowano automat tokarski wielowrzecionowy,
1900 rok	wprowadzenie narzędzi ze stali szybko tnących (pokaz Fredricka Taylora na Wystawie Światowej w Paryżu), rozwój teorii skrawania, wprowadzenie cieczy smarująco-chłodzących
lata 20-te i 30-te XX wieku	rozwój produkcji wielkoseryjnej i masowej; budowa wysokowydajnych obrabiarek zespołowych i automatycznych linii obrabiarkowych (pierwszą taką linię zainstalował w 1913 roku Henry Ford rozpoczynając produkcję modelu T)
1926 r	skonstruowanie narzędzi z węglików spiekanych
połowa lat 50-tych	skonstruowano pierwszą uniwersalną obrabiarkę sterowaną numerycznie, a następnie sterowane numerycznie automaty, centra obróbkowe i linie automatyczne;
1955 r	uzyskano pierwszy syntetyczny diament
1945-2000	rozwój techniki komputerowej: 1946 r – pierwszy komputer, 1951 r – pierwsze zastosowanie komputera do celów biurowych, 1957 r - pierwszy twardy dysk 1961 r – mikrochipy, 1969 r – początki Internetu, 1971 r – mikrokomputery, dzięki powstaniu mikroprocesora, 1974 r – kalkulator, 1979 r - William Moggridge skonstruował pierwszy laptop 1981 r – komputery osobiste firmy IBM i dyskietki jako pamięć zewnętrzną 1985 r - wprowadzenie dysku CD-ROM 1993 r – dynamiczny rozwój Internetu, dzięki 30-krotnemu zwiększeniu szybkości przepływu informacji 1995 r - wprowadzenie standardowego dysku DVD, 1998 r - wprowadzenie do masowej produkcji pamięci flash (pendriv'y), wynalezionej w 1984 r przez dr Fujio Masuoka
1990 - 2000	wprowadzenie obrabiarek sterowanych komputerowo; robotyzacja i automatyzacja produkcji; elastyczne systemy produkcyjne, nie wymagające ingerencji ludzi; rozwój napędów: silniki liniowe, krokowe, bezstopniowe;

1.4. Materiały obrabiane

Podstawowymi materiałami obrabianymi w procesie skrawania są:

- stale i żeliwa (produkcja roczna stali na świecie wynosi 1 mld ton)
- aluminium i jego stopy (produkcja roczna na świecie wynosi 28 mln. ton)
- stopy ultralekkie
- mosiądz - stop miedzi z cynkiem (miedź - 14 mln ton, cynk – 8 mln ton)
- brąz (stop miedzi z cyną)
- drewno i tworzywa drzewne
- tworzywa sztuczne (180 mln ton w 2002 r przy 1 mln ton w 1948 r)

Stal

Stal – stop żelaza z węglem (do 2%) i innymi pierwiastkami chemicznymi, otrzymywany w stanie ciekłym z surowki wielkopiecowej w procesie konwertorowym lub martenowskim. Lepsze gatunki stali otrzymuje się poddając ją dalszej obróbce w piecach elektrycznych lub tygłowych, umożliwiających zastosowanie metod metalurgii próżniowej. Odlaną w postaci wlewków stal poddaje się w hucie obróbce plastycznej w celu nadania jej odpowiedniej postaci (kucie, walcowanie, ciągnienie), a następnie obróbce cieplnej i cieplno-chemicznej, w wyniku których uzyskuje ona wymagane właściwości.

Zależnie od przeznaczenia stale dzielimy na:

- konstrukcyjne
- narzędziowe
- specjalne

Stale konstrukcyjne są przeznaczone na konstrukcje budowlane oraz na części maszyn i urządzeń, pracujące w temperaturach niższych od 300°C i wyższych od -40°C w środowisku nieagresywnym. Rozróżnia się *stale konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia* (produkowane w postaci prętów, blach, kształtowników itp.) oraz *szczególnego przeznaczenia*, takie m.in. jak stale łożyskowe (przeznaczone na elementy łożysk tocznych) i stale sprężynowe (na sprężyny i resory).

Stale narzędziowe są stosowane do wyrobu różnego rodzaju narzędzi i zostaną omówione w temacie materiały narzędziowe.

Do stali specjalnych zaliczamy:

- stale nierdzewne, co najmniej 13% chromu, wykazujące odporność na korozyjne działanie środowisk utleniających (powietrza, pary wodnej, roztworów zasadowych, słabych kwasów organicznych); stosowane do wyrobu urządzeń dla przemysłu chemicznego, na narzędzia medyczne i narzędzia pomiarowe;
- stale kwasoodporne, zawierające 16-25% chromu i 4-29% niklu, niekiedy molibden, tytan lub niob, odznaczające się odpornością na działanie środowisk utleniających, a także większości kwasów nieorganicznych i organicznych oraz barwników; stosowane do wyrobu urządzeń dla przemysłu chemicznego i spożywczego,
- stale żaroodporne, zawierające chrom (5-27%), krzem, aluminium, molibden, odznaczające się odpornością na utleniające i korodujące działanie gazów w wysokiej temperaturze,
- stale żarowytrzymałe, zawierające chrom (15-30%), nikiel (8-25%), molibden, wolfram i wanad, wykazujące zdolność zachowywania dobrych własności mechanicznych w wysokiej temperaturze; stale żaroodporne i żarowytrzymałe są stosowane do wyrobu aparatury chemicznej, osłon pirometrów, armatury piecowej, urządzeń energetycznych, silników odrzutowych.
- stale automatowe, zawierające 0.1-0.35% siarki i 0.035-0.8% fosforu, odznaczające się bardzo dobrą skrawalnością, przeznaczane do wyrobu śrub i nakrętek,

- stale o specjalnych właściwościach magnetycznych stosowane do produkcji prądnic, transformatorów i magnesów trwałych,
- stale o specjalnej odporności na zużycie, np. stal Hadfielda, zawierająca 11-14% manganu i 0.3-0.5% krzemu, bardzo odporna na ścieranie, stosowana na elementy rozjazdów kolejowych i tramwajowych, wykładziny młynów kulowych i gąsienice.

Staliwo

Staliwo – stal odlewana do form odlewniczych, nie poddawana obróbce plastycznej, stosowana zwykle po obróbce cieplnej, w zależności od składu, m.in. na podstawy i korpusy maszyn, części taboru kolejowego i samochodów, wały turbin wodnych i parowych oraz armaturę wodną, a także koła łańcuchowe i linowe oraz koła zębate.

Żeliwo

Żeliwo stop żelaza z węglem (2.5-4.5%) innymi pierwiastkami chemicznymi jest stopem odlewniczym, otrzymywanym z surówki wielkopiecowej z dodatkiem złomu żeliwnego lub stalowego w piecu szybowym, żeliwiaku. Żeliwa dzielą się na:

- żeliwo szare z węglem w postaci grafitu płatkowego,
- żeliwo szare zmodyfikowane z węglem w postaci bardzo drobnego grafitu płatkowego
- żeliwo szare sferoidalne z węglem w postaci kuleczek,
- żeliwo białe z węglem w postaci cementytu,
- żeliwo ciągliwe, uzyskiwane z żeliwa białego przez długotrwałe wyżarzanie w wysokiej temperaturze i odpowiedniej atmosferze.

Żeliwa szare są tanie, mają dobre własności odlewnicze, tj. dobre wypełnianie formy i mały skurcz odlewniczy, a także takie cechy, jak zdolność do tłumienia drgań, stabilność wymiarowa i podatność na obróbkę skrawaniem. Stosowane są w przemyśle maszynowym, kolejnictwie, przemyśle maszynowym na korpusy maszyn, płyty fundamentowe, pierścienie tłokowe, tuleje cylindrowe silników, bębny hamulcowe, armaturę.

Żeliwo szare sferoidalne zastępuje niekiedy staliwo, a nawet odkuwki stalowe i jest stosowane m.in. na wały wykorbione, wały rozrządowe, cylindry i pierścienie tłokowe, a także koła zębate, wrzeciona i korpusy maszyn.

Żeliwo białe jest bardzo kruche, twarde i trudno obrabialne i ma gorsze własności odlewnicze. Stosowane jest na ruszty palenisk kotłowych i walce hutnicze.

Żeliwo ciągliwe, łączące dobre właściwości mechaniczne staliwa z dobrymi właściwościami odlewniczymi żeliwa jest stosowane w przemyśle maszyn rolniczych, w przemyśle samochodowym, obrabiarkowym, elektrotechnicznym i w kolejnictwie

Stopy aluminium

Duraluminium (dural) – stop glinu z miedzią (3.5-4.5%), który po obróbce cieplnej, dzięki dobrym właściwościom mechanicznym, odporności na korozję, dobrej przewodności cieplnej i elektrycznej oraz małej gęstości jest popularnym materiałem konstrukcyjnym w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, okrętowym, chemicznym, spożywczym, w budownictwie i meblarstwie

Siluminy – stopy odlewnicze glinu z krzemem (8-20%), mające bardzo dobre własności odlewnicze, dość dobre własności mechaniczne i zadowalającą odporność na korozję, są stosowane na tłoki silników spalinyowych, części pomp, armaturę, części maszyn

Stopy ultralekkie

Stopy ultralekkie są to stopy magnezu:

- z aluminium (2,5-10%), charakteryzujące się dużą szczelnością (odporność na przenikanie cieczy i gazów), dobrą obrabialnością, odpornością na korozję i dobrymi właściwościami mechanicznymi; znalazły zastosowanie jako części samolotów i śmigłowców (poszycia), samochodów, maszyn i urządzeń oraz aparatury optycznej;
- z litem (do 12%) są stosowane w konstrukcjach lotniczych i pojazdach kosmicznych. Wytrzymują temperatury do 120°C.

Mosiądz

Mosiądz – stop miedzi z cynkiem (od 2-43%), znalazł zastosowanie do produkcji rurek włosowatych i chłodnicowych, węzownic, membran manometrów, łusek amunicyjnych oraz w przemyśle okrętowym (jest odporny na korozję w wodzie morskiej), samochodowym i elektro-technicznym.

Mosiądze wysokoniklowe zwane nowym srebrem lub alpaka (40-70% Cu, 10-20% Ni i 5-40% Zn), stosowane są na elementy sprężyste w telekomunikacji i elektrotechnice, oprawy narzędzi lekarskich, okucia, wyroby galanteryjne i jubilerskie, sztućce (pod plater).

Brąz

Brąz - stop miedzi z cyną lub aluminium, krzemem, berylem, ołowiem lub manganem, zawierający ponad 2% przynajmniej jednego z w/w składników.

Wyróżnia się:

- brązy cynowe, najstarsze, stosowane już w epoce brązu i starożytności do wyrobu mieczy, ozdób, przedmiotów kultu i przedmiotów codziennego użytku; obecnie znaczenie przemysłowe mają:
 - brązale armatnie, (zawierające 10% cyny), używane dawniej do wyrobu luf armatnich, a teraz do wyrobu kół zębatych i sprężyn,
 - brązy panewkowe o zawartości 13-18% cyny, stosowane do wyrobu panewek, silnie obciążonych, łożysk tocznych,
 - brązy fosforowe z domieszką fosforu nie przekraczającą 1%, stosowane do produkcji kół zębatych, ślimacznicy i zaworów,
 - spiże – stopy potrójne miedzi, cyny i cynku, często z domieszką ołowiu używane na armaturę, części maszyn oraz odlewy artystyczne (pomniki),
- brązy krzemowe, posiadające doskonałe własności odlewnicze i mechaniczne oraz dużą odporność na korozję, stosowane do wyrobu zaworów, aparatury chemicznej, osprzęt pa-

rowy i wodny dla przemysłu okrętowego, lotniczego, chemicznego i maszynowego,

- brązy ołowiowe, odznaczające się doskonałymi własnościami przeciw ściernymi i stosowane na panewki silników szybkobieżnych i silnie obciążonych,
- brązy berylowe wykorzystywane są do produkcji narzędzi i styków nie iskrzących,
- brąz manganowy (manganin) stosowany jest na oporniki najwyższej jakości.

Drewno i tworzywa drzewne

Drewno – surowiec otrzymywany ze ściętych drzew i formowany przez obróbkę w różnego rodzaju asortymenty. Zaletą drewna jest łatwość obróbki, do wad zalicza się dużą higroskopijność, pęcznienie, kurczenie się i pękanie oraz małą trwałość. Drewno znalazło w budownictwie jako materiał budowlany, wykończeniowy i pomocniczy (rusztowania, deskowania), i w przemyśle meblarskim.

Tworzywa drzewne – uzyskuje się je przez prasowanie litego drewna, impregnację substancjami chemicznymi i obróbkę termiczną (np. drewno prasowane). Tworzywa drzewne stosowane są do wyrobu czółenek tkackich, półpanwi łóżyskowych, przewodnic, a także materiał budowlany (np. okna) i wykończeniowy.

Tworzywa sztuczne

Tworzywa sztuczne – materiały, których podstawowym składnikiem są naturalne lub syntetyczne polimery (związki wielocząsteczkowe, zbudowane z regularnie lub nieregularnie powtarzających się ugrupowań atomów o jednakowej budowie, połączonych kowalencyjnymi wiązaniami chemicznymi). Tworzywa sztuczne używane są przede wszystkim w przemyśle opakowań (38%), w budownictwie (20%) i w motoryzacji (8%). Służą do wyrobu części maszyn, przyrządów, osłon kabli elektrycznych, elementów aparatury chemicznej i artykułów gospodarstwa domowego, galanterii, opakowań, zabawek oraz rur do wody pitnej, ścieków i dla przemysłu chemicznego. Wykorzystywane są również do wyrobu aparatury i sprzętu medycznego (np. sprzęt do pobierania i przetaczania krwi, dreny, cewniki, nici chirurgiczne), protez (stomatologicznych, stawów, tętnic, żył, zastawki serca, gałki ocznej) i szkielek kontaktowych.

Tworzywa sztuczne są na ogół bardzo lekkie, mają małą przewodność cieplną, większość z nich jest dielektrykami, mogą być przezroczyste lub całkowicie nieprzezroczyste, w porównaniu z metalami mają małą wytrzymałość na rozciąganie oraz mały moduł sprężystości. Są odporne na czynniki chemiczne i wilgoć, lecz nieodporne na działanie czynników silnie utleniających i temperaturę (powyżej 100°C). Ich udział w konstrukcji maszyn i urządzeń gwałtownie rośnie, a ciągłe zwiększanie ich wytrzymałości i niski ciężar właściwy powoduje, że zaczynają one w sposób istotny wypierać metale i ich stopy m.in. w lotnictwie i przemyśle samochodowym.

2

Narzędzia i materiały narzędziowe

W tym rozdziale:

- podział narzędzi skrawających
- budowa narzędzi skrawających
- materiały narzędziowe
- pokrycia

2.1 Podział narzędzi skrawających

Istnieje kilka sposobów podziału narzędzi skrawających:

1. według sposobu obróbki

- noże tokarskie
- noże strugarskie
- nawiertaki
- wiertła
- rozwiertaki
- pogłębiacze
- przeciągacze
- przepychacze
- wytaczadła
- frezy
- głowice frezowe
- gwintowniki
- narzynki
- głowice gwinciarskie
- frezy grzebieniowe
- frezy ślimakowe
- dłutaki Fellowsa
- frezy modułowe

- wiórkowniki
- piły
- skrobaki
- ściernice
- ośelki
- głowice do gładzenia (honownice)

2. według kształtu obrabianej powierzchni

- do powierzchni zewnętrznych (przede wszystkim płaszczyzn i powierzchni obrotowych)
- do obróbki otworów
- do obróbki gwintów
- do obróbki kół zębatach

3. według metody kształtowania powierzchni

- punktowe
Narzędzie styka się z kształtowaną powierzchnią punktowo, wierzchołkiem ostrza i porusza się po torze wyznaczającym kształt obrabianej powierzchni,
Do tej grupy narzędzi należą m.in. noże tokarskie i strugar-skie, wiertła, rozwiertaki, frezy i głowice frezowe,
Ze względu na stosowanie obrabiarek sterowanych numerycznie jest to w chwili obecnej bardzo rozpowszechniona grupa narzędzi.
- kształtowe
Narzędzia charakteryzują się liniowym stykiem krawędzi skrawającej z powierzchnią obrabianą,
Zarys ostrza narzędzia jest zgodny z zarysem obrabianej powierzchni,
Do tej grupy narzędzi należą noże kształtowe np. do podcięć technologicznych, frezy kształtowe np. do rowków trapezowych, przeciągacze, nawiertaki.
- obwiedniowe
Zarys przedmiotu obrabianego wynika z kształtu zarysu

narzędzia i kinematycznego powiązania ruchu narzędzia z ruchem przedmiotu tzw. ruchu odtaczania.

Kształt powierzchni obrabianej uzyskuje się jako obwiednię kolejnych położeń krawędzi skrawającej narzędzia;

Do grupy tych narzędzi należą przede wszystkim narzędzia do obróbki kół zębatach.

4. według sposobu zamocowania

- trzpieniowe (narzędzia, w których część robocza stanowi jedną całość z częścią chwytową)
 - z chwytami walcowymi - stosowane we wszystkich narzędziach do szybkiego mocowania w oprawkach dwu- lub trzyszczekowych oraz w oprawkach z tuleją rozprężną; obecnie najbardziej rozpowszechnione
 - z chwytami stożkowymi: ze stożkiem Morse'a (konwencjonalne wiertła, pogłębiacze, wytaczadła), stożkiem metrycznym lub niesamohamownym stożkiem 7:24, stosowanym we frezarkach (głowice frezarskie)
 - z chwytami kwadratowymi lub prostokątnymi (konwencjonalne noże tokarskie, strugarskie i dłutownicze)
- nasadzane (narzędzia, w których funkcję chwytu spełnia otwór osadczy, gniazdo)
 - z gniazdami walcowymi: zwykłymi (dłutki obwiedniowe), z rowkiem zabierakowym podłużnym (frezy osadzane na trzpieniach frezarskich), z rowkiem zabierakowym poprzecznym (frezy walcowo-czołowe, głowice frezowe)
 - z gniazdami stożkowymi (stosowane w bardzo ograniczonym zakresie, głównie do rozwiertaków nasadzanych)

5. według stopnia rozpowszechnienia

- narzędzia normalne (produkowane seryjnie przez przemysł narzędziowy i będące w obiegu handlowym; obecnie za narzędzia normalne należy uznać narzędzia podawane w katalogach firm narzędziowych)

- narzędzia specjalizowane (narzędzia normalne dostosowane do określonych warunków pracy, zwykle przez korekcję ostrza lub zmianę średnicy; najczęściej są to rozwiertaki i frezy)
- narzędzia specjalne (wymagają opracowania konstrukcyjnego i wykonania przez narzędziownię lub fabrykę narzędzi; takimi narzędziami są wytaczadła, wiertła do głębokich otworów, pogłębiacze czołowe, frezy kształtowe i obwiedniowe). Narzędzia specjalne pozwalają na ściśle dostosowanie geometrii ostrza i zarysu narzędzia do wymagań technologicznych, co powoduje wzrost wydajności w porównaniu z pracą analogicznych narzędzi normalnych. Ich koszt jest jednak znacznie, co najmniej kilkakrotnie wyższy w porównaniu z podobnymi narzędziami normalnymi. Stosowane są przede wszystkim w produkcji wielkoseryjnej i masowej.

6. według rozwiązań konstrukcyjnych

- narzędzia jednolite, wykonane w całości z materiału narzędziowego (głównie narzędzia wykonywane ze stosunkowo tanich materiałów narzędziowych np. stali narzędziowych węglowych i stopowych do pracy na zimno, narzędzia o małych gabarytach takich jak narzędzia trzpieniowe o średnicy kilku milimetrów i narzędzia nasadzane o małej szerokości oraz narzędzia o bardzo dużej dokładności);
- narzędzia łączone, w których jedynie część robocza lub nawet fragment tej części wykonywane są z materiału narzędziowego, a pozostała część z tańszych materiałów (zwykle ze stali konstrukcyjnej).

