



MINISTERSTWO EDUKACJI  
i NAUKI



**Janusz Górny**

**Wykonywanie części maszyn w procesach obróbki  
skrawaniem  
311[20].Z1.02**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy,  
Radom 2005**

Recenzenci:

mgr inż. Sławomir Jędrzejowski

mgr inż. Jan Stanisław Kawiński

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr inż. Zbigniew Kramek

Korekta:

mgr Edyta Koziół

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[20].Z1.02 Wykonywanie części maszyn w procesach obróbki skrawaniem zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik mechanik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	4
<b>3. Cele kształcenia</b>	5
<b>4. Materiał nauczania</b>	6
<b>4.1. Podstawy obróbki skrawaniem: geometria ostrza skrawającego, zjawiska towarzyszące procesowi skrawania, parametry skrawania, siły i moc skrawania</b>	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	29
4.1.3. Ćwiczenia	29
4.1.4. Sprawdzian postępów	30
<b>4.2. Klasyfikacja, układy konstrukcyjne i kinematyczne obrabiarki</b>	31
4.2.1. Materiał nauczania	31
4.2.2. Pytania sprawdzające	34
4.2.3. Ćwiczenia	35
4.2.4. Sprawdzian postępów	36
<b>4.3. Toczenie: noże tokarskie, tokarki, mocowanie przedmiotów obrabianych, prace wykonywane na tokarkach</b>	37
4.3.1. Materiał nauczania	37
4.3.2. Pytania sprawdzające	44
4.3.3. Ćwiczenia	44
4.3.4. Sprawdzian postępów	45
<b>4.4. Wiercenie: narzędzia do obróbki otworów, wiertarki, prace wykonywane na wiertarkach</b>	46
4.4.1. Materiał nauczania	46
4.4.2. Pytania sprawdzające	49
4.4.3. Ćwiczenia	50
4.4.4. Sprawdzian postępów	51
<b>4.5. Frezowanie: odmiany frezowania, narzędzia do frezowania, frezarki, prace wykonywane na frezarkach</b>	52
4.5.1. Materiał nauczania	52
4.5.2. Pytania sprawdzające	57
4.5.3. Ćwiczenia	57
4.5.4. Sprawdzian postępów	59
<b>4.6. Szlifowanie: narzędzia do szlifowania, odmiany szlifowania prace wykonywane na szlifierkach</b>	60
4.6.1. Materiał nauczania	60
4.6.2. Pytania sprawdzające	65
4.6.3. Ćwiczenia	65
4.6.4. Sprawdzian postępów	66
<b>4.7. Obrabiarki CNC</b>	67
4.7.1. Materiał nauczania	67
4.7.2. Pytania sprawdzające	76
4.7.3. Ćwiczenia	76
4.7.4. Sprawdzian postępów	77
<b>4.8. Przepisy bhp, ochrony ppoż. i ochrony środowiska podczas obróbki skrawaniem</b>	78
4.8.1. Materiał nauczania	78
4.8.2. Pytania sprawdzające	82
4.8.3. Ćwiczenia	83
<b>4.9. Sprawdzian postępów</b>	84
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	85
<b>6. Literatura</b>	91

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik, który Ci przekazujemy wzbogacić Twoją wiedzę oraz ukształtować umiejętności z zakresu wykonywania części maszyn w procesach obróbki skrawaniem.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, czyli wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia, czyli wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas nauki tej jednostki modułowej,
- materiał nauczania – podstawowe informacje niezbędne do opanowania treści jednostki modułowej,
- pytania sprawdzające – odpowiadając na nie sam sprawdzisz siebie czy możesz przystąpić do wykonywania ćwiczeń,
- ćwiczenia pomogą Ci utrwalić wiedzę oraz ukształtować umiejętności,
- sprawdzian osiągnięć - przykładowy zestaw zadań . Pozytywny wynik sprawdzianu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas lekcji i że nabyłeś wiedzę i umiejętności z zakresu tej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą,
- sprawdzian postępów –upewni Cię, czy zrozumiałeś poszczególne partie materiału nauczania,

Z rozdziałem Pytania sprawdzające możesz zapoznać się:

- przed przystąpieniem do rozdziału Materiał nauczania – poznając przy tej okazji wymagania wynikające z zawodu, a po przyswojeniu wskazanych treści, odpowiadając na te pytania sprawdzisz stan swojej gotowości do wykonywania ćwiczeń,
- po zapoznaniu się z rozdziałem Materiał nauczania, by sprawdzić stan swojej wiedzy, która będzie Ci potrzebna do wykonywania ćwiczeń.

Po wykonaniu zaplanowanych ćwiczeń, sprawdź poziom swoich postępów wykonując Sprawdzian postępów.

W tym celu:

- przeczytaj pytania i odpowiedz na nie,
- podaj odpowiedź wstawiając X w podane miejsce,
  - wpisz TAK jeśli umiesz odpowiedzieć na pytania,
  - wpisz NIE jeśli nie rozumiesz lub nie znasz odpowiedzi.

Odpowiedzi NIE wskazują braki w Twojej wiedzy, informują Cię również, jakich zagadnień jeszcze dobrze nie poznałeś. Oznacza to także powrót do treści, które nie są dostatecznie opanowane.

Poznanie przez Ciebie wszystkich lub określonej części wiadomości będzie stanowiło dla nauczyciela podstawę przeprowadzenia sprawdzianu poziomu przyswojonych wiadomości i ukształtowanych umiejętności. W tym celu nauczyciel posłuży się zadaniami testowymi.

W rozdziale 5 tego poradnika jest zamieszczony przykładowy test, zawiera on:

- instrukcję, w której omówiono tok postępowania podczas przeprowadzania sprawdzianu, przykładową kartę odpowiedzi, w której, zakreśl poprawne rozwiązania do poszczególnych zadań.

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinieneś umieć:

- stosować jednostki układu SI,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu fizyki, takimi jak: masa, siła, prędkość, energia, napięcie, natężenie prądu,
- obsługiwać komputer na poziomie podstawowym,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- selekcjonować, porządkować i przechowywać informacje,
- dokumentować, notować informacje,
- posługiwać się kalkulatorem,
- interpretować związki wyrażone za pomocą wzorów, wykresów, schematów, diagramów, tabel,
- dostrzegać i opisywać związki między naturalnymi składnikami środowiska, człowiekiem i jego działalnością,
- oceniać własne możliwości sprostania wymaganiom stanowiska pracy i wybranego zawodu,
- rozróżnić podstawowe sposoby maszynowej obróbki wiórowej,
- zastosować przepisy bhp, ochrony ppoż. i ochrony środowiska podczas wykonywania pracy,
- posłużyć się dokumentacją techniczną, DTR, PN, instrukcjami obsługi,
- przygotować stanowisko do wykonywanej pracy.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- sklasyfikować obróbkę skrawaniem,
- wyjaśnić geometrię ostrza narzędzia skrawającego,
- scharakteryzować zjawiska towarzyszące procesowi skrawania,
- dobrać parametry skrawania,
- obliczyć moc skrawania,
- sklasyfikować obrabiarki,
- wyjaśnić działanie głównych zespołów obrabiarki,
- sklasyfikować narzędzia skrawające,
- przygotować stanowisko do wykonania pracy na tokarce; wiertarce, frezarce, szlifierce,
- zamocować narzędzie i obrabiany przedmiot,
- ustawić parametry skrawania
- wykonać operacje: toczenia, wiercenia, frezowania i szlifowania,
- wykonać element z wykorzystaniem operacji toczenia, wiercenia, frezowania i szlifowania,
- wykonać element na obrabiarce CNC,
- skorzystać z instrukcji obsługi obrabiarki,
- skorzystać z Dokumentacji Techniczno-Ruchowej obrabiarki,
- zastosować przepisy bhp, ochrony ppoż. i ochrony środowiska obowiązujące na stanowisku pracy.

## **4. MATERIAŁ NAUCZANIA**

### **4.1. Podstawy obróbki skrawaniem: geometria ostrza skrawającego, zjawiska towarzyszące procesowi skrawania, parametry skrawania, siły i moc skrawania**

#### **4.1.1. Materiał nauczania**

##### **Rodzaje obróbki skrawaniem**

W zależności od stopnia zmechanizowania rozróżniamy;

- obróbkę ręczną narzędziami, których ruch główny oraz posuwowy są dokonywane przy pomocy mięśni ludzkich,
- obróbkę ręczną narzędziami z napędem mechanicznym, tj. obróbkę, w której ruch główny ma napęd mechaniczny, a posuw jest dokonywany przy pomocy mięśni ludzkich,
- obróbkę maszynową, w której ruch główny i posuwowy mają napęd mechaniczny.

Zależnie od sposobu kształtowania powierzchni obrabianej rozróżniamy: obróbkę zwykłą, kształtową i obwiedniową.

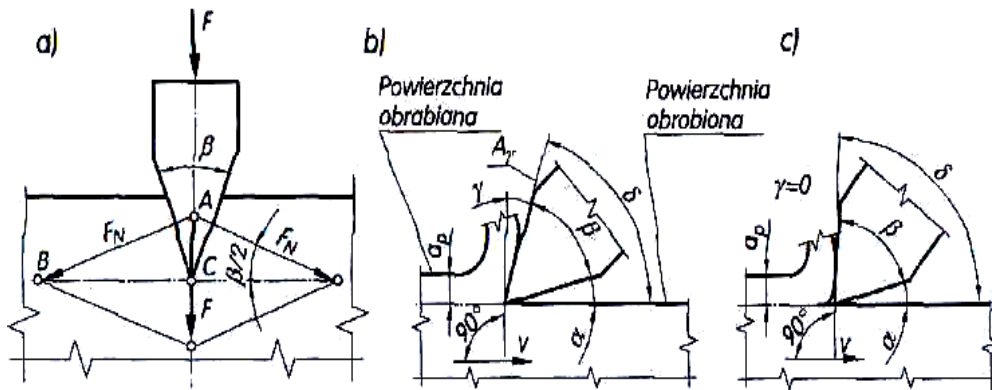
W obróbce zwykłej ani wymiar, ani kształt powierzchni obrobionej na ogół nie *zależą* od kształtu i wymiaru narzędzia. Szczególnym przypadkiem obróbki zwykłej, w której ta ogólna zasada nie znajduje zastosowania, jest obróbka narzędziami wiertarskimi (wymiar otworu zależy od wymiaru narzędzia).

W obróbce kształtowej narzędziami kształtowymi kształt powierzchni obrobionej uzyskujemy w wyniku odwzorowania zarysu części roboczej narzędzia. Wymiary powierzchni obrobionej zależą w tym przypadku od dokładności wykonania zarysu narzędzia, a także od jego ustawienia.

Podczas obróbki obwiedniowej kształt powierzchni obrobionej zależy od kształtu zarysu krawędzi skrawającej narzędzia oraz jest wynikiem wzajemnych ruchów (tzw. odtaczania) narzędzia i części obrabianej. Wymiary powierzchni obrobionej zależą w tym przypadku również od wzajemnego ustawienia j narzędzia i części obrabianej oraz ich ruchów.

##### **Geometria ostrzy narzędzi skrawających**

Geometria narzędzi do obróbki skrawaniem oraz do rozdzielania materiału, jak również do obróbki ścierniej wykorzystuje zasadę działania klina. Krawędź utworzona z przecięcia się powierzchni bocznych klina nazywa się krawędzią tnącą lub skrawającą. Krawędź ta, wraz z przylegającymi fragmentami powierzchni, ograniczających klin o ukształtowanej celowo geometrii, stanowi ostrze narzędzia (rys.1).



**Rys. 1.** Kształt ostrzy narzędzi do oddzielania materiału: a) symetryczny klin, b) klin z dodatnim kątem natarcia, c) klin z zerowym kątem natarcia  
 Źródło: Dudik K., Górski E.: *Poradnik tokarza*. WNT, Warszawa 2000

Geometrią ostrza nazywa się kąty i długości określające kształt i wymiary części roboczej narzędzia. Siła  $F$  działająca wzdłuż osi klina rozkłada się na składowe  $F_N$ , prostopadłe do powierzchni bocznych, których wartość zależy od wartości siły czynnej  $F$  i kąta rozwarcia klina  $\beta$ .

$$F_N = \frac{F}{2 \sin \frac{\beta}{2}}$$

Zmniejszanie kąta  $\beta$  przy stałej wartości siły czynnej  $F$  wpływa na wzrost wartości sił nacisku jego bocznych ścianek na rozdzielany materiał, co z kolei powoduje wzrost sił tarcia materiału o powierzchnie boczne klina. Siły tarcia są siłami oporu, które zależą w tym przypadku od kształtu powierzchni ostrza klina i współczynnika tarcia między klinem i materiałem. Zmniejszając kąt  $\beta$  klina przy tej samej wartości siły  $F$ , można pokonać większe opory przeciwko siłom skrawania. Praktycznie kąt  $\beta$  nie może być zbyt mały z uwagi na to, że narzędzie musi mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Kąt  $\beta$  rozwarcia klina nazywa się kątem ostrza.

W odróżnieniu od narzędzi do przecinania narzędzia skrawające mają również ostrza w postaci klina (lub zbioru klinów elementarnych) usytuowanego tak (względem kierunku ruchu), że podczas skrawania jedna z powierzchni ograniczających zarys klina nie styka się z powierzchnią materiału obrobionego.

Powierzchnia zewnętrzna przedmiotu, z której jest zdejmowany naddatek jest powierzchnią obrabianą. Powierzchnia przedmiotu powstała po oddzieleniu nadmiaru materiału przez ostrze narzędzia nazywa się powierzchnią obrobioną.

Powierzchnia narzędzia ograniczająca ostrze od strony powierzchni obrobionej nazywa się powierzchnią przyłożenia. Powierzchnia przyłożenia tworzy zawsze z powierzchnią obrobioną kąt przyłożenia  $\alpha$ , który powinien mieć zawsze wartość większą od zera (min.  $2 \div 3^\circ$ ; rys. 1 b, c).

Celem takiego kształtowania geometrii ostrza jest zabezpieczenie przed zniszczeniem struktury geometrycznej powierzchni i utratą dokładności wymiarowo-kształtowej, uzyskanej w procesie skrawania.



Właściwy kąt przyłożenia zabezpiecza również ostrze przed występowaniem dodatkowych drgań ostrza i ogranicza wzrost oporów skrawania, które mogą się pojawić w przypadku wystąpienia zerowego lub ujemnego kąta przyłożenia, wskutek nadmiernego starcia narzędzia lub nieprawidłowo ukształtowanej powierzchni przyłożenia.

Powierzchnia klina ograniczająca ostrze od strony styku z materiałem oddzielanego nadkładu (po której spływa wiór) nazywa się powierzchnią natarcia. Kąt zawarty między płaszczyzną prostopadłą do kierunku ruchu  $v_c$  narzędzia, a powierzchnią natarcia nazywa się kątem natarcia  $\gamma$  (rys. 1 b, c).

Kąty: przyłożenia  $\alpha$ , ostrza  $\beta$  (rozwarcia klina) i natarcia  $\gamma$  tworzą w przekroju dowolną płaszczyzną odniesienia relację:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \text{ oraz } \alpha + \beta = \delta,$$

gdzie:  $\delta$  - kąt skrawania.

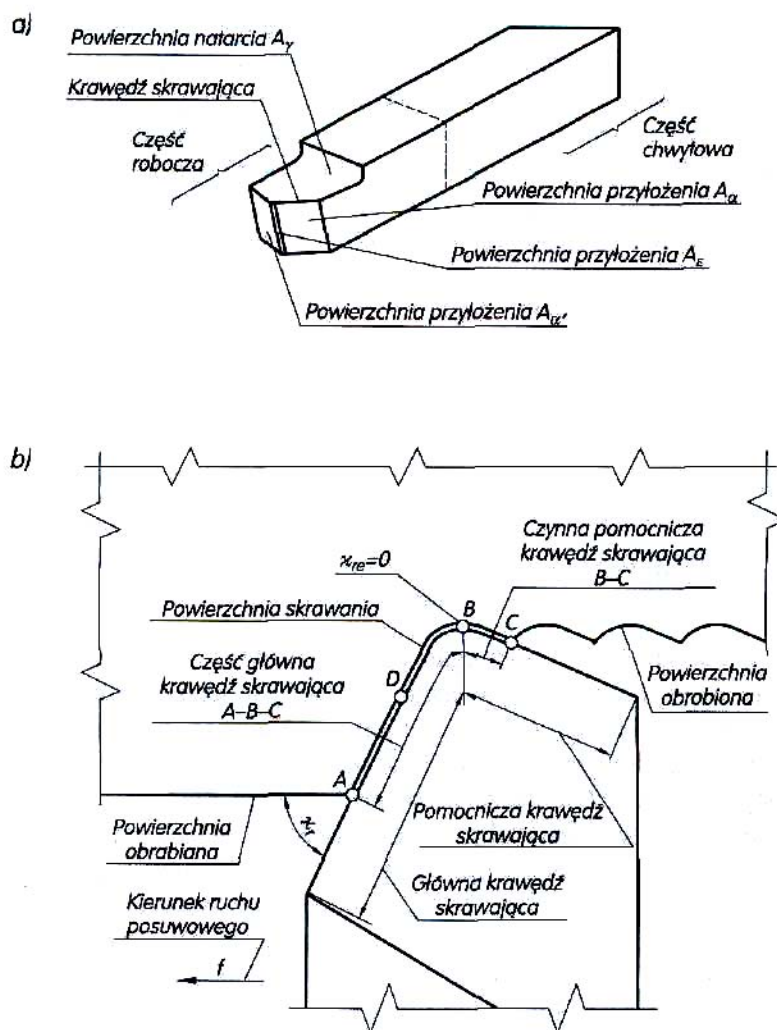
Kąt natarcia w zależności od wymagań jakości struktury geometrycznej powierzchni, warunków skrawania i własności warstwy wierzchniej może przyjmować wartość: dodatnią, zerową i ujemną. Wartość kąta natarcia wpływa w znacznym stopniu na wartość siły skrawania, wartość i rozkład odkształceń plastycznych oraz temperatur w strefie skrawania, postać wiórów, itp. Strefa skrawania obejmuje obszar odkształconej plastycznie i sprężycie warstwy skrawania o grubości  $a_p$  w wyniku oddziaływania ostrza narzędzia.

Kształt ostrzy narzędzi skrawających, rozpatrywany jest jako kształt brył geometrycznych, które są wyznaczane z uwzględnieniem kierunku ruchu głównego i posuwowego w odpowiednim zespole płaszczyzn tworzących układ narzędzia.

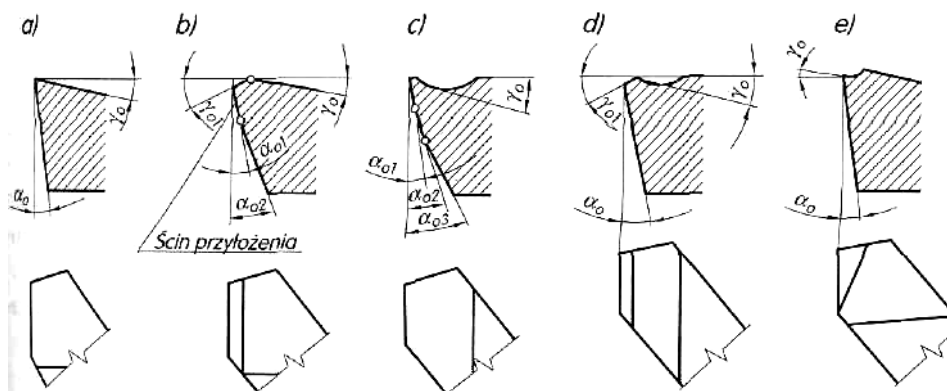
Każde narzędzie składa się z części chwytowej i części roboczej (skrawającej). Część chwytowa służy do zamocowania narzędzia w obrabiarce w przypadku obróbki mechanicznej, w obróbce ręcznej służy na ogół do trzymania w ręce. Typowe części chwytowe są najczęściej wykonywane z materiału innego niż część robocza, np. ze stali 55 niestopowej ulepszonej cieplnie. Części robocze są wykonywane z materiałów narzędziowych. W zależności od rodzaju obróbki i przeznaczenia narzędzia mogą być jednoostrzowe (noże tokarskie) lub wieloostrzowe (frezy, przeciągacze, rozwiertaki, piłki, tarcze ściernie).

Część skrawająca narzędzia może być utworzona z klina o stałej geometrii lub może być zbiorem klinów elementarnych o zmiennej geometrii, tworzących całość. Krawędź skrawająca może być ostra lub zaokrąglona małym promieniem o odpowiedniej wartości (np. płytki wymienne z węglików spiekanych). Krawędzie skrawające mogą być prostoliniowe lub mogą mieć złożone kształty (rys. 2). Powierzchnia części roboczej zawierająca pomocniczą krawędź skrawającą nazywa się pomocniczą powierzchnią przyłożenia. Jeżeli między powierzchnią przyłożenia a powierzchnią pomocniczą przyłożenia znajduje się jeszcze jedna (lub więcej) powierzchnia, to powierzchnię tę nazywa się przejściową powierzchnią przyłożenia.

Ukształtowanie powierzchni natarcia i przyłożenia może przybierać różne formy geometryczne (rys. 3). Wierzchołek noża (naroże) jest utworzony przez przecięcie się powierzchni natarcia z występującymi w danej części skrawającej ostrza powierzchniami przyłożenia określonego rodzaju. Zarys geometryczny wierzchołka ma wpływ na parametry struktury geometrycznej powierzchni (rys. 1 b).



Rys. 2. Elementy geometrii ostrza: a) powierzchnie, b) elementy związane z krawędzią skrawającą  
 Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000



Rys. 3. Ukształtowanie powierzchni: natarcia - a) płaska, b) płaska ze ścinem, c) wklęsła, d) wklęsła ze ścinem, e) schodkowa; przyłożenia - a), d) i e) bezścinowa, b) ścinowa, c) dwuścianowa  
 Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

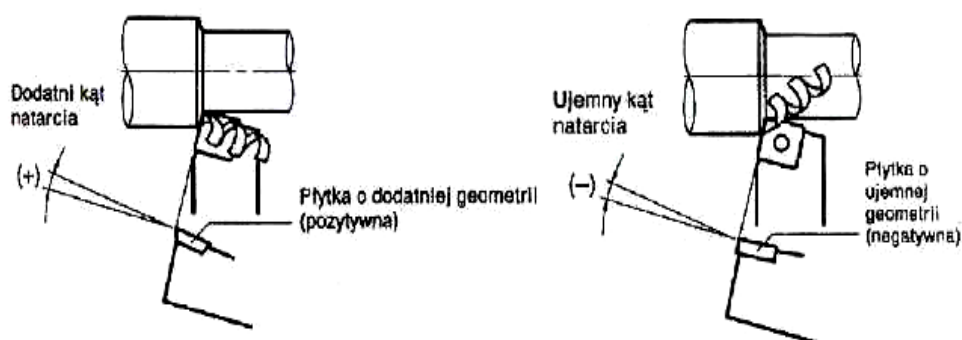
## Geometria ostrza i jej wpływ na obróbkę

### Kąt natarcia ( $\gamma$ )

Kąt natarcia ma duży wpływ na opór skrawania, formowanie wióra, temperaturę skrawania oraz trwałość narzędzia. Zwiększenie kąta natarcia w kierunku dodatnim (+) poprawia ostrość krawędzi skrawającej, lecz powoduje obniżenie jej wytrzymałości. Z kolei zwiększenie kąta natarcia w kierunku ujemnym (-) powoduje zwiększenie oporu skrawania.

Kąt natarcia należy zwiększyć w kierunku ujemnym dla materiałów twardych oraz w przypadku, gdy wymagana jest podwyższona wytrzymałość krawędzi skrawającej, np. przy obróbce przerywanej i skórowaniu surowych powierzchni.

Zwiększenie kąta natarcia w kierunku dodatnim stosuje się dla materiałów miękkich i łatwo obrabialnych oraz, gdy przedmiot obrabiany lub obrabiarka mają małą sztywność.