Wśród narzędzi łączonych wyróżnia się:

- narzędzia łączone w sposób trwały:
- zgrzewane stykowo (konwencjonalne noże, a szczególnie noże wytaczaki, wiertła, frezy, gwintowniki);
- lutowane (z ostrzami z węglików spiekanych lub stali szybko tnącej, a ostatnio z wkładkami z polikrystalicznych materiałów supertwardych); napawane (np. osłkownice do obróbki wykańczającej kół walcowych),

- narzędzia składane, przede wszystkim z wkładkami, płytkami lub nożami wymiennymi. Łatwa wymiana zużytych elementów jest przyczyną, dla której narzędzia składane stanowią dziś podstawowe rozwiązanie konstrukcyjne. Narzędzia składanych nie stosuje się tylko w: narzędziach o małych wymiarach, w których zastosowanie połączeń mechanicznych prowadzioby do zmniejszenia sztywności narzędzia oraz w narzędziach bardzo dokładnych, w których wąskie tolerancje uniemożliwiają wykonanie elementów składowych z dostateczną technologicznie dokładnością.

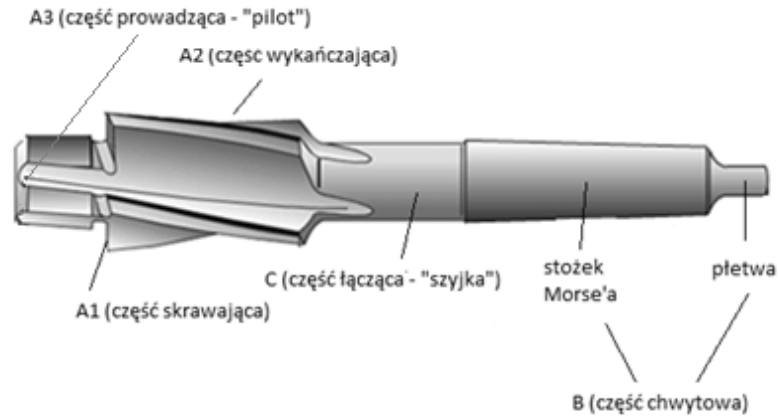
2.2 Budowa narzędzi skrawających

W budowie narzędzi skrawających wyróżnia się 3 części:

A – część roboczą, obejmującą wszystkie elementy narzędzia, związane z procesem skrawania,

B – część chwytową, służącą do zamocowania narzędzia w obrabiarce,

C – część łączącą, występującą tylko w pewnej grupie narzędzi trzpieniowych.



Rysunek 2.1. Budowa narzędzia na przykładzie pogłębiacza

W części roboczej A wyróżnia się:

A1 – część skrawającą, wykonującą główną pracę skrawania:

- w narzędziach jednoostrzowych część skrawająca pokrywa się z częścią roboczą
- w narzędziach wieloostrzowych część skrawająca odpowiada głównej krawędzi skrawającej lub części zdzierającej narzędzia

A2 – część wykańczająca (kalibrująca), odpowiadająca w większości przypadków pomocniczej krawędzi skrawającej lub ostatniemu fragmentowi narzędzia, który powoduje ostateczne wykończenie powierzchni

A3 – część prowadząca, której zadaniem jest ustalenie położenia narzędzia w stosunku do przedmiotu; w niektórych przypadkach pokrywa się z częścią wykańczającą (wiertło), w innych jest ona wyraźnie wyodrębniona (np. tzw. „pilot” w pogłębiaczach)

B – część chwytowa i jej rodzaje zostały omówione przy podziale narzędzi wg sposobu zamocowania.

C – część łącząca nie odgrywa bezpośredniej roli ani w procesie skrawania, ani przy zamocowaniu narzędzia. Występuje tylko w niektórych z narzędzi trzpieniowych z jednej z dwóch przyczyn:

- z przyczyn technologicznych – ułatwia wykonanie narzędzia; część łącząca jest wówczas krótka i nosi nazwę szyjki (np. w wiertłach)
- z przyczyn funkcjonalnych – powoduje odsunięcie części roboczej od części chwytowej (np. noże wytaczaki)

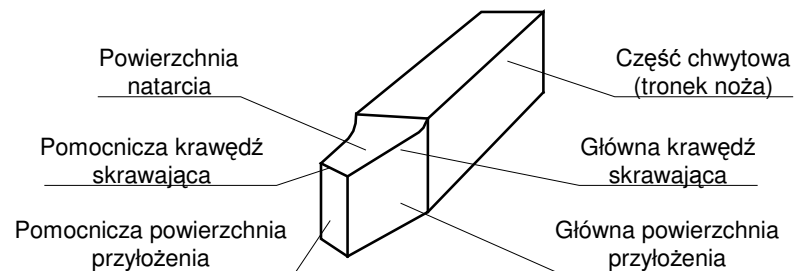
Ostrze – część skrawającą i wykańczającą narzędzia – ograniczają trzy powierzchnie:

- powierzchnia natarcia, po której spływa wiór podczas skrawania,
- główna powierzchnia przyłożenia, stykająca się z powierzchnią obrabianą,
- pomocnicza powierzchnia przyłożenia, stykająca się z powierzchnią obrobioną

W wyniku przecinania się tych powierzchni powstają dwie krawędzie skrawające:

- główna krawędź skrawająca – jest to wynik przecinania się powierzchni natarcia z główną powierzchnią przyłożenia,
- pomocnicza krawędź skrawająca – jest to wynik przecinania się powierzchni natarcia z pomocniczą powierzchnią przyłożenia.

Wierzchołek ostrza, definiowany jako najdalej wysunięty punkt ostrza (wzdłuż lub prostopadle do osi narzędzia), leży w punkcie przecięcia głównej i pomocniczej krawędzi skrawającej.



Rysunek 2.2. Budowa ostrza na przykładzie noża tokarskiego

W celu jednoznacznego określenia położenia charakterystycznych powierzchni ostrza wprowadzono układ wymiarowania nazywany układem narzędzia, w którym określa się płaszczyzny i kąty ostrza, stanowiące podstawę do jego wykonania i pomiarów.

Geometrię narzędzia rozpatruje się w jednym, konkretnie wybranym punkcie ostrza – oddzielnie dla głównej i oddzielnie dla pomocniczej krawędzi skrawającej.

W układzie narzędzia wyróżnia się 6 płaszczyzn:

1. płaszczyznę podstawową P_r
 - jest ona prostopadła lub równoległa do bazowych elementów narzędzia (podstawy lub osi w przypadku narzędzi obrotowych)
 - jest ona możliwie prostopadła do kierunku prędkości ruchu głównego
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej
2. płaszczyznę boczną P_f
 - jest ona możliwie równoległa do kierunku posuwu
 - jest prostopadła do płaszczyzny podstawowej P_r
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej
3. płaszczyznę tylną P_p
 - jest ona prostopadła do P_r
 - jest ona prostopadła do P_f
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej
4. płaszczyznę głównej krawędzi skrawającej P_s
 - jest ona styczna do głównej krawędzi skrawającej
 - jest ona prostopadła do P_r
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej
5. płaszczyznę przekroju głównego P_o

- jest ona prostopadła do P,
 - jest ona prostopadła do P_s
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej
6. płaszczyznę normalną P_n
- jest ona prostopadła do głównej krawędzi skrawającej
 - przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej

Położenie krawędzi skrawających określa **pięć** kątów.

Trzy mierzone są w płaszczyźnie podstawowej P_r:

- kąt przystawienia κ_r – zawarty między płaszczyznami P_s i P_f
- pomocniczy kąt przystawienia κ_r' – zawarty między płaszczyznami P_s' i P_f
- kąt naroża ε_r – zawarty między płaszczyznami P_s i P_s'

Pomiędzy tymi kątami występuje zależność:

$$\kappa_r + \kappa_r' + \varepsilon_r = 180^\circ \quad (2.1)$$

- W płaszczyźnie głównej krawędzi skrawającej P_s określa się kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ_s – zawarty między główną krawędzią skrawającą i płaszczyzną podstawową P_r.
- W płaszczyźnie pomocniczej krawędzi skrawającej P_s' określa się kąt pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej λ_s' – zawarty między pomocniczą krawędzią skrawającą i płaszczyzną podstawową P_r.

Kąty λ_s i λ_s' są dodatnie, gdy wierzchołek ostrza jest najwyższym punktem krawędzi skrawającej i są ujemne, gdy wierzchołek ostrza jest najniższym punktem krawędzi skrawającej.

Położenie płaszczyzny natarcia i płaszczyzny przyłożenia określają **trzy** kąty:

- kąt natarcia γ – zawarty między powierzchnią natarcia a płaszczyzną podstawową P_r

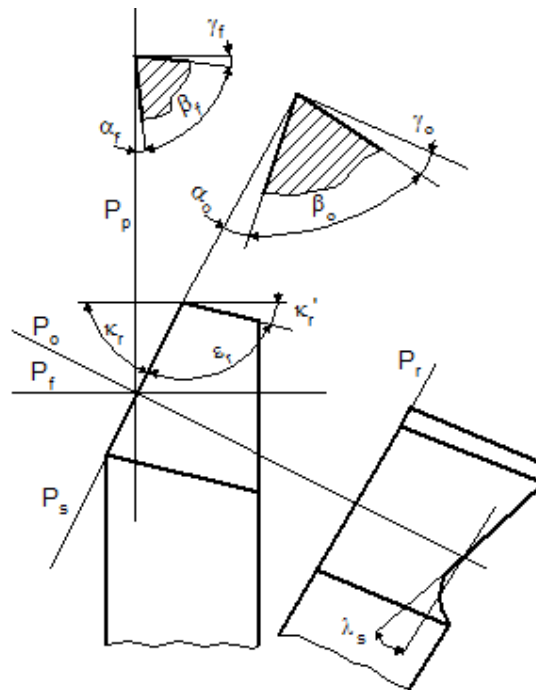
- kąt przyłożenia α - zawarty między powierzchnią przyłożenia a płaszczyzną krawędzi skrawającej P_s
- kąt ostrza β - zawarty między powierzchnią natarcia i powierzchnią przyłożenia.

Pomiędzy tymi kątami występuje zależność:

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ \quad (2.2)$$

Wszystkie kąty mogą być mierzone w jednej z czterech płaszczyzn: P_f , P_o , P_p , P_n , otrzymując indeks odpowiedniej płaszczyzny. W katalogach podaje się zwykle kąty w płaszczyźnie przekroju głównego P_o lub w płaszczyźnie bocznej P_f .

Kąty przyłożenia α i kąty ostrza β mają zawsze wartości dodatnie, natomiast kąty natarcia γ mogą być dodatnie lub ujemne.



Rysunek 2.3. Uproszczona geometria ostrza na przykładzie noża tokarskiego

Kąty ostrza mają wpływ na przebieg skrawania. Stąd ich dobór musi być starannie dokonany.

Kąt natarcia decyduje o sposobie spływania wióra z powierzchni natarcia i ma wpływ na kształt wióra. Kąt natarcia przyjmuje się w granicach od -15° do 30° . Dodatnie kąty skrawania zmniejszają energię odkształcania wióra, lecz jednocześnie zmniejszają również wytrzymałość ostrza. Ujemne kąty natarcia zalecane są do skrawania węglakami spiekanymi z dużymi prędkościami skrawania. Zerowe kąty natarcia ułatwiają ostrzenie narzędzi i często są stosowane przy narzędziach kształtowych.

Kąt przyłożenia α wpływa na wartość siły tarcia powstającej na styku powierzchni przyłożenia i powierzchni skrawanej. Zwiększanie tego kąta powoduje zmniejszenie siły tarcia, ale osłabia odporność ostrza na zużycie. Wartość tego kąta, w zależności od rodzaju narzędzia wynosi od $0,5^{\circ}$ do 20° . Przeważnie wynosi kilka stopni.

Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej κ_r decyduje o rozkładzie składowych siły skrawania. W nożach tokarskich wartość kąta przystawienia wynosi od 30° do 90° .

Kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej κ'_r ma wpływ na wysokość nierówności powierzchni obrobionej. Zmniejszanie wartości tego kąta zmniejsza chropowatość powierzchni.

Kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej λ_s ma wpływ na kierunek spływu wióra. Przy zerowej wartości tego kąta wiór spływa w kierunku prostopadłym do głównej krawędzi skrawającej. Zwiększanie dodatniej wartości kąta pochylenia powoduje odchylenie kierunku spływu wióra na narzędzie, w kierunku trzonka noża. Ujemny kąt powoduje przeciwny kierunek spływu wióra.

2.3. Materiały narzędziowe

Bardzo trudne warunki pracy w czasie skrawania stawiają wysokie i szczególne wymagania materiałom narzędziowym. Materiały przeznaczone na narzędzia skrawające muszą odznaczać się wysoką twardością, wyższą o około 20 , 30 HRC od twardości materiału obrabianego. Muszą posiadać dobre właściwości wytrzymałościowe, w tym dużą wytrzymałość zmęczeniową i udarność. Powinny zachować zdolność do skrawania w podwyższonych temperaturach i wyróżniać się odpornością na

różne rodzaje zużycia. Obecnie stosowanych jest wiele różnych rodzajów materiałów skrawających, znacznie różniących się zdolnością do wysoko wydajnego skrawania. Materiały te zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Rodzaje materiałów stosowanych na narzędzia skrawające

Materiał narzędziowy	Prędkość skrawania [m/min]	Max. temperatura pracy [°C]
Stale narzędziowe węglowe	do 10	200
Stale narzędziowe stopowe	do 20	300
Stale szybko tnące	60 - 200	600-670
Węglik spiekane	200 - 400	900
Białe spieki ceramiczne	400 - 600	1200
Czarne spieki ceramiczne	400 - 600	1100
Spiekany azotek krzemu	600 - 1000	1300
Azotek boru	600 - 1000	1300
Diamant	1000 - 2500	1500

Stale narzędziowe węglowe

Są to stopy żelaza z węglem, o zawartości węgla w zależności od gatunku stali od 0,50 do 1,24% oraz niewielkiej ilości pierwiastków stopowych: manganu, krzemu, chromu, niklu i miedzi, o łącznym udziale nie przekraczającym 1,15% w przypadku stali płytko hartujących i nieco więcej, 1,4%, w przypadku stali głęboko hartujących się. Ze względu na utratę zdolności do skrawania przy temperaturze około 200°C stale te są stosowane na narzędzia do obróbki ręcznej.

Stale narzędziowe stopowe

Stale narzędziowe stopowe do pracy na zimno, w zależności od gatunku stali, zawierają 0,4 - 2,1% C oraz pierwiastki stopowe: 0,3 - 2,0% Mn, 0,3 - Si, 0 - 12% Cr, 0 - 5% W, 0 - 3% Ni, 0 - 0,25 V i 0 - 0,3 Mo. Mogą pracować do temperatury około 300°C, a więc nieco większej niż w przypadku stali węglowych, lecz pozwala to na skrawanie z niewielkimi szybkościami skrawania. Ze stali stopowych wykonywano gwintowniki, narzynki, rozwiertaki, frezy, przeciągacze. Obecnie narzędzia skrawające ze stali stopowych są rzadko stosowane.

Stale szybko tnące

Stale szybko tnące stosowane są głównie na wielostrzowe narzędzia skrawające, często na narzędzia wykrojnikowe, a także na narzędzia do obróbki plastycznej na zimno i gorąco.

Stale te wykazują dużą twardość i odporność na ścieranie w temperaturze do ok. 600°C (kobaltowe nawet do 670°C). Przyjmuje się, że stale szybko tnące zawierają ponad 0,6%C, 3-6% Cr oraz nie mniej niż 7% dwóch innych dodatków stopowych, którymi mogą być wolfram W, molibden Mo, wanad V i kobalt Co. Ich podstawowym składnikiem jest żelazo.

Wg nowej normy, zgodnej z normami ISO (PN-EN ISO 4957:2002U), oznacza się je literami HS i liczbami (rozdzielonymi kreskami), oznaczającymi średnie stężenie pierwiastków w kolejności: W, Mo, V i Co. Litera C na końcu znaku oznacza stal o zwiększonym stężeniu węgla w porównaniu ze stalą o takim samym stężeniu podstawowych pierwiastków stopowych np. HS18-0-1 (jest to odpowiednik dawnej stali SW18), ma 18% wolframu, 1 % wanadu, 4,2% Cr i 0,78% C, zaś HS6-5-2-5 (jest to odpowiednik stali kobaltowej SK5), mający 6% W, 5% Mo, 2%V i 5%Co.

Stale szybko tnące wykonywane są dwiema technologiami:

- technologią tradycyjną
- technologią metalurgii proszków

W technologii tradycyjnej składniki stali są wspólnie przetapiane i krzepną w postaci wlewków. Wlewki są poddawane obróbce plastycznej, najczęściej walcowaniu. Wadą tej technologii jest uzyskiwanie niejednorodnej struktury stali szybko tnącej (zjawisko segregacji węglików), co ma niekorzystny wpływ na właściwości skrawne ostrza. Zjawisku segregacji węglików przeciwdziała się przez: wprowadzenie operacji kucia w miejsce czy oprócz operacji walcowania wlewków, staranny proces hutniczy (wlewnice o odpowiednich kształtach, obniżenie temperatury odlewania, chłodzenie wewnętrzne i modyfikacja, powodująca rozdrobnienie węglików) i wprowadzenie dodatkowo rafinacji stali szybko tnących przez przetapianie próżniowe lub elektrożużłowe.

Stale szybko tnące są dostarczane w stanie zmiękczone. Po wstępnej obróbce mechanicznej poddawane są odprężaniu (wyrzewanie w temp. 600-650oC), potem następuje obróbka średnio dokładna (kształtująca), hartowanie, dwa wysokie odpuszczania w temp. dochodzącej do 600°C,

a na końcu obróbka bardzo dokładna (wykańczająca) np. przez szlifowanie.

W technologii metalurgii proszków półproduktem do wytwarzania spiekanych stali szybko tnących jest proszek o składzie chemicznym odpowiadającym gotowej stali.

Podstawową metodą otrzymywania proszku jest rozpylanie ciekłej stali szybko tnącej gazami obojętnymi (głównie azotem, niekiedy argonem lub helem) lub wodą (wielokrotnie tańsze niż gazami). Gaz lub woda rozpyla strumień metalu na bardzo drobne krople, które stygną w postaci kulistych ziaren. Proszek uzyskany przez rozpylenie poddaje się bardzo często dalszemu rozdrobnieniu metodami mechanicznymi. Wraz z nim rozdrabnia się często odpady drutów, odcinków blach i wiórów o wielkości 2-5 mm. Jest to rozbijanie o płytę pancerną, w komorze rozprężnej, cząsteczek metalu z prędkościami sięgającymi liczbie Macha 1, na proszek o średnicy ziarna rzędu 10 μm , a potem dalsze wielogodzinne mienienie w młynach wibracyjnych i kulowych, co pozwala osiągnąć ziarna o średnicy 1-2 μm .

Proszek, uzyskany przez rozpylanie normalnie wytopionej stali w strumieniu bardzo czystego azotu, jest prasowany w bloki pod ciśnieniem 400 MPa i spiekany w temperaturze 1150°C pod ciśnieniem 100 MPa.

Tak uzyskany półprodukt poddaje się wyżarzaniu zmiękczającemu, po czym można z nich bezpośrednio wykonywać narzędzia lub poddać je obróbce plastycznej na gorąco w celu nadania kształtu i wymiarów najdogodniejszych do wytwarzania narzędzi. Obróbka cieplna jest identyczna jak w stalach konwencjonalnych.

Stale wytwarzane metodą proszków spiekanych oznaczają się literą P i procentowymi udziałami wolframu, molibdenu, wanadu i kobaltu oddzielonymi kreskami np. P7-7-7-10 (dawniej oznaczano je symbolem ASP), przy czym zawartość węgla jest w nich znacznie większa niż w stalach konwencjonalnych np. 2.3%.

Spiekane stale szybko tnące, w porównaniu ze stalami konwencjonalnymi, wykazują wiele korzystnych własności technologicznych: dobrą plastyczność, dobrą obrabialność mechaniczną, bardzo dobrą szlifowalność, dużą stabilność wymiarową po hartowaniu i odpuszczaniu, w przeważającej liczbie przypadków lepsze własności użytkowe.

Narzędzia wykonane z tych stali mają lepsze własności skrawne od wykonanych ze stali konwencjonalnych o analogicznym składzie, szcze-

gólnie w przypadku obróbki stali trudno obrabialnych i przy większej prędkości skrawania.

Ich wadą jest dwu- lub nawet trzykrotnie większa cena niż stali konwencjonalnych.

Ze stali szybko tnących wykonuje się przede wszystkim do wyrobu narzędzia o dużych wymiarach i masie oraz o złożonym kształcie, np. na frezy ślimakowe, które nie mogą być wykonywane jako narzędzia składane i wszędzie tam, gdzie nie można stosować ostrzy z węglików spiekanych (np. narzędzia jednolite o skomplikowanych kształtach).

Spiekane stale szybko tnące są głównie przeznaczone na narzędzia skrawające do obróbki materiałów trudnoskrawalnych, jak np. stali stopowych, stali o dużej wytrzymałości s tali konstrukcyjnych ulepszonych cieplnie, do obróbki wykańczającej z zastosowaniem narzędzi pracujących z dużą wydajnością, automatycznej obróbki skrawaniem, przy wymaganych zwiększonych współczynnikach niezawodności pracy narzędzi, a więc głównie narzędzia montowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie, centrach i liniach obróbkowych oraz obrabiarkach zespólnych.

O zastosowaniu stali konwencjonalnych lub spiekanych musi decydować rachunek ekonomiczny. Mimo większej ceny trwałość narzędzi ze stali spiekanych może być nawet kilkunastokrotnie większa, co jest ekonomicznym uzasadnieniem stosowania takiego materiału. Stąd jako główny wskaźnik należy przyjąć koszt narzędzia na jednostkę wytworzonego nim produktu. Wskaźnikiem pomocniczym może być częstotliwość zatrzymań linii produkcyjnej z powodu konieczności wymiany uszkodzonego narzędzia na jednostkę wytworzonego produktu.

Węglik spiekane

Węglik spiekane stosuje się obecnie niemal wyłącznie do produkcji płytek wielostrzowych, mocowanych mechanicznie w gnieździe korpusu narzędzia. Stosuje się je także na ostrza świrdrów i narzędzi górniczych, narzędzia do obróbki plastycznej i inne narzędzia lub elementy o dużej twardości i odporności na ścieranie.

Płytek wielostrzowych z reguły nie ostrzy się. Stąd są one produkowane w przygniatającej mierze jako płytki powlekane, gdzie węglík spiekane są materiałem rdzenia i zapewniają wymaganą wytrzymałość płytki, a cienka zewnętrzna powłoka z materiałów trudnościeralnych zapewnia odporność płytki na ścieranie.

Narzędzia z płytkami z węglików spiekanych są obecnie powszechnie stosowane niemal we wszystkich rodzajach obróbki, wypierając wszędzie, gdzie to jest możliwe i ekonomicznie uzasadnione narzędzia ze stali szybko tnących.

Ostrza z węglików spiekanych odznaczają się bardzo wysoką twardością i odpornością na ścieranie oraz wytrzymują temperatury skrawania do 900°C (a niekiedy nawet do 1000°C), co umożliwia 3-4 krotne zwiększenie prędkości skrawania w stosunku do narzędzi ze stali szybko tnących oraz pozwala skrawać tak twarde materiały jak żeliwo białe, hartowaną stal, porcelanę lub szkło. Ponadto skrawanie z użyciem narzędzi z węglików spiekanych nie wymaga stosowania cieczy obróbkowych, co jest korzystne zarówno z przyczyn ekonomicznych jak i ekologicznych (np. w Niemczech roczne zużycie cieczy obróbkowych sięga 700 tys. ton, zaś koszt ich utylizacji wynosi kilkanaście procent kosztu produkcji części). Ujemną cechą węglików jest ich wysoka cena.

Węglik spiekany jest materiałem składającym się głównie z węglika wolframu WC o udziale objętościowym ok. 65-95% oraz węglików innych metali trudno topliwych: tytanu Ti, tantalu Ta i niobu Nb, oraz metalu wiążącego, którym jest zwykle kobalt Co (od 5-10%). Ponadto mogą być produkowane węglik spiekany, w którym metalem wiążącym jest nikiel, molibden oraz żelazo lub ich stopy z kobaltem.

Węglik spiekany, w którym miejsce węglika wolframu, zajmuje węgiel tytanu TiC oraz azotek tytanu TiN i węglikoazotek tytanu TiCN występują w literaturze pod nazwą cermetali narzędziowych.

Węglik spiekany otrzymuje się metalurgią proszków. Pierwszy etap produkcji węglików spiekanych polega na wytwarzaniu bardzo drobnych proszków poszczególnych węglików. Następnie są one, już w odpowiednich proporcjach, mielone razem oraz przesiane, a w końcu poddane prasowaniu. Wypraski gotowych produktów poddawane są od razu spiekaniu końcowemu w próżni w temperaturze 1400-1500°C, natomiast gdy konieczna jest jeszcze obróbka kształtująca to węglik spiekany jest prasowany w bloki, które poddaje się spiekaniu wstępnemu w temperaturze 800-1000°C, potem poddaje się je cięciu i formowaniu mechanicznemu, a uzyskany wyrób jest poddany spiekaniu końcowemu w taki sam sposób jak wypraski gotowych wyrobów.

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

Niepokrywane węgliki spiekane podzielono wg polskiej normy PN-88/H-89500 na 3 grupy: S, U i H.

Grupa S, oznaczana kolorem niebieskim, stosowana jest do obróbki materiałów dających długi wiór, głównie stali i staliwa (jest odpowiednikiem grupy zastosowania P wg normy PN-ISO 513).

Grupa U, oznaczana kolorem żółtym, jest grupą uniwersalną, stosowaną do obróbki materiałów dających zarówno długi jak i krótki wiór, takich jak: stal i staliwo, stale nierdzewne, żaroodporne i żarowytrzymałe, w tym stale austenityczne, żeliwo szare i stopowe, stale automatowe, metale nieżelazne i stopy lekkie (jest odpowiednikiem grupy zastosowania M wg normy PN-ISO 513).

Grupa H, oznaczana kolorem czerwonym, stosowana jest do obróbki materiałów dających krótki wiór, głównie żeliwa szarego i białego, stali w stanie zahartowanym, tworzyw sztucznych, materiałów ceramicznych, szkła, porcelany, kamienia, metali nieżelaznych: miedzi, mosiądzu, aluminium i ich stopów (w tym trudnoobrabialnych stopów z krzemem), a także twardych kartonów oraz miękkiego lub twardego drewna (jest odpowiednikiem grupy zastosowania K wg normy PN-ISO 513).

Spieki grupy H charakteryzują się największą odpornością na ścieranie i największą zawartością węgla wolframu (ponad 90% stężenia wagowego).

Według nowej nomenklatury węgliki spiekane oznacza się w następujący sposób:

- węgliki spiekane niepowlekane z przeważającym udziałem węgla wolframu WC: HW-P20 lub tylko P20
- węgliki spiekane niepowlekane z przeważającym udziałem węgla tytanu TiC lub azotku tytanu TiN (tzw. cermetale narzędziowe): HT-K01
- węgliki spiekane powlekane: HC-M15

Spieki ceramiczne

Spieki ceramiczne stosuje się wyłącznie do produkcji płytek wielostrzowych, mocowanych mechanicznie w gnieździe korpusu narzędzia. Charakteryzują się bardzo wysoką twardością (1.5-2 razy większą niż węgliki spiekane) i odpornością na temperaturę (do 1100°C), co umożliwia skrawanie z 3 do 4 razy większymi prędkościami niż przy

użyciu narzędzi z węglików spiekanych oraz skrawanie bardzo twardych metali, w tym stali w stanie zahartowanym. Są odporne chemicznie, stabilne w atmosferze obojętnej i utleniającej, a także w wysokiej temperaturze. Są lekkie i mają dużą odporność na ścieranie. Surowce do wytwarzania tych materiałów są łatwo dostępne. Nie wymagają chłodzenia. Ich podstawową wadą jest wrażliwość na obciążenia uderowe i zmęczenie cieplne (źle znoszą ciągłe zmiany temperatury).

Spieki ceramiczne powoli wypierają węgliki spiekane. Ich zastosowanie będzie rosło, gdyż jedną z wyraźniej rysujących się tendencji jest zastępowanie szlifowania twardych materiałów toczeniem lub frezowaniem na sucho. Ponadto dążeniem do wzrostu wydajności obróbki wiąże się bezpośrednio z podnoszeniem prędkości skrawania i wzrostem okresu trwałości ostrza.

Ograniczeniami w stosowaniu spieków ceramicznych jest:

- niemożność wykorzystania obecnie istniejących systemów narzędziowych, przystosowanych do płytek z węglików spiekanych, gdyż płytki ceramiczne, ze względu na mniejszą wytrzymałość na zginanie, mają większą grubość i nie pasują do normalnych gniazd w korpusach narzędzi,
- brak obrabiarek, mających możliwość uzyskiwania tak dużych prędkości skrawania, jak wynikałoby to z możliwości tych narzędzi

Wśród spieków ceramicznych wyróżniamy:

- tlenkowe ceramiczne materiały narzędziowe znane w literaturze jako białe spieki ceramiczne (ceramics)
- ceramiczno-węglkowe materiały narzędziowe, znane w literaturze jako czarne spieki ceramiczne (cermets)
- spiekany azotek krzemu

Białe spieki ceramiczne są to prasowane, a następnie spiekane w temperaturze 1500°C czyste ziarna tlenku aluminium Al_2O_3 z niewielkimi domieszkami innych tlenków. Mają barwę białą. Wielkości ziaren nie powinny przekraczać 1 μ m, a gęstość spieku powinna mieścić się w bardzo wąskich granicach (od 97,5 do 98,5%). Ostatnio stwierdzono, że dodatek cząstek tlenku cyrkonu ZrO_2 w ilości 15% objętości spieku znacznie podwyższa jego odporność na pękanie. Białe spieki ceramiczne stosowane są do wykańczającego toczenia elementów z żeliwa szarego,

a także do toczenia stali i frezowania żeliwa szarego. W czasie obróbki nie można stosować cieczy chłodzących. Oznacza się je symbolem CA i podaniem grupy zastosowania np. CA-K10.

Czarne spieki ceramiczne – składają się z 40% tlenku aluminium Al_2O_3 i ok. 50% węgliku tytanu TiC (cermetale tytanowe) lub węgliku wolframu WC (cermetale wolframowe) oraz niewielkie domieszki innych tlenków i węglików. Ostatnio zamiast węgliku tytanu TiC wprowadza się niekiedy azotek tytanu TiN. Mają barwę czarną. Ze względów wytrzymałościowych korzystne jest mała średnica ziaren i duża gęstość spieku. Są bardziej odporne na ścieranie i pękanie od białych spieków ceramicznych. Stosowane są do dokładnej obróbki materiałów lanych, a także do toczenia i frezowania stali w stanie zahartowanym oraz stali wysokostopowych (nierdzewnych, żaroodpornych i żarowytrzymałych). Czarne spieki ceramiczne mogą pracować zarówno z chłodzeniem jak i bez niego. Oznacza się je symbolem CM i podaniem grupy zastosowania np. CM-K10.

Zarówno białe jak i czarne spieki ceramiczne mogą być pokrywane cienkimi powłokami materiałów trudnościeralnych. Wówczas oznacza się je symbolem: CC i podaniem grupy zastosowania CC-K10. Spieki ceramiczne wytrzymują temperatury skrawania do $1100^{\circ}C$.

Spiekany azotek krzemu – może występować w postaci czystej Si_3N_4 lub z dodatkiem tlenku itru Y_2O_3 lub z dodatkiem 30% węgliku tytanu TiC, 4,5% tlenku itru Y_2O_3 i 1,5% tlenku aluminium Al_2O_3 . Czysty azotek krzemu ma barwę szarą. Jest stosowany do toczenia i frezowania żeliwa szarego, sferoidalnego i stopowego, stopów na osnowie niklu w silnie przerywanych procesach technologicznych z prędkościami przekraczającymi 1000 m/min. Oznacza to wytrzymałość na wysokie temperatury rzędu $1300^{\circ}C$. Do jego zalet należy duża przewodność cieplna i bardzo mała rozszerzalność cieplna. Umożliwia to chłodzenie cieczą narzędzi z tego tworzywa podczas skrawania.

Oznacza się go symbolem CN i podaniem grupy zastosowania np. CN-K10.

Supertwarde materiały polikrystaliczne

Wśród supertwardych materiałów polikrystalicznych wyróżnia się:

- materiały karbonadowe, utworzone z polikrystalicznego diamentu (PCD),

- materiały kompozytowe, utworzone ze spiekanego azotku boru BN o sieci regularnej.

Polikrystaliczny diament (PCD) - wykazuje on największą twardość ze wszystkich materiałów narzędziowych przy bardzo małej wytrzymałości na zginanie. Ma on największy wskaźnik w skali twardości Mohsa, równy 10.

Podstawową postacią narzędzi z polikrystalicznego diamentu są wkładki o niewielkich wymiarach, zwykle o grubości nie większej od 0.5 mm, niekiedy od 1 mm i pozostałych wymiarach nie większych od kilku mm. Wkładki te są łączone z częścią nośną, wykonaną z materiału o mniejszej kruchości, najczęściej z płytką z węglików spiekanych o znormalizowanych wymiarach płytek wieloostrzowych.

Narzędzia z polikrystalicznego diamentu są stosowane do toczenia i frezowania aluminium, magnezu, miedzi, cynku i ich stopów, a także innych stopów metali nieżelaznych, głównie z krzemem, węglików spiekanych, porcelany i materiałów ceramicznych, gumy, tworzyw sztucznych, drewna, materiałów kompozytowych z tworzyw sztucznych i włókien szklanych, stopów srebra, złota i platyny oraz węgla z dużymi prędkościami skrawania.

Narzędzia z polikrystalicznego diamentu umożliwiają uzyskanie bardzo gładkich powierzchni obrabianych elementów. Ich trwałość jest kilkadziesiąt, a niekiedy nawet kilkaset razy wyższa niż narzędzi z węglików spiekanych.

Wadą narzędzi z polikrystalicznego diamentu obok bardzo wysokiej ceny jest brak możliwości obróbki materiałów zawierających żelazo. Żelazo bowiem działa na diament w podwyższonej temperaturze jak katalizator przyspieszający grafityzację, co znacznie przyspiesza zużycie ostrza.

Polikrystaliczny diament oznacza się symbolem DP i podaniem grupy zastosowania np. DP-K10.

Polikrystaliczny regularny azotek boru (PCBN) - jest to materiał, który uzyskał powszechne zastosowanie w ostatnim dziesięcioleciu.

Narzędzia z regularnego azotku boru są wykonywane w postaci płytek o grubości 0.5-1 mm, połączonych dyfuzyjnie z płytką nośną z węglików spiekanych.

Regularny azotek boru ma twardość nieco mniejszą od diamentu (ok. 1,6– raza), ale trzykrotnie większą od korundu, który ma twardość 9 w skali Mohsa. Wykazuje znaczną żarowytrzymałość do temperatury 1000°C, nie reagując z metalami oraz stałą. Jest odporny na utlenianie.

Narzędzia ze spiekanego azotku boru są wykorzystywane do obróbki stali ulepszonych cieplnie, utwardzonego żeliwa oraz stopów na podstawie niklu i kobaltu. Wykazują znacznie większą trwałość od narzędzi z węglików spiekanych (prawie 20 razy), co umożliwia stosowanie bardzo dużych prędkości skrawania. Polikrystaliczny regularny azotek boru oznacza się symbolem BN i podaniem grupy zastosowania np. BN-M10.

2.4 Pokrycia

Podniesienie własności narzędzi skrawających uzyskuje się od połowy lat 60-tych XX wieku przez coraz powszechniejsze nanoszenie cienkich powłok, z twardych, odpornych na zużycie materiałów ceramicznych.

Wśród wielu technik zwiększających trwałość powierzchni materiałów inżynierskich istotną rolę w praktyce przemysłowej odgrywają dwie metody:

- chemiczna CVD (chemical vapour deposition)
- fizyczna PVD (physical vapour deposition)

Wytwarzanie warstw metodą CVD prowadzi się w szczelnym reaktorze w temperaturze ok. 1000°C i przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego. Pary związków chemicznych metalu mającego stanowić podstawowy składnik warstwy trudnościeralnej tzn. tytanu, tantalu, aluminium, chromu lub boru reagują z węglem, znajdującym się na powierzchni powlekanego przedmiotu lub z innymi gazami znajdującymi się w atmosferze reaktora, głównie azotem lub tlenem.

Metodę CVD stosuje się głównie do nanoszenia warstw na płytki z węglików spiekanych lub spiekanych materiałów ceramicznych dla których wysoka temperatura nie powoduje utraty ich własności. Wysoka temperatura konieczna do przebiegu reakcji chemicznych wyklucza zastosowanie metody CVD do narzędzi wykonanych ze stali szybko tnących.

Wytwarzanie warstw metodą PVD polega na bombardowaniu powierzchni przedmiotu strumieniem zjonizowanej plazmy, utworzonej jonów takich metali jak tytan, wanad, tantal, cyrkon, chrom, molibden, wolfram i niob lub ich związków, gazów reaktywnych (azotu i tlenu) oraz węgla, boru lub krzemu. Nanoszenie powłok prowadzi się na zimno lub w niskich temperaturach, nie przekraczających 500°C, co umożliwia pokrywanie przedmiotów zahartowanych i odpuszczonych, bez obawy o spadek ich twardości. W celu uzyskania dobrej przyczepności warstwy do pokrywanego przedmiotu, bardzo istotne jest uzyskanie dużej czystości pokrywanej powierzchni, gdyż połączenie warstwa-trudnościeralna-przedmiot ma charakter adhezyjny (występowania sił przyciągania między cząsteczkami stykających się ciał – przykład: pisanie kredą na tablicy)

Metody PVD są stosowane praktycznie do pokrywania narzędzi ze stali wysokostopowych, głównie szybko tnących.

Powłoki można podzielić na:

- proste, zwane powłokami jednowarstwowymi lub monowarstwowymi, składające się z jednego materiału,
- złożone wielowarstwowe, zwane także multiwarstwami, wytwarzane w wyniku nanoszenia na siebie kolejno warstw różnych materiałów, najczęściej powłok prostych o różnych właściwościach
- złożone wieloskładnikowe, w których sieć jednego pierwiastka jest częściowo wypełniona innym pierwiastkiem.

Ze względów historycznych powłoki można podzielić na:

- powłoki pierwszej generacji, reprezentowane przez azotek tytanu TiN
- powłoki drugiej generacji, reprezentowane przez węglikoazotek tytanu TiCN, azotek aluminium i tytanu TiN, AlN, azotek chromu CrN oraz niektóre powłoki diamentopodobne DLC
- powłoki trzeciej generacji, będące w stadium badań laboratoryjnych i rozwoju, reprezentowane przez powłoki złożone wieloskładnikowe i wielowarstwowe

Początkowo płytki ze stali szybko tnących, węglików spiekanych i spieków ceramicznych pokrywano wyłącznie pojedynczymi warstwami, takimi pokryciami jak: węgiel tytanu TiC, azotek tytanu TiN, tlenek aluminium Al_2O_3 i azotek hafnu HfN. Za najlepsze z tych pokryć uważa się tlenek aluminium, gdyż wykazuje on w temperaturze wyższej od $1000^{\circ}C$ dużą odporność na utlenianie oraz zużycie ostrza w wyniku dyfuzji węgla do stali, co daje możliwość skrawania z bardzo dużymi prędkościami.