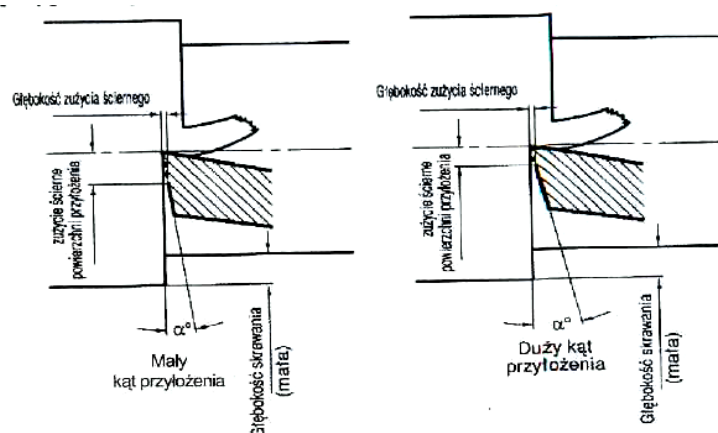
Rys. 4. Kąt natarcia

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

### Kąt przyłożenia ( $\alpha$ )

Kąt przyłożenia zapobiega tarcia powierzchni przyłożenia o powierzchnię przedmiotu obrabianego. Zwiększenie kąta przyłożenia powoduje zmniejszenie zużycia ściernego na powierzchni przyłożenia, przy równoczesnym obniżeniu trwałości krawędzi skrawającej. Kąt przyłożenia należy zmniejszyć dla materiałów twardych oraz, gdy krawędź skrawająca musi mieć wysoką wytrzymałość.

Zwiększenie kąta przyłożenia zaleca się dla materiałów miękkich oraz w przypadku, gdy materiał obrabiany utwardza się przez zgniot.



Rys. 5. Zależność zużycia powierzchni przyłożenia od kąta przyłożenia

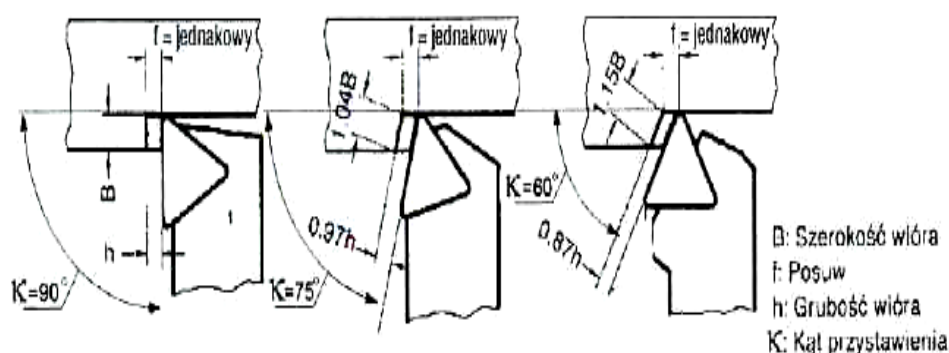
Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

### Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej $\chi$

Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej i kąt naroża powodują obniżenie obciążeń uderowych i mają wpływ na siłę odporu i grubość wióra.

Przy tym samym posuwie zmniejszenie kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej powoduje zwiększenie długości styku krawędzi skrawającej narzędzia i zmniejszenie grubości wióra. W rezultacie siła skrawania jest rozłożona na krawędzi skrawającej o większej długości, co zwiększa trwałość narzędzia. Ponadto im mniejszy jest kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej, tym mniejsze jest zwijanie wióra.

Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej należy zwiększyć w przypadku obróbki wykańczającej z małą głębokością skrawania, gdy przedmiot obrabiany jest cienki i długi oraz, gdy obrabiarka ma małą sztywność. Zmniejszenie kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej zaleca się podczas obróbki twardych materiałów, kiedy wytwarza się wysoka temperatura, oraz podczas obróbki zgrubnej przedmiotu o dużej średnicy.

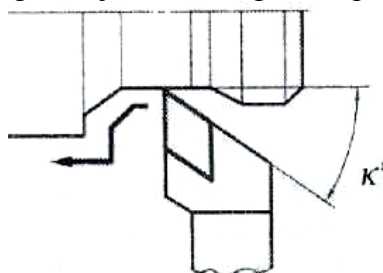


Rys. 6. Wpływ kąta przystawienia głównej krawędzi skrawającej na przekrój warstwy skrawanej

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

### Kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej

Kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej zapobiega zużyciu narzędzia i wynosi zwykle  $5^\circ$ - $15^\circ$ . Zmniejszenie tego kąta powoduje zwiększenie wytrzymałości krawędzi skrawającej, ale jednocześnie zwiększenie jej temperatury. Im mniejszy kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej, tym większa siła reakcji, co może powodować karbowanie powierzchni i drgania podczas obróbki. Zaleca się stosowanie małego kąta podczas obróbki zgrubnej, a większego kąta podczas obróbki wykańczającej.



Rys. 7. Kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

### Pochylenie krawędzi skrawającej

Pochylenie krawędzi skrawającej oznacza pochylenie powierzchni natarcia. Podczas obróbki ciężkiej na początku krawędź skrawająca podlega bardzo dużym obciążeniom. Pochylenie krawędzi skrawającej zapobiega tym obciążeniom i pęknięciu narzędzia. Zalecany kąt pochylenia podczas toczenia wzdłużnego wynosi  $3^{\circ}$ - $5^{\circ}$ , a podczas toczenia poprzecznego  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ .



**Rys. 8.** Pochylenie krawędzi skrawającej

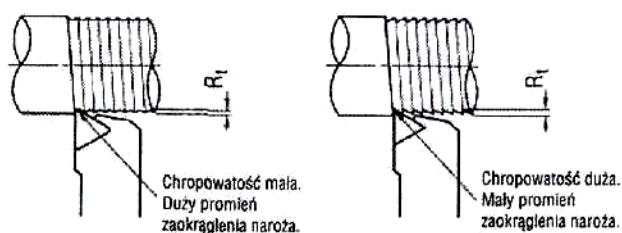
Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

Ujemny kąt pochylenia krawędzi skrawającej powoduje spływ wióra w kierunku przedmiotu obrabianego, a dodatni w kierunku przeciwnym.

Ponadto ujemny kąt pochylenia powoduje zwiększenie wytrzymałości krawędzi skrawającej, ale jednocześnie zwiększenie oporów skrawania. Stwarza to dogodne warunki do wystąpienia karbowania.

### Promień zaokrąglenia naroża

Promień zaokrąglenia naroża wpływa na trwałość krawędzi skrawającej i jakość powierzchni po obróbce (rys. 9). Ogólnie zalecany promień zaokrąglenia naroża wynosi 2 - 3-krotność posuwu.



**Rys. 9.** Wpływ promienia naroża na uzyskiwaną chropowatość powierzchni

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

Na rysunku powyżej widać, że im większy promień zaokrąglenia naroża, tym niższa chropowatość powierzchni po obróbce.

Uzyskiwana chropowatość kształtuje się według wzoru:

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon},$$

gdzie:  $R_t$  – wysokość chropowatości,

$f$  – posuw,

$r_\epsilon$  – promień naroża.

Zwiększenie promienia zaokrąglenia naroża powoduje zwiększenie trwałości krawędzi skrawającej, lecz powoduje także wzrost oporów skrawania i karbowanie powierzchni po obróbce.

## Parametry obróbki

1. Na podstawie danych uzyskanych z procesu technologicznego i rysunku przedmiotu obrobionego, należy zminimalizować ilość przejść zgrubnych przyjmując możliwie dużą głębokość skrawania.

2. Następnie w zależności od wymaganej dokładności obróbki i chropowatości powierzchni uwzględniając możliwości obrabiarki dobrać jak największy posuw.

3. Przy założonym okresie trwałości ostrza dobieramy z nomogramów, tablic parametrów skrawania lub wyliczamy na podstawie wzorów szybkość skrawania.

Dobierając warunki skrawania dla obrabiarek CNC, należy uwzględnić:

- wysoki koszt maszynogodziny, który powoduje, że ekonomiczny okres trwałości ostrza znacznie jest zmniejszany przez dobór wyższych parametrów skrawania,
- obróbkę wielonarzędziową, która w warunkach produkcji małoseryjnej zmusza do takiego doboru parametrów skrawania – okresu trwałości narzędzia, aby wymieniać narzędzie dopiero po zrealizowaniu zadania produkcyjnego.

## Geometryczne parametry skrawania

Grubość  $h_{dz}$  warstwy skrawanej jednym ostrzem wynosi:

$$h_{dz} = f_z \cdot \sin x_r \quad [mm],$$

gdzie:

$x_r$  - połowa kąta wierzchołkowego narzędzia wieloostrzowego,

$f$  - posuw na jedno ostrze.

Szerokość  $b_D$  warstwy skrawanej wynosi:

- w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$b_D = \frac{d}{2} \cdot \sin x_r \quad [mm],$$

- w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania

$$b_D = \frac{(d - d_1)}{2} \cdot \sin x_r \quad [mm].$$

Pole powierzchni przekroju warstwy skrawanej jednym ostrzem wynosi:

- w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$A_{Dz} = h_{Dz} \cdot b_D = d \cdot \frac{f}{2} \cdot z \quad [mm],$$

- w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania

$$A_{Dz} = h_{Dz} \cdot b_D = (d - d_1) \cdot \frac{f}{2} \cdot z \quad [mm].$$

Całkowita powierzchnia przekroju warstwy skrawanej wynosi:

- w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$A_D = d \cdot \frac{f}{2} \quad [mm],$$

- w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania

$$A_D = (d - d_1) \cdot \frac{f}{2} \quad [mm].$$

## Technologiczne parametry skrawania

Do technologicznych parametrów skrawania zalicza się: prędkość skrawania, posuw i głębokość skrawania.

**Prędkość skrawania**  $v_c$  przy obróbce narzędziem wieloostrowym jest to prędkość obwodowa punktu krawędzi skrawającej położonego na maksymalnej odległości od osi obrotu. Prędkość skrawania jest zależna od średnicy narzędzia  $d$  oraz jego prędkości obrotowej  $n$ . Dobiera się w zależności od rodzaju obróbki, materiału narzędzia i materiału obrabianego.

$$v_c = \frac{(\pi \cdot d \cdot n)}{1000} \quad mm.$$

**Posuwem**  $f$  nazywamy zazwyczaj przesunięcie narzędzia wzdłuż osi przypadające na jeden obrót i mierzone w mm/obr. Natomiast posuw przypadający na jedno ostrze określa zależność

$$f_z = \frac{f}{Z} \quad \frac{mm}{ostrze}.$$

$Z$ - ilość ostrzy

Podczas obróbki materiał jest skrawany jednocześnie przez wszystkie krawędzie skrawające narzędzia. Głębokość skrawania podczas wiercenia w pełnym materiale wynosi

$$a_p = \frac{d}{2},$$

gdzie:  $d$  - średnica otworu

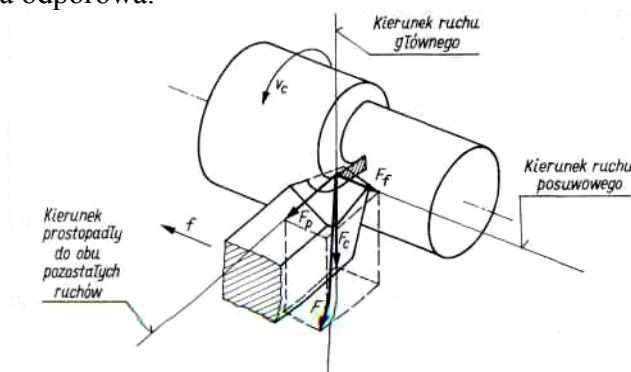
Przy wierceniu wtórnym otworów, pogłębianiu czołowym, pogłębianiu stożkowym i rozwiercaniu:

$$a_p = \frac{(d - d_1)}{2} \text{ mm},$$

gdzie:  $d$  - końcowa średnica otworu,  
 $d_1$  - początkowa średnica otworu.

## Siły i moc skrawania

Przy toczeniu wzdłużnym całkowitą siłę  $F$ , wywieraną przez materiał skrawany na ostrze noża tokarskiego (rys. 10), rozkłada się na trzy siły składowe przez jej rzutowanie na trzy wzajemnie prostopadłe kierunki. Siłami tymi są:  $F_c$  – główna siła skrawania,  $F_f$  - siła posuwowa,  $F_p$  - siła odporowa.



**Rys. 10.** Rozkład sił przy toczeniu wzdłużnym

Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993

Całkowitą siłę  $F$  można wyrazić wzorem:

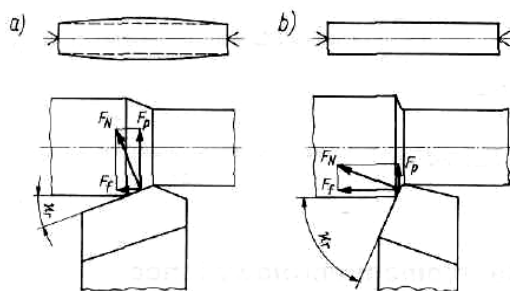
$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}.$$

Najczęściej w przypadku toczenia wzdłużnego występują następujące zależności:

$$F_p = (0,3 \div 0,6)F_c,$$

$$F_f = (0,15 \div 0,4)F_c.$$

Siły oddziaływania noża tokarskiego na przedmiot obrabiany są skierowane przeciwnie i mają wpływ na dokładność obróbki. Największy wpływ ma siła odporowa  $F_p$ , co pokazano na przykładzie toczonych wałków (rys. 11).



**Rys. 11.** Siły oddziaływania noża na toczony wałek

Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993



Przy małym kącie  $K_r$  przystawienia głównej krawędzi skrawającej (rys. 11a) siła  $F_N$  prostopadła do tej krawędzi rozkłada się na dużą siłę odporową  $F_p$  i małą siłę posuwową  $F_f$ , przez co występuje duże odginanie toczonego wałka i w przypadku jego małej sztywności odchyłka kształtu (beczkowatość) po obróbce jest znaczna.

Przy dużym kącie  $K_r$  (rys. 11b) siła  $F_p$  jest odpowiednio mniejsza i dlatego odchyłka kształtu wałka po obróbce też jest mniejsza.

### Obliczanie sił skrawania -przykład

Rozróżnia się przybliżone i dokładne metody obliczania sił skrawania przy toczeniu. Przybliżoną wartość siły skrawania  $F_c$  można obliczyć ze wzoru:

$$F_c = k_c A_D N,$$

gdzie:  $k_c$  - siła skrawania przypadająca na jednostkę powierzchni warstwy skrawanej (opór właściwy skrawania) w  $N/mm^2$ ,

$A_D$  - pole powierzchni nominalnego przekroju poprzecznego warstwy skrawanej w  $mm^2$ .

Pole  $A_D$  oblicza się ze wzoru:

$$A_D = f a_p,$$

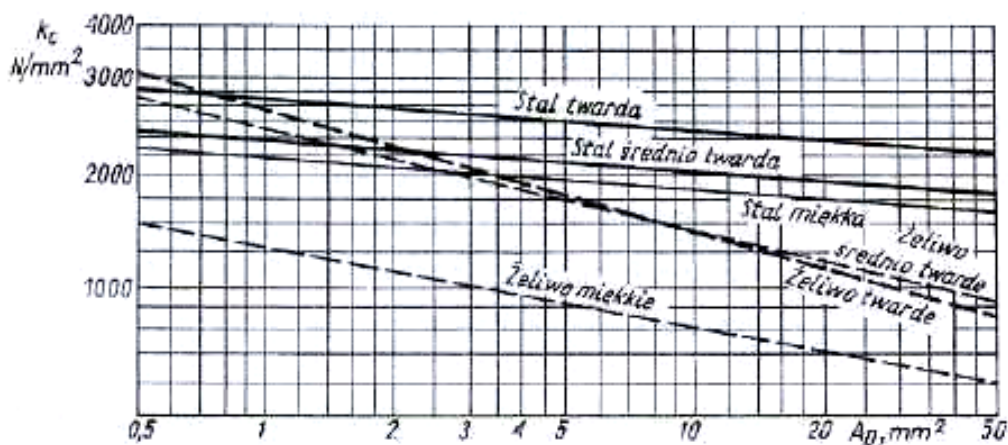
gdzie:  $f$  - posuw noża na jeden obrót przedmiotu obrabianego w mm,

$a_p$  - strefa czynna krawędzi skrawającej wgłębna (głębokość skrawania) w mm.

Wartość  $k_c$  można ustalić na podstawie wykresu zamieszczonego na rys. 12. Z wykresu tego wynika, że ze wzrostem pola  $A_D$  wartość  $k_c$  maleje.

We wzorze nie uwzględniono kształtu pola powierzchni przekroju  $A_D$ , co jest istotną wadą tej zależności. Na przykład przy dwukrotnie większym posuwie  $f$  i dwukrotnie mniejszej strefie czynnej  $a_p$  pole  $A_D$  nie ulegnie zmianie i obliczona na podstawie tego wzoru siła skrawania  $F_c$  będzie taka sama.

W rzeczywistości siła ta będzie mniejsza, ponieważ zwiększenie posuwu powoduje wzrost grubości warstwy skrawanej, co w mniejszym stopniu wpływa na zwiększenie siły skrawania niż zmniejszenie strefy czynnej.



**Rys. 12.** Wartości siły skrawania  $K_c$  na jednostkę powierzchni warstwy skrawanej

Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993

Z tego względu przybliżoną, lecz dokładniejszą wartość siły  $F_c$  można obliczyć ze wzoru

$$F_c = k'_c f a_p N$$

gdzie  $k'$  - jednostkowa siła skrawania zależna od posuwu  $f$ . Wartości  $k'_c$  podano w tabl. 1

**Tabela 1.** wartość  $k'_c$  przy toczeniu Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993

Materiał obrabiany	Właściwości materiału		Opór właściwy $k'_c$ , N/mm <sup>2</sup> w zależności od posuwu, mm/obr			
	Wytrzymałość $R_m$ , MPa	Twardość $HB$	0,1	0,2	0,4	0,8
Stal węglowa	do 500	–	3600	2600	1900	1360
	500 ÷ 600	–	4000	2900	2100	1520
	600 ÷ 700	–	4200	3000	2200	1560
	700 ÷ 850	–	4400	3150	2300	1640
Staliwo	850 ÷ 1000	–	4600	3300	2400	1720
	300 ÷ 500	–	3200	2300	1700	1240
	500 ÷ 700	–	3600	2600	1900	1360
	ponad 700	–	3900	2850	2050	1500
Stal stopowa	750 ÷ 850	–	4700	3400	2450	1760
	850 ÷ 1000	–	5000	3600	2600	1850
	1000 ÷ 1400	–	5300	3800	2750	2000
	1400 ÷ 1800	–	5700	4100	3000	2150
Stal nierdzewna	600 ÷ 700	–	5200	3750	2700	1920
Stal narzędziowa	1500 ÷ 1800	–	5700	4100	3000	2150
Stal manganowa, twarda	–	–	6600	4800	3500	2520
Żeliwo szare	–	do 200	1900	1360	1000	720
	–	200 ÷ 250	2900	2080	1500	1080
Żeliwo stopowe	–	250 ÷ 400	3200	2300	1700	1200
Żeliwo ciągliwe	–	–	2400	1750	1250	920
Żeliwo białe	–	–	3600	2600	1900	1360
Miedź	–	–	2100	1520	1100	800
Mosiądz	–	80 ÷ 120	1600	1150	850	600
Brąz	–	–	1400	1000	700	520
Aluminium	–	–	1050	760	550	400
Silumin	–	–	1400	1000	700	520
Stopy magnezu	–	–	580	420	300	220
Twarda guma, ebonit, masy plastyczne	–	–	480	350	250	180

Dokładne wartości siły skrawania  $F_c$  oraz pozostałych sił składowych  $F_p$  i  $F_f$  przy toczeniu oblicza się na podstawie szczegółowych wzorów dla każdej siły składowej. Wzory te zawierają bardzo dużą liczbę współczynników poprawkowych, uwzględniających wszystkie czynniki mające wpływ na obliczanie wartości tych sił.

Korzystanie z tych wzorów jest uciążliwe głównie z uwagi na konieczność odnajdywania współczynników poprawkowych w licznych tablicach. Dlatego wzory te zostały tu pominięte.

**Tabela 2.** Wartości stałej  $C_c$  oraz wykładników potęgowych  $e_c$  i  $u_c$  do wzoru Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993

Materiał obrabiany	$R_m$ , MPa	HB	$C_c$	$e_c$	$u_c$
Stal węglowa	350	–	1440	1,0	0,78
	450	–	1550		
	550	–	1650		
	650	–	1800		
	750	–	1930		
	850	–	2050		
Stal chromowa i chromoniklowa	550	–	1820	1,0	0,78
	650	–	1980		
	750	–	2120		
	850	–	2260		
	950	–	2390		
	1050	–	2510		
Żeliwo	–	155	1000	1,0	0,73
	–	170	1070		
	–	190	1150		
	–	210	1200		
Żeliwo ciągliwe	–	110	1100	1,0	0,75
	–	130	1220		
	–	150	1310		
	–	170	1410		
	–	190	1500		
Brąz	do 300	–	800	1,0	0,73
	pow. 300	–	1000		
Mosiądz	220÷360	–	700	1,0	0,78
	360÷480	–	850		
Aluminium	–	60÷80	400	1,0	0,80
	–	80÷100	600		

Wystarczająco dokładne wartości siły skrawania  $F_c$  otrzymuje się przy zastosowaniu wzoru:

$$F_c = C_c a_p^{ec} f^{uc} K_{KC} K_{rc} K_{\gamma c} K_{cc} N,$$

gdzie:  $C_c$ ,  $e_c$ ,  $u_c$  wielkość stała i wykładniki potęgowe podane w tabl. 2;  $K_{KC}$ ,  $K_{rc}$ ,  $K_{\gamma c}$ ,  $K_{cc}$  współczynniki poprawkowe podane w tabl. 3

Wzór ten dotyczy ostrza noża tokarskiego bez oznak zużycia. Po obliczeniu siły skrawania  $F_c$  można pozostałe siły składowe  $F_p$  i  $F_r$  wyznaczyć na podstawie zależności. Siły te na ogół nie wymagają dokładnego obliczania, ponieważ nie ma ich we wzorze na moc skrawania.

**Tabela 3.** Wartości współczynników poprawkowych do wzoru Źródło: Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993

A. Współczynnik poprawkowy  $K_n$ , uwzględniający wpływ kąta przystawienia

Materiał obrabiany	Kąt przystawienia $\kappa_r$ , °				
	30	45	60	75	90
	Współczynnik $K_{\kappa c}$				
Stale i odlewy stalowe	1,08	1,0	0,98	1,03	1,08
Żeliwa	1,05	1,0	0,96	0,91	0,92

B. Współczynnik poprawkowy  $K_{rc}$ , uwzględniający wpływ promienia zaokrąglenia naroża wierzchołka ostrza

Materiał obrabiany	Promień zaokrąglenia naroża $r_e$ , mm					
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
	Współczynnik $K_{rc}$					
Stale i odlewy staliwne	0,87	0,93	0,97	1,0	1,04	1,10
Żeliwo	0,91	0,95	0,98	1,0	1,03	1,07

C. Współczynnik poprawkowy  $K_{ic}$ , uwzględniający wpływ kąta natarcia

Materiał obrabiany		Kąt natarcia $\gamma_{on}$ , °									
		0	5	7	10	12	15	20	25	30	35
Stal $R_m$ , MPa	Żeliwo $HB$	Współczynnik $K_{\gamma r}$									
do 400	–	–	–	–	–	–	–	1,13	1,06	1,0	0,94
400 ÷ 500	–	–	–	–	–	–	1,13	1,06	1,0	0,94	0,89
500 ÷ 600	–	–	–	–	1,13	1,10	1,06	1,0	0,94	0,89	–
600 ÷ 700	do 150	–	1,13	1,10	1,06	1,04	1,0	0,94	0,89	–	–
700 ÷ 800	150 ÷ 170	–	1,09	1,06	1,04	1,0	0,96	0,91	–	–	–
800 ÷ 900	170 ÷ 190	1,13	1,06	1,03	1,0	0,96	0,94	0,89	–	–	–
900 ÷ 1000	190 ÷ 210	1,09	1,02	1,0	0,98	0,94	0,91	–	–	–	–

D. Współczynnik poprawkowy  $K_a$ , uwzględniający wpływ cieczy chłodząco-smarującej

Ciecz chłodząco-smarująca	Współczynnik $K_a$
Praca na sucho lub z sodą	1,0
Emulsje olejowe	1,0 ÷ 0,97
Olej maszynowy (mineralny)	0,88
Mieszanina oleju mineralnego z roślinnym	0,81 ÷ 0,78
Olej roślinny (rzepakowy, lniany)	0,75 ÷ 0,71

**Obliczanie momentu obrotowego i mocy przy toczeniu**

Moment obrotowy na wrzecionie tokarki oblicza się ze wzoru

$$M = \frac{F_c d}{2 \cdot 1000} [N \cdot m],$$

gdzie  $d$  - średnica przedmiotu obrabianego w miejscu toczenia (skrawania) w mm.