Obecnie typowym rozwiązaniem są powłoki trójwarstwowe. Warstwę wewnętrzną, położoną najbliżej materiału ostrza, o grubości ok. $5\ \mu m$, stanowi węgiel (TiC) lub węgloazotek tytanu (TiCN), które zapewniają dużą przyczepność warstwy do podłoża oraz dużą odporność płytki na ścieranie.

Warstwę pośrednią, o grubości ok. $1\ \mu m$, stanowi warstwa utworzona z tlenków aluminium Al_2O_3 , która nadaje ostrzu płytki dużą odporność na wysoką temperaturę i chroni je przed utlenianiem.

Warstwę zewnętrzną, o grubości ok. $1\ \mu m$, stanowi warstwa utworzona z azotków tytanu TiN, który zapobiega tworzeniu się narostu na ostrzu oraz powoduje zmniejszenie tarcia między ostrzem a wiórem, co przyczynia się do znacznego zmniejszenia sił skrawania. azotek tytanu nadaje narzędziu charakterystyczny złoty kolor.

Pokrywanie ostrzy cienkimi powłokami z materiałów trudnościeralnych zwiększa trwałość ostrzy 1,4 do prawie 3 razy, w stosunku do materiałów nie pokrywanych, przy czym najkorzystniejsze są pokrycia wielowarstwowe.

2.5 Materiały ściernie

Obróbka ścierna jest odmianą obróbki skrawaniem, w której usuwanie materiału obrabianego odbywa się przy użyciu narzędzi ściernych lub wręcz luźnych ziaren. Ziarna te, luźne lub spojone, stają się mikroostrzami usuwającymi mikrowióry, przy czym geometria tych ziaren nie jest określona, a proces skrawania ma losowy charakter.

Narzędzia ściernie dzielą się na:

- narzędzia spojone (spoiwo wiąże ziarna materiału ściernego w zwartą całość) – są to ściernice o kształcie brył obrotowych, segmenty ściernie oraz osełki ściernie (nazywane pilnikami ściernymi)
- narzędzia nasypowe (arkusze, taśmy, krążki z papieru, tkaniny itp., na których przyklejono warstwę materiału ściernego)
- pasty ściernie i polerskie stanowiące zawiesinę drobnozarnistego (naturalnego lub sztucznego) materiału ściernego w ośrodku o konsystencji ciekłej lub stałej

We wszystkich typach narzędzi występują materiały ściernie, zwane ścierniwami. Są to substancje mineralne, które po rozdrobnieniu mają właściwości ostrzy skrawających. Dotychczas wyroby ściernie produkowane są z substancji krystalicznych wytwarzanych sztucznie oraz w niewielkich ilościach z naturalnych substancji mineralnych.

Najczęściej w produkcji wyrobów ściernych stosowane są takie substancje sztuczne jak:

- elektrokorund, krystaliczny tlenek glinu Al_2O_3 ,
- karborund, węglik krzemu SiC ,
- diament syntetyczny,
- regularny azotek boru (CBN - cubic boron nitride)

W przypadku substancji naturalnych jako ścierniwa stosuje się diament, korund, szmergiel, kwarc, krzemień lub granat, a jako materiału polerskiego, tlenek berylu, pumeks, tlenek chromu, tlenek żelaza, kaolin, kreda, baryt, talk, wapno wiedeńskie i tlenek cynku.

Elektrokorund

Elektrokorund jest syntetycznym materiałem ściernym składającym się z krystalicznego tlenku glinu (Al_2O_3) zwanego korundem i niewielkiej ilości domieszek. Ma twardość 9 w skali Mohsa. W zależności od zawartości obcych tlenków TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO czy NaO_2 różni się następujące rodzaje elektrokorundu:

- elektrokorund zwykły, oznaczany symbolem 95A, zawierający 95% Al_2O_3 i mający barwę brązową lub szaroniebieską. Jest to najmniej kruchy i najbardziej ciągliwy elektrokorund.

Stosowany jest go do obróbki stali ($C < 0.5\%$), staliwa, żeliwa ciągliwego oraz materiałów nieżelaznych w operacjach szlifowania zgrubnego i szlifowania w ciężkich warunkach pracy przy stosunkowo dużych głębokościach skrawania.

- elektrokorund półszlachetny, oznaczany symbolem 97A, zawierający 97.5% Al_2O_3 i mający barwę szarą. Stosowany jest do obróbki stali węglowych i stali stopowych o zawartości $C = 0,5\%$ i twardości do 60 HRC
- elektrokorund szlachetny, oznaczany symbolem 99A, zawierający min. 98.5% Al_2O_3 i mający barwę białą. Jest najbardziej łupliwy i kruchy z elektrokorundów. Ma bardzo dobre własności skrawne. Stosowany jest do produkcji narzędzi ściernych przeznaczonych do obróbki precyzyjnej twardych stali (stale węglowe i stale stopowe o zawartości $C > 0,5\%$ i twardości powyżej 62HRC) wszędzie tam, gdzie przedmiot szlifowany nie powinien nagrzewać się i przepalać m.in. do precyzyjnego szlifowania i ostrzenia narzędzi, szlifowania płaszczyzn, otworów i wałków, szlifowania gwintów i kół zębatych.
- elektrokorund chromowy, oznaczany symbolem CrA, zawierający ok. 95% Al_2O_3 i 0.5% tlenku chromu Cr_2O_3 . Ma barwę ciemnoróżową. Charakteryzuje się dużą twardością i wytrzymałością większą od elektrokorundu szlachetnego. Stosowany jest do precyzyjnego szlifowania stali wysokostopowych i do ostrzenia narzędzi skrawających.
- elektrokorund cyrkonowy, oznaczany symbolem ZrA, i występujący w trzech odmianach, różniących się składem chemicznym. W pierwszej odmianie elektrokorund cyrkonowy zawiera 75% Al_2O_3 i 25% tlenku cyrkonu ZrO_2 , w drugiej - 60% Al_2O_3 i 40% ZrO_2 , a w trzeciej - 65% i 30% ZrO_2 i 5% tlenku tytanu TiO_2 . Charakteryzuje się najwyższą wśród elektrokorundów ciągliwością i wytrzymałością mechaniczną. Stosowany do wysokowydajnego szlifowania żeliwa oraz do szlifowania półfabrykatów stalowych z dużymi naciskami.
- elektrokorund monokrystaliczny, oznaczany symbolem Ma, zawierający min. 98% Al_2O_3 i mający barwę jasnoróżową. Charakteryzuje się wysoką mikrotwardością i wytrzymałością

cią mechaniczna. Posiada wyjątkową zdolność do samoostrzenia. Stosowany do szlifowania wysokostopowych stali szybko tnących i do ostrzenia narzędzi. Wybitnie nadaje się do szlifowania profili złożonych.

- elektrokorund mikrokryształiczny (średnica ziarna od 16 do 47 μm) Cubitron SG, zawierający ok. 95% Al_2O_3 i mający barwę niebieską. Stosowany jest do obróbki stali nierdzewnej, stopów tytanu, chromu i niklu.
- elektrokorund mikrokryształiczny Cerpass XTL, zawierający ok. 99.6% Al_2O_3 i mający barwę białą. Stosowany do obróbki stali nierdzewnej, stopów tytanu, chromu i niklu.

Karborund (węglik krzemu SiC)

Karborund jest syntetycznym materiałem ściernym składającym się z krystalicznego węgla krzemu (SiC). Ma twardość 9.5 w skali Mohsa. Występuje w dwóch odmianach:

- węglik krzemu zielony, oznaczany symbolem 99C, zawierający 99.66% SiC i mający barwę ciemnozieloną. Stosowany jest do obróbki stali szybko tnących, stali narzędziowych, węglików spiekanych i ceramiki.
- węglik krzemu czarny, oznaczany symbolem 98C, zawierający 98.26% SiC i mający barwę czarną. Stosowany jest do zgrubnego szlifowania odlewów z twardego i kruchego żeliwa białego, do obróbki żeliwa szarego oraz żeliw w stanie utwardzonym, węglików spiekanych, metali kolorowych, tworzyw sztucznych, skóry, gumy oraz kamienia i betonu.

Diament

Został już częściowo omówiony rozdziale 2.3 w polikrystalicznych materiałach supertwardych. Diament jest najtwardszym minerałem o budowie atomowej krystalicznej. Może być naturalny lub syntetyczny. Większe ziarna są stosowane do produkcji obciążaczy:

- nieszlifowanych, zwanych inaczej dresserami, służących do ostrzenia wszelkich ściernic korundowych i karbokorundowych, wykonywanych z surowca diamentowego niższej klasy tj. z wewnętrznymi wrodzonymi pęknięciami struktury kamienia, oraz wtrąceniami chemicznymi jak: węgliki, azotki itd.

- szlifowanych, będących narzędziami specjalnymi, służącymi do obciągania ściernic w różnego rodzaju szlifierkach, używanych do obróbki końcowej wyrobów i wykonywanych z najczystszych kryształów diamentów technicznych naturalnych najwyższej jakości, bez wad widocznych pod dziesięciokrotnym powiększeniem.

Mniejsze ziarna stosuje do wyrobu ściernic, a najmniejsze, w postaci proszku do wyrobu past polerskich.

Ściernice diamentowe służą do ostrzenia i docierania narzędzi skrawających z ostrzami z węglików spiekanych, szlifowania płaszczyzn, otworów i czół płytek z węglików spiekanych oraz do cięcia wyrobów ceramicznych, ferrytowych, półprzewodnikowych, kamieni syntetycznych i naturalnych jak również betonu, granitu i marmuru i materiałów żaroodpornych.

Pasta diamentowa jest to specjalnie przygotowana zawiesina mikroziarna diamentowego (naturalnego lub syntetycznego) o określonej wielkości, w ośrodku o konsystencji półpłynnej, zwanym łącznikiem, przeznaczona do szlifowania końcowego, docierania i polerowania powierzchni takich materiałów jak: węgliki spiekane, stal stopowa, stale hartowane, ceramika, materiały półprzewodnikowe i inne.

Regularny azotek boru

Został już częściowo omówiony rozdziale 2.3 w polikrystalicznych materiałach supertwardych. Regularny azotek boru (CBN), zwany borazonem, wytwarzany jest podobnie jak syntetyczny diament. Jest drugim pod względem twardości sztucznie wytworzonym materiałem ściernym (twardość kryształów borazonu oceniana jest na 90 do 95% twardości diamentów). W odróżnieniu od diamentu nie ulega on niekorzystnym przemianom pod wpływem działania żelaza, dzięki czemu doskonale nadaje się do obróbki stali szybko tnących (HSS), stali narzędziowych, stali do nawęglania, stali łożyskowych, stali nierdzewnych i wysokostopowych o twardości >55HRC. Borazon wytrzymuje temperatury do 1600°C. Jego największą wadą jest cena - średnio o 30% wyższa niż diamentu.

3

Proces skrawania i zjawiska z nim związane

W tym rozdziale:

- kinematyka skrawania
- technologiczne parametry skrawania
- narost
- ciepło, temperatura i ciecze obróbkowe
- siły skrawania
- trwałość, żywotność i zużycie ostrza

3.1. Kinematyka skrawania

Kinematyka skrawania zajmuje się ruchami, jakie występują między narzędziem i przedmiotem obrabianym.

Ruchy między narzędziem i przedmiotem obrabianym dzielimy na:

- ruchy podstawowe: ruch główny, ruch posuwowy, ruch wypadkowy i ruch jałowy
- ruchy pomocnicze

Ruch główny

Ruch główny (skrawania) jest to ruch nadawany narzędziu lub przedmiotowi obrabianemu, w wyniku którego następuje oddzielenie wióra od materiału. Ruch ten warunkuje istnienie procesu skrawania i zazwyczaj pochłania większość całkowitej mocy potrzebnej do wykonania czynności obróbkowych. Przy toczeniu jest to ruch obrotowy przedmiotu obrabianego, przy wierceniu, frezowaniu i szlifowaniu – ruch obrotowy narzędzia, przy struganiu lub dłutowaniu – ruch prostoliniowy posuwisto-zwrotny narzędzia lub przedmiotu obrabianego.

Ruch posuwowy

Ruch posuwowy jest to ruch narzędzia lub przedmiotu obrabianego niezbędny do usunięcia warstwy naddatku obróbkowego z całej powierzchni obrabianej. Przy toczeniu jest to ruch prostoliniowy (obrabiarki klasyczne) lub krzywoliniowy (tokarki numeryczne), przy wierceniu – ruch prostoliniowy narzędzia, przy frezowaniu – ruch prostoliniowy lub krzywoliniowy stołu.

Ruch wypadkowy

Ruch wypadkowy jest wypadkową chwilowego ruchu głównego i ruchu posuwowego.

Ruch jałowy

Ruch jałowy jest częścią ruchu głównego, której nie towarzyszy powstawanie wióra. Jest to ruch powrotny przy struganiu, dłutowaniu i przeciąganiu.

Ruchy pomocnicze

Do ruchów pomocniczych zalicza się:

- ruchy dosuwu i cofania narzędzi lub przedmiotów obrabianych
- ruchy zakładania i zdejmowania przedmiotów obrabianych
- ruchy związane z wymianą narzędzi
- ruchy nastawcze, za pomocą których uzyskuje się żądane nastawienie wymiarowe narzędzia względem przedmiotu obrabianego
- ruchy podziałowe, występujące w przypadku, gdy kształtowana powierzchnia składa się z powtarzalnych elementów cząstkowych, których obróbka dokonywana jest kolejno (występuje podczas obróbki kół zębatych, gwintów wielokrotnych, narzędzi wieloostrzowych)

3.2. Technologiczne parametry skrawania

Technologicznymi parametrami skrawania są:

- prędkość skrawania,
- prędkość posuwu,
- głębokość skrawania

Prędkość skrawania

Prędkość skrawania (prędkość ruchu głównego) v_c jest to chwilowa prędkość ruchu głównego rozpatrywanego punktu krawędzi skrawającej w stosunku do przedmiotu obrabianego.

Prędkość skrawania dla wszystkich obróbek (poza szlifowaniem) wyrażana jest w [m/min]. W przypadku szlifowania podaje się ją w [m/s]. W literaturze występuje pod symbolem v .

W przypadku, gdy ruch główny jest ruchem obrotowym (toczenie, wiercenie, frezowanie) określa się ją ze wzoru:

$$v = \pi d n / 1000 \text{ [m/min]} \quad (3.1)$$

gdzie:

d – średnica skrawanego przedmiotu (toczenie) lub narzędzia w [mm],

n – prędkość obrotowa przedmiotu obrabianego lub narzędzia w [obr/min],

zaś, gdy jest ruchem prostoliniowym (struganie, dłutowanie) ze wzoru:

$$v_c = 2 L n / 1000 \text{ [m/min]} \quad (3.2)$$

gdzie:

L – skok czyli droga narzędzia lub przedmiotu obrabianego od położenia początkowego do końcowego w [mm],

n – liczba podwójnych skoków na minutę [2xskok/min].

Dla szlifowania, gdzie ruchem głównym jest ruch obrotowy ściernicy, prędkość skrawania wyznacza się ze wzoru:

$$v = \pi d n / 60000 \text{ [m/s]} \quad (3.3)$$

gdzie:

d – średnica ściernicy w [mm],

n – prędkość obrotowa ściernicy w [obr/min].

Prędkość posuwu

Prędkość posuwu (prędkość ruchu posuwowego) v_f jest to prędkość ruchu posuwowego rozpatrywanego punktu krawędzi skrawającej w stosunku do przedmiotu obrabianego wyrażona w [mm/min]. Stosuje się ją głównie przy frezowaniu.

W praktyce przemysłowej posuw wyraża się następującymi sposobami:

- jako posuw na jeden obrót narzędzia (lub przedmiotu obrabianego) f w [mm/obr] – stosowany jest głównie przy toczeniu i wierceniu

- jako posuw na podwójny skok narzędzia (lub przedmiotu obrabianego) f w [mm/2xskok] – stosowany głównie przy struganiu i dłutowaniu
- jako posuw na ostrze f_z w [mm/ostrze] – jest to długość odcinka drogi ruchu posuwowego przypadająca na obrót w ruchu głównym o kąt podziałki międzyostrzowej – stosowany wyłącznie do narzędzi wieloostrzowych, głównie przy frezowaniu.

Między v_f , f i f_z występuje w przypadku obrotowego ruchu głównego, następująca zależność:

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad (3.4)$$

gdzie:

n – prędkość obrotowa ruchu głównego w [obr/min],

z – liczba ostrzy narzędzia.

Głębokość skrawania

Głębokość skrawania a_p jest wymiarem usuwanej warstwy materiału w kierunku prostopadłym do powierzchni obrobionej.

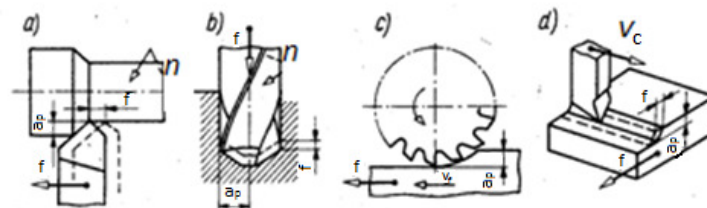
Dla toczenia wałów głębokość skrawania określa wzór:

$$a_p = 0.5 \cdot (D - d) \quad (3.5)$$

gdzie:

D – średnica powierzchni obrabianej,

d – średnica powierzchni obrobionej.

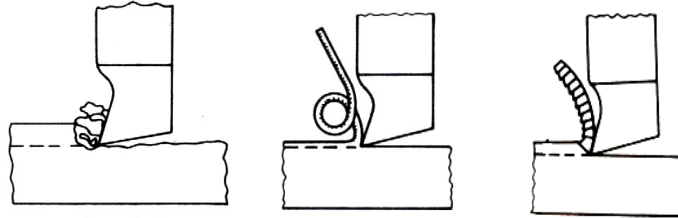


Rysunek 3.1. Technologiczne parametry skrawania dla:
a) toczenia, b) wiercenia, c) frezowania, d) strugania

3.3. Podział wiórów

Wyróżnia się:

- wiór odłamkowy (odłupywany, odrywany, odpryskowy), tworzący się w czasie skrawania materiałów kruchych (np. żeliwa i brązu);
zalety: dobre upakowanie w pojemnikach na wióry;
wady: duża chropowatość obrabianej powierzchni, przypadkowe kierunki ruchu wiórów stwarzające niebezpieczeństwo dla obsługującego (konieczna praca w okularach lub szczelne zamknięcie powierzchni roboczej),
- wiór wstęgowy (ciągły) – powstaje podczas skrawania materiałów plastycznych (stali) z dużymi prędkościami skrawania przy niewielkich przekrojach warstwy skrawanej tzn. małym posuwie i głębokości;
zalety: dobra jakość obrabianej powierzchni,
wady: małe upakowanie w pojemnikach z wiórami (poprawia się je przez wprowadzenie łamaczy wiórów), niebezpieczeństwo oplatania przez wióry obracającego się przedmiotu lub narzędzia, mogące spowodować jego zniszczenie,
- wiór schodkowy (elementowy) – powstaje podczas skrawania materiałów plastycznych przy małych prędkościach skrawania oraz dużych głębokościach skrawania.



Rysunek 3.2. Rodzaje wiórów (od lewej)
odłamkowy, wstęgowy, schodkowy

3.4. Narost

Przy skrawaniu materiałów dających wiór ciągły (wstęgowy) na ostrzu narzędzia tworzy się w pewnym zakresie prędkości skrawania tzw. narost. Jest to twarda, silnie związana z ostrzem warstewka metalu obrabianego, występująca w pobliżu głównej krawędzi skrawającej. Ma ona twardość 2.5 – 3.5 razy większą niż twardość ostrza.

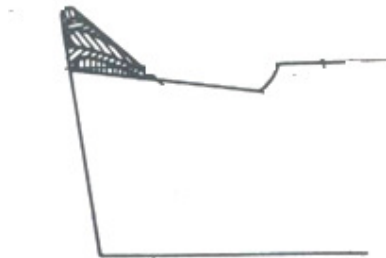
Zakres prędkości skrawania, w którym na ostrzu pojawia się narost ograniczają:

- graniczna dolna prędkość skrawania, wynosząca ok. 10 m/min i nie mająca w praktyce większego znaczenia
- górna graniczna prędkość skrawania, której znajomość umożliwia racjonalny dobór prędkości skrawania, zwłaszcza przy obróbce wykańczającej

Istnieje krytyczna prędkość skrawania, przy której narost jest największy.

Niebezpieczeństwo narostu wzrasta wraz ze:

- zmniejszaniem głębokości skrawania a_p ,
- zmniejszaniem kąta przystawienia κ_r ,
- zmniejszaniem kąta natarcia γ .



Rysunek 3.3. Narost

Zjawisko narostu jest zjawiskiem niekorzystnym:

- choć chroni powierzchnię natarcia przed zużyciem to jednocześnie powoduje zwiększone zużycie powierzchni przyłożenia, które decyduje o trwałości narzędzia,
- powoduje pogorszenie jakości powierzchni obrabianej; wzrost i zanik narostu powodują zmianę wymiarów obrabianej powierzchni, a ponadto przy pękaniu narostu jest on wgniatywany w materiał, tworząc twarde wtrącenia: są one bardzo niekorzystne przy dalszej obróbce i przy eksploatacji obrabianej części (powodują szybsze zużycie współpracujących powierzchni).

Sposoby zapobiegania narostowi:

- odpowiedni dobór prędkości skrawania,
- stosowanie cieczy smarująco-chłodzących, zmniejszających intensywność tworzenia się narostu,
- stosowanie cienkich powłok z materiałów trudnościeralnych, zmniejszających tarcie wióra o powierzchnię natarcia.

3.5. Ciepło w procesie skrawania

Ciepło powstające w procesie skrawania ma ważne znaczenie ze względu na trwałość narzędzi, dokładność obróbki i fizykochemiczne właściwości warstwy wierzchniej.

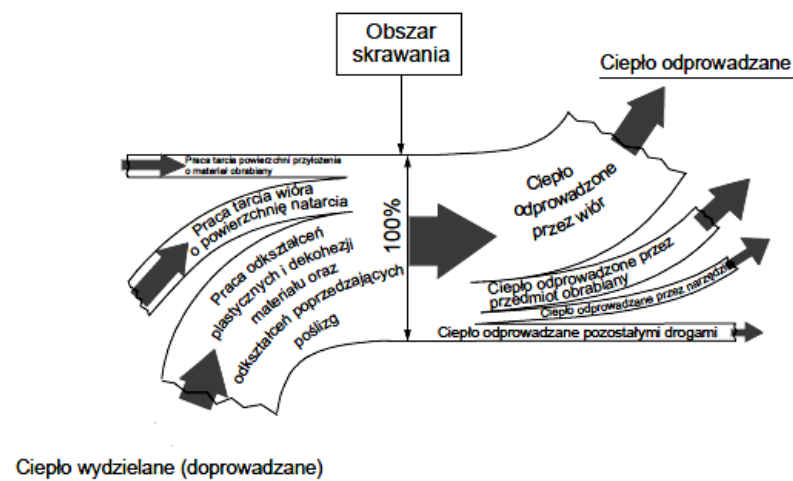
Źródłami ciepła w procesie skrawania są:

- praca odkształceń sprężystych i plastycznych materiału warstwy skrawanej (70% całego wytwarzanego ciepła),
- praca tarcia wióra o powierzchnię natarcia ostrza (20%),
- praca tarcia powierzchni przyłożenia ostrza o materiał obrobiony (10%).

W przypadku powstawania wióra odłamkowego inny jest procentowy udział źródeł ciepła – dominującą rolę odgrywa tarcie powierzchni ostrza o materiał obrobiony, natomiast praca odkształceń plastycznych i praca tarcia wióra o powierzchnię natarcia nie odgrywają istotnej roli.

Ciepło powstające w procesie skrawania jest odprowadzane przez:

- wiór (75%, przy czym ilość ta rośnie wraz ze wzrostem prędkości skrawania)
- przedmiot obrabiany (15%),
- narzędzie (8%)
- innymi drogami (2%) – ciecze smarująco-chłodzące, powietrze lub promieniowanie.



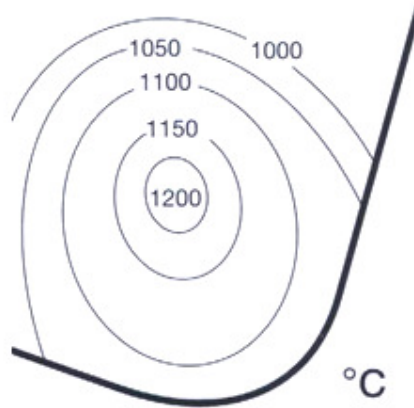
Rysunek 3.4. Schemat przepływu ciepła w strefie skrawania [14]

3.6. Rozkład temperatur w strefie skrawania

Z dotychczasowych badań wynika, że najwyższa temperatura występuje w środku styku wióra z powierzchnią natarcia (np. dla stali skrawanej

nożem z węgla spiekanego z prędkością 100 m/min sięga 900°C). Jest to spowodowane wzrastającą twardością wióra w tym miejscu oraz rozkładem nacisków na powierzchni natarcia, związanym z warunkami spływu wióra.

Gradient (szybkość spadku) temperatury w obszarze ostrza noża jest bardzo duży, tzn. już w niewielkiej odległości od strefy skrawania temperatury są znacznie niższe.



Rysunek 3.4. Rozkład temperatur w strefie skrawania [1]

Największy wpływ na temperaturę w strefie skrawania ma prędkość skrawania, nieco mniejszy posuw, a najmniejszy głębokość skrawania ($v_c \uparrow \uparrow$, $f \uparrow$, a_p).

Temperatura w strefie skrawania może być obniżana przez:

- stosowanie chłodziw obróbkowych,
- stosowanie cienkich powłok z materiałów trudnościeralnych, zmniejszających tarcie wióra o powierzchnię natarcia, a tym samym ilość wydzielającego się ciepła.

3.7. Ciecze obróbkowe

Badania nad stosowaniem cieczy obróbkowych mają ponad stuletnią tradycję. Zapoczątkowały je prace Taylora (1883), wykazujące, że

stosowanie strumienia wody w strefie kontaktu narzędzia z częścią obrabianą umożliwia wzrost prędkości skrawania o 30-40%.

Ciecze obróbkowe są znormalizowane (ISO 6743/7:1986 i PN-90/C-96099/10). Zaliczane są do klasy L (środki smarne – lubricants) i dzielone na 17 rodzajów.

Każdy rodzaj ma trzyliterowy kod, ewentualnie uzupełniony liczbą oznaczającą klasę lepkości wg ISO.

Pierwszą literą, będącą symbolem grupy jest M (Metalworking).

Druga litera oznacza zakres zastosowania: H – operacje wymagające głównie smarowania lub A- operacje wymagające głównie chłodzenia.

Trzecią literą są kolejne litery alfabetu od A do I oznaczające rodzaj cieczy obróbkowej.

Ciecze obróbkowych nie stosujemy przy obróbce żeliwa oraz przy obróbce narzędziami z węglików spiekanych.

Funkcje cieczy obróbkowych:

- chłodzenie narzędzia skrawającego,
- chłodzenie obrabianego przedmiotu,
- smarowanie, co zmniejsza tarcie, a przez to zmniejsza wydzielanie ciepła,
- częściowe usuwanie wiórów i tzw. mułu szlifierskiego ze strefy obróbki,
- mycie oraz zabezpieczenie części przed korozją w pierwszym okresie po wyprodukowaniu.

Ciecze obróbkowe dzielimy na:

- ciecze chłodzące (syntetyczne ciecze obróbkowe)
- ciecze smarująco-chłodzące (makro i mikroemulsje)
- ciecze smarujące (oleje obróbkowe).

Ciecze chłodzące

Ciecze chłodzące reprezentują syntetyczne ciecze obróbkowe. Są to wodne roztwory glikoli, sody, mydeł oraz inhibitorów korozji, dodatków przeciwzużyciowych (AW) i przeciwzatarciowych (EP). Nie zawierają oleju mineralnego. Ponad 99% ich składu to woda. Wielkość cząsteczek substancji rozpuszczonych mieści się w granicach od 0.001 - 0.01 μm (jest to granica między roztworem właściwym a koloidalnym). Znalazły zastosowanie do obróbek, w których występuje duże wydzielanie ciepła, tzn. obróbki zgrubnej z dużymi parametrami skrawania.

Ciecze smarująco-chłodzące

Ciecze smarująco – chłodzące reprezentowane są przez makroemulsje i mikroemulsje. Składają się one z:

- wody (ok.90%)
- oleju (mineralnego, zwierzęcego – olej smalcowy, roślinnego – olej rzepakowy, syntetycznego lub ich mieszanin) w postaci drobnych kuleczek (w makroemulsjach o wymiarach powyżej 1 μm , a w mikroemulsjach o wymiarach od 0.01-0.1 μm) w ilości od 2-8%
- emulgatora lub kompozycji emulgatorów, które pokrywają kuleczki oleju trwałą, absorpcyjną i wytrzymałą błonką, zapewniającą trwałość emulsji – są to różnego rodzaju mydła
- solubilizatorów – czynników powiększających wzajemną rozpuszczalność oleju z dodatkami
- środków zapobiegających tworzeniu się piany (krzemiany i silikony)
- środków antykorozyjnych
- dodatków przeciwzużyciowych AW (Anti-Wear) i przeciwzatarciowych EP (Extreme Pressure) – umożliwiają one tworzenie mniej lub bardziej trwale przylegającego filmu olejowego w strefie skrawania
- środków bakterio- i grzybobójczych: biostatyków, zwykle związków boru – substancji niepodlegających przyswajaniu przez mikroorganizmy, lecz hamujących procesy ich roz-

woju oraz biocydów – substancji toksycznych dla mikroorganizmów (fenole i aminy)

Emulsje olejowe są najbardziej rozpowszechnione z cieczy obróbkowych (w Polsce stanowią 70-80% wszystkich cieczy. Stosowane są w tych przypadkach, gdy zależy na dobrym odprowadzaniu ciepła ze strefy skrawania oraz dobrym smarowaniu ostrza przy przeciętnych warunkach obróbki (duże prędkości skrawania, średni posuw, małe głębokości skrawania).

Mikroemulsje w stosunku do makroemulsji mają następujące zalety:

- mają lepsze własności chłodzące i smarne,
- zapewniają dłuższą trwałość chłodziwa i nie wymagają stosowania biocydów,
- mają lepsze własności przeciwkorozyjne ze względu na stabilność pH,
- charakteryzują się wyjątkową neutralnością dermatologiczną,
- łatwo się filtrują.

Ich wadą jest wyższa cena.

Ciecze smarująco-chłodzące

Ciecze smarujące są reprezentowane przez oleje obróbkowe. Ich głównym zadaniem jest smarowanie narzędzia. Są to oleje mineralne, zwierzęce (olej smalcowy) lub roślinne (olej rzepakowy), niekiedy syntetyczne oraz ich mieszaniny. Dzieli się na:

- zwykłe (chemicznie bierne)
- aktywowane

Oleje obróbkowe zwykłe stosowane są w przypadkach obróbek kształtowych, gdy istnieje potrzeba uzyskania dużej dokładności zarysu obrabianego przedmiotu m.in. do obróbki uzębień.

Oleje obróbkowe aktywowane są to oleje obróbkowe zwykłe z dodatkami substancji aktywnych: siarki i jej związków (sulfofrezol) lub chloru (najczęściej chlorowanych parafin) oraz inhibitorów korozji i dodatków

przeciwzatarciowych. Stosuje się je w przypadkach obróbki materiałów trudnoobrabialnych lub gdy występują bardzo duże naciski między narzędziem i obrabianym przedmiotem.

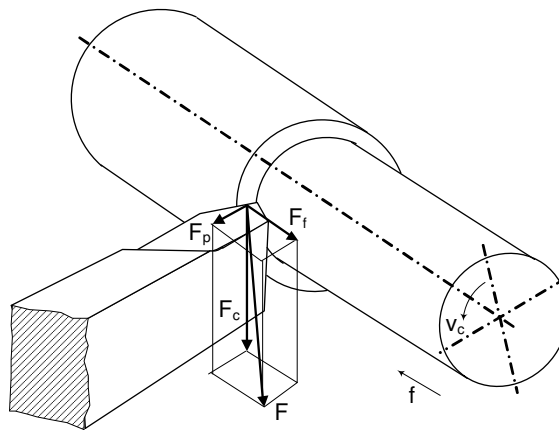
Wadą olejów obróbkowych jest mała zdolność do odprowadzania ciepła.

3.8. Siły skrawania

Siła skrawania jest to siła, z jaką ostrze narzędzia oddziałuje na materiał warstwy skrawanej, powodując przetworzenie jej w wiór.

Całkowitą siłę skrawania F rozkłada się na trzy składowe, których kierunki pokrywają się odpowiednio z kierunkiem prędkości ruchu głównego, kierunkiem ruchu posuwowego i kierunkiem do nich prostopadłym.

Działanie tych składowych rozpatruje się w układzie związanym z narzędziem i w układzie związanym z przedmiotem obrabianym.



Rysunek 3.5. Siły skrawania w układzie narzędzia na przykładzie toczenia wzdłużnego

W układzie narzędzia wyróżniamy:

- składową F_c , działającą równolegle do wektora prędkości obwodowej w punkcie styczności wierzchołka ostrza z przedmiotem obrabianym. Nosi ona nazwę siły skrawania

i powoduje uginanie narzędzia oraz obciąża prowadnice obrabiarki.

- składową posuwową F_f , równoległą do kierunku posuwu narzędzia, która powoduje obrót narzędzia wokół osi imaka i obciąża mechanizm posuwu obrabiarki.
- składową odporową F_p , normalną do powierzchni obrobionej i dwóch pozostałych składowych, która odpycha narzędzie od przedmiotu i obciąża prowadnice obrabiarki.

W układzie przedmiotu całkowitą siłę skrawania rozkłada się również na trzy składowe. Mają one tę samą wartość, ten sam kierunek i przeciwny zwrot do odpowiadających im sił w układzie narzędzia.

Są to:

- składową pionową (obwodową) F_y , prostopadłą do osi toczenia, która powoduje uginanie przedmiotu w płaszczyźnie pionowej i tworzy moment skrawania.
- składową osiową F_z , równoległą do osi toczenia, która obciąża łożyska wrzeciona lub tulei konika.
- składową poprzeczną (promieniową) F_x , która powoduje uginanie przedmiotu w płaszczyźnie poziomej.

Siły skrawania oblicza się wg dwóch grup ustalonych empirycznie wzorów:

- wzory uproszczone służące do orientacyjnego określenia wartości sił skrawania, stosowane w obliczeniach warsztatowych,
- wzory szczegółowe służące do względnie dokładnego określenia wartości sił skrawania, stosowane w obliczeniach laboratoryjnych.

W praktyce warsztatowej stosowany jest wzór Taylora:

$$F_c = k_c A \quad (3.6)$$

gdzie:

A – pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej $= f \cdot a_p$ [mm²],

k_c – opór właściwy skrawania MPa (N/mm²).

Przykładowe wartości oporu właściwego skrawania podano w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Orientacyjne wartości właściwego oporu skrawania k_c
(wg poradnika f-my Garant)

Grupa materiałowa	Wytrzymałość [N/mm ²]	Opór właściwy skrawania k_c [N/mm ²]
stal konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia	do 500	1780
stal konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia	500 - 850	1990-2260
stopowa stal do ulepszania cieplnego	1000-1200	2070-2500
niestopowa stal do nawęglania	ponad 750	2100 -2290
stal do azotowania	do 1000	1740
żeliwo szare	do 260 HB	1020 - 1470
aluminium	do 350	780 - 830
mosiądz	do 600	780
brąz	do 600	640

Wzory laboratoryjne, ustalane empirycznie, mają postać:

$$F_c = C_c a_p^x f^y K_c \quad (3.7)$$

gdzie:

C_c - doświadczalnie wyznaczona stała zależna od warunków obróbki

x - doświadczalnie wyznaczony wykładnik potęgowy charakteryzujący wpływ głębokości skrawania,

y - doświadczalnie wyznaczony wykładnik potęgowy charakteryzujący wpływ prędkości posuwu,

K_c - doświadczalnie wyznaczony współczynnik poprawkowy uwzględniający m.in. wpływ wytrzymałości i twardości materiału obrabianego, wpływ kątów narzędzia i promienia zaokrąglenia ostrza, wpływ stanu zużycia ostrza itp.

Najsilniej na siły skrawania wpływa głębokość skrawania g , nieco mniej posuw p , a prędkość w praktyce nie ma na niego wpływu:

$$(a_p \uparrow \uparrow, f \uparrow, v_c).$$

Znajomość sił skrawania jest niezbędna przy projektowaniu narzędzi, obrabiarek i uchwytów obróbkowych. Pozwala także na określenie odkształceń, jakim podlega przedmiot podczas obróbki.

Ze względu na wpływ sił skrawania na dokładność przedmiotu obrabianego obróbkę wykańczającą należy prowadzić przy najmniejszych możliwych siłach skrawania. Stąd przyjmuje się w niej minimalną możliwą głębokość skrawania, niewielkie posuwy, lecz znaczące prędkości skrawania

$$(v_c \uparrow\uparrow, f \uparrow, a_p).$$

Przy obróbce zgrubnej, gdzie najistotniejsza jest wydajność obróbki, a siły skrawania ze względu na mniejsze wymagania jakościowe i prowadzenie tych obróbek na sztywnych obrabiarkach mają mniejsze znaczenie, przyjmuje się duże wartości głębokości skrawania, duży posuw i relatywnie małe prędkości skrawania

$$(a_p \uparrow\uparrow, f \uparrow, v_c).$$

Określenie sił skrawania umożliwia określenie wymaganej mocy obrabiarek:

$$P_c = F_c v_c / 60\,000 \text{ [kW]} \quad (3.8)$$

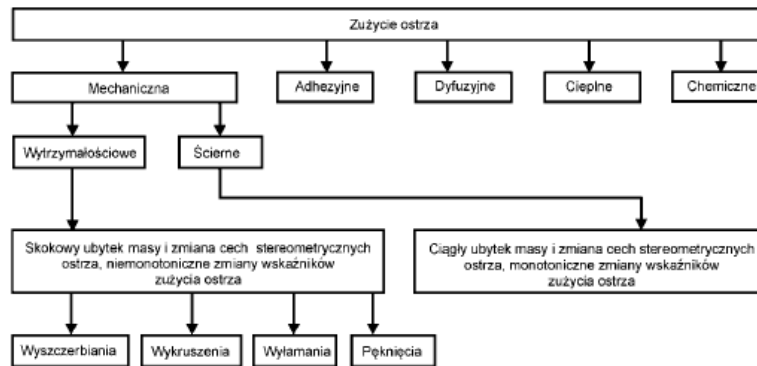
3.9. Zużycie ostrza

Zużycie ostrza to zmiany kształtu ostrza występujące w czasie pracy narzędzia i ograniczające jego przydatność do dalszego użytku.

Zużycie ostrza wiąże się najczęściej ze zmianami geometrycznymi oraz zmianami właściwości fizycznych, którym ulega narzędzie podczas eksploatacji.

Zmiany geometryczne są spowodowane ubytkiem materiału ostrza wskutek tarcia, a zmiany właściwości – lokalnym odkształceniem plastycznym, wysoką temperaturą i chemicznym oddziaływaniem ośrodka współpracującego.