Moc skrawania przy toczeniu wyznacza się z zależności

$$P_c = \frac{F_c v_c}{60000} = \frac{Mn}{9554} [kW].$$

Moc pobieraną przez silnik napędowy wrzeciennika tokarki oblicza się ze wzoru

$$P_s = \frac{P_c}{\eta} [kW],$$

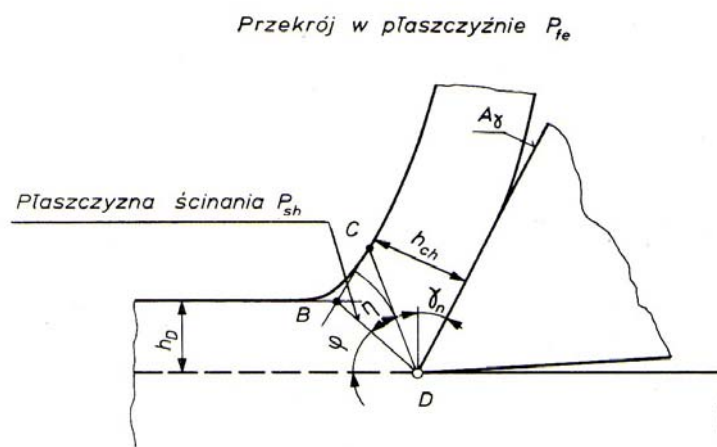
gdzie  $\eta$  - współczynnik sprawności układu napędowego tokarki, przyjmowany ok. 0,75.

## Zjawiska towarzyszące procesowi skrawania

Doświadczalnie stwierdzono, że przebieg tworzenia się wióra jest jednakowy w każdym rodzaju obróbki, tzn. wiór tworzy się w sposób podobny zarówno podczas toczenia, jak frezowania, strugania, itp.

Rozpatrzmy przebieg tworzenia się wióra podczas toczenia poprzecznego (ortogonalnego, tj. gdy kąt  $\chi_{ru} = 90$ ) materiału wykazującego dobrą plastyczność, obserwując miejscową grubość warstwy skrawanej  $h_D$  w płaszczyźnie  $P_{fe}$ . Ostrze noża mające kształt klina pod działaniem siły skrawania  $F$  jest wciskane w materiał obrabiany. Powierzchnia natarcia  $A_\gamma$  ostrza noża wywiera nacisk na materiał obrabiany, powodując oddzielanie się warstwy skrawanej w postaci elementów wióra.

W granicach elementu wióra występują najpierw odkształcenia wykazujące obecność pewnych charakterystycznych linii nachylonych do kierunku ruchu ostrza pod kątem  $\phi + \eta$ . Są to tzw. linie zgniotu, silnie zakrzywione od strony powierzchni natarcia noża w kierunku przeciwnym kierunkowi spływu wióra. Przekształcenie warstwy skrawanej w wiór wywołuje najintensywniejsze odkształcenie na linii DB. Linia DB przedstawiona na rys.13 wyznacza położenie płaszczyzny, w której występują największe naprężenia styczne. Płaszczyzna wyznaczona położeniem linii DB jest nazywana płaszczyzną ścinania (łupania, odrywania, poślizgu) i oznacza się ją symbolem  $P_{sh}$ .



Rys. 13. Płaszczyzna ścinania

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Kąt  $\phi$  wyznaczający położenie płaszczyzny ścinania  $P_{sh}$  jest nazywany kątem ścinania i może być obliczony z zależności:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma_n}{\Lambda_h - \sin \gamma_n},$$

w której  $\Lambda_h$  – współczynnik spęczenia (zgrubienia)

$$\Lambda_h = \frac{h_c}{h_D}$$

gdzie:  $h_c$  – grubość wióra w płaszczyźnie  $P_{ne}$  prostopadłej do powierzchni  $A_\gamma$ ,  
 $h_D$  – grubość warstwy skrawanej.

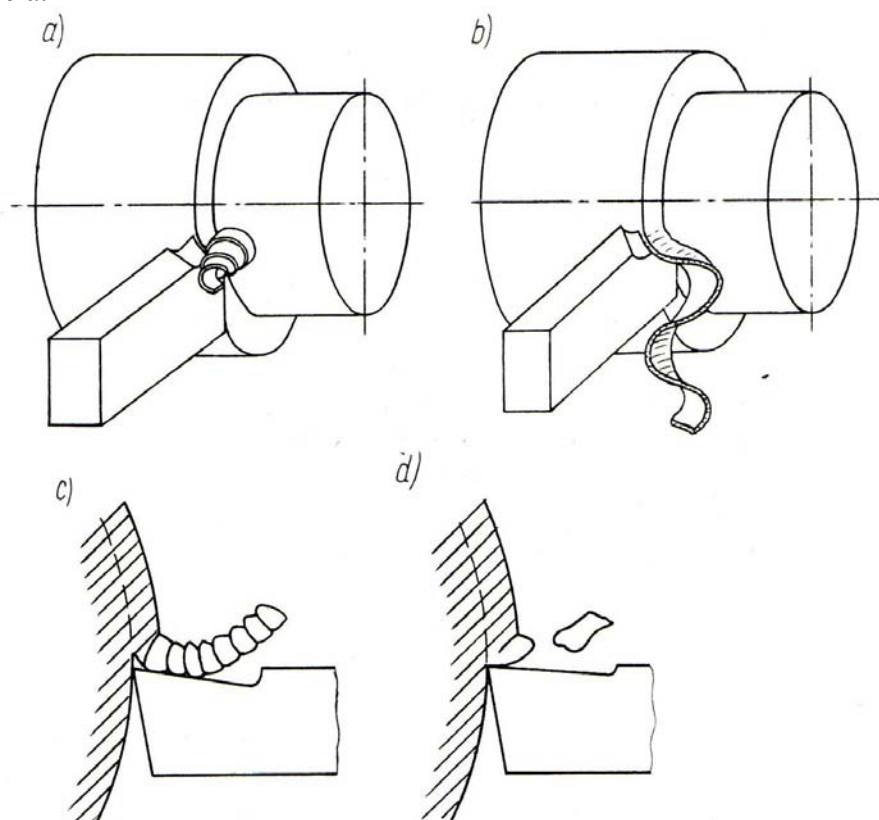
Kąt  $\eta$  zawarty między liniami zgniotu a płaszczyzną ścinania  $P_{sh}$  jest nazywany kątem zgniotu; przyjmuje on wartości w granicach od 0 do  $30^\circ$ . Wartość kąta  $\eta$  zależy od rodzaju materiału obrabianego - im materiał jest bardziej ciągliwy, tym kąt ten jest większy. Przy obróbce materiałów kruchych kąt  $\eta$  jest równy zeru.

## Rodzaje wiórów

Kształt wióra zależy od rodzaju materiału obrabianego, a dla danego materiału – od warunków skrawania i geometrii ostrza noża. Rozróżnia się wióry wstęgowe, schodkowe i odpryskowe.

Wiór wstęgowy jest to wiór ciągły prosty lub zwijający się w spiralę o bardzo dużej nieraz długości. Elementy wióra wstęgowego są połączone z sobą dość mocno. Wiór wstęgowy odznacza się bardzo gładką powierzchnią od strony powierzchni obrobionej i chropowatą od strony zewnętrznej, bez widocznych linii podziału na elementy. Wiór wstęgowy powstaje przy skrawaniu z dużymi prędkościami miękkich ciągliwych metali, przy małych i średnich przekrojach warstwy skrawanej. Powstawaniu wióra wstęgowego sprzyja normalizowanie i wyżarzanie materiału obrabianego, jak również obecność w nim składników stopowych.

Wiór schodkowy ma wyraźnie zaznaczone elementy, połączone z sobą słabiej niż w wiórze wstęgowym. Powierzchnia wióra od strony obrobionej jest bardziej chropowata niż w przypadku wióra wstęgowego. Wiór schodkowy jest formą przejściową między wiórem wstęgowym a odpryskiem; powstaje on przy skrawaniu z średnimi i małymi prędkościami materiałów ciągliwych średniej twardości, przy dużych przekrojach skrawania i małych kątach natarcia.



Rys. 14. Rodzaje wiórów

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998



Wiór odpryskowy składa się z oddzielnych, niepołączonych z sobą elementów, mających powierzchnię poszarpaną od strony powierzchni obrobionej i powierzchnie podziału przypadkowe, nierówne. Wiór odpryskowy powstaje przy obróbce materiałów kruchych (twarde żeliwo, brąz).

Na rodzaj wióra powstającego podczas skrawania wpływają, poza wymienionymi, jeszcze inne czynniki. Im mniejszy jest kąt skrawania  $\delta$ , tym łatwiej tworzy się wiór wstęgowy i odwrotnie — powiększenie kąta skrawania  $\delta$  powoduje powstawanie wióra schodkowego.

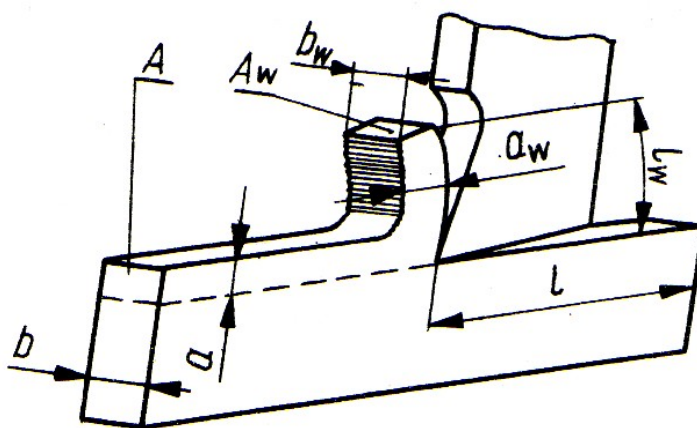
Im większy jest przekrój poprzeczny warstwy skrawanej, tym łatwiej wiór wstęgowy przekształca się w schodkowy. Kształt przekroju poprzecznego warstwy skrawanej również ma wpływ na rodzaj powstającego wióra. Im większy jest stosunek głębokości skrawania posuwu i im mniejszy kąt przystawienia tym łatwiej powstają wióry wstęgowe.

W celu otrzymania gładkiej powierzchni w toczeniu wykańczającym materiałów kruchych dążymy do otrzymywania wióra schodkowego lub wstęgowego. Ponieważ ze względów wytrzymałościowych nie można zbyt zmniejszyć kąta skrawania, osiąga się to przez zmniejszenie przekroju warstwy skrawanej, zmianę kształtu tego przekroju lub zwiększenie prędkości skrawania.

### Współczynnik spęczania (zgrubiania) wióra

W warstwie wierzchniej obrobionej części i w wiórze pozostają trwałe ślady odkształceń plastycznych, przejawiające się zmianą własności fizycznych mechanicznych i strukturalnych materiału.

Zmiany występujące w wiórze w różnych warunkach skrawania określa charakter zjawisk zachodzących w warstwie wierzchniej obrabianej części. Znajomość tych zmian ma istotne znaczenie przy wyciąganiu wniosków, dotyczących właściwości warstwy wierzchniej obrobionej części. Jedną z ważnych cech charakteryzujących odkształcenia plastyczne w warstwie wierzchniej obrabianej części współczynnik spęczania.



Rys. 15. Powstawanie wióra

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Przekrój wióra różni się od przekroju warstwy skrawanej na skutek zmian kształtu, jakim ulega wiór podczas tworzenia się i oddzielania. Warstwa skrawana zostaje podczas skrawania spęczona (zgrubiona) i wskutek tego przekrój wióra jest większy od jej przekroju. Ponieważ objętość wióra i warstwy skrawanej są równe, zatem wraz ze zwiększeniem się przekroju zmniejsza się długość wióra. Współczynnikiem spęczania  $\Lambda_h$  nazywamy stosunek przekroju wióra do przekroju warstwy skrawanej, równy 1 długości warstwy skrawanej, do długości wióra:

$$\Lambda_h = \frac{A_w}{A_d} = \frac{l}{l_w},$$

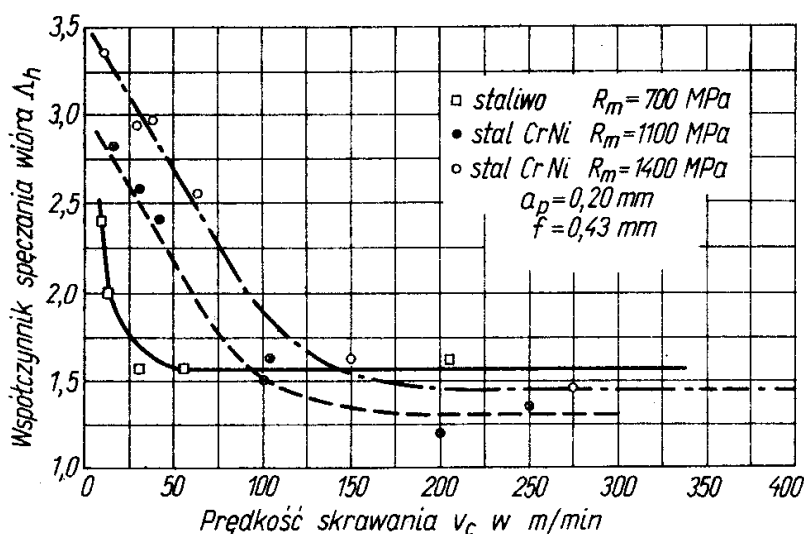
gdzie:  $A_w$ - przekrój wióra,  
 $A_d$ - przekrój warstwy skrawanej,  
 $l$  - długość warstwy skrawanej,  
 $l_w$  - długość wióra.

Wartość tych odkształceń, a więc i wartość współczynnika spęczania (zgrubiania) wióra, zależy od obrabianego materiału, narzędzia i warunków skrawania.

Współczynnik spęczania (zgrubiania) materiałów ciągliwych jest większy. Materiały twarde i kruche mają współczynniki spęczania (zgrubienia) mniejsze; dla materiałów bardzo twardych i kruchych współczynnik ten może być równy jedności.

Im większy jest kąt natarcia noża, tym mniejszym odkształceniom ulega wiór podczas tworzenia się i oddzielania, i tym mniejszy jest współczynnik spęczania. Ponadto maleje on ze wzrostem grubości warstwy skrawanej (przy tym samym przekroju), tzn. wraz ze zmniejszeniem się stosunku głębokości skrawania do posuwu. Ze wzrostem prędkości skrawania współczynnik spęczania (zgrubiania) również maleje. Na przykład dla stali chromoniklowej o  $R_m = 1400$  MPa przy zmianie prędkości skrawania z 20 na 150m/min wartość  $\Lambda_h$  spada z 3,5 do 1,5.

Zmiany współczynnika spęczania (zgrubiania) wióra w określonych warunkach są związane ze zmianami innych wielkości charakteryzujących proces skrawania. Ze wzrostem tego współczynnika zwiększają się: głębokość zgniotu.



Rys. 16. Wykres współczynnika spęczania wióra od prędkości skrawania  
 Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

### Zjawisko łamania i zwijania się wiórów

Rodzaj i postać wióra tworzącego się podczas skrawania wpływają tylko na chropowatość powierzchni. Wiór wstęgowy może przybrać postać splecionych kłębów oplatających część obrabianą i imak nożowy, co stanowi duże niebezpieczeństwo dla robotnika, a poza tym może spowodować uszkodzenie części obrabianej, narzędzia i obrabiarki. Tu w wielu przypadkach konieczne jest zastosowanie pewnych środków wpływających na zmianę postaci tworzącego się wióra.

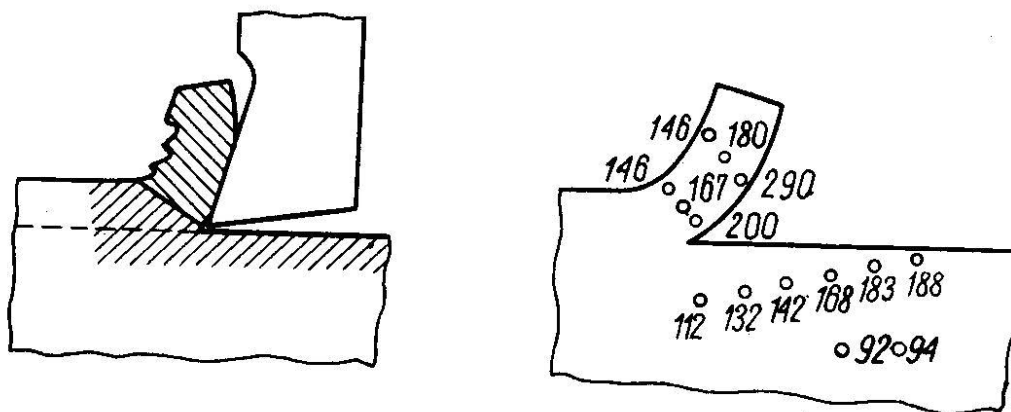


Przy wyrobie stali automatowych celowo wprowadza się do ich składu siarkę i fosfor, a przy wyrobie mosiądzów automatowych i lekkich stopów - ołów, dzięki czemu przy obróbce tych materiałów powstaje wiór nie wstęgowy, lecz odpryskowy. Poza tym przez nadanie odpowiedniego kształtu części roboczej noża ułatwia się zwijanie wióra wstęgowego oraz kierowanie w pożądanym kierunku lub rozdrabnianie (łamanie). Wklęsła powierzchnia natarcia noża powoduje zwijanie się wióra i ułatwia jego spływanie. Pochylenie krawędzi skrawającej noża powoduje powstawanie wióra śrubowego.

Łamacze wiórów w postaci specjalnych nakładek umocowanych mechanicznie lub w postaci schodkowych wgłębień na ostrzu nad spływającym wiórowi kształt wstęgi śrubowej lub łamią go. Rozdrobnienie wióra ma szczególnie duże znaczenie w obróbce z dużymi prędkościami skrawania, podczas której tworzy się duża masa wiórów, nagrzaną do bardzo wysokiej temperatury. Usuwanie ich przez tokarza (kiedy schodzą w postaci długiej, rozgrzanej wstęgi) jest niewygodne i niebezpieczne. Wióry pokruszone zajmują poza tym mniej miejsca, dzięki czemu ich transport jest łatwiejszy.

### **Zjawisko deformacji warstwy wierzchniej i tarcia podczas skrawania. Utwardzanie wierzchniej warstwy części obrabianej**

Podczas skrawania, na skutek nacisków, w wierzchniej warstwie materiału obrabianego następują zmiany kształtu i położenia kryształów, co może spowodować poważne zmiany strukturalne. W obszarze skrawania powstają odkształcenia plastyczne, których rezultatem jest zgniot.



**Rys. 17.** Zjawisko deformacji warstwy wierzchniej  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Zgniot jest przyczyną powstawania naprężeń własnych w warstwie wierzchniej obrabianej części. Wartość naprężeń własnych i ich znak oraz głębokość przenikania zależą od warunków obróbki.

Naprężenia własne skupione w warstwie wierzchniej mogą wywierać zarówno dodatni, jak i ujemny wpływ na własności użytkowe części. Badania wpływu naprężeń własnych na wytrzymałość zmęczeniową wykazują, że gdy naprężenia własne oraz naprężenia wywołane siłami zewnętrznymi mają znaki przeciwne, to może nastąpić zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej, natomiast znaki naprężeń własnych i naprężeń od sił zewnętrznych są jednoimienne, wówczas sumując się obniżają wytrzymałość zmęczeniową.

Tarcie spływającego wióra o powierzchnię natarcia noża oraz tarcie noża o powierzchnię obrabianą powodują wzrost temperatury. Oddziaływanie temperatury może również spowodować zmiany struktury warstwy wierzchniej w porównaniu ze strukturą rdzenia obrabianej części.

Spośród zmian występujących w warstwie wierzchniej szczególnie ważne jest zjawisko umocnienia obrabianej części, przejawiające się dużym przyrostem twardości, tj. utwardzeniem warstwy przypowierzchniowej.

Na rysunku przedstawiono wyniki pomiarów mikrotwardości w różnych miejscach części obrabianej i wióra. Widzimy, że wiór uzyskuje największą twardość w punktach przylegających do powierzchni natarcia noża. Przyrost twardości wióra i warstwy zewnętrznej materiału obrabianego jest tym większy, im bardziej ciągliwy jest materiał. Materiały twarde i kruche, w których odkształcenia plastyczne są bardzo małe, utwardzają się bardzo nieznacznie lub wcale się nie utwardzają. Zwiększenie prędkości skrawania zmniejsza utwardzenie. Ciecz smarująco-chłodząca również powoduje zmniejszenie utwardzenia.

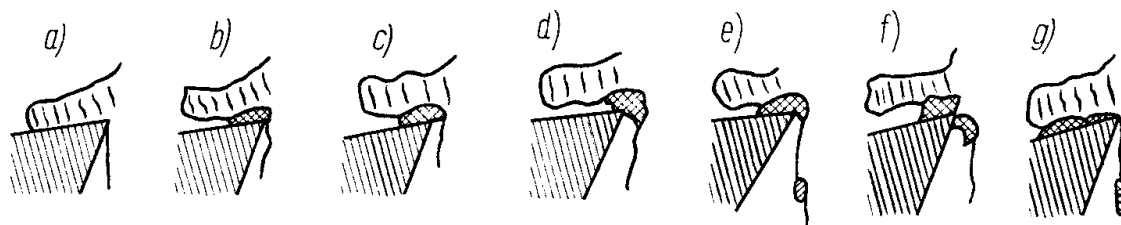
Utwardzenie powierzchni obrobionej nie zawsze jest zjawiskiem pożądanym, zwłaszcza jeżeli odkształcenia powodują jednocześnie drobne pęknięcia i chropowatość. Powierzchnia taka jest mniej odporna na zużycie i korozję. Czasem utwardzenie powstałe w jednej operacji utrudnia skrawanie podczas następnych operacji.

### Narost

W obróbce materiałów ciągliwych często można zaobserwować na powierzchni natarcia noża, tuż przy krawędzi skrawającej, niewielką warstwę metalu obrabianego silnie przylegającą do noża i sprawiającą wrażenie jakby zgrzany z nożem.

Warstwa ta, zwana narostem, tworzy się z materiału obrabianego. Jej wysokość dochodzi do kilku milimetrów. Twardość narostu: przekracza twardość metalu, z którego powstał.

Narost powstaje natychmiast po rozpoczęciu skrawania: ustawicznie się powiększa i częściowo zanika. Okresy, w których zachodzą zjawiska tworzenia się i zaniku narostu, są bardzo krótkie (ułamki sekundy).



Rys. 18. Etapy tworzenia się narostu

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Narost powstaje najczęściej podczas skrawania metali miękkich ciągliwych, natomiast prawie się nie tworzy podczas skrawania metali kruchych i twardych. Nie tworzy się on również przy bardzo małej prędkości skrawania, nie przekraczającej 1 m/min, w zakresie prędkości skrawania 10÷35 m/min jej zwiększenie powoduje zwiększenie narostu. W zakresie prędkości 40÷60 m/min narost zaczyna zanikać, zmniejszając się wraz ze wzrostem prędkości. Przy prędkości skrawania 80÷120 m/min narost zanika całkowicie.

Zwiększenie grubości warstwy skrawanej (przy nie zmienionych innych warunkach) przesunę maksimum krzywej narostu do obszaru mniejszych prędkości skrawania, powodując zwiększenie narostu.