Rodzaje zużycia ostrza

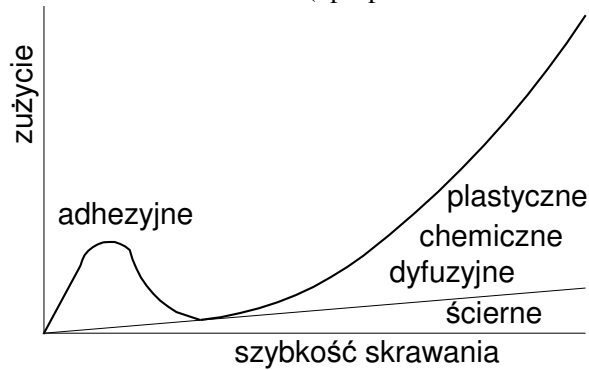


Rysunek 3.6. Podział rodzajów zużycia [14]

Ze względu na rodzaj czynników wywołujących te zmiany wyróżnia się:

- zużycie mechaniczne ścierne, spowodowane tarcie twardej cząstek występujących w obrabianym materiale, powodujące pojawienie się rowków lub wyżłobień na powierzchni natarcia i na powierzchni przyłożenia narzędzia (w zużyciu ściernym wyróżnia się: bruzdowanie, mikroskrawanie i rysowanie)
- zużycie mechaniczne wytrzymałościowe, spowodowane przekroczeniem dopuszczalnych naprężeń mechanicznych, powodujące wykruszenia i szczyrowatość ostrza. Jest to zużycie katastroficzne. Może nastąpić na skutek: oddziaływania zbyt dużych sił skrawania, naprężeń dynamicznych, powstających przy skrawaniu wiórem przerywanym, napotkania przez narzędzie wydzieleń twardych węglików, wtrąceń niemetalicznych lub zażużeń.
- zużycie adhezyjne, spowodowane silnym wzajemnym przywieraniem pod wpływem sił adhezji cząstek materiału narzędzia i cząstek materiału obrabianego. Nieustanne zrywanie tych wiązań powoduje oddzielenie cząstek materiału od narzędzia przyspieszając jego zużycie. Zużycie adhezyjne odgrywa istotną rolę, gdy temperatura skrawania przekracza ok. 550°C, przy czym wielkość odrywających się cząsteczek zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury skrawania (przykładem zużycia adhezyjnego jest narost).

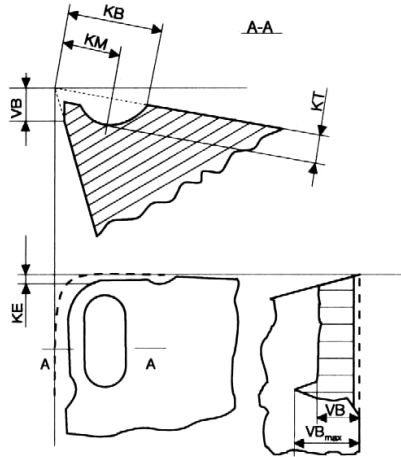
- zużycie dyfuzyjne, spowodowane jest szkodliwym przenikaniem atomów materiału ostrza (np. węglików spiekanych) do materiału obrabianego oraz atomów materiału skrawanego (np. żelaza) do materiału ostrza. W wyniku tego zjawiska następuje pogorszenie właściwości warstwy wierzchniej narzędzia (zmniejsza się jego twardość), co powoduje zwiększenie intensywności jego zużycia.
- zużycie chemiczne polega na ciągłym powstawaniu i usuwaniu podczas skrawania warstwy tlenków i innych związków chemicznych (zwłaszcza w wysokich temperaturach skrawania) z powierzchni styku ostrza z materiałem obrabianym. Związki te tworzą się pod wpływem chemicznie aktywnych składników cieczy obróbkowych lub tlenu z otaczającego powietrza.
- zużycie cieplne polega na zmianach właściwości materiału, spowodowanych przekroczeniem dopuszczalnych temperatur skrawania dla danego materiału ostrza. Zmniejsza się wówczas gwałtownie twardość materiału ostrza i zwykle następuje jego wykruszenie. Jest to zużycie katastroficzne. Ponadto wskutek nierównomiernego nagrzewania lub chłodzenia ostrza mogą powstać mikropęknięcia naprężeniowe, na które szczególnie wrażliwe są materiały o małej odporności na szoki termiczne (np. spieki ceramiczne białe).



Rysunek 3.7. Poglądowy wykres występowania odmian zużycia w zależności od szybkości skrawania

Na rysunku 3.8 pokazano rodzaje geometrycznego zużycia ostrza i opisujące je wielkości:

- szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia VB w płaszczyźnie P_s ,
- skrócenie ostrza KE (zużycie promieniowe lub wymiarowe)
- głębokość rowka KT
- szerokość rowka KB
- odległość środka rowka KM od krawędzi skrawającej (mierzone w P_n)



Rysunek 3.8. Geometryczne wskaźniki zużycia ostrza [10]

Zużycie w postaci żłobka na powierzchni natarcia do chwili przzerwania krawędzi ostrza nie wywiera szkodliwego wpływu na stan warstwy wierzchniej i na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu obrabianego; jest kłopotliwe w pomiarze.

Zużycie powierzchni przyłożenia od początku wpływa niekorzystnie na proces skrawania: powoduje stopniowe pogarszanie jakości powierzchni obrobionej, zwłaszcza jej gładkości, wzrost temperatury skrawania, sił, poboru mocy skrawania. Zjawiska te wywołane są głównie wzrostem pola współtrących powierzchni ostrza i materiału obrabianego. Zużycie powierzchni przyłożenia najczęściej ogranicza czas pracy ostrza – wskaźnik VB decyduje o przydatności narzędzia do pracy.

Kryteria stępienia ostrza

Stępienie ostrza to stan ostrza, który umownie charakteryzuje utratę własności skrawnych; ostrze stępione nie nadaje się do skrawania (wymaga ostrzenia lub wymiany).

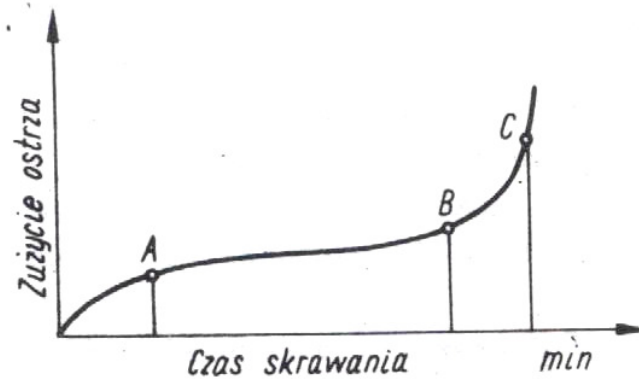
Stopień stępienia ostrza jest oceniany za pomocą kryteriów stępienia, które można podzielić na trzy grupy:

- kryteria geometryczne, wśród których najczęściej stosowanym wskaźnikiem stępienia VB jest założona wartość wskaźnika zużycia VBmax
- kryteria technologiczne, których wskaźnikiem jest przyrost chropowatości powierzchni oraz zmiany wymiarów lub kształtu przedmiotu obrabianego
- kryteria fizyczne, których wskaźnikiem jest określony przyrost sił skrawania, momentu, mocy skrawania lub temperatury

Krzywa zużycia normalnego

Krzywa zużycia normalnego (rysUNEK 3.8) składa się z czterech odcinków. Odpowiadają one:

- naturalnemu docieranie się powierzchni współtrących, (odcinek OA)
- małej intensywności zużycia; jest to przedział prawidłowej pracy narzędzia, (odcinek AB)
- okresowi przyspieszonego zużycia; praca w tym przedziale czasu staje się nieopłacalna, gdyż niewiele zyskujemy na czasie skrawania, a dużo tracimy na skutek dużego przyrostu zużycia (odcinek BC)
- okresowi gwałtownego zużycia, które w krótkim czasie może doprowadzić do całkowitego zniszczenia narzędzia; praca w tym przedziale jest nie tylko nieopłacalna, ale i niebezpieczna (odcinek ponad punktem C)



Rysunek 3.8. Krzywa zużycia normalnego

3.10. Trwałość i żywotność narzędzia

Trwałość ostrza T w [min], jest to łączny czas skrawania narzędzia w ustalonych warunkach obróbki do chwili stępienia ostrza. Trwałość ostrza może być oceniana pośrednio liczbą wykonanych takich samych zabiegów obróbkowych lub łączną drogą ruchu posuwowego (np. przy frezowaniu lub przy wierceniu głębokich otworów). Jest to czas między kolejnymi ostrzeniami narzędzia.

Żywotnością narzędzia lub trwałością całkowitą nazywamy sumę trwałości narzędzia liczonych od początku do końca jego eksploatacji, przy czym za koniec eksploatacji uważa się stan narzędzia nie pozwalający przywrócić mu właściwości skrawnych przez ostrzenie.

Trwałość ostrza w decydującym stopniu zależy od prędkości skrawania. Posuw i głębokość skrawania nie mają na nią praktycznego wpływu. Przyjmuje się, z pewnym uproszczeniem, że dla typowego, stosowanego w przemyśle maszynowym zakresu prędkości skrawania można ją określić wzorem Taylora:

$$T = \frac{C_T}{v_c^s} \quad (3.9)$$

gdzie:

C_T - wielkość stała uwzględniająca wpływ wszystkich czynników osobno we wzorze nie wyodrębnionych; w sensie fizycznym stała ta jest równa trwałości ostrza przy prędkości skrawania $v=1$ [m/min]

s - wykładnik potęgowy ustalany doświadczalnie, który wynosi:

- dla stali szybko tnących $s = 8 - 10$
- dla węglików spiekanych $s = 3 - 6$
- dla spieków ceramicznych $s = 1.5 - 3$

v_c - prędkość skrawania w [m/min].

W praktyce produkcyjnej częściej obliczamy szybkość skrawania v_{cT} , przyjmując wartość okresu trwałości ostrza T :

$$v_{cT} = \left(\frac{C_T}{T} \right)^{\frac{1}{s}} \quad (3.10)$$

Tak obliczoną szybkość skrawania nazywamy okresową szybkością skrawania.

Dobór okresu trwałości ostrza zależy od przyjętych priorytetów.

Dla narzędzi wymagających skomplikowanego i czasochłonnego ostrzenia i oraz czasochłonnego ustalania i mocowania przyjmowany jest długi okres trwałości ostrza.

Gdy czas ostrzenia i wymiany narzędzia jest krótki, przyjmuje się krótki okres trwałości ostrza, np. przy płytkach wieloostrowych nie wymagających ostrzenia i osadzonych w gniazdach pozwalających na szybką wymianę ostrza.

Poniżej podano przykładowe zalecane okresy trwałości ostrza:

- frezy czołowe $T = 180 - 420$ min.
- noże tokarskie ze stali szybko tnącej $T = 20 - 120$ min.
- noże tokarskie z lutowanymi płytkami z węglików spiekanych $T = 10 - 45$ min.

- noże tokarskie z mocowanymi płytkami z węglików spiekanych $T = 5 - 30$ min.

4

Ekonomiczne aspekty obróbki skrawaniem

W tym rozdziale:

- dobór technologicznych parametrów skrawania
- wydajność i koszty obróbki w funkcji trwałości narzędzia
- czas i wydajność obróbki
- koszty obróbki w funkcji dokładności obróbki

4.1 Dobór technologicznych parametrów skrawania

Proces obróbki skrawaniem powinien być tak przeprowadzony, aby przy najmniejszych możliwych kosztach uzyskana została wymagana przez odbiorcę jakość obrabianych części, a czas ich wykonania nie przekroczył czasu określonego w zamówieniu.

W pewnym uproszczeniu można przyjąć, że optymalizacja procesu skrawania polega na właściwym doborze technologicznych parametrów skrawania: a_p , f i v_c .

Dobór głębokości skrawania a_p

Dobór głębokości skrawania musi być poprzedzony ustaleniem naddatków na obróbkę. Wielkość naddatku całkowitego – warstwy materiału, która powinna być usunięta z surówki dla otrzymania gotowej części – określa się orientacyjnie na podstawie liczby operacji niezbędnych do uzyskania założonej dokładności wykonania danej części, przy czym operacja jest to część procesu technologicznego wykonywana na jednym stanowisku roboczym przez jednego pracownika (lub grupę pracowników) na jednym przedmiocie (lub grupie przedmiotów), bez przerw na inną pracę.

W pewnym uproszczeniu można przyjąć, że każda operacja poprawia klasę dokładności o 2 tzn. przejście z IT13 do IT7 wymaga trzech operacji, a do IT6 – czterech.

Naddatek na każdą operację musi być na tyle duży, aby usunąć błędy obróbki powstałe podczas wcześniejszej operacji. Wzrost dokładności wykonania danej części w kolejnych obróbkach powoduje, że głębokości skrawania cały czas maleją. Stąd w obróbce zgrubnej i średnio dokładnej głębokości skrawania są dość duże, a w obróbce bardzo dokładnej i gładkościowej bardzo małe.

Dobór prędkości posuwu f

Dobór posuwu decyduje najbardziej o dokładności obróbki (szczególnie o chropowatości powierzchni) i jej wydajności. Im mniejszy posuw tym chropowatość obrabianej powierzchni jest mniejsza (stąd przy obróbkach

wykańczających i dokładnych posuw powinien być możliwie jak najmniejszy). Niestety wraz ze zmniejszaniem prędkości posuwu zmniejsza się również wydajność obróbki, a jej czas wydłuża się. Dobór prędkości posuwu musi więc zapewniać wymaganą jakość powierzchni przy maksymalnej możliwej wówczas wydajności obróbki.

Dobór prędkości skrawania v_c

Dobór prędkości skrawania wynika z założonej trwałości ostrza, tzn. czasu, po którym ostrze jest ostrzone lub wymieniane. Zwiększenie prędkości skrawania, zwiększa co prawda wydajność obróbki, ale zmniejsza trwałość ostrza i zmusza do częstszej jego wymiany lub ostrzenia.

Istnieje prędkość skrawania, przy której wydajność obróbki jest maksymalna, tzw. prędkość skrawania największej wydajności v_w (odpowiada jej trwałość największej wydajności T_w). Zwiększanie prędkości skrawania powyżej v_w nie powoduje wzrostu wydajności obróbki, lecz jej spadek, gdyż skrócenie czasu obróbki jest mniejsze niż czas stracony na ostrzenie lub wymianę narzędzia.

Istnieje również prędkość skrawania, przy której koszty wykonania obróbki są najmniejsze, tzw. ekonomiczna prędkość skrawania v_e (odpowiada jej ekonomiczna trwałość ostrza).

Ekonomiczna prędkość skrawania v_e jest zawsze mniejsza od prędkości skrawania największej wydajności v_w . Rzeczywista dobrana prędkość skrawania powinna być zawarta w przedziale $\langle v_w; v_e \rangle$.

4.2 Czas i wydajność obróbki

Czasy obróbki

Wyróżnia się następujące czasy obróbki:

1. czas maszynowy t_m – czas trwania ruchu posuwowego, określany stosunkiem długości przejścia L w ruchu posuwowym do prędkości ruchu posuwowego p_t

$$t_m = \frac{L}{p_t} \quad (4.1)$$

gdzie:

$$L = l_d + l + l_w \quad (4.2)$$

v_f – posuw minutowy

l_d - dobieg

l_w - wybieg

l – długość przedmiotu

2. czas skrawania t_{skr} – czas trwania styku ostrza z materiałem (zwykle mniejszy od maszynowego)

$$t_{skr} = \frac{l_{skr}}{p_t} = \tau \cdot t_m \quad (4.3)$$

gdzie:

$$\tau = \frac{l_{skr}}{L} \quad (4.4)$$

3. czas niemaszynowy obróbki t_n składa się z:

- czasu przygotowawczo-zakończeniowego (czas na zapoznanie się z dokumentacją, pobranie narzędzi, uzbrojenie maszyny, rozliczenia się z wykonanej roboty, doprowadzenie stanowiska do stanu wyjściowego)
- czasu obsługi technicznej (wymiana narzędzi)
- czasu obsługi organizacyjnej (czyszczenie i smarowanie maszyny)
- czasu przerw uzasadnionych (przerwy na potrzeby naturalne + czas na odpoczynek pracownika)

4. czas jednostkowy obróbki t_j – czas potrzebny do wykonania jednej sztuki wyrobu:

$$t_j = t_m + t_n \quad (4.5)$$

Wyznaczenie w/w czasów jest niezbędne ze względu na:

- określenie obciążenia poszczególnych obrabiarek

- określenie kosztów pracy
- określenie obciążenia fizycznego poszczególnych pracowników
- znalezienie tzw. „wąskich gardeł” w produkcji

Wydajność obróbki

Wydajność obróbki W (wydajność produkcyjna, wydajność jednostkowa) określa liczba operacji (części, sztuk), wykonywanych w jednostce czasu:

$$W = \frac{1}{t_j} \quad (4.6)$$

Wydajność skrawania można wyrazić także innymi sposobami:

- wydajność objętościowa Q_v (objętość warstwy skrawanej w jednostce czasu)

$$Q_v = 1000 \cdot a_p \cdot f \cdot v_c \text{ [mm}^3\text{/min]} \quad (4.7)$$

- wydajność masowa Q_m (masa warstwy skrawanej w jednostce czasu)

$$Q_m = 1000 \rho \cdot a_p \cdot f \cdot v_c \text{ [g/min]} \quad (4.8)$$

gdzie:

ρ – gęstość materiału obrabianego w $[\text{g/mm}^3]$

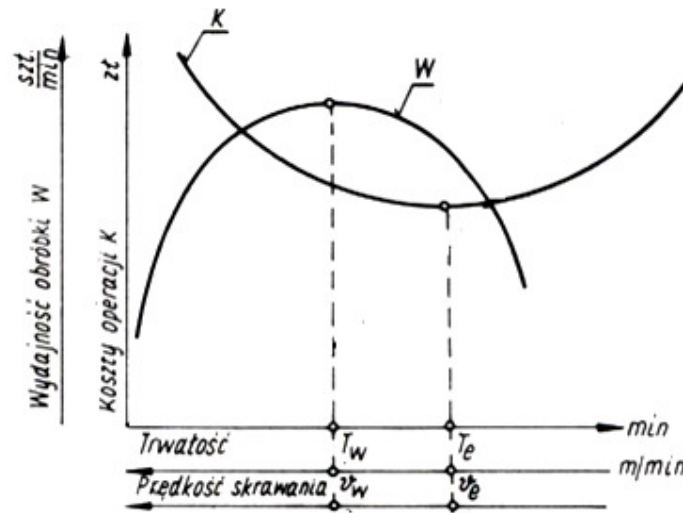
a_p – głębokość skrawania w $[\text{mm}]$,

f – posuw na obrót w $[\text{mm/obr}]$

v_c – prędkość skrawania w $[\text{m/min}]$

4.3. Wydajność obróbki i jej koszty w funkcji trwałości

Na wykresie 4.1 występują dwa punkty charakterystyczne: trwałość największej wydajności T_w i trwałość ekonomiczna T_e . Ich wyznaczenie jest bardzo skomplikowaną sprawą, gdyż wymaga znalezienia funkcji wydajności obróbki i funkcji kosztów obróbki, uwzględniających istotne czynniki mające wpływ na koszty i wydajność obróbki (m.in. posiadane przez firmę obrabiarki, ich sztywności i dokładności, narzędzia, koszty ogólne itd.).



Rysunek 4.1 Wykres wydajności obróbki i kosztów obróbki w funkcji trwałości ostrza i prędkości skrawania

Dla najprostszego przypadku obróbki – jednym narzędziem – opracowano wzory pozwalające określić wartości trwałości największej wydajności T_w i trwałości ekonomicznej T_e .

Mają one postać:

$$T_w = \tau \cdot (s-1) \cdot t_z \quad (4.9)$$

$$T_e = \tau \cdot (s-1) \cdot (t_z + K_n/K_o) \quad (4.10)$$

gdzie:

$$\tau = t_{skr}/t_m \leq 1 \quad (4.11)$$

s – określony doświadczalnie wykładnik z zależności między prędkością skrawania a trwałością narzędzia ze wzoru (3.9)

t_z – czas wymiany stępiętego narzędzia w [min]

K_n – koszty związane z eksploatacją narzędzia, przypadające na jeden okres trwałości (koszty materiału i wykonania narzędzia, koszty ostrzenia) w [zł]

K_o – koszty minutowe obrabiarki uwzględniające amortyzację, obsługę, koszty administracyjne i inne koszty ogólnozakładowe w [zł].

4.4. Koszty obróbki w funkcji dokładności obróbki

Dla każdej metody obróbki istnieje najwyższa osiągalna dokładność (minimalny błąd obróbki Δ_{min}), powyżej której zwiększenie czasu obróbki nie daje pożądanego efektu.

Dla każdej metody obróbki istnieje pewien czas minimalny t_{min} (koszt minimalny) poniżej którego czas obróbki nie zmniejsza się nawet przy dowolnie dużym zwiększeniu tolerancji wymiaru.

Zależność pomiędzy czasem obróbki t a dokładnością wykonania (błędem wykonania Δ) można wyrazić wzorem:

$$t = t_{min} + \frac{C_t}{(\Delta - \Delta_{min})^k} \quad (4.12)$$

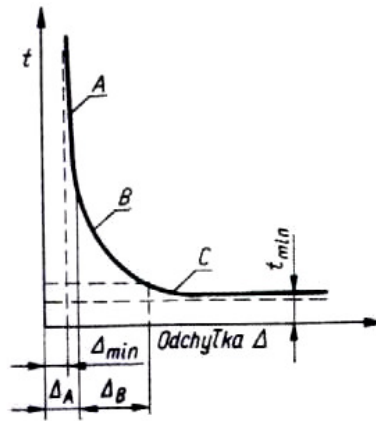
gdzie:

C_t - stała wyznaczona doświadczalnie dla danej obróbki

k - wykładnik wyznaczony doświadczalnie.

Krzywą (rysunek 4.2), opisaną równaniem (4.12) można podzielić na odcinki A, B, C:

- odcinek A (bardzo stromy) odpowiada warunkom, kiedy ze względu na brak właściwych obrabiarek żadaną dokładność uzyskuje się w sposób nieekonomiczny przez zastosowanie metod obróbki odpowiednich dla niższej dokładności, a więc przez zwiększenie czasu wykonania lub zatrudnienie pracownika o wyższych kwalifikacjach. Dokładność uzyskiwana w ten sposób nazywana jest *dokładnością osiągalną*.
- odcinek B odpowiada warunkom obróbki z *dokładnością ekonomiczną*.
- odcinek C odpowiada takim warunkom obróbki, kiedy osiągnięta dokładność znacznie przekracza żadaną, np. zastosowanie szlifowania tam, gdzie wystarczyłoby tylko toczenie. Postępowanie takie jest niewłaściwe, gdyż przy zastosowaniu innej metody obróbki można osiągnąć żądany cel szybciej i taniej. Zakres dokładności odpowiadający odcinkowi C jest nazywany *dokładnością gwarantowaną*.



Rysunek 4.2. Wykres zależności czasu (kosztu) obróbki od dokładności (błędu) obróbki [11]

5

Obrabiarki

W tym rozdziale:

- podział obrabiarek
- krótka charakterystyka tokarek, wiertarek, frezarek, przecinarek, wytaczarek i przeciągarek
- krótka charakterystyka szlifierek i obrabiarek do obróbki ścierniej wykańczającej
- obrabiarki wielooperacyjne

5.1. Podział obrabiarek

Podstawowymi grupami obrabiarek skrawających do metali są:

- tokarki
- wiertarki
- frezarki
- wytaczarki
- przecinarki
- strugarki i dłutownice
- przeciągarki
- szlifierki
- obrabiarki do obróbki ściernej wykańczającej
- obrabiarki wielooperacyjne
- obrabiarki do kół zębatych

W dalszej części rozdziału nie omówiono bardziej szczegółowo grupy strugarek i dłutownic ze względu na ich coraz mniejszy udział w obróbce skrawaniem spowodowany występowaniem ruchu jałowego, wydłużającego czas obróbki i uniemożliwiającego konkurowanie z bardziej wydajnymi metodami np. frezowaniem czy szlifowaniem oraz obrabiarek do kół zębatych ze względu na dużą złożoność tematu.

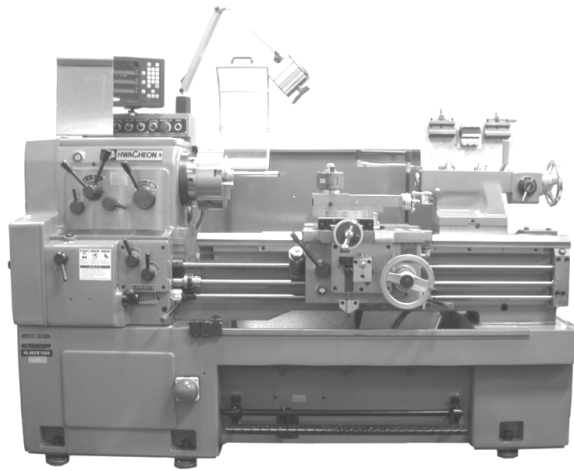
Obrabiarki z w/w grup występują w przemyśle w wersji konwencjonalnej, w której sterowanie przebiegiem pracy obrabiarki należy do operatora oraz jako obrabiarki CNC, gdzie przebiegiem pracy steruje komputer. Ten drugi typ obrabiarek w ostatnich latach zdecydowanie wypiera obrabiarki sterowane ręcznie, a w niektórych grupach obrabiarek całkowicie je zastąpił.

5.2. Tokarki

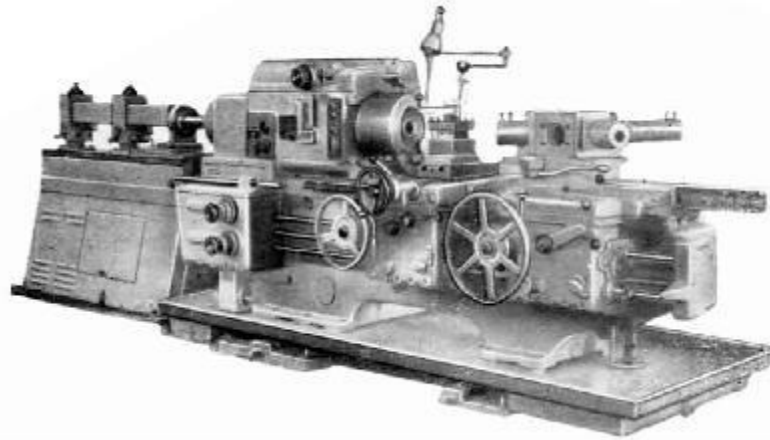
Tokarki służą do zewnętrznej i wewnętrznej (roztaczanie) obróbki powierzchni obrotowych: ruch główny, obrotowy wykonuje przedmiot, ruch posuwowy – narzędzie.

Wyróżnia się:

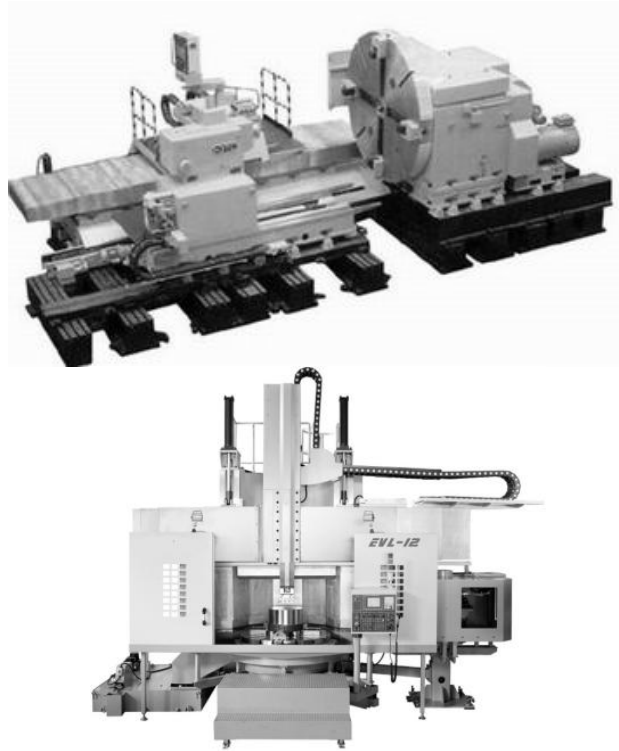
- tokarki kłowe, posiadające konik, przeznaczone do obróbki długich wałów, wymagających podparcia kłem (rysunek 5.1),
- tokarki uchwytowe, nie posiadające konika, przeznaczone wyłącznie do obróbki przedmiotów krótkich (tulei i tarcz), mocowanych w uchwycie wrzeciona o średnicy zewnętrznej nie przekraczającej $D_{\max} = 630$ mm,
- tokarki rewolwerowe, o budowie podobnej do tokarek kłowych, lecz mające, zamiast konika, suport wzdłużny wyposażony w głowice rewolwerową; w głowicy tej mocowane są narzędzia (noże, wiertła, gwintowniki) w kolejności ich użycia podczas obróbki; stosowane są do obróbki z pręta, przy czym pręt podawany jest od tyłu przez otwór wrzeciona (rysunek 5.2),
- tokarki tarczowe, nie posiadające konika, w których przedmiot zamocowuje się na pionowej tarczy uchwytowej osadzonej na wrzecionie o osi poziomej; przeznaczone są do obróbki przedmiotów krótkich o dużych średnicach od $D_{\max} = 630$ mm do 4000 mm; należą do grupy tokarek ciężkich (rysunek 5.3),
- tokarki karuzelowe, w których przedmiot umieszcza się na poziomym stole, osadzonym na wrzecionie o osi pionowej; przeznaczone są do obróbki przedmiotów ciężkich (nawet do 220 ton) o dużych średnicach (nawet do 24 m); należą do grupy tokarek ciężkich (rysunek 5.3),
- zataczarki, są odmianą tokarek przystosowaną do toczenia nieokrągłego przy zastosowaniu noży kształtowych; stosowane są do zataczania powierzchni przyłożenia frezów i toczenia przedmiotów o przekroju niekołowych (krzywek, wałów trójbocznych itp).



Rysunek 5.1. Tokarka kłowa uniwersalna



Rysunek 5.2. Tokarka rewolwerowa



Rysunek 5.3. Tokarka tarczowa i tokarka karuzelowa CNC

5.3. Wiertarki

Wiertarki są przeznaczone do obróbki otworów tzn. wiercenia, powiercania (wtórne wiercenia), rozwiercania i gwintowania; obrabiany przedmiot jest nieruchomy, a narzędzie osadzone w gnieździe wrzeciona wykonuje ruch główny obrotowy i ruch posuwowy prostoliniowy.

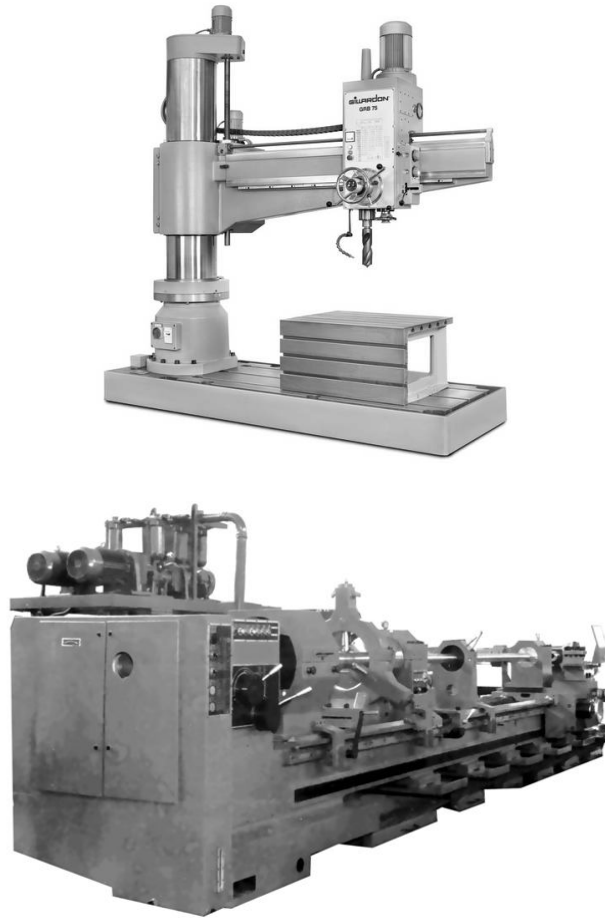
Wyróżnia się:

- wiertarki stołowe – małe, lekkie wiertarki, ustawiane na stołach warsztatowych przeznaczone do wiercenia otworów o średnicach od 6 do 16 mm wiertłami ze stali szybko tnącej (rysunek 5.4);

- wiertarki słupowe, w których elementem nośnym jest słup wewnątrz pusty; stół wiertarki można obracać wokół słupa, przesuwając pionowo i mocować na dowolnej wysokości; przedmioty wysokie można ustawiać bezpośrednio na płycie podstawy; przeznaczone są do wiercenia otworów o średnicach do 40 mm (rysunek 5.4),
- wiertarki stojakowe, w których elementem nośnym jest żelazny, skrzynkowy stojak ustawiony na podstawie budowane są w dwóch odmianach: z przesuwym wrzecionem, do wiercenia otworów do 40 mm oraz z przesuwym wrzeciennikiem, przeznaczone do produkcji jednostkowej i małoseryjnej otworów o średnicach do 80 mm (rysunek 5.4),
- wiertarki promieniowe, przeznaczone do obróbki otworów o średnicach do 100 mm w przedmiotach dużych i ciężkich, stawianych bezpośrednio na płycie podstawy bądź na stole stałym, stanowiącym wyposażenie specjalne; elementem nośnym jest słup, na którym obraca się i przesuwa w kierunku pionowym ramię z wrzeciennikiem; ponadto wrzeciennik może się przemieszczać wzdłuż ramienia (rysunek 5.5)
- wiertarki wielowrzecionowe, stosowane w produkcji wielkoseryjnej, głównie korpusów silnika czy skrzyni biegów, mają od kilku do kilkudziesięciu wrzecion, pracujących równocześnie; wrzeciona te można dokładnie rozstawiać w jednej głowicy wielowrzecionowej,
- wiertarki do głębokich otworów, przeznaczone są do wiercenia lub powiercania otworów, których długość jest wielokrotnie większa od średnicy, za pomocą wiertel lufowych o średnicach 3-60 mm lub wiertel rurowych (trepanacyjnych), stosowanych do wiercenia otworów o średnicach od 60 do 350 mm, przy długościach dochodzących do 30 metrów; jako jedyne wiertarki pracują w układzie poziomym (rysunek 5.5).



Rysunek 5.4. Wiertarka stołowa, wiertarka słupowa i wiertarka stojakowa



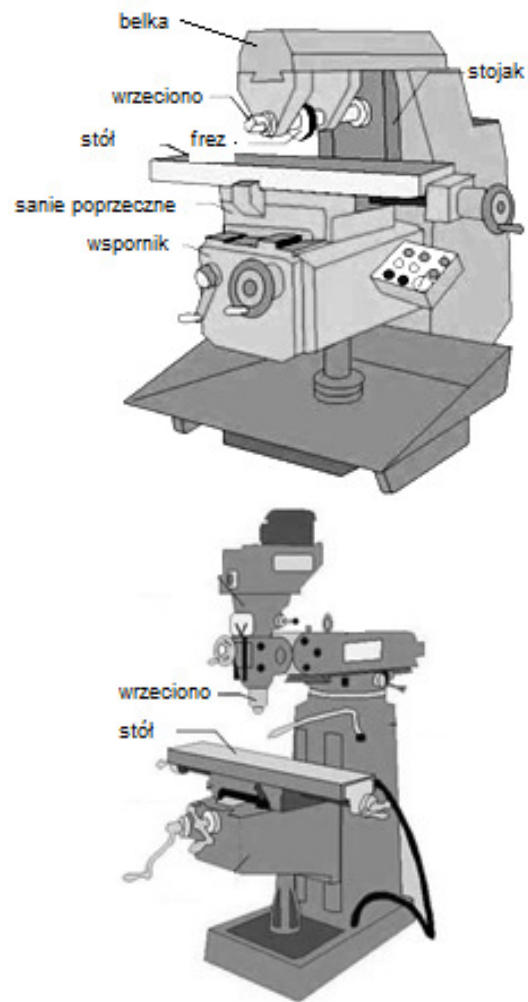
Rysunek 5.5. Wiertarka promieniowa i wiertarka do głębokich otworów

5.4. Frezarki

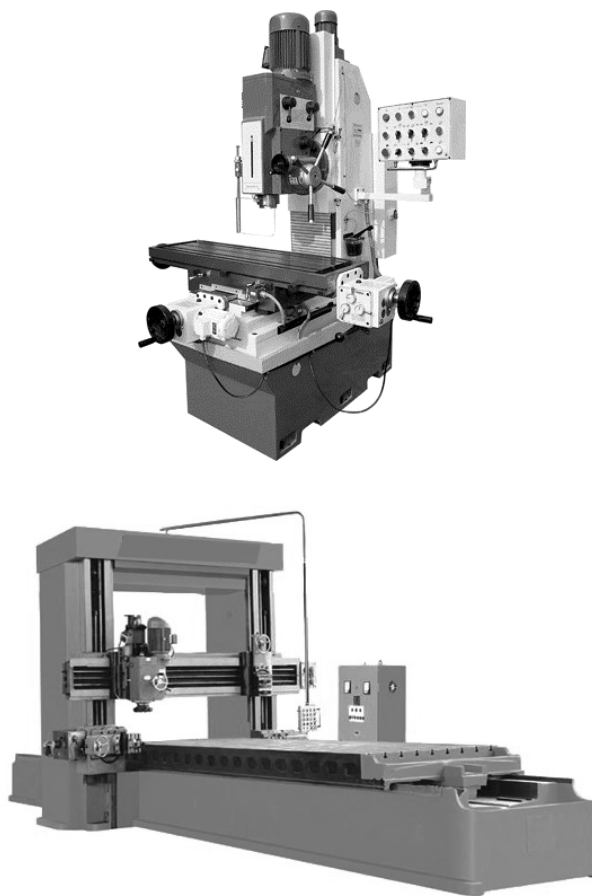
Frezarki służą przede wszystkim do obróbki płaszczyzn (głównie korpusy), powierzchni kształtowych, zwykle nieobrotowych (głównie formy wtryskowe, kokile, matryce itp) oraz rowków i gwintów. Ruch główny, obrotowy wykonuje narzędzie, frez lub głowica frezowa, a ruch posuwowy zwykle stół z przedmiotem obrabianym.

Wyróżnia się:

- frezarki wspornikowe, przeznaczone do obróbki przedmiotów małych i średniej wielkości, o stosunkowo niedużej masie; posiadają przesuwny pionowo na prowadnicach stojąca wspornik, na którym umieszczony jest stół krzyżowy lub krzyżowo-skrętny (rysunek 5.6)
- frezarki bezwspornikowe, przeznaczone do obróbki przedmiotów dużych i ciężkich, głównie różnego rodzaju korpusów maszyn; stół krzyżowy lub wzdłużny umieszczony jest na sztywnym, skrzyniowym łożu i nie ma możliwości ruchu w płaszczyźnie pionowej; wrzecienniki są przesuwne i mają z reguły wysuwne wrzeciona (rysunek 5.7)
- frezarki-nakielczarki, przeznaczone do frezowania czołowych powierzchni walcowych głowicami frezarskimi na określoną długość i następnie do wiercenia w tych powierzchniach nakielków umożliwiających dalszą obróbkę tych wałków na tokarkach kłowych i szlifierkach.