Zwiększenie kąta natarcia (przy nie zmienionych innych warunkach) przesunę maksimum narostu do obszaru większych prędkości skrawania, powodując zmniejszenie narostu.

Narost wpływa ujemnie na jakość powierzchni obrobionej, gdyż ciągle odrywające się jego części oblepiają powierzchnię obrobioną, tworząc na niej rodzaj łuski lub pozostawiając wgnioty. Ponadto zmieniająca się wysokość wystającego poza krawędź skrawającą narostu powoduje powstawanie nierówności na powierzchni obrobionej oraz odchyłek kształtu.

Aby zapobiec tworzeniu się narostu, należy skrawać albo z bardzo małymi prędkościami skrawania (1-2 m/min), albo z bardzo dużymi (powyżej 80 m/min). Najczęściej jest stosowany drugi sposób, możliwy do zrealizowania dzięki zastosowaniu narzędzi nakładanych płytkami z węglików spiekanych.

Przeciwdziałać powstawaniu narostu można również przez zastosowanie cieczy smarująco-chłodzącej lub zmianę parametrów geometrycznych części roboczej narzędzia.

### **Zjawiska cieplne i metody pomiaru temperatury skrawania (ciepło wytwarzane podczas skrawania i jego odprowadzanie)**

Ciepło wytwarzane podczas skrawania metali ma wpływ na trwałość narzędzia, na własności warstwy wierzchniej obrabianej części i na dokładność obróbki. Źródłem ciepła jest praca skrawania, obejmująca szereg prac składowych:

- pracę odkształceń plastycznych warstwy skrawanej (spękanie),
- pracę oddzielania warstwy skrawanej od podstawowej masy materiału obrabianego,
- pracę odkształcania wióra (zginania) podczas jego spływania,
- pracę tarcia wióra o powierzchnię natarcia noża oraz pracę tarcia noża o powierzchnię materiału obrabianego.

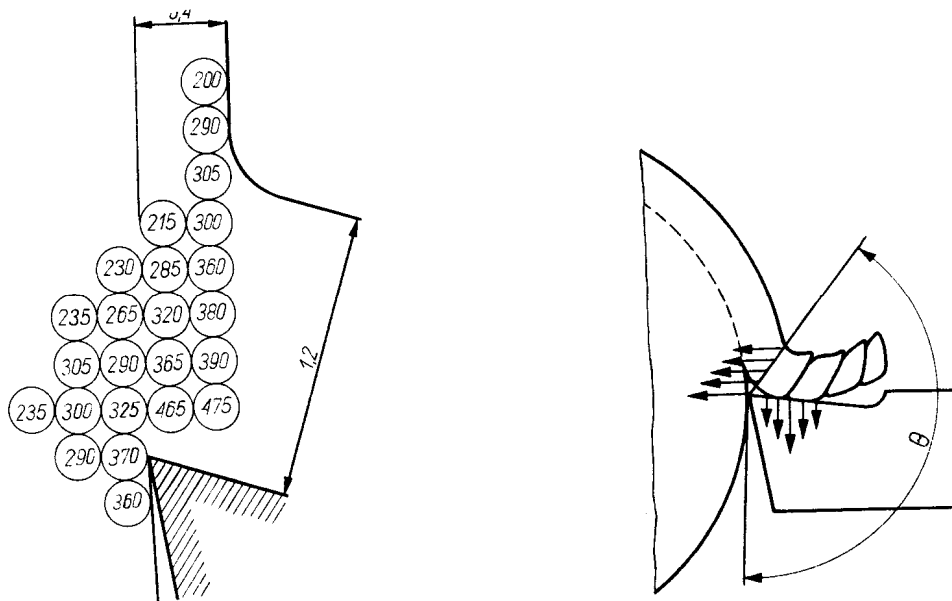
Ilość ciepła wydzielającego się w ciągu 1 minuty można obliczyć wg wzoru

$$Q = \frac{F \cdot v_c}{1000} \text{ [kJ / min]}$$

w którym:  $F$  - siła skrawania w N.

$v_c$  — prędkość skrawania w m/min.

Ciepło wydziela się w miejscach wykonywania pracy, w ilości równoważnej tej pracy. Praca odkształceń plastycznych warstwy skrawanej i praca oddzielania wióra stanowią główną część pracy skrawania i dlatego największa ilość ciepła wywiązuje się w warstwie skrawanej w pobliżu krawędzi skrawającej narzędzia. Wydzielające się ciepło powoduje wzrost temperatury otoczenia. Temperatura rozpatrywanego miejsca jest zależna od ilości ciepła wydzielanego i odprowadzanego w jednostce czasu i jest różna w różnych miejscach. Najwyższą temperaturę w strefie wióra i narzędzia zaobserwowano w pobliżu krawędzi skrawającej.



**Rys. 19.** Ciepło wywiązujące się w warstwie skrawanej  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Ciepło wywiązujące się w warstwie skrawanej odpływa w kierunku materiału obrabianego i w kierunku narzędzia. Strumień ciepła płynący w kierunku materiału obrabianego jest stale przecinany przez nóż, tak że stosunkowo niewielka jego ilość przechodzi do materiału obrabianego. Największa ilość ciepła zużywa się na ogrzewanie wióra i razem z wiórem jest usuwana.

Cienka warstwa zewnętrzna części obrabianej nagrzewa się do dość wysokiej temperatury w pobliżu krawędzi skrawającej noża. Ilość wywiązującego się tu ciepła jest jednak niewielka i jest ono szybko wchłaniane przez masę materiału, tak, że część obrabiana ogrzewa się nieznacznie. Nóż ogrzewa się dość silnie w pobliżu krawędzi skrawającej. Część ciepła jest odprowadzana przez trzonek noża.

W typowych warunkach skrawania ok. 75% całej ilości wytwarzającego się ciepła powoduje ogrzewanie się wiórów, ok. 20% ogrzewanie noża, ok. 4% ogrzewanie części obrabianej i ok. 1% rozprasa się przez promieniowanie.

### **Czynniki wpływające na temperaturę skrawania**

Temperatura części roboczej noża zależy od parametrów skrawania, rodzaju materiału obrabianego, geometrii ostrza narzędzia, materiału, z jakiego jest ono wykonane oraz od warunków chłodzenia.

Największy wpływ na temperaturę skrawania ma prędkość skrawania. Wzrost temperatury nie jest proporcjonalny do prędkości skrawania, początkowo temperatura wzrasta szybko, a po przekroczeniu pewnej określonej dla danych warunków prędkości (np. 400 m/min) intensywność wzrostu temperatury maleje.

Posuw wpływa na wzrost temperatury w mniejszym stopniu niż prędkość skrawania.

Najmniejszy wpływ na wzrost temperatury skrawania wywiera głębokość skrawania. Punkt zetknięcia się wióra o najwyższej temperaturze z powierzchnią natarcia oddala się od krawędzi skrawającej w miarę zwiększania głębokości skrawania. Dlatego temperatura skrawania wzrasta wolniej niż przy zwiększaniu prędkości. Długość czynnej krawędzi skrawającej wzrasta wolniej przy zwiększeniu głębokości skrawania, co również sprzyja intensywniejszemu odprowadzaniu ciepła od krawędzi skrawającej.

Zwiększanie kąta natarcia  $\gamma$  do pewnej granicy powoduje obniżenie temperatury skrawania, gdyż przy zwiększeniu kąta natarcia zmniejsza się praca odkształcania wióra, a tym samym i ilość wydzielonego ciepła.

Zwiększanie promienia zaokrąglenia wierzchołka noża do pewnej wartości sprzyja odprowadzaniu ciepła, a tym samym powoduje obniżenie temperatury krawędzi noża.

Zmniejszenie kąta przystawienia przy niezmięnionej głębokości skrawania niezmiennym posuwie powoduje zwiększenie szerokości warstwy skrawanej, a tym samym polepsza warunki odprowadzania ciepła powodując obniżenie temperatury części skrawającej noża.

Wpływ materiału obrabianego na temperaturę skrawania zależy od właściwego mu oporu skrawania i własności cieplnych (ciepło właściwe i przewodność cieplna).

### **Ciecze chłodząco-smarujące**

Zastosowanie cieczy chłodząco-smarującej wywiera dodatni wpływ na obróbkę, ponieważ:

- zmniejsza tarcie wióra o powierzchnię natarcia noża oraz jego powierzchni przyłożenia powierzchnię obrabianą,
- zwiększa intensywność odprowadzania ciepła wywiązującego się w strefie skrawania, co ma dodatni wpływ na trwałość narzędzia,
- wymywa i usuwa drobne wióry, pochłania pył, itp.,
- sprzyja zmniejszeniu siły skrawania (przy zastosowaniu cieczy chłodząco-smarującej z dobrymi właściwościami smarnymi).

Stosowane są również ciecze chłodząco-smarujące zawierające dodatki aktywne zmniejszające opór skrawania. Jako dodatki stosuje się kwasy organiczne (np. stearynowy, olejowy) lub ich sole. Zastosowanie przy toczeniu aktywnych cieczy chłodząco-smarujących umożliwia zmniejszenie siły skrawania o 20÷30% w porównaniu z obróbką bez cieczy.

Podstawowym działaniem cieczy może być smarowanie albo chłodzenie – zależy to od warunków skrawania. Największy efekt działania cieczy chłodząco-smarującej uzyskuje się przy dużych przekrojach warstwy skrawanej, tj. w warunkach obróbki zgrubnej.

Ciecze stosowane przy skrawaniu metali można podzielić na trzy podstawowe grupy, a mianowicie: wodne roztwory mineralnych elektrolitów, emulsje oraz oleje. Wodne roztwory mineralnych elektrolitów mają dobre własności chłodzące oraz zabezpieczają część obrabianą i obrabiarkę przed korozją. Emulsje składają się z wody, oleju i mydła. Drobne cząstki oleju, pokryte trwałą i wytrzymałą błonką emulgatora (mydła), są zawieszone w wodzie.

Ciecze tej grupy tworzą na powierzchni metalu powłoki, zapewniające dobre smarowanie przy jednoczesnym silnym działaniu chłodzącym.

Oleje mają słabe własności chłodzące i najczęściej są stosowane z dodatkami powierzchniowo aktywnymi.

Wybór cieczy smarująco-chłodzącej uzależnia się od następujących czynników: rodzaju materiału obrabianego, rodzaju obróbki (zgrubna czy wykańczająca), prędkości skrawania oraz rodzaju materiału, z którego jest wykonane ostrze narzędzia. Do obróbki zgrubnej narzędziami wykonanymi ze stali stopowej oraz szybkołatającej, przy dużych prędkościach skrawania, stosuje się ciecze o dobrych właściwościach chłodzących.

### 4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe parametry skrawania?
2. Od czego zależą siła i moc skrawania?
3. Od czego zależy chropowatość obrabianej powierzchni?
4. Przy obróbce, jakich materiałów powstaje wiór odpryskowy?
5. Jakie zadania ma ciecz chłodząco-smarująca?

### 4.1.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Dobierz prędkość skrawania dla obróbki detalu wskazanego przez nauczyciela.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) zidentyfikować materiał, z którego wykonany jest element,
- 3) określić przekrój warstwy skrawanej,
- 4) w normatywach wyszukać wykres prędkości skrawania,
- 5) odczytać z wykresu wartość prędkości skrawania,
- 6) krótko uzasadnić wybraną wartość.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- poradniki i normatywy,
- dokumentacja technologiczna,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

Oblicz moc skrawania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) zidentyfikować materiał, z którego wykonany jest element,
- 3) określić przekrój warstwy skrawanej,
- 4) w normatywach wyszukać wykres głównej siły skrawania od przekroju warstwy skrawania,
- 5) odczytać z wykresu wartość głównej siły skrawania,
- 6) w normatywach wyszukać wykres mocy skrawania w zależności od siły skrawania  $F_c$  i szybkości skrawania,
- 7) z wykresu odczytać wartość mocy w zależności od prędkości skrawania,
- 8) krótko uzasadnić obliczoną wartość.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- poradniki i normatywy,
- dokumentacja technologiczna,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) dobrać podstawowe parametry skrawania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) podać najważniejsze parametry geometryczne narzędzi skrawających?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) obliczyć prędkość skrawania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić wpływ parametrów skrawania na jakość obróbki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać zjawiska towarzyszące skrawaniu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **4.2. Klasyfikacja, układy konstrukcyjne i kinematyczne obrabiarek**

### **4.2.1. Materiał nauczania**

Obrabiarką – nazywa się maszynę technologiczną do kształtowania przedmiotów z różnych materiałów konstrukcyjnych za pomocą zamocowanych w niej narzędzi. W zależności od metody kształtowania przedmiotów na obrabiarce rozróżnia się obrabiarki do obróbki plastycznej i skrawające.

Obrabiarki skrawające są stosowane do nadawania obrabianemu przedmiotowi wymaganego kształtu przez oddzielenie nadmiaru materiału w postaci wiórów. Do obrabiarek tych należą: tokarki, wiertarki, frezarki, strugarki, szlifierki i inne.

W zależności od zastosowania rozróżnia się obrabiarki:

- ogólnego przeznaczenia umożliwiające wykonywanie różnorodnych prac w produkcji jednostkowej i małoseryjnej,
- specjalizowane przewidziane do wykonywania określonych robót w węższym zakresie, np.: tokarko-kopiarki, frezarki,
- specjalne – stosowane w określonych gałęziach przemysłu, np. tokarki dla kolejnictwa do obróbki kół wagonowych, tokarki dla przemysłu hutniczego do obróbki walców hutniczych, itp.

### **Klasyfikacja obrabiarek**

#### **1. Skrawające:**

##### **a) tokarki:**

- uchwytowe,
- kłowe,
- tarczowe,
- rewolwerowe,
- karuzelowe,
- zataczarki,

##### **b) wiertarki:**

- stołowe,
- stojakowe,
- współrzędnościowe,

##### **c) frezarki:**

- poziome,
- pionowe,
- wiertarko-frezarki,

##### **d) wytaczarki,**

##### **e) piły,**

##### **f) strugarki: poprzeczne, wzdłużne, dłutownice**

##### **g) przeciągarki,**

##### **h) szlifierki:**

- do płaszczyzn,
- do otworów,
- dogładzarki,
- docieraczki,
- polerki,



## Układ konstrukcyjny obrabiarki

Wszystkie zespoły, mechanizmy, urządzenia i elementy wchodzące w skład obrabiarki tworzą jedną całość konstrukcyjną. Wszystkie te zespoły, mechanizmy, urządzenia i elementy spełniają w obrabiarence określone funkcje i w zależności od tego, do jakich zadań są one przeznaczone, można je podzielić na następujące grupy:

1. *Źródła napędu* (silniki) i *zespoły napędowe* przetwarzające energię dostarczaną z zewnątrz obrabiarki (najczęściej elektryczną) na energię mechaniczną, służącą do wykonywania pracy przez organy robocze obrabiarki;
2. *Mechanizmy przekładniowe* przenoszące ruch i energię od źródeł napędu do organów roboczych;
3. *Organy robocze* wykonujące ruchy niezbędne dla przeprowadzenia obróbki, jak również ruchy pomocnicze;
4. *Urządzenia do ustalania i zamocowywania przedmiotu obrabianego i narzędzi* (uchwyty, oprawki narzędziowe, imaki nożowe, koniki itp.);
5. *Elementy nośne i wiążące* służące do łączenia wszystkich zespołów, urządzeń i elementów obrabiarki w jedną całość konstrukcyjną (korpusy, kadłuby, łoża, stojaki, podstawy, płyty, belki itp.);
6. *Urządzenia sterujące* przeznaczone do ręcznego lub automatycznego kierowania pracą poszczególnych zespołów i całą obrabiarką;
7. *Urządzenia kontrolno-pomiarowe* służące do kontroli wymiarów obróbkowych lub stopnia zużycia ostrza narzędzia;
8. *Urządzenia nastawcze* służące do dokładnego ustawienia narzędzia względem przedmiotu obrabianego oraz urządzenia korygujące to ustawienie dla zmniejszenia błędu obróbkowego wynikającego ze wzrastającego zużycia ostrza narzędzia lub z niedokładności wykonania mechanizmów przekładniowych.;
9. *Urządzenia do zabezpieczenia pracy robotnika* obsługującego obrabiarkę oraz do zabezpieczania elementów obrabiarki przed ich zniszczeniem w wyniku nadmiernego obciążenia bądź nieprawidłowego włączenia do pracy;
10. *Urządzenia do smarowania obrabiarki oraz do chłodzenia narzędzia*;
11. *Urządzenia dodatkowe i pomocnicze* (podajniki do samoczynnego podawania przedmiotów obrabianych lub automatycznej wymiany narzędzi, urządzenia wentylacyjne i oświetleniowe, urządzenia do odprowadzania wiórów itp.)

Większość z wymienionych powyżej mechanizmów i urządzeń występuje w każdej obrabiarence, nie mniej jednak niektóre z nich stosowane są tylko w obrabiarkach o najnowocześniejszych konstrukcjach, jak np. urządzenia do kontroli stopnia zużycia ostrza lub automatycznej wymiany narzędzi. Ponadto zastosowanie niektórych z urządzeń zależy od technologicznego przeznaczenia obrabiarki. Jako przykład można przytoczyć urządzenie do pochłaniania pyłu szlifierskiego, które występuje w szlifierkach, a niepotrzebne są np. w tokarkach lub frezarkach.

## Zespoły robocze obrabiarki

Zadaniem zespołów roboczych obrabiarki jest przeniesienie ruchu ze źródła napędu (silnika) na ostatnie człony przeznaczone do zamocowania przedmiotu obrabianego lub narzędzia. Przykładem zespołów roboczych tokarki są: wrzeciennik z ostatnim członem – wrzecionem, na którym znajduje się uchwyt do zamocowania wałka tocznego oraz skrzynka posuwowa i suport z ostatnim członem – imakiem nożowym do zamocowania noża tokarskiego. W przypadku frezarki zespołami roboczymi są: skrzynka prędkości

z wrzecionem, w którym mocowany jest trzpień frezarski z narzędziem-frezem oraz skrzynka posuwowa i mechanizmy napędu stołu, na którym mocowany jest przedmiot obrabiany.

Ostatnie człony zespołów roboczych obrabiarki wykonują żądane ruchy niezbędne do przeprowadzenia procesu obróbki, tzn. ruchy główne i ruchy posuwowe. Z tego względu człony te nazywane są organami roboczymi lub wykonawczymi.

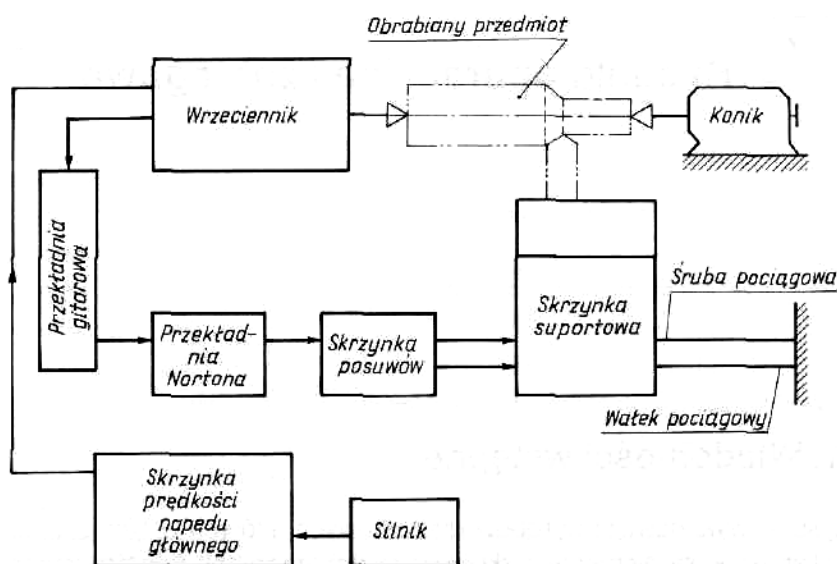
Niezależnie od ruchów głównych i posuwowych – niezbędnych do wykonywania procesu skrawania i kształtowania powierzchni obrabianej – organy robocze obrabiarki muszą zapewniać również wykonywanie ruchów pomocniczych, mających na celu: odpowiednie ustawienie narzędzia względem przedmiotu obrabianego lub odwrotnie – przedmiotu względem narzędzia; wgłębianie narzędzia w materiał obrabiany (np. wcinanie freza wielokrotnego w materiał na pełną wysokość zarysu frezowanego gwintu); wycofywanie narzędzia do położenia wyjściowego po skończonej obróbce.

## Układ kinematyczny obrabiarki

Układ kinematyczny tworzą mechanizmy służące do nadania zespołom roboczym obrabiarki ruchów niezbędnych do wykonania procesu roboczego. Mechanizmy te to najczęściej łańcuchy kinematyczne stanowiące zbiór powiązanych ze sobą spójnie par kinematycznych utworzonych z przekładni zębatach i pasowych, a niekiedy śrubowych, krzywkowych, korbowych, itp.

W łańcuchach kinematycznych można wyróżnić:

- łańcuchy napędowe doprowadzające napęd do zespołów roboczych obrabiarki w celu nadania im wymaganej prędkości. Wyróżnia się tu: łańcuch ruchu głównego (nadający prędkość skrawania -  $v$ ) i łańcuchy ruchu posuwowego (nadające odpowiedni posuw -  $p$ ),
- łańcuchy kształtowania (w obrabiarkach konwencjonalnych łączące dwa ruchy kształtowania w celu uzyskania ruchu złożonego).



Rys. 20. Schemat kinematyczny tokarki kłowej

Źródło: Paderewski K.: Obrabiarki. WSiP, Warszawa 1996

Typy i zasady wykonywania schematów kinematycznych są opisane w PN--82/M-01088. W zależności od przeznaczenia stosuje się trzy typy schematów kinematycznych: strukturalne, funkcjonalne i zasadnicze.

Schematy te różnią się stopniem uszczegółowienia przedstawianych elementów oraz zasadami rysowania. Podstawowe cechy i wymagania rysunkowe poszczególnych schematów kinematycznych zestawiono w tabl. 4.

**Tabela 4.** Podział schematów kinematycznych Źródło: Paderewski K.: Obrabiarki. WSiP, Warszawa 1996

Opracowanie obrazujące schemat kinematyczny		
strukturalny:	funkcjonalny:	zasadniczy:
<p>1) powinno przedstawiać wszystkie podstawowe części funkcjonalne wyrobu (elementy, urządzenia) oraz ich wzajemne połączenia,</p> <p>2) można przedstawiać graficznie, za pomocą prostych figur geometrycznych, z nazwą umieszczoną wewnątrz tych figur.</p>	<p>1) powinno przedstawiać te części funkcjonalne wyrobu, które wyjaśniają zasadę działania i procesy zachodzące w poszczególnych częściach wyrobu lub w całym wyrobie,</p> <p>2) powinno przedstawiać części funkcjonalne w postaci prostych figur geometrycznych,</p> <p>3) musi zawierać nazwy wszystkich przedstawionych części funkcjonalnych,</p> <p>4) może zawierać oznaczenia lub napisy wewnątrz prostych figur geometrycznych,</p> <p>5) powinno mieć oznaczenia części w kolejności powiązania funkcjonalnego,</p> <p>6) może zawierać wykaz elementów.</p>	<p>1) powinno przedstawiać wszystkie elementy kinematyczne i ich połączenia przeznaczone do realizacji, regulacji, kontroli i sterowania,</p> <p>2) powinno pokazywać wyraźnie wszystkie powiązania kinematyczne (mechaniczne i niemechaniczne), również ze źródłem ruchu,</p> <p>3) powinno być przedstawione za pomocą symboli graficznych ustanowionych w PN,</p> <p>4) powinno być przedstawione jako rozwinięcie,</p> <p>5) musi być narysowane wg ustaleń zawartych w PN,</p> <p>6) musi mieć oznaczenia pozycyjne wszystkich elementów,</p> <p>7) powinno zawierać nazwy wszystkich grup funkcjonalnych na półce linii odniesienia, doprowadzonej do odpowiedniej grupy,</p> <p>8) musi zawierać tabelaryczny wykaz elementów.</p>

#### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest obrabiarka?
2. Jak sklasyfikować obrabiarki skrawające?
3. Jaki jest podział schematów kinematycznych?
4. Co zawierają schematy kinematyczne?

### 4.2.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Dokonaj podziału obrabiarek skrawających w zależności od zastosowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z katalogami obrabiarek,
- 2) dokonać podziału obrabiarek ze względu na zastosowanie,
- 3) opisać zastosowanie obrabiarek,
- 4) zaprezentować wykonane ćwiczenie

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- katalogi maszyn,
- dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

Dokonaj analizy schematu kinematycznego wybranej obrabiarki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z DTR i instrukcją obsługi obrabiarki,
- 2) odszukać schemat kinematyczny obrabiarki,
- 3) na podstawie schematu dokonać podziału mechanizmów tokarki na zespoły funkcjonalne,
- 4) opisać funkcję, budowę i zasadę działania poszczególnych zespołów obrabiarki.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi różnego rodzaju obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 3

Dobierz obrabiarkę do wykonania zadanej operacji technologicznej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną danego detalu,
- 2) zidentyfikować potrzebną obrabiarkę,
- 3) na podstawie dokumentacji technologicznej wynotować istotne wymagane parametry obrabiarki,
- 4) zapoznać się z DTR i instrukcjami obsługi obrabiarek,
- 5) na podstawie wymaganych parametrów wskazać konkretną obrabiarkę,
- 6) krótko uzasadnić dobór.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

#### 4.2.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) sklasyfikować podstawowe obrabiarki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dokonać podziału schematów kinematycznych obrabiarek?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) dokonać analizy układu kinematycznego obrabiarki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 4.3. Toczenie: noże tokarskie, tokarki, mocowanie przedmiotów obrabianych, prace wykonywane na tokarkach

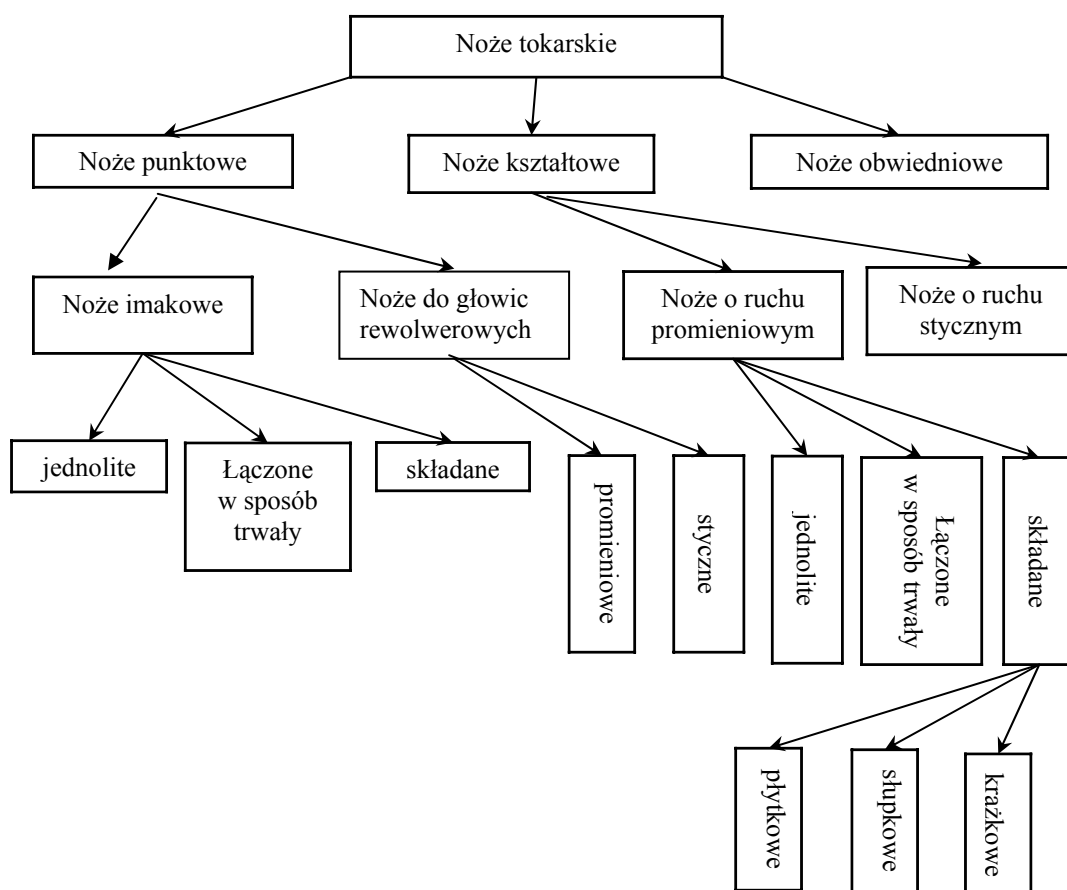
#### 4.3.1 Materiał nauczania

##### Noże tokarskie

Noże tokarskie są narzędziami jednoostrzowymi stosowanymi do obróbki powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych o kształtach obrotowych.

Wyróżnia się noże:

- punktowe, które kształtują obrabiany przedmiot jedynie w wyniku wzajemnych ruchów narzędzia i przedmiotu,
- kształtowe o złożonym zarysie krawędzi skrawającej, której kształt odwzorowuje się bezpośrednio na przedmiocie obrabianym,
- obwiedniowe, które kształtują obrabiany przedmiot w wyniku zarówno wzajemnych ruchów narzędzia i przedmiotu, jak i w wyniku odwzorowania zarysu krawędzi skrawającej.



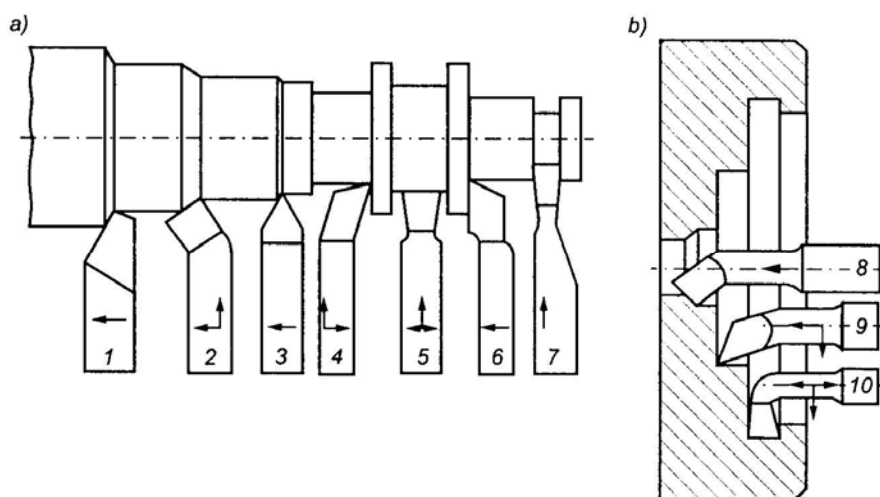
Rys. 21. Podział noży tokarskich

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

### Noże imakowe

- Noże imakowe wykonuje się ze stali szybko tnącej lub z nakładkami z węglików spiekanych. Noże produkuje się z walcowanych lub ciągnionych prętów ze stali St6, St7, 45, 55.
- Ze względu na przeznaczenie i charakter pracy noża, normalne noże imakowe dzieli się na: zdzieraki, noże boczne, noże różne i wytaczaki.

### Przykłady normalnych noży imakowych

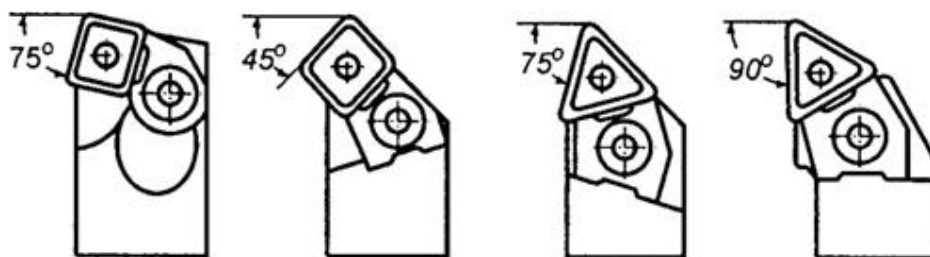


**Rys. 22.** Przykłady normalnych noży imakowych

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1- nóż (zdzierak) prosty,     | 6- nóż boczny odsadzony, |
| 2- nóż (zdzierak) wygięty,    | 7- przecinak,            |
| 3- nóż (wykańczak) spiczasty, | 8- wytaczak prosty,      |
| 4- nóż boczny wygięty,        | 9- wytaczak szpiczasty,  |
| 5- nóż (wykańczak) szeroki,   | 10- wytaczak hakowy.     |

### Przykłady noży imakowych składanych



**Rys. 23.** Przykłady noży imakowych składanych

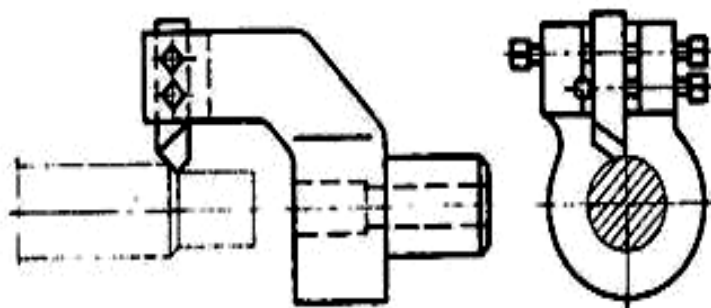
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Noże imakowe składane z płytkami ostrzowymi z węglików spiekanych mocowanymi mechanicznie (kwadratowymi i trójkątnymi)

### Noże do głowic rewolwerowych

Są to noże oprawkowe zamocowane w uchwytach narzędziowych (oprawkach) osadzonych z kolei w głowicach tokarek rewolwerowych i automatów tokarskich. W zależności od sposobu zamocowania noża (rodzaju oprawki) rozróżnia się: **noże promieniowe** (pracujące w położeniu promieniowym), **noże styczne** (pracujące w położeniu stycznym).

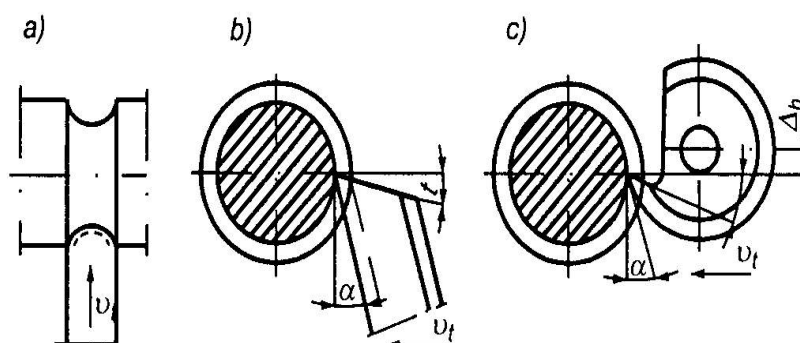
### Przykłady noży do głowic



**Rys. 24** Przykłady noży do głowic: oprawka promieniowa  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

### Noże kształtowe

Podstawę klasyfikacji tych noży stanowi kinematyka skrawania, charakteryzująca ruchy występujące w czasie skrawania i ich związek z kształtem obrabianej powierzchni. Dalszy ich podział przeprowadza się ze względu na ich konstrukcje (jednolite, łączone w sposób trwały i składane) i kształt części roboczej (płytkowe, słupkowe i krążkowe).



**Rys. 25.** Noże kształtowe o ruchu promieniowym: a) płytkowy, b) słupkowy, c) krążkowy  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

### Noże obwiedniowe

Nóż wykonuje ruchy posuwowe: obrotowy i prostoliniowy równoległy do osi przedmiotu. Ruchy posuwowe narzędzia są ze sobą sprzężone tak, że w ostatecznym wyniku uzyskuje się zamierzoną powierzchnię. Zastosowane do obróbki powierzchni obrotowych, śrubowych i powierzchni szczególnych.



### **Efekty obróbki (Ra)**

Chropowatość powierzchni po toczeniu jest zależna od kształtu ostrza i prędkości ruchu posuwowego względem powierzchni obrabianej. Teoretyczną wysokość chropowatości  $R_t$  jako funkcję posuwu  $f$  i promienia wierzchołka naroża  $r_\epsilon$ . Rzeczywista chropowatość uzależniona jest od wielu innych czynników, głównie właściwości plastycznych materiału obrabianego, drgań układu OUPN, podatności układu na odkształcenia itp. Ich wpływ na wysokość chropowatości określa się doświadczalnie.

Otrzymywane chropowatości przy toczeniu:

- obróbka zgrubna 20  $\mu\text{m}$ ,
- obróbka kształtująca 10 – 2,5  $\mu\text{m}$ ,
- obróbka wykańczająca 1,25 – 0,32  $\mu\text{m}$ .

### **Tokarki**

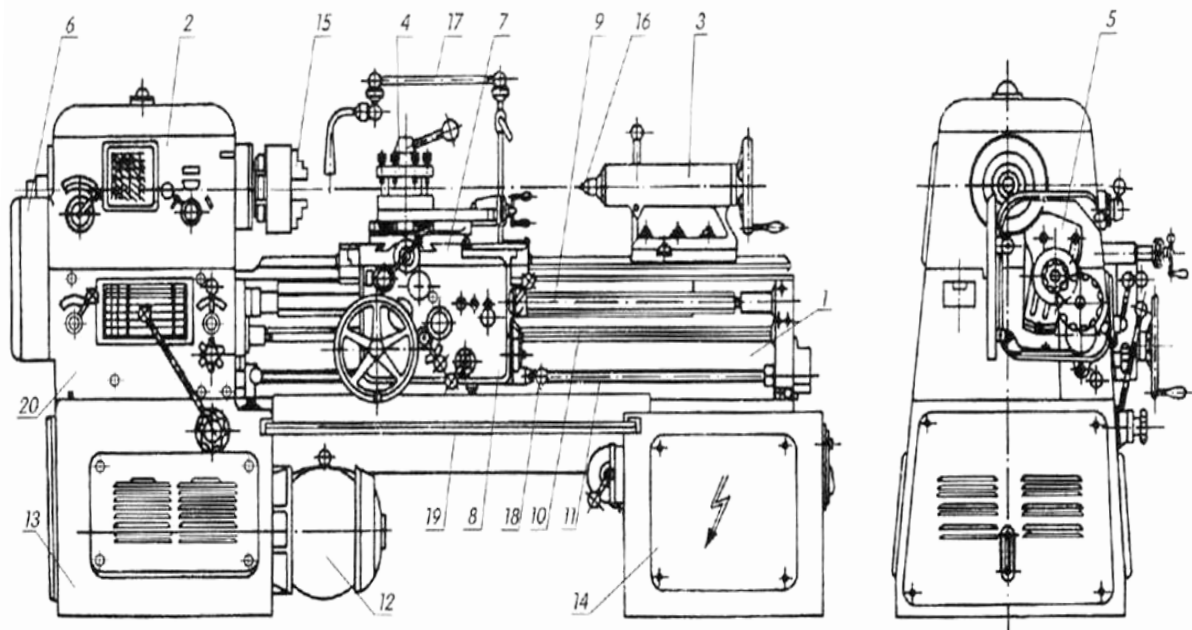
**Tokarka** jest obrabiarką skrawającą, stosowaną do toczenia przedmiotów. Poza toczeniem można wykonywać operacje: wytaczania, wiercenia, rozwiercania, przecinania, radełkowania, a z użyciem dodatkowych przyrządów również frezowania i szlifowania.

Podstawowym rodzajem tokarki jest tokarka kłowa, umożliwiająca zamocowanie przedmiotu obrabianego w kłach znajdujących się we wrzecionie i w koniku. Wrzeciono jest napędzane silnikiem elektrycznym za pośrednictwem przekładni zębatych, które nadają przedmiotowi obrabianemu różne prędkości obrotowe, zależnie od wymagań prędkości skrawania i średnicy przedmiotu. Nóż zamocowany w imaku może się przesuwają razem z suportem wzdłuż prowadnic łoża (przesuw wzdłużny) oraz poprzecznie względem osi wrzeciona (przesuw poprzeczny). Niezależnie od tego możliwe jest ręczne przesuwanie górnych sań narzędziowych, co wykorzystuje się do ustawienia noża względem przedmiotu oraz do toczenia krótkich przedmiotów. Napęd mechanizmu posuwu noża tokarskiego uzyskuje poprzez skrzynkę posuwów za pośrednictwem wałka pociągowego (przy toczeniu wzdłużnym i poprzecznym) lub śruby pociągowej (przy toczeniu gwintów). Ruch obrotowy jest przenoszony z wrzeciona na przedmiot obrabiany za pośrednictwem zabieraka lub uchwytu szczękowego.

Wśród tokarek rozróżnia się:

- 1) tokarki pociągowe – wyposażone w wałek pociągowy i śrubę pociągową, która umożliwia nacinanie gwintu,
- 2) tokarki produkcyjne – bez śruby pociągowej, umożliwiające wykonywane wszelkich robót tokarskich za wyjątkiem gwintowania,
- 3) tokarki ciężkie – stosowane w różnych gałęziach przemysłu ciężkiego,
- 4) tokarki stołowe – ustawiane na stole, przeznaczone do obróbki małych przedmiotów.

Do grupy tokarek zalicza się również: karuzelówki, rewolwerówki, półautomaty i automaty tokarskie, zataczarki, tokarko-kopiarki, oraz tokarki specjalne branżowe do wykonywania z góry ustalonych zadań.



**Rys. 26.** Tokarka uniwersalna

Źródło: Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

- |  |   |
|--|---|
| 1 – łożo,  | 12 – silnik napędowy,                               |
| 2 – wrzeciennik,   | 13 – skrzynka napędowa,                             |
| 3 – konik,   | 14 – pomieszczenie wyposażenia elektrycznego,       |
| 4 – suport narzędziowy,                                  | 15 – uchwyt samocentrujący,                         |
| 5 – gitara z kołami zmianowymi,                          | 16 – kły,   |
| 6 – osłona,  | 17 – urządzenie chłodzące przedmiot obrabiany,      |
| 7 – suport poprzeczny,                                   | 18 – dźwignia zmiany i włączania obrotów wrzeciona, |
| 8 – skrzynka suportowa,                                  | 19 – wanna,   |
| 9 – śruba pociągowa,                                     | 20 – skrzynka posuwowa.                             |
| 10 – wałek pociągowy,                                    |   |
| 11 – wałek sterujący włączaniem i wyłączaniem wrzeciona, |   |

### **Mocowanie przedmiotu obrabianego**

Urządzenia do mocowania przedmiotów przy toczeniu dzieli się na: tarcze zabierakowe, zabieraki, uchwyty tokarskie samocentrujące, tarcze tokarskie, podtrzymki, kły tokarskie, trzpienie itp.

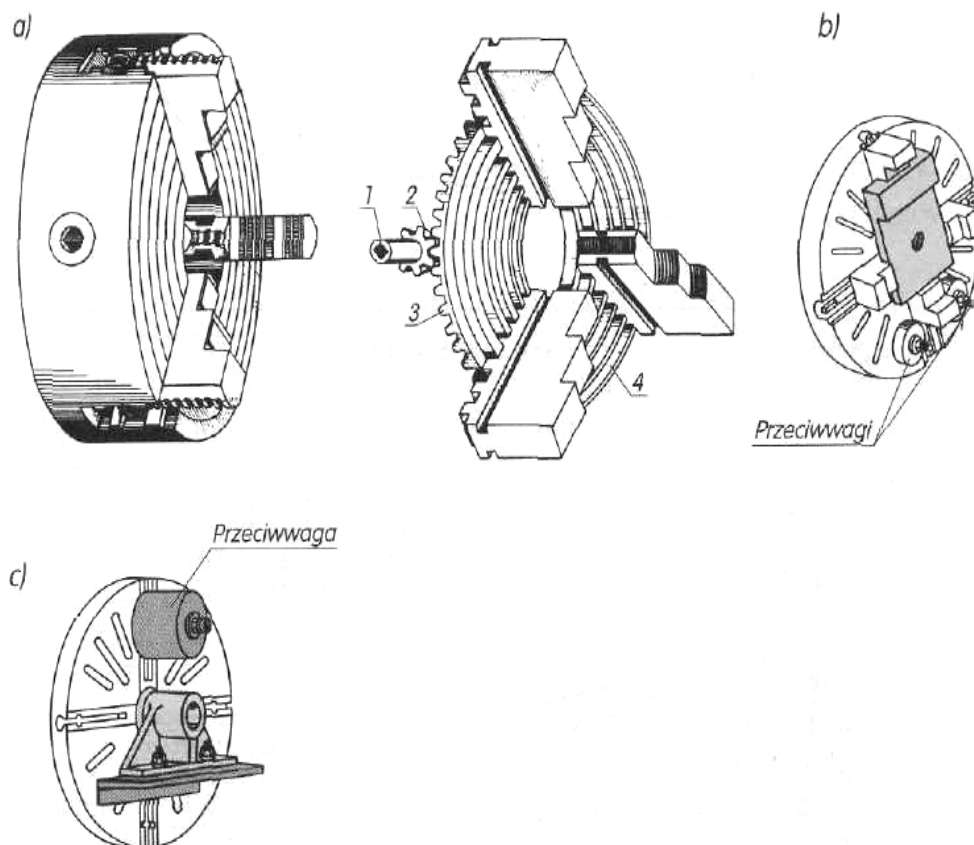
Kły tokarskie dzieli się na zwykłe i obrotowe. Służą one do ustalania długich wałków. Zamocowanie wałka w kłach wymaga jeszcze dalszych przyrządów, do których zalicza się tarczę zabierakową i zabierak. Aby zapobiec uginaniu się wałka pod jego własnym ciężarem, długie wałki obrabiane w kłach podpira się w połowie długości podtrzymką stałą, przymocowaną do łoża tokarki lub podtrzymką ruchomą umocowaną na suporcie.

Uchwyty tokarskie służą do szybkiego mocowania przedmiotu obrabianego współosiowo z wrzecionem. Najczęściej stosowanym uchwytem do mocowania przedmiotów małych i średniej wielkości jest uchwyt samocentrujący trójszczękowy. Składa się on z koła zębatego stożkowego napędzającego i koła talerzykowego.

Do mocowania większych przedmiotów służą uchwyty samocentrujące zębatkowe. Mechanizm do przesuwania szczęki składa się z koła zębatego, trzech zębatek stykających oraz trzech szczęk.

Mocowanie przedmiotów o kształtach nieregularnych oraz przedmiotów dużych odbywa się za pomocą tarcz tokarskich czteroszczękowych.

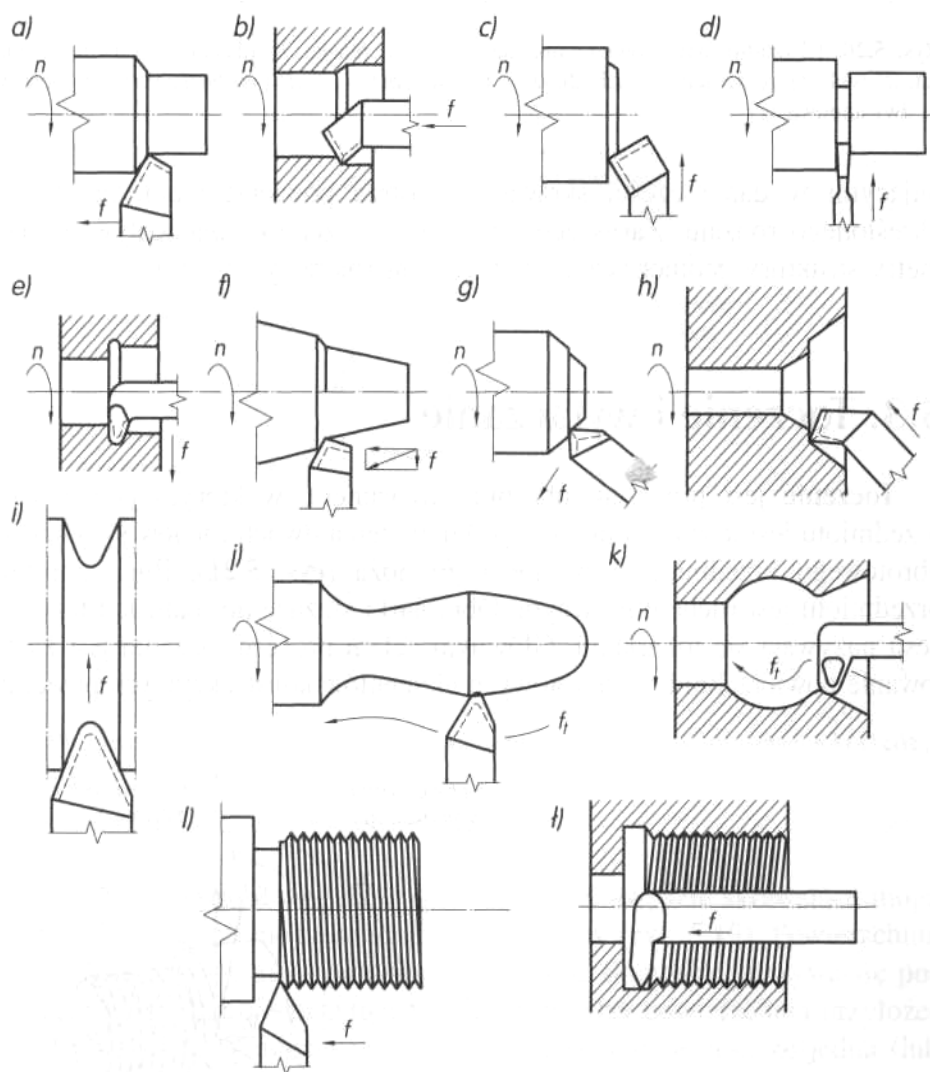
W nowoczesnych tokarkach są stosowane uchwyty pneumatyczne oraz hydrauliczno-pneumatyczne.



**Rys. 27.** Mocowanie przedmiotów na tokarce: a) uchwyt samocentrujący, b) tarcza czteroszczękowa do mocowania przedmiotów nieokrągłych, c) tarcza do mocowania za pomocą płytek i śrub

Źródło: Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

## Podstawowe odmiany toczenia



**Rys. 28.** Podstawowe odmiany toczenia:

- |   |  |
|---|--|
| a) toczenie zewnętrzne,                     | h) toczenie powierzchni stożka         |
| b) toczenie wewnętrzne,                     | wewnętrznego,                          |
| c) toczenie poprzeczne,                     | i) toczenie wgłębne nożem kształtowym, |
| d) przecinanie lub toczenie rowków          | j) toczenie kształtowe zewnętrzne,     |
| zewnętrznych,                               | k) toczenie kształtowe wewnętrzne,     |
| e) toczenie rowków wewnętrznych,            | l) gwintowanie zewnętrzne,             |
| f) toczenie powierzchni stożka,             | ł) gwintowanie wewnętrzne.             |
| g) toczenie powierzchni stożka na zewnątrz, |  |

Źródło: Solis H., Lenart T.: Technologia i eksploatacja maszyn. WSiP, Warszawa 1996

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe rodzaje tokarek?
2. Jakie znasz podstawowe rodzaje noży tokarskich?
3. Jakie są sposoby mocowania materiału obrabianego na tokarkach?
4. Jakie znasz typowe prace wykonywane na tokarkach?

### 4.3.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Dobierz narzędzia i przyrządy do wykonania detalu na obrabiarce (rysunek detalu dostarczy nauczyciel).

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) na podstawie karty technologicznej zidentyfikować operacje, jakie należy wykonać,
- 3) na podstawie kart katalogowych dobrać odpowiednie narzędzia i przyrządy,
- 4) krótko uzasadnić dobór narzędzi i przyrządów.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- poradniki i normatywy,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

Dobierz i nastaw parametry toczenia do wykonania detalu na obrabiarce na podstawie rysunku (rysunek dostarczy nauczyciel).

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) wynotować z dokumentacji rodzaj materiału, wartości naddatków na obróbkę,
- 3) z DTR obrabiarki wypisać istotne parametry,
- 4) z karty katalogowej narzędzia wypisać jego parametry,
- 5) dobrać wartości naddatków na obróbkę zgrubną i wykańczającą,
- 6) obliczyć prędkość obrotową i prędkość posuwu,
- 7) uzasadnić obliczone parametry.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,

- poradniki i normatywy,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

### Ćwiczenie 3

Wykonaj część maszynową na tokarce (rysunek dostarczy nauczyciel)

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną procesu wytwarzania detalu, DTR i instrukcją obsługi obrabiarki,
- 2) wypisać konieczne operacje,
- 3) do danych operacji dobrać niezbędne narzędzia i przyrządy,
- 4) dobrać parametry skrawania,
- 5) wszystkie istotne informacje zapisać w formie instrukcji obróbki,
- 6) zamocować materiał na tokarce,
- 7) zamocować odpowiednie narzędzia i oprzyrządowanie na tokarce,
- 8) wykonać detale zgodnie ze sporządzoną instrukcją obróbki,
- 9) sprawdzić jakość wykonanego elementu,
- 10) uprzątnąć stanowisko pracy,
- 11) dokonać prezentacji wykonanego detalu,
- 12) dokonać oceny swojego ćwiczenia.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- obrabiarki skrawające różnego typu
- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi obrabiarek
- dokumentacja technologiczna
- różne narzędzia skrawające i przyrządy
- poradniki i normatywy
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### 4.3.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) dokonać podziału noży tokarskich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dobrać odpowiednie narzędzia i przyrządy do konkretnych operacji wykonywanych na tokarkach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zamocować materiał obrabiany na tokarce?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wykonać proste operacje tokarskie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać budowę tokarki i zadania poszczególnych podzespołów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.4. Wiercenie: narzędzia do obróbki otworów, wiertarki, prace wykonywane na wiertarkach

### 4.4.1. Materiał nauczania

Wiercenie jest rodzajem obróbki skrawaniem polegającym na wykonywaniu otworów o przekroju kołowym za pomocą wiertel oraz innych narzędzi specjalnych. Wiercenie może być wykonywane w pełnym materiale lub może być, tzw. wierceniem wtórnym, zwanym również powiercaniem, polegającym na powiększaniu średnicy otworu już istniejącego. Celem wiercenia może być wykonanie gotowego otworu, przygotowanie otworu do dokładnego rozwiercania lub przygotowanie otworu np. do wykonania gwintu. Wiercone otwory mogą być przelotowe lub nieprzelotowe. Otwory nieprzelotowe wiercone wiertłami mają dno w kształcie stożka, będącego odwzorowaniem kształtu wiertła. Otwory wiercone za pomocą specjalnych narzędzi stosowanych na obrabiarkach CNC mogą mieć dno płaskie.

Wiercenie, pogłębianie i rozwiercanie może być wykonywane na: wiertarkach, tokarkach rewolwerówkach, automatach i półautomatach tokarskich, wiertarko-wytaczarkach, frezarkach, obrabiarkach zespołowych, frezarkach i centrach sterowanych numerycznie.

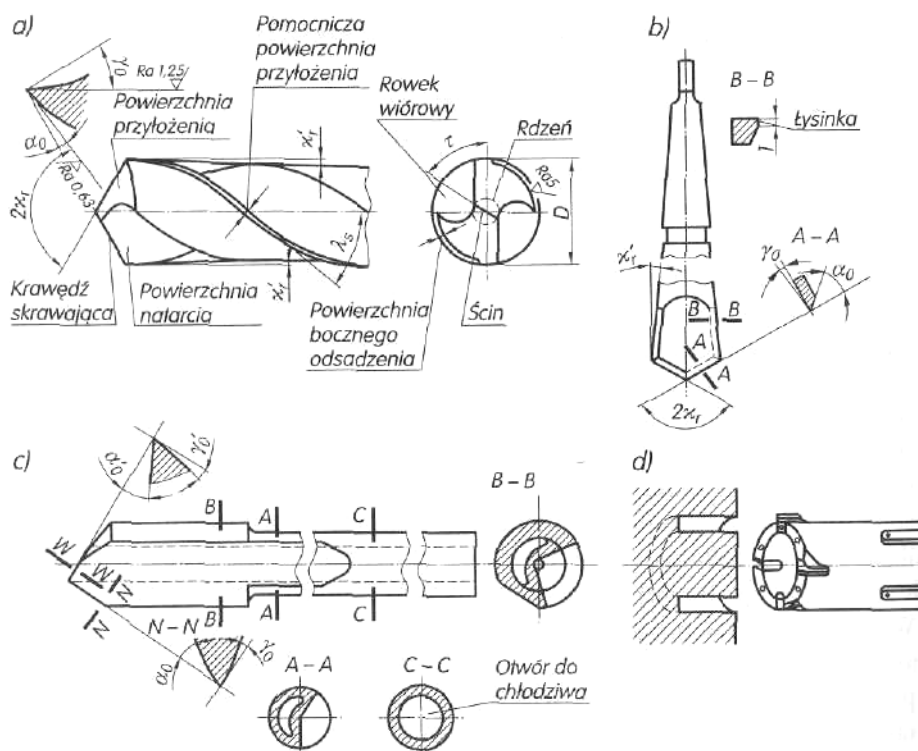
W zależności od rodzaju obrabiarki ruch główny (obrotowy) oraz ruch posuwowy może być realizowany w następujących układach:

- przedmiot jest nieruchomy, wiertło obraca się wokół swojej osi i wykonuje ruch posuwowy (np. wiertarki, frezarki i centra obróbkowe CNC),
- wiertło stoi i wykonuje ruch posuwowy, przedmiot obraca się (np. tokarki),
- wiertło i przedmiot wykonują ruchy obrotowe wokół wspólnej osi (ruch posuwowy może wykonywać narzędzie lub przedmiot obrabiany).

Wiercenie może odbywać się za pomocą wiertel krętych i piórkowych w przypadku krótkich otworów oraz wiertel specjalnych do długich otworów. Wiertła kręte są najbardziej rozpowszechnione (rys. 29a). Geometria wiertel, a w szczególności kąt pochylenia krawędzi skrawającej oraz kąty przystawienia, zależą od rodzaju materiału obrabianego. Wiertła stosowane do obróbki stali niestopowej mają kąty  $\lambda_s = 20^\circ \div 30^\circ$  i  $2\kappa_r = 118^\circ$ , stali stopowej -  $\lambda_s = 20^\circ \div 30^\circ$  i  $2\kappa_r = 130^\circ$ , stopów aluminium, miedzi i tworzyw sztucznych -  $\lambda_s = 30^\circ \div 40^\circ$  i  $2\kappa_r = 140^\circ$ . W celu zmniejszenia sił tarcia wiertła kręte są zbieżne w kierunku chwytu. Wartość zbieżności zależy od średnicy wiertła i jest podawana w mm na 100 mm długości. Wiertła o średnicy od 1÷6 mm mają zbieżność  $0,02 \div 0,07 \frac{\text{mm}}{(100 \text{ mm długości})}$ ,

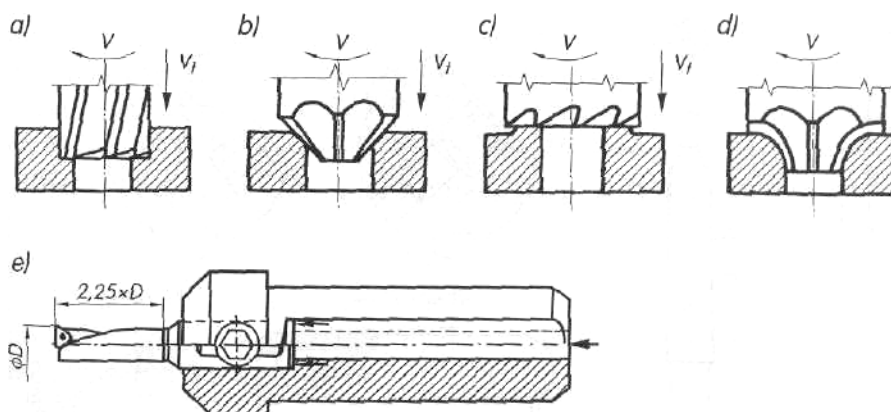
powyżej 6÷10 mają zbieżność:  $0,04 \div 0,08 \frac{\text{mm}}{(100 \text{ mm długości})}$ .

Wiertła o średnicy poniżej 1 mm nie mają zbieżności. Dokładność wiercenia zależy w znacznej mierze od symetrii ostrzy. Wiertła piórkowe są uważane za narzędzia specjalne. Są stosowane w przemyśle precyzyjnym do wiercenia otworów o średnicach mniejszych niż 1 mm. Wiertła do długich otworów mają specjalną konstrukcję z doprowadzeniem chłodziwa i odprowadzeniem chłodziwa z wiórami. Wiertła o niedużych średnicach z chwytym cylindrycznym są mocowane w uchwytach samocentrujących lub oprawkach sprężystych. Wiertła większe mają chwyt ze stożkiem Morse'a i są mocowane w gniazdach stożkowych wrzecion obrabiarek. Jeżeli średnica chwytu wiertła jest mniejsza od średnicy gniazda, to do mocowania stosuje się znormalizowane stożkowe tulejki redukcyjne. Klasa dokładności wiercenia jest rzędu IT 11÷13, a chropowatość powierzchni:  $R_a = 5 \div 20 \mu\text{m}$ .



**Rys. 29.** Wiertła: a) kręte, b) piórkowe, c) łufowe (do długich otworów), d) rurowe.  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Pogłębianie otworów polega na wykonaniu w istniejącym otworze zagłębienia stożkowego, walcowego, walcowego stopniowanego, kształtowego, jak również obróbki powierzchni czołowej otworu za pomocą pogłębiaczy. Ruchy główne i pomocnicze mogą być realizowane podobnie jak w procesie wiercenia. W przypadku obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie za pomocą narzędzi z wymiennymi płytkami pogłębianie i rozwieranie może być wykonywane tym samym narzędziem co wiercenie (rys. 30). Typowe pogłębiacze mogą być wykonywane jako jednolite lub nasadzane. Pogłębianie pozwala na osiągnięcie klasy dokładności IT 11 i chropowatości  $R_a = 2,5 \div 10 \mu m$ .



**Rys. 30.** Przykłady pogłębiania na obrabiarkach: a) walcowo-czołowe, b) stożkowe, c) płaskie, d) kształtowe, e) uniwersalne narzędzie do wiercenia, pogłębiania i rozwierania na obrabiarkach CNC;  $v$  - prędkość obwodowa,  $v_f$  - prędkość posuwu.

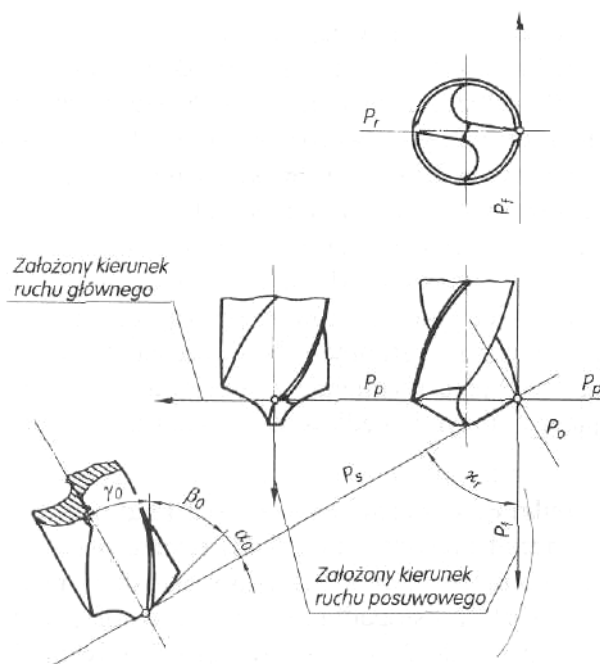
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998



Rozwiercanie polega na usuwaniu niewielkich naddatków materiału z wierconych uprzednio otworów za pomocą rozwiertaków (lub narzędzi do wiercenia, które pracują wg parametrów skrawania obróbki wykańczającej – w przypadku określonych zabiegów na obrabiarkach z NC). Celem rozwiercania jest poprawienie dokładności wymiarów i kształtów otworów oraz zmniejszenie chropowatości powierzchni, jak również poprawienie innych parametrów struktury geometrycznej powierzchni rozwiercanego otworu.

Rozwiertaki maszynowe są narzędziami wieloostrzowymi, które mogą mieć ostrza proste lub śrubowe. Rozwiertaki ujęte są w Polskich Normach. Wyróżnia się zdzieraki (PN-74/M-57025) i wykańczaki (PN-89/M-58902). Zdzieraki służą do rozwiercania zgrubnego otworów w klasie dokładności IT10 i chropowatości powierzchni  $R_a = 2,5 \div 5 \mu\text{m}$ . Wykańczaki są używane do rozwiercania otworów na gotowo w klasie dokładności IT6÷10 i chropowatości powierzchni  $R_a = 0,32 \div 0,25 \mu\text{m}$ . Rozwiertaki stożkowe są przeznaczone do rozwiercania otworów ze stożkiem Morse'a o zbieżności 1:50, 1:30 oraz 1:10, 1:5 i innych. Rozwiercanie stożków o zbieżności większej niż 1:30 jest poprzedzane rozwiercaniem zgrubnym.

Elementem bazowym narzędzi do otworów jest ich oś. Układ odniesienia narzędzi do otworów (np. wiertel krętych - rys. 31) tworzą płaszczyzny: podstawowa  $P_r$ , która przechodzi przez oś narzędzia i określony punkt na krawędzi skrawającej, boczna prostopadła do  $P_r$  i równoległa do kierunku posuwu, tylna  $P_p$  prostopadła do  $P_r$  i  $P_f$ , skrawająca  $P_r$  styczna krawędzi skrawającej w określonym punkcie i prostopadła do  $P_r$  przekroju głównego  $P_o$ , przechodząca przez określony punkt krawędzi skrawającej prostopadła do płaszczyzny  $P_s$  i  $P_r$ .



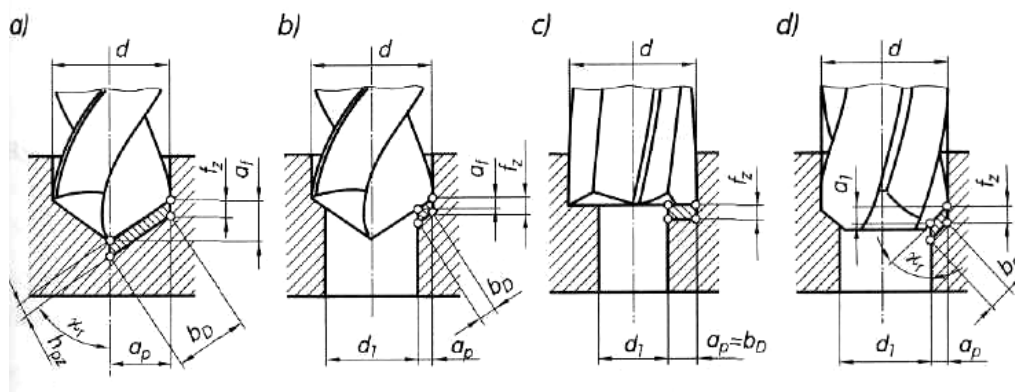
**Rys. 31.** Układ odniesienia narzędzi do otworów

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Kąty w przekroju głównym są określane tak samo jak w nożu tokarskim.

Technologiczne parametry skrawania w konwencjonalnych narzędziach do otworów to: prędkość skrawania  $v_c$  w m/min obliczana dla średnicy zewnętrznej narzędzia, posuw  $f_z$  w mm/obr, posuw na jedno ostrze, głębokość skrawania  $a_p$  w mm równa połowie średnicy wiertła przy wierceniu lub połowie różnicy średnic po i przed obróbką przy powiercaniu, pogłębianiu czołowym i rozwiercaniu.

Parametry geometryczne skrawania przy wykonywaniu otworów to grubość  $h_{Dz}$ , szerokość  $b_D$  i przekrój warstwy skrawanej  $A_{Dz}$  przez jedno ostrze (rys. 32). Składowe siły skrawania oblicza się wg wzorów doświadczalnych. Wartości technologicznych parametrów skrawania przyjmuje się na podstawie nomogramów i katalogów firmowych w zależności od rodzaju obróbki.



**Rys. 32.** Elementy warstwy skrawanej: a) przy wierceniu w pełnym materiale, b) podczas wiercenia wtórnego, c) podczas pogłębiania, d) podczas rozwierania

$a_p$  – głębokość skrawania,

$d$  – średnica narzędzia,

$f_z$  – posuw na ząb,

$d_1$  – średnica początkowa otworu,

$h_{pz}$  – grubość warstwy skrawanej jednym ostrzem,

$b_D$  – szerokość warstwy skrawanej,

$r_c$  – połowa kąta wierzchołkowego,

$a_f$  – głębokość warstwy skrawanej w kierunku posuwu.

Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Do zabiegów wykonywania otworów zalicza się nawiercanie za pomocą dwuostrzowych nawiertaków, np. wykonanie nakiełków, które mogą być zwykłe ( $60^\circ$ ) – typ A lub chronione ( $60^\circ$  oraz  $120^\circ$ ) – typ B. Nakiełki są wykonywane w celu prowadzenia wiertła we wstępnym etapie procesu wiercenia lub do bazowania przedmiotu w kłach.

#### 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz rodzaje wiertarek?
2. Jaki jest podział wiertel?
3. Jakie są typowe prace wykonywane na wiertarkach?
4. Jakie parametry skrawania są dobierane przy wierceniu?
5. Na czym polega rozwieranie?
6. Do czego służy pogłębiacz?

### 4.4.3 Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Dobierz narzędzia i przyrządy do wykonywania operacji technologicznych na wiertarce (na podstawie rysunku dostarczonego przez nauczyciela).

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) na podstawie karty technologicznej zidentyfikować operacje jakie należy wykonać,
- 3) dobrać parametry do poszczególnych operacji,
- 4) na podstawie kart katalogowych dobrać odpowiednie narzędzia,
- 5) dobrać odpowiednie przyrządy,
- 6) uzasadnić dobór.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- poradniki i normatywy,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

Dobierz i nastaw parametry wiercenia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) wynotować z dokumentacji rodzaj materiału i średnicę otworu,
- 3) z DTR obrabiarki wypisać istotne parametry,
- 4) z karty katalogowej narzędzia wypisać jego parametry,
- 5) dobrać prędkość skrawania,
- 6) ustawić prędkość obrotową wiertarki.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- poradniki i normatywy,
- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 3

Wykonaj obróbkę otworu na wiertarce (na podstawie rysunku dostarczonego przez nauczyciela).

## Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) dobrać narzędzia skrawające i przyrządy,
- 3) dobrać parametry wiercenia,
- 4) przygotować wiertarkę do pracy,
- 5) zamocować wiertło,
- 6) odpowiednio zamocować materiał,
- 7) ustawić wymaganą prędkość obrotową wiertarki,
- 8) wykonać operację wiercenia,
- 9) sprawdzić jakość wykonanego otworu,
- 10) uprzątnąć stanowisko pracy,
- 11) dokonać prezentacji wykonanego detalu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradniki i normatywy,
- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

### 4.4.4. Sprawdzian postępów

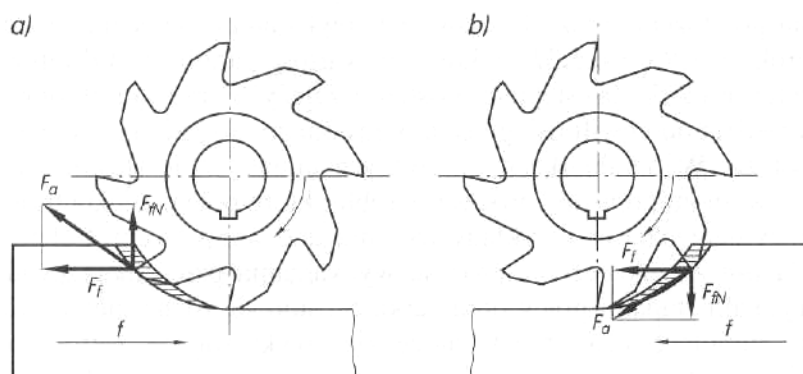
	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) dokonać klasyfikacji wiertarek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dobrać narzędzia skrawające do wykonania konkretnych prac na wiertarce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać sposób mocowania materiału na wiertarce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać pogłębianie otworów na wiertarkach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.5. Frezowanie: odmiany frezowania, narzędzia do frezowania, frezarki, prace wykonywane na frezarkach

### 4.5.1. Materiał nauczania

Frezowanie jest jednym z często stosowanych najbardziej wydajnych sposobów obróbki skrawaniem, polegających na oddzieleniu warstwy materiału za pomocą obracającego się narzędzia (frez) na obrabiarce zwanej frezarką. Frezowaniem można obrabiać płaszczyzny, powierzchnie krzywoliniowe, gwinty, koła zębate, itp.

Frez wykonuje obrotowy ruch główny skrawania, natomiast przedmiot wykonuje względem freza ruch posuwowy (postępowy lub obrotowy). Zęby freza wchodząc kolejno w materiał zdejmują wióry o zmiennej grubości (kształt w przekroju poprzecznym podobny do przecinaka). Rozróżnia się frezowanie obwodowe, w którym frez skrawa ostrzami leżącymi na powierzchni walcowej i frezowanie czołowe, w którym frez skrawa zębami położonymi na powierzchni czołowej. W zależności od kierunku ruchu posuwowego względem freza frezowanie może być przeciwbieżne (kierunki prędkości ruchu obrotowego freza i ruchu posuwowego przedmiotu są przeciwbieżne) lub współbieżne, gdy kierunek ruchu posuwowego stołu frezarki jest zgodny z kierunkiem ruchu roboczego freza. Przy frezowaniu przeciwbieżnym kierunek ruchu posuwowego jest przeciwny do kierunku ruchu roboczego. Frezowanie współbieżne jest bardziej dokładne.



**Rys. 33.** Rodzaje frezowania: a) przeciwbieżne, b) współbieżne  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Przedmioty o złożonych kształtach można obrabiać:

- frezowaniem kształtowym – ostrze freza ma kształt o takim zarysie, jaki powinien uzyskać obrabiany przedmiot np. mało dokładne koła zębate,
- frezowaniem kopiowym opartym na zasadzie kopiowania według wzornika lub bezpośrednio z rysunku (kopiowanie), np. matryce, wykrojniki, śruby okrętowe, itp. frezowanie kopiowe wykonuje się na frezarko-kopiarkach lub na zwykłych frezarkach pionowych wyposażonych dodatkowo w specjalne przyrządy.

#### Podział frezarek:

Pod względem rozpowszechnienia frezarki zajmują drugie miejsce, po tokarkach. Ze względu na przeznaczenie frezarki dzieli się na trzy grupy:

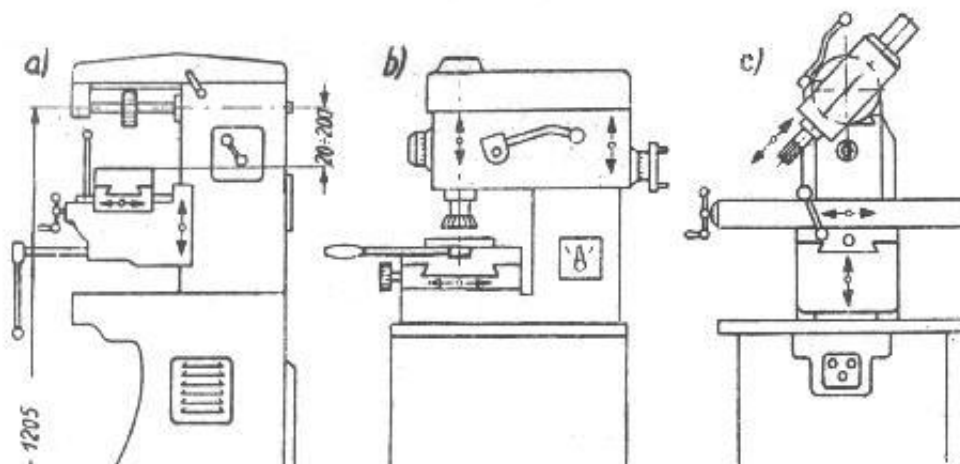
- ogólnego przeznaczenia, umożliwiające obróbkę, różnych powierzchni na różnych przedmiotach obrabianych,

- specjalizowane, umożliwiające obróbkę określonych powierzchni na różnych przedmiotach obrabianych,
- specjalne, dostosowane do wykonywania określonych operacji na wybranych przedmiotach obrabianych.

Najbardziej rozpowszechnione są frezarki ogólnego przeznaczenia, które podzielić można na następujące odmiany:

- 1) wspornikowe (konsolowe),
- 2) bezwspornikowe (bezkonsolowe),
- 3) wzdłużne,
- 4) karuzelowe,
- 5) stołowa.

Frezarki stołowe, ustawiane są na stołach warsztatowych przeznaczone są do wykonywania precyzyjnych prac (nastawianie wymiarów odbywa się tu z dokładnością 0,01 - 0,001 mm) na małych przedmiotach obrabianych. We frezarkach stołowych napęd ruchu głównego jest mechaniczny (od silnika elektrycznego), a ruchów posuwowych - ręczny.

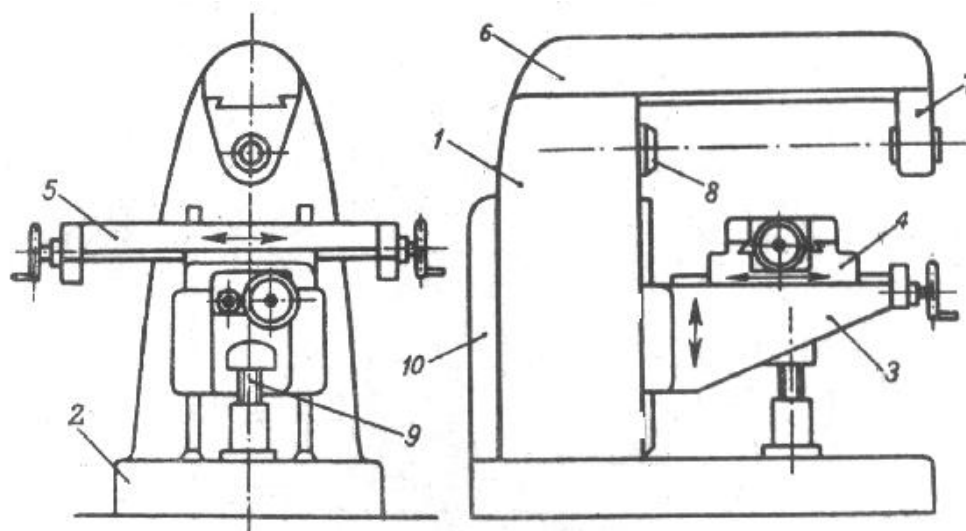


**Rys. 34.** Frezarki wspornikowe poziome uniwersalne  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Frezarki wspornikowe spotykane są w prawie każdym zakładzie produkcyjnym przemysłu maszynowego. Frezarki te wyposażone są w tak zwany wspornik, (na którym usytuowany jest stół frezarki), który może być przemieszczany pionowo po prowadnicach korpusu. Napęd ruchów: głównego i posuwowych, jest w tych frezarkach uzyskiwany od jednego silnika poprzez odpowiednie mechanizmy. Frezarki wspornikowe budowane są jako: poziome i pionowe.

Frezarka wspornikowa pozioma ma poziomo ułożyskowane wrzeciono. Podczas obróbki narzędzie zamocowane we wrzecionie bezpośrednio lub za pośrednictwem trzpienia frezarskiego - wykonuje ruch główny. Przedmiot obrabiany mocowany jest na stole frezarki i wykonuje ruchy posuwowe oraz nastawcze. Stół frezarski może przemieszczać się w następujących kierunkach:

- poziomo wzdłuż frezarki (posuw wzdłużny),
- poziomo w poprzek obrabiarki (posuw poprzeczny),
- pionowo (nastawianie głębokości skrawania).



**Rys. 35.** Frezarka wspornikowa pozioma  
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

### Wskazówki dotyczące frezowania

Wybór średnicy freza zależy od:

- wielkości przedmiotu obrabianego (szerokość frezowania),
- mocy napędu obrabiarki (silnik główny),
- położenie freza względem przedmiotu (przy frezowaniu walcowo-czołowym zaleca się, by głębokość skrawania nie przekraczała 40% maksymalnej głębokości – wynikającej ze średnicy narzędzia),
- sposobu frezowania (zaleca się frezowanie współbieżne - co zwiększa trwałość ostrza).

Przy wyborze kąta przystawienia pamiętać należy o tym, że:

- grubość wióra zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem kąta przystawienia (redukcja drgań przy długich narzędziach),
- kąt ten wpływa na trwałość ostrza (silnik główny).

Chropowatość powierzchni frezowanej zależy od:

- bicia osiowego freza (narzędzie i zamocowanie),
- rodzaju frezowania,
- chłodzenia (zwłaszcza przy obróbce wykańczającej materiałów ciągliwych),
- głębokości skrawania (promieniowej) (powinna być mała).

Przy wyborze sposobu frezowania pamiętać należy o tym, że frezowanie współbieżne zapewnia kilkukrotnie większą trwałość narzędzia niż przeciwbieżne, a także gładszą powierzchnię obrobioną, wymaga mniejszej mocy silnika posuwów.

### Ogólne wytyczne doboru parametrów skrawania:

Głębokość frezowania:

- przy obróbce zgrubnej przyjmować możliwie dużą tak, by zdjąć naddatek w jednym przejściu,
- podczas frezowania odlewów i odkuwek frezować przeciwbieżnie,
- przy frezowaniu wykańczającym głębokość zależy od wymaganej chropowatości powierzchni.

Posuw frezowania:

- przy obróbce zgrubnej przyjmować możliwie duży odpowiednio do mocy frezarki (w tabelach do doboru parametrów podaje się zwykle posuw na ostrze),
- przy frezowaniu wykańczającym wraz ze zmniejszaniem posuwu polepsza się jakość powierzchni, zbyt mały posuw powoduje powstawanie poślizgu ostrzy. Posuw winien być nie mniejszy od 0,05mm na jedno ostrze, choć zależy to od wielu czynników, np. sztywności przedmiotu i maszyny, zamocowania (w tabelach podaje się posuw na obrót).

Prędkość skrawania:

- dobierana z tabel w zależności od materiału obrabianego i kontrolowana trwałością ostrzy,
- przy tym parametrze mamy największą swobodę, ale zwiększając  $v$  skracamy trwałość narzędzia - wydajność obróbki wzrasta, jeżeli mamy automatyczną zmianę narzędzia, bo przy ręcznej wymianie może ulec zmniejszeniu, a zmniejszając  $v$  zmniejszamy wydajność obróbki.

## Frezy

W frezach wyróżniamy ostrza skrawające, które kształtem i geometrią ostrza są podobne do noża tokarskiego.

Ze względu na budowę rozróżniamy frezy:

- walcowe,
- tarczowe,
- palcowe,
- kształtowe,
- walcowo-czołowe,
- kątowe,
- specjalne.

Frezy walcowe są przeznaczone do obróbki powierzchni płaskich.

Frezy tarczowe są przeznaczone do obróbki różnego rodzaju rowków, wcięć itp.

Frezy palcowe służą głównie do obróbki rowków na wpusty i kliny oraz różnego rodzaju powierzchni płaskich wgłębnych.

Frezy kształtowe stanowią bardzo liczną grupę narzędzi stosowanych do obróbki powierzchni o skomplikowanych kształtach, np. do obróbki gwintów, uzębień, rowków kształtowych oraz różnych kształtów specjalnych.

Ze względu na zarys ostrzy wyróżnia się frezy:

- jednościanowe,
- dwuścianowe,
- łukowe,
- zataczane.

Frezy o ostrzach jednościanowych najprostszych do wykonania, są stosowane do robót niewymagających obciążenia, ponieważ grubość zębów, a zatem i ich wytrzymałość nie są znaczne.

Frezy o ostrzach dwuściennych są przeznaczone do takich samych robót jak frezy jednościenne tylko że frezy dwuścienne są bardziej wytrzymałe na obciążenie

Frezy o ostrzach łukowych są wytrzymałe i dlatego są stosowane do prac ciężkich. Rowki wiórowe o ostrzach łukowych są w stanie pomieścić podczas skrawania więcej wiórów niż we frezach dwuściennych, dlatego są od nich lepsze.

Frezy o ostrzach zataczanych zachowują niezmienną kształty po ostrzeniu. Z tego powodu mimo trudności ich wykonania stosuje je się tam, gdzie wymagane jest nadanie przedmiotowi odpowiednich, nieraz skomplikowanych kształtów.



Ze względu na sposób zamocowania rozróżnia się frezy:

- nasadzane,
- trzpieniowe.

Frezy nasadzane są zazwyczaj walcowe lub tarczowe. Zamocowuje je się na trzpieniu frezarskim o średnicy odpowiadającym średnicy otworu we frezie.

Frezy trzpieniowe nie wymagają stosowania oddzielnych trzpieni do ich zamocowania, gdyż z własnymi trzpieniami tworzą całość. Typowym frezem trzpieniowym jest frez palcowy.

### **Podzielnica**

Podzielnice stosuje się przy pracach frezerskich wymagających podziału obwodów koła na części itp. Typowymi operacjami wykonywanymi z użyciem podzielnicy są: nacinanie uzębień kół zębatach, frezowanie rowków śrubowych na wiertłach krętych, nacinanie ostrzy na frezach, itp.

### **Typowe prace wykonywane na frezarkach**

Przedmioty frezowane zamocowuje się w zależności od kształtu i wielkości najczęściej bezpośrednio na stole frezarki, w imadle maszynowym, w uchwycie podzielnicy lub przyrządach specjalnych.

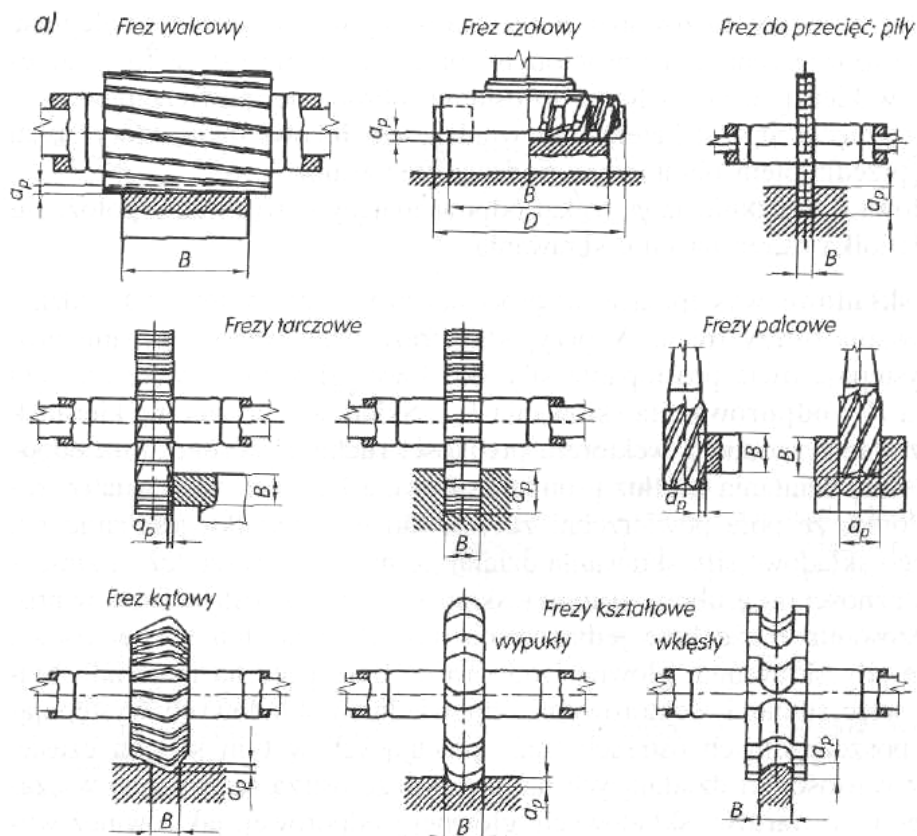
Najczęściej stosowaną operacją obróbki frezowaniem jest frezowanie płaszczyzn. Do tego celu używa się frezów walcowych, frezów walcowo-czołowych oraz głowic frezowych wielostrzowych z wymiennymi ostrzami.

Kolejną pracą wykonywaną na frezarkach jest frezowanie rowków prostych. Do takich operacji używa się frezów tarczowych trzystronnych o zębach prostoliniowych, frezów tarczowych o zębach naprzemienskośnych lub frezów trzpieniowych.

Rowki teowe frezuje się za pomocą frezów trzpieniowych tarczowych.

Prowadnice trapezowe lub rowki trapezowe należy frezować za pomocą frezów trzpieniowych kątowych. Rowki kątowe wykonuje się za pomocą frezów kątowych dwustronnych.

Na frezarkach można nacinąć uzębienie kół zębatach. Istnieje kilka sposobów obróbki uzębień. Jeden z nich polega na wykorzystaniu modułowych frezów krążkowych lub trzpieniowych. Jest to tak zwana metoda kształtowa, stosowana tam, gdzie nie jest wymagana duża dokładność. Wynika to z trudności wykonania narzędzi kształtowych oraz niedokładności ustawienia narzędzia na obrabiarce. Ponadto wadą tej metody jest konieczność posiadania oddzielnych narzędzi do kół zębatach o różnych parametrach. Frezy modułowe stosuje się zwykle do modułów mniejszych. Uzębienie o modułach przekraczających 20 mm obrabia się frezami kształtowymi. Frezowanie kształtowe stosuje się jedynie w produkcji jednostkowej.



**Rys. 36.** Przykłady zadań obróbkowych wykonywanych różnymi frezami  
Źródło: Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

## 4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz rodzaje frezarek?
2. Jakie typowe narzędzia skrawające są wykorzystywane podczas prac na frezarkach?
3. Jakie są różnice między frezowaniem współbieżnym i przeciwbieżnym?
4. Do czego służy podzielnica?
5. Jakie są podstawowe prace wykonywane na frezarkach?

## 4.5.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Dobierz narzędzia i przyrządy do wykonywania prac na frezarkach.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) na podstawie karty technologicznej zidentyfikować operacje, jakie należy wykonać,
- 3) dobrać parametry do poszczególnych operacji,

- 4) na podstawie kart katalogowych dobrać odpowiednie narzędzia,
- 5) krótko uzasadnić dobór narzędzi i przyrządów.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- poradniki i normatywy,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

## **Ćwiczenie 2**

Dobierz i nastaw parametry frezowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) wynotować z dokumentacji rodzaj materiału, wartości naddatków na obróbkę,
- 3) z DTR obrabiarki wypisać istotne parametry,
- 4) z karty katalogowej narzędzia wypisać jego parametry,
- 5) dobrać wartości naddatków na obróbkę zgrubną i wykańczającą,
- 6) obliczyć prędkość obrotową i prędkość posuwu,
- 7) uzasadnić obliczone parametry.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- DTR i instrukcja obsługi obrabiarki,
- poradniki i normatywy,
- karty katalogowe narzędzi,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

## **Ćwiczenie 3**

Wykonaj części maszyn na frezarce.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną procesu wytwarzania detalu, DTR i instrukcją obsługi obrabiarki,
- 2) wypisać konieczne operacje,
- 3) do danych operacji dobrać niezbędne narzędzia i przyrządy,
- 4) dobrać parametry skrawania,
- 5) wszystkie istotne informacje zapisać w formie instrukcji obróbki,
- 6) zamocować materiał na frezarce,
- 7) zamocować odpowiednie narzędzia i oprzyrządowanie na frezarce,
- 8) wykonać detal zgodnie ze sporządzoną instrukcją obróbki,
- 9) sprawdzić jakość wykonanego elementu,
- 10) uprzątnąć stanowisko pracy,
- 11) dokonać prezentacji wykonanego detalu.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- hala maszyn wyposażona w obrabiarki skrawające różnego typu,
- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi obrabiarek,
- dokumentacja technologiczna,
- różne narzędzia skrawające i przyrządy,
- poradniki i normatywy,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### 4.5.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) dokonać podziału frezów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dobrać odpowiednie narzędzia i przyrządy do konkretnych operacji wykonywanych na frezarkach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zamocować materiał na frezarce?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wykonać proste operacje frezarskie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać budowę frezarki i zadania poszczególnych podzespołów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.6. Szlifowanie: narzędzia do szlifowania, odmiany szlifowania prace wykonywane na szlifierkach





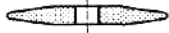
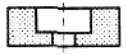



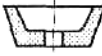
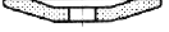
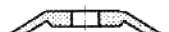



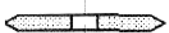

### 4.6.1. Materiał nauczania

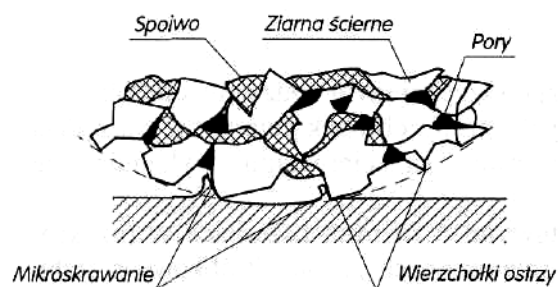
#### Szlifowanie

Szlifowanie jest najbardziej rozpowszechnionym rodzajem obróbki wykańczającej skrawaniem, zaliczanej do grupy obróbek ściernych. Narzędzia stosowane w procesie szlifowania zwane są ściernicami, wykonują one główny ruch obrotowy.

Ściernice są narzędziami obrotowymi o różnych kształtach w przekrojach osiowych, dostosowanych do różnorodnych zadań obróbkowych (tabl. 5). Części robocze ściernic są wykonywane z mieszaniny twardych ziaren ściernych i spoiwa wiążącego je w określone porowate struktury. Ostre krawędzie ziarenek są zbiorem ostrzy skrawających, pory odgrywają rolę rowków wiórowych, a spoiwo nadaje strukturze ściernicy określoną wytrzymałość mechaniczną (rys. 37). Ziarna ścierne są osadzone w spoiwie w sposób przypadkowy. Wartości kątów natarcia ostrzy są również przypadkowe, z przewagą kątów ujemnych. Szlifowanie jest procesem wysoko energochłonnym. Przy małych wymiarach ostrzy, przekroje warstw skrawanych przypadających na poszczególne ostrza są również bardzo małe. Wobec tego, taki proces skrawania jest utożsamiany z cechami ścierania powierzchni, a obróbkę nazywa się ścierną, natomiast narzędzia ściernicami.

**Tabela 5.** Rodzaje ściernic Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

Ściernice tarczowe		Ściernice garbkowe	
Plaskie		cienkościenne	
Jednostronnie stożkowe		cienkościenne dwustronne	
Dwustronnie stożkowe		grubościenne	
Cienkie (do pił)		cienkościenne zbieżne	
Z dwustronnym wybraniem		grubościenne zbieżne	
Talerzowe			
Ściernice specjalne		Odcinki szlifierskie do korpusów	
Do kół zębatych		łukowe	
Do frezów do drewna		wypukłe	
Do gwintów		prostokątne płaskie	



**Rys. 37.** Podstawowe elementy ściernicy

Źródło: Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

Głównym zadaniem szlifowania jest obróbka twardych materiałów w celu uzyskania dużej dokładności wymiarów i kształtu oraz małej chropowatości powierzchni  $Ra = 0,16 \mu m$ , a nawet poniżej.

Ze względu na zadania obróbkowe występujące w procesach wytwarzania części maszyn oraz układy kinematyczne szlifowanie można podzielić na:

- szlifowanie płaszczyzn - obwodem tarczy; przy wzdłużnym ruchu posuwowym prostoliniowym zwrotnym i skokowym poprzecznym przedmiotu, przy wzdłużnym ruchu posuwowym prostoliniowym zwrotnymi obrotowym przedmiotu - czołem tarczy; przy ruchu posuwowo-zwrotnym przedmiotu, przy posuwie w kierunku czoła tarczy (nieduże powierzchnie) i przy ruchu obrotowym przedmiotu,
- szlifowanie na okrągło - obwodem tarczy; wzdłużne zewnętrzne i wewnętrzne przy ruchu obrotowym i posuwowym prostoliniowo-zwrotnym przedmiotu, poprzeczne zewnętrzne i wewnętrzne przy ruchu obrotowym i posuwowym promieniowym przedmiotu - czołem tarczy przy ruchu obrotowym przedmiotu (niewielkie powierzchnie walcowe),
- szlifowanie gwintów zewnętrznych i wewnętrznych ściernicami pojedynczymi lub wielokrotnymi,
- szlifowanie uzębień kół zębatach - kształtowe, obwiedniowe, szlifowanie powierzchni profilowych - płaskich z posuwem wzdłużnym przedmiotu, obrotowych zewnętrznych i wewnętrznych z ruchem obrotowym i posuwem promieniowym przedmiotu oraz walcowo-czołowych z ruchem obrotowym przedmiotu i posuwem prostopadłym lub ukośnym ściernicy (powierzchnie profilowe powstają przez odwzorowanie zarysu ściernicy),
- szlifowanie powierzchni kształtowych wypukłych i wklęsłych o podwójnych krzywiznach wg kopiału lub programu numerycznego.

Podczas szlifowania powierzchni osiowo-symetrycznych tarcza ścierna oraz przedmiot obrabiany otrzymują ruchy obrotowe przeciwnie skierowane. Ze względu na sposób mocowania przedmiotu wyróżnia się szlifowanie kłowe (rys. 38a); przedmiot jest mocowany w kłach z zabierakiem i bezkłowe (rys. 38b); przedmiot jest podparty podtrzymałą i przesuwany za pomocą składowej osiowej siły skrawania. Przy szlifowaniu kłowym wykańczającym obracający się przedmiot wykonuje ruch posuwowo-zwrotny z posuwem wzdłużnym  $f = \frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$  szerokości ściernicy na jeden obrót przedmiotu.

Droga dojścia i wyjścia ściernicy jest tego samego rzędu. Posuw poprzeczny (dosuw) na jeden lub na podwójny przesuw wzdłużny przedmiotu przyjmuje się  $a_p - 0,0025 \div 0,08 \text{ mm}$  ( $a_p = 0,02 \div 0,2 \text{ mm}$ ,  $f = 1 \div 4 \text{ mm/obr}$  przy szlifowaniu zgrubnym) w zależności od sztywności i twardości przedmiotu oraz wymaganej chropowatości. Naddatek na szlifowanie

$S = 0,15 \div 0,3$  mm jest zdejmowany w kilku przejściach. Teoretyczną liczbę przejść oblicza się dzieląc  $\frac{S}{a_p}$ .

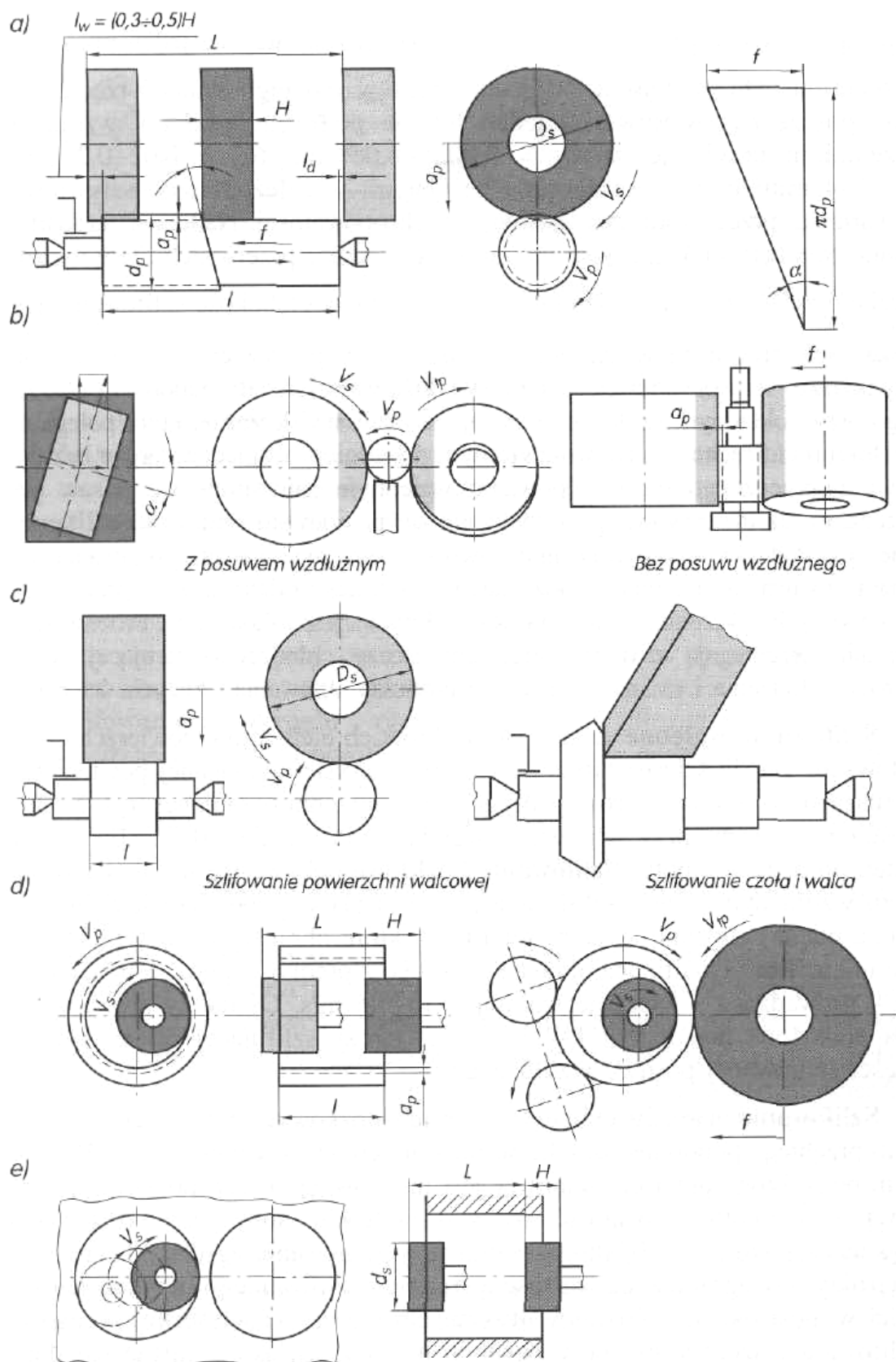
Rzeczywista głębokość szlifowania jest kilkanaście procent mniejsza wskutek odkształceń sprężystych przedmiotu i tarczy ścierniej spowodowanych stosunkowo dużą wartością siły odporowej. Wobec tego przy dokładnym szlifowaniu stosuje się tzw. wyiskrzanie, które polega na wielokrotnym ruchu posuwowo-zwrotnym przedmiotu względem tarczy bez dosuwu poprzecznego (przy szlifowaniu wgłębnym zatrzymuje się posuw poprzeczny), aż do całkowitego odprężenia się przedmiotu obrabianego i tarczy ścierniej. Podczas wyiskrzania intensywność iskrzenia w strefie skrawania jest miarą usuwania nadmiaru pozostałego wskutek odkształceń sprężystych. W chwili, gdy iskrzenie ustaje, proces wyiskrzania jest zakończony. Procesy szlifowania przebiegają z doprowadzeniem cieczy chłodząco-smarującej, która oprócz chłodzenia i smarowania usuwa produkty skrawania i zużycia ściernicy.

Szlifowanie wgłębne stosuje się do krótkich elementów powierzchni obrotowych.

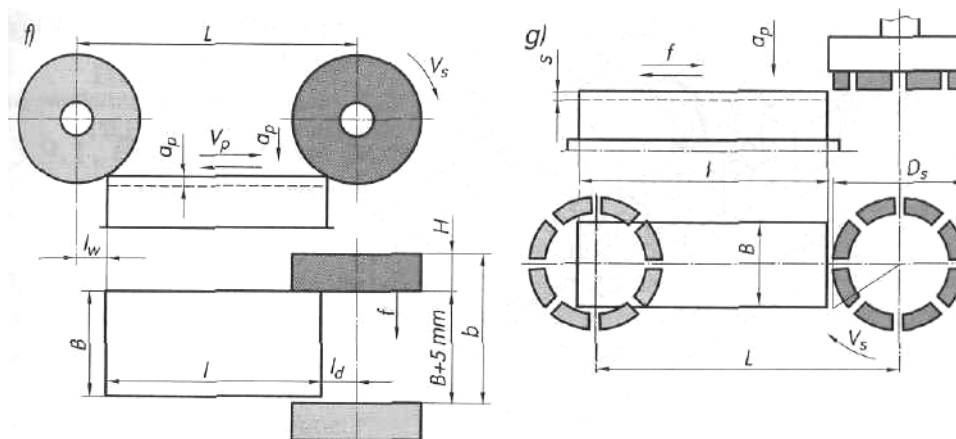
Tarcza ścierna lub zestaw tarcz o zarysie wymaganej powierzchni porusza się z posuwem prostym do powierzchni obrabianej (rys. 38c). Posuw poprzeczny przy szlifowaniu wgłębnym jest rzędu  $0,002 \div 0,05$  mm na jeden obrót przedmiotu. Szlifowanie bezkłowe odbywa się na ogół z posuwem wzdłużnym. Część szlifowana podparta ukośną podpórką jest umieszczona między dwoma tarczami ściernymi, które obracają się w tym samym kierunku. Tarcza szlifująca obraca się szybko z prędkością np. 35 m/s, a druga - prowadząca - znacznie wolniej:  $0,15 \div 1,5$  m/s. Oś tarczy prowadzącej jest pochylona pod kątem  $1 \div 4,5^\circ$  do osi tarczy szlifującej celem nadania części szlifowanej posuwu wzdłużnego.

Szlifowanie otworów cylindrycznych lub stożkowych z posuwem wzdłużnym przebiega podobnie jak szlifowanie długich wałków (rys. 38d). Po każdym podwójnym przejściu ściernicy jest realizowany posuw poprzeczny (dosuw) przedmiotu o wartość  $a_p = 0,002 \div 0,01$  mm przy szlifowaniu wykańczającym i  $a_p = 0,006 \div 0,03$  mm przy szlifowaniu zgrubnym.

Średnica ściernicy jest ograniczona wartością średnicy szlifowanego otworu, najczęściej wynosi ok. 0,75 średnicy otworu. Do uzyskania właściwej prędkości szlifowania, szczególnie przy obróbce małych otworów, stosuje się duże prędkości obrotowe rzędu  $n = 30\,000 \div 100\,000$  obr/min. Przy obróbce otworów w częściach nieobrotowych stosuje się szlifowanie planetarne (rys. 38g).







**Rys. 38.** Podstawowe odmiany szlifowania:

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| a) szlifowanie kłowe wałków,     | e) szlifowanie otworów planetarne,            |
| b) szlifowanie bezkłowe wałków,  | f) szlifowanie powierzchni obwodem ściernicy, |
| c) szlifowanie wgłębne,          | g) szlifowanie powierzchni czołem ściernicy;  |
| d) szlifowanie otworów (zwykłe), |   |

$v_s$  - prędkość ściernicy,  
 $v_p$  - prędkość przedmiotu,  
 $a_p$  - grubość skrawania,  
 $H$  - szerokość ściernicy,  
 $v_{lp}$  - prędkość obwodowa tarczy pomocniczej,  
 $L$  - przemieszczenie tarczy,  
 $l$  - długość wałka,

$f$  - posuw wzdłużny,  
 $\alpha$  - kąt nachylenia ściernicy pomocniczej  
 względem głównej,  
 $l_w$  - droga wyjścia,  
 $l_d$  - droga dojścia,  
 $D_s$  - średnica tarczy segmentowej,  
 $d_p$  - średnica przedmiotu,  
 $d_s$  - średnica ściernicy do otworów.

Źródło: Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987

Szlifowanie płaszczyzn może być wykonywane powierzchnią walcową lub czołową ściernicy (rys. 38f, g). Przy szlifowaniu zgrubnym (powierzchnią walcową) stosuje się głębokość szlifowania  $a_p = 0,015 \div 0,05$  mm i posuw wzdłużny  $f$  do 70 m/min, przy szlifowaniu wykańczającym  $a_p = 0,005 \div 0,01$  mm i  $f = 10 \div 20$  m/min. Przy szlifowaniu wykańczającym czołem ściernicy  $a_p = 0,005 \div 0,01$  mm i  $f = 20 \div 30$  m/min. Do szlifowania materiałów twardych stosuje się spoiwa miękkie, do materiałów miękkich - spoiwa twarde.

Prędkość skrawania jest ograniczona wytrzymałością spoiwa na rozerwanie ściernicy przez siły odśrodkowe. W zależności od zastosowanego spoiwa prędkości skrawania wynoszą:

- $v = 35$  m/s - spoiwa ceramiczne (tradycyjne),
- $v = 45$  m/s - spoiwa magnezytowe,
- $v = 50 \div 80$  m/s - spoiwa elastyczne,
- $v = 200 \div 300$  m/s - spoiwa metalowo-galwaniczne.

Prawidłowy przebieg procesu szlifowania wymaga poprawnego zamocowania, obciążania i wyrównoważenia tarczy ścierniczej. Obciążanie polega na usunięciu bicia promieniowego i wzdłużnego ściernicy (nadania wymaganej geometrii lub jej przywrócenia w przypadku stopienia) za pomocą obciążacza diamentowego. Wyrównoważenie statyczne polega na doprowadzeniu środka ciężkości tarczy do położenia osiowego (należy je zawsze stosować).

Wyrównoważenie dynamiczne polega na ograniczeniu do możliwego minimum momentów sił bezwładności powstających wskutek niejednorodnego rozkładu masy

ściernicy. Powinno być stosowane bezpośrednio na wrzecionie szlifierki jeżeli prędkość obwodowa tarczy jest większa niż 45 m/s.

Najczęściej stosowanymi materiałami ściernymi są: korund lub elektrokorund  $Al_2O_3$ , węgiel krzemu SiC, węgiel boru  $B_4C$ , regularny azotek boru  $B_4N$  i diament. Oznaczanie ściernic ujęte jest w PN ISO 525:2001 i ujmuje: kształt i wymiary, materiał i wielkość ziaren, rodzaj spoiwa, strukturę i twardość ściernicy. Podstawowe rodzaje szlifierek do wałków to: kłowe, bezkłowe, do płaszczyzn, do otworów, do gwintów, ostrzarki do narzędzi oraz szlifierki CNC.

#### 4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaki jest cel szlifowania elementów?
2. Jakie są podstawowe rodzaje szlifierek?
3. Jakie są typowe prace wykonywane na szlifierkach?
4. Jakimi metodami można obrabiać koła zębate na szlifierkach?
5. Jakie materiały są stosowane na ściernice?
6. Jakie znasz rodzaje ściernic?

#### 4.6.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Dobierz kształt ściernicy do konkretnej operacji obróbkowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) zapoznać się z DTR i instrukcją obsługi obrabiarki,
- 3) dobrać kształt potrzebnej ściernicy,
- 4) uzasadnić wybór.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- przykładowe dokumentacje technologiczne,
- DTR i instrukcje obsługi obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

##### Ćwiczenie 2

Wykonaj operacje szlifowania części maszynowej zgodnie z rysunkiem.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją technologiczną wykonania detalu,
- 2) zapoznać się z DTR i instrukcją obsługi obrabiarki,
- 3) dobrać kształt potrzebnej ściernicy,
- 4) uzasadnić wybór ściernicy,

- 5) zamocować przedmiot obrabiany,
- 6) wykonać operacje szlifowania,
- 7) zaprezentować efekty swojej pracy,
- 8) dokonać oceny ćwiczenia.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- dokumentacja technologiczna,
- szlifierka do płaszczyzn,
- szlifierka do wałków,
- DTR i instrukcje obsługi obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### 4.6.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) wymienić podstawowe operacje wykonywane na szlifierkach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić podstawowe rodzaje szlifierek?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) dobierać narzędzia ściernie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.7. Obrabiarki CNC

### 4.7.1. Materiał nauczania

#### Podstawowe pojęcia i idea sterowania numerycznego

Sterowanie numeryczne określa system sterowania, w którym wszystkie informacje potrzebne do wykonania przedmiotu są podawane w postaci zakodowanych symboli alfanumerycznych reprezentowanych przez liczby, a proces wykonywania przedmiotu odbywa się w sposób automatyczny według zapisanego programu. Podstawowe informacje potrzebne do wykonania przedmiotu są następujące:

- współrzędne drogi narzędzia lub narzędzi (jeżeli do wykonania przedmiotu potrzeba więcej niż jedno narzędzie),
- rodzaj interpolacji: liniowa, kołowa, paraboliczna lub spiralna,
- warunki obróbki: prędkości skrawania (prędkość obrotowa wrzeciona) i posuwu,
- wprowadzenie określonego narzędzia do pracy,
- włączenie lub wyłączenie chłodziwa o określonym rodzaju i wydatku,
- określenie kierunku obrotów wrzeciona,
- wprowadzenie korekcy rzeczywistych wymiarów narzędzi w stosunku do wymiarów nominalnych zapisanych w programie,
- czasowe zatrzymanie posuwu narzędzia,
- warunkowe zatrzymanie programu obróbki, np. w celu kontroli wymiarów.

Symbole alfanumeryczne to symbole składające się z określonej litery oraz cyfr zapisanych w odpowiednim formacie stosownym dla danego układu sterowania. Symbole określające współrzędne mogą zawierać znaki „+” lub „-”, przy czym w większości przypadków znak „+” może być pominięty.

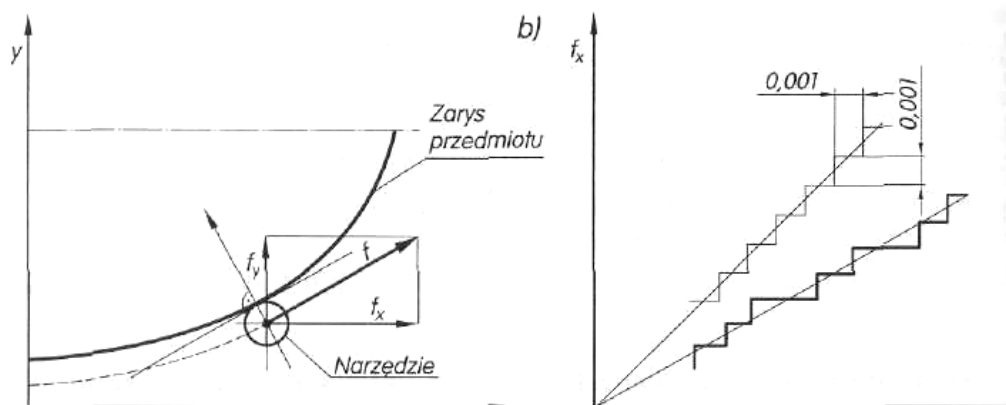
Idea sterowania numerycznego jest oparta na wykonywaniu przedmiotu według wzorca matematycznego z dokładnością określoną przez możliwości techniczne układu sterowania numerycznego i mechanicznego obrabiarki, przy zadanych warunkach technicznych obróbki. Wszystkie informacje zawarte w programie obróbki są podawane na nośniku informacji za pomocą liczb, stąd nazwa sterowanie numeryczne, oznaczane symbolem NC (z ang. Numerical Control - sterowanie liczbowe). Nośnikiem informacji jest najczęściej dyskietka 3,5" lub pamięć komputera, a w starszych rozwiązaniach pamięć układu sterowania lub taśma papierowa ośmiościeżkowa. Pierwsze powszechnie stosowane obrabiarki NC były sterowane za pomocą, tzw. jednostek logicznych.

W miarę rozwoju techniki komputerowej jednostki logiczne zostały zastąpione komputerami PC (ang. Personal Computer). Obecnie na szeroką skalę jest stosowane komputerowe sterowanie numeryczne, zwane krótko CNC (z ang. Computer Numerical Control). Zadanie sterowania obrabiarką przejmuje sterownik z odpowiednim oprogramowaniem. Układy sterowania CNC mogą współpracować z różnymi obrabiarkami. Istnieje jeszcze, tzw. bezpośrednie sterowanie numeryczne DNC (z ang. Direct Numerical Control), które polega na tym, że jeden główny komputer o dużej mocy obliczeniowej nadzoruje jednocześnie pracę wielu obrabiarek sterowanych numerycznie.

Główny komputer jest wykorzystywany do opracowywania, a następnie bezpośredniego przekazywania programów obróbki do poszczególnych obrabiarek. Obrabiarki sterowane numerycznie w polskim nazewnictwie mają skrót OSN.

Praktyczna realizacja idei sterowania numerycznego przy obróbce części o złożonych kształtach polega na zastosowaniu układu sterowania, który pozwala na sprzęgnięcie

posuwów składowych tak, że wypadkowa prędkość posuwu jest zawsze styczna do wymaganego zarysu przedmiotu (rys. 39).



**Rys. 39.** Realizacja przemieszczeń narzędzia po torze stycznym do zarysu przedmiotu:

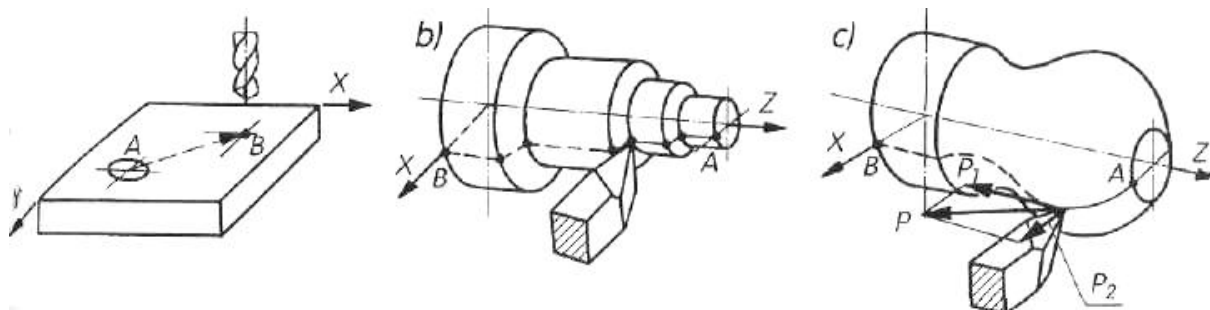
- a) posuw składowy, b) elementarne przemieszczenia w kierunku ruchów składowych - krzywe schodkowe po interpolacji i działaniu integratora cyfrowego ( $f_x, f_y$  - składowe posuwu)

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

### Układy sterowania numerycznego

W zależności od przyjętego kryterium wyróżnia się różne podziały układów sterowania. Ze względu na rodzaj elementu geometrycznego, względem którego jest prowadzone narzędzie, wyróżnia się układy sterowania (rys. 40):

- punktowe, w których narzędzie (lub przedmiot obrabiany) jest automatycznie ustawiane w punkcie o wymaganych współrzędnych przestrzeni roboczej,



**Rys. 40.** Rodzaje sterowania: a) punktowe, b) odcinkowe, c) kształtowe (ciągłe)

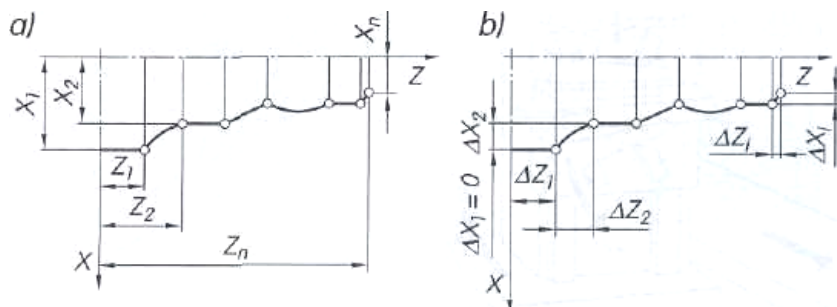
Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

- odcinkowe, w których narzędzie przemieszcza się względem przedmiotu obrabianego w określonej płaszczyźnie układu współrzędnych po torach równoległych do osi