Rysunek 5.6. Frezarka wspornikowa pozioma i frezarka wspornikowa pionowa



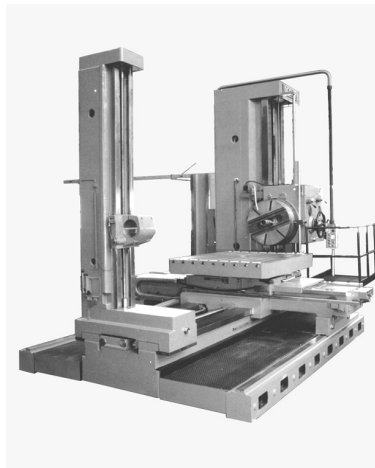
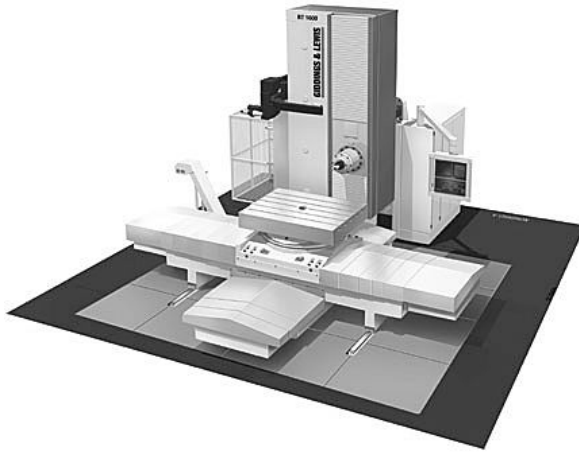
Rysunek 5.7. Frezarka bezwspornikowa pionowa ze stołem krzyżowym
i frezarka wzdłużna bramowa

5.5. Wytaczarki

Wytaczarki są to obrabiarki służące do bardzo dokładnej obróbki otworów (IT 4-5 wg ISO) o średnicach powyżej 40 mm przy pomocy wytaczadeł. Ruch główny, obrotowy, wykonuje wytaczadło, a ruch posuwowy stół z przedmiotem.

Wyróżnia się:

- wytaczarki precyzyjne (diamentowe), budowane jako jedno- lub wielowrzecionowe w układzie poziomym lub pionowym i stosowane do wytaczania panwi oraz tulei w blokach cylindrowych
- wiertarko-wytaczarki współrzędnościowe, przeznaczone do obróbki otworów (wiercenie i wytaczanie ewentualnie rozwiercanie) o dokładnym położeniu osi, określonym we współrzędnych prostokątnych lub biegunowych. Stosuje się je w narzędziowniach do obróbki otworów w przyrządach i uchwytach, do małoseryjnej obróbki dokładnych przedmiotów, a także do trasowania półwyrobów i sprawdzania wymiarów przedmiotów obrobionych na innych obrabiarkach. oraz do wytaczania otworów w płytach i korpusach maszyn (rysunek 5.8),
- wytaczarko-frezarki stosowane są w produkcji jednostkowej i małoseryjnej jako podstawowe obrabiarki do obróbki korpusów; podstawowym ich przeznaczeniem jest wytaczanie otworów i frezowanie płaszczyzn (rysunek 5.8).



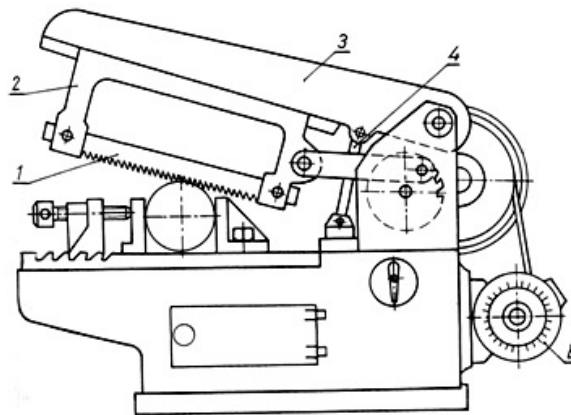
Rysunek 5.8 Wiertarko-wytaczarka współrzędnościowa pozioma
i wytaczarko-frezarka

5.6. Przecinarki

Przecinarki są obrabiarkami służącymi do cięcia, głównie materiałów prętowych w magazynach i przygotowalniach półfabrykatów.

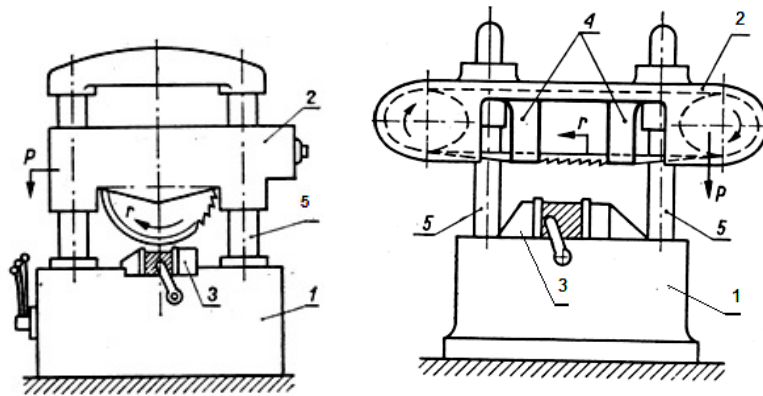
Wyróżnia się:

- przecinarki tarczowe, w których narzędziem jest piła tarczowa segmentowa (rysunek 5.10),
- przecinarki ramowe, w których narzędzie w postaci odcinka uzębionej taśmy jest naciągnięte i zamocowane w sztywnej ramie, która wykonuje ruch posuwisto-zwrotny wzdłuż prowadnic wychylnego ramienia. Piła pracuje tylko w jedną stronę, a przy ruchu powrotnym jest lekko unoszona do góry (rysunek 5.9),
- przecinarki taśmowe, w których narzędziem jest lutowana taśma bez końca naciągnięta i napędzana przez koła taśmowe (rysunek 5.10)



Rysunek 5.9 Przecinarka ramowa (z wahliwym ramieniem) [2]

1- piła, 2 -rama piły, 3-ramię wahliwe,
4 - hydrauliczny podnośnik wahliwej ramy



Rysunek 5.10. Przecinarka tarczowa pionowa (po lewej) i przecinarka taśmowa pozioma (po prawej) [2]

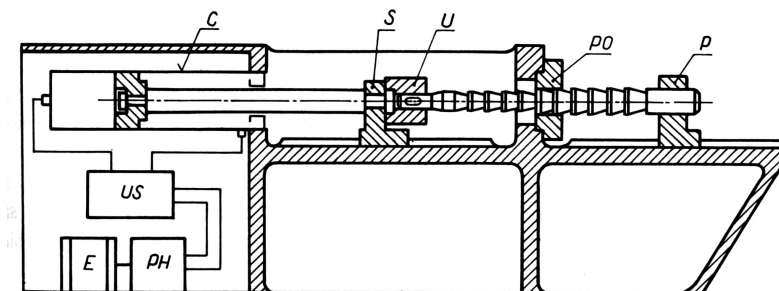
1 - podstawa, 2- wrzeciono, 3 - uchwyt mocujący materiał (imadło maszynowe), 4 - podtrzymki taśmy, 5 - kolumny prowadzące

5.7. Przeciągarki

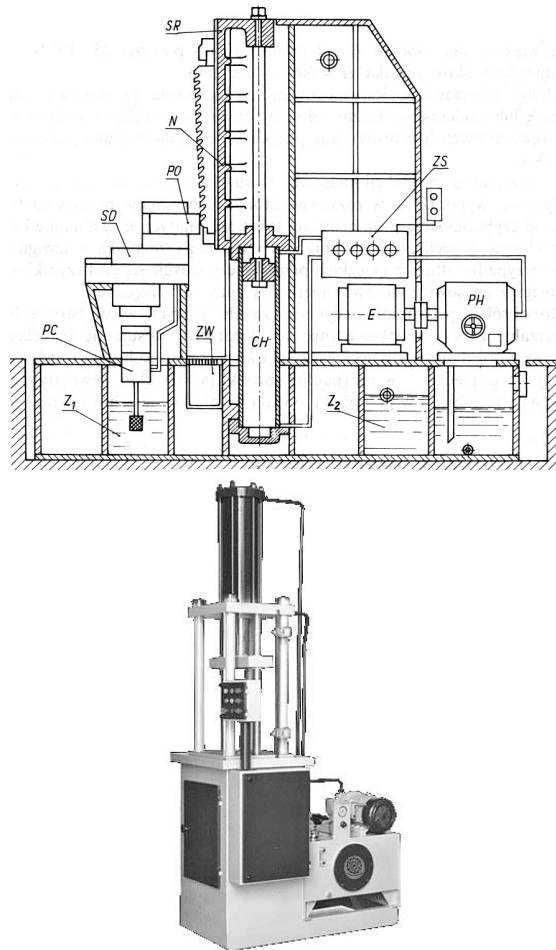
Przeciagarki są obrabiarkami przeznaczonymi do obróbki kształtowych powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych wieloostrzowymi narzędziami: przeciągaczami, które są ciągnięte w czasie pracy (występują w nich naprężenia rozciągające) i przepychaczami, stosowanymi głównie do wykańczającej obróbki otworów uprzednio przeciągniętych zgrubnie, które są pchane (występują w nich naprężenia ściskające). Przeciąganie jest stosowane w produkcji średnioseryjnej, wielkoseryjnej i masowej. Jest to obróbka o dużej wydajności, dająca małą chropowatość i dużą dokładność obrabianych powierzchni. Jest to jedyna metoda obróbki otworów kształtowych i wielowypustów wewnętrznych o średnicach poniżej 40 mm.

Wyróżnia się:

- przeciągarki wewnętrzne (rysunek 5.11)
- przeciągarki zewnętrzne (rysunek 5.12)
- przeciągarki uniwersalne
- przepycharki (rysunek 5.12)



Rysunek 5.11. Przeciagarka pozioma wewnętrzna [9]
 E - silnik, PH - pompa hydrauliczna, US - układ sterowania,
 C - cylinder roboczy, S - suwak, U - uchwyt (oprawka) przeciagacza,
 PO - przedmiot obrabiany, P - podtrzymka przeciagacza



Rysunek 5.12. Przeciagarka pionowa zewnętrzna [9]
i przepycharka pionowa
CH - cylinder hydrauliczny (roboczy), SR - suwak roboczy,
N - narzędzie, PO - przedmiot obrabiany,
E - silnik napędzający pompę PH, ST - stół odsuwny,
ZW - pojemnik na wióry, PC - pompa chłodziwa,
Z₁, Z₂ - zbiorniki chłodziwa i oleju, ZS - zespół sterowania

5.8. Szlifierki

Szlifierki przeznaczone są do obróbki przedmiotów metalowych i z tworzyw sztucznych za pomocą ściernic, a w szczególności do obróbki wykańczającej przedmiotów stalowych, ulepszonych cieplnie (nawet do 65 HRC) przy małych nadadkach obróbkowych. Po szlifowaniu uzyskuje się nawet 4-5 klasę dokładności i chropowatość rzędu $Ra=0.63$.

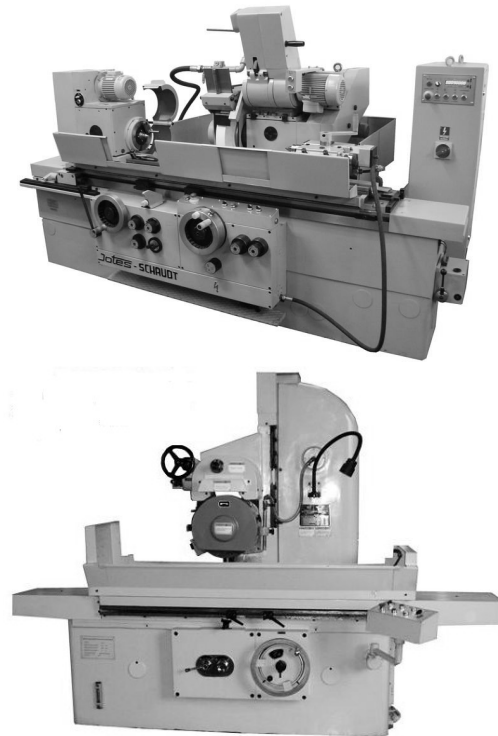
Najważniejszymi cechami techniczno-użytkowymi szlifierek są:

- duże prędkości skrawania, ograniczone przede wszystkim rodzajem i jakością materiału ściernicy. Wahają się one od $v=20-80$ m/s, przy czym typowy zakres to 25-45 m/s. Maksymalne prędkości szlifowania dochodzą obecnie do 200 m/s.
- małe siły skrawania oraz duża moc skrawania
- ostrzenie (obciąganie) ściernicy bez zdejmowania z wrzeciona
- wysokie wymagania dokładnościowe (dosuw rzędu $1\mu m$ i wyposażenie szlifierki w urządzenia pomiarowo-kontrolne o wysokiej dokładności)
- automatyzacja cyklu pracy

Szlifierki dzielimy na:

- szlifierki kłowe do wałków, stosowane do obróbki zewnętrznych powierzchni walcowych i stożkowych na wałach, ustalanych w kłach wrzeciona przedmiotu i konika (rysunek 5.13),
- szlifierki bezkłowe, stosowane w przemyśle łożyskowym do szlifowania pierścieni zewnętrznych i wewnętrznych, wałeczków i kulek oraz w przemyśle motoryzacyjnym do obróbki sworzní tłokowych i zaworów; przedmiot umieszczony jest na podtrzymce między ściernicą i tarczą prowadzącą, od której otrzymuje ruch obrotowy

- szlifierki do otworów, stosowane do obróbki powierzchni wewnętrznych walcowych i stożkowych oraz czół i powierzchni zewnętrznych przy jednym zamocowaniu przedmiotu
- szlifierki do płaszczyzn tzw. magnesówki (rysunek 5.13)
- szlifierki ostrzarki, służące do ostrzenia narzędzi



Rysunek 5.13. Szlifierka kłowa do wałków z przystawką do szlifowania otworów tzw. fortunką i szlifierka do płaszczyzn tzw. "magnesówka"

5.9. Obrabiarki do obróbki ścierniej wykańczającej

Podstawowe rodzaje obróbki ścierniej to:

- docieranie,
- gładzenie,
- dogładzanie oscylacyjne,
- obróbka strumieniowo-ścierna,
- wygładzanie w pojemnikach,
- polerowanie

Docieranie – obróbka powierzchni za pomocą narzędzi zwanych docierakami i zawiesziny materiałów ściernych (pasty); materiał ścierny umieszczony między narzędziem i powierzchnią obrabianą wygładza ją dzięki naciskom i ruchom narzędzia (mechanicznym lub ręcznym), a czasem również przedmiotu obrabianego. Docieranie pozwala uzyskać bardzo dużą dokładność powierzchni obrobionej.

Gładzenie (honing) – obróbka, głównie otworów, zastępująca szlifowanie, docieranie i polerowanie; usuwanie nadmiaru (również wzrost dokładności i gładkości powierzchni otworów) odbywa się za pomocą osełek ściernych, zamocowanych w głowicy wykonującej ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny.

Dogładzanie oscylacyjne (superfinish) – obróbka zapewniająca dużą gładkość powierzchni obrobionej; narzędzia ścierne (osełki) dociskane są z niewielką siłą do powierzchni obrabianej wykonują złożone ruchy, w tym ruch oscylacyjny (drżania o amplitudzie do kilku mm i częstotliwości 20-50 Hz).

Obróbka strumieniowo-ścierna – obróbka za pomocą luźnych ziaren ściernych, które z dużą prędkością są kierowane w strumieniu sprężonego powietrza na powierzchnię obrabianą; na sucho jest nazywana piaskowaniem, na mokro – obróbką hydrościerną; jest stosowana do oczyszczania powierzchni odlewów, odkuwek, części po obróbce cieplnej.

Wyglądanie w pojemnikach (bębnowanie, wyglądzanie pojemnikowe) – obróbka w specjalnych pojemnikach (bębnach), wprawianych w ruch obrotowy lub drgania, wypełnionych drobnymi przedmiotami i różnymi dodatkami (np. kształtki ceramiczne, ziarna ścierne); może być prowadzony na sucho lub na mokro; jest stosowany w produkcji wielkoseryjnej, pozwala usuwać zadziory, zaokrągląć ostre krawędzie.

Polerowanie – obróbka ścierna poprawiająca gładkość powierzchni, czasami nadająca połysk; polerowanie jest przeprowadzane za pomocą past lub emulsji ściernych, zawierających miękkie materiały ścierne (np. tlenki metali), naniesionych na specjalne narzędzia polerskie (np. tarcze obłożone skórą, prasowanym wołokiem, suknem).

5.10. Obrabiarki wielooperacyjne

Wśród obrabiarek wielooperacyjnych wyróżnia się:

- obrabiarki zespołowe
- centra obróbkowe

Obrabiarki zespołowe to obrabiarki specjalne, zbudowane systemem składanym z zespołów znormalizowanych i uzupełnione, zależnie od przeznaczenia, zespołami specjalnymi (do których należą głównie uchwyty, przyrządy obróbkowe i oprawki narzędziowe). Przeznaczone są do obróbki przedmiotów o określonym kształcie lub technologicznie podobnych. Obrabiarki zespołowe umożliwiają wykonywanie zabiegów obróbkowych, przy nieruchomym przedmiocie, teoretycznie z pięciu stron. Ruch główny i posuwowy wykonują narzędzia. Stosuje się je w produkcji wielkoseryjnej i masowej. Mogą być ustawione w kolejności wynikającej z przebiegu procesu obróbki i powiązane przenośnikami przedmiotów obrobionych, tworząc linię obrabiarek np. linię obróbki korpusów.

Centra obróbkowe to obrabiarki wielooperacyjne ogólnego przeznaczenia, umożliwiające obróbkę przedmiotów w jednym zamocowaniu, różnymi narzędziami pobieranymi z magazynu narzędzi i wprowadzanymi do pracy w kolejności ustalonej programem obróbki. Stosowane są głównie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej przedmiotów o złożonych

kształtach, których obróbka wymaga wykonania wielu różnorodnych zabiegów. W zasadzie każda obrabiarka sterowana numerycznie może być konstrukcyjnie przystosowana do automatycznej zmiany narzędzi i może pracować, po wyposażeniu jej w magazyn narzędzi, jako centrum obróbkowe (rysunek 5.14).



Rysunek 5.14. Pięcioosiowe centrum obróbkowe
do obróbki form i tłoczników



Literatura

W tym rozdziale:

- zestawienie wykorzystanej w opracowaniu literatury

1. A practical handbook. Modern Metal Cutting. Sandvik Coromant 1994
2. Balul M.W. i in., *Obrabiarki do skrawania metali*, WNT 1974 Warszawa
3. Dobrzański L.A., *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*, WNT 2002 Warszawa
4. Dudik K., *Poradnik tokarza*, WNT 2000 Warszawa
5. Górski E., *Poradnik frezera*, WNT 1999 Warszawa
6. Grzesik W., *Podstawy skrawania materiałów metalowych*, WNT 1998, Warszawa
7. Honczarenko J., *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*, WNT 2000, Warszawa
8. Kunstetter S., *Narzędzia skrawające do metali*, WNT 1969 Warszawa
9. Paderewski K., *Obrabiarki*, WSiP 1993 Warszawa
10. Poradnik inżyniera. *Obróbka skrawaniem*, T.1, WNT 1991 Warszawa
11. Poradnik inżyniera. *Obróbka skrawaniem*, T.2. Rozdział XVIII. Dokładność obróbki, WNT 1991 Warszawa
12. Przybylski L., *Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami. Toczenie. Wiercenie. Frezowanie*, Politechnika Krakowska 2000 Kraków
13. Sobolewski J. i in., *Projektowanie technologii maszyn*, Oficyna Wydawnicza PW 2002 Warszawa
14. Storch B., *Podstawy obróbki skrawaniem*, Wyd. Uczelniane Pol. Koszalińskiej, 2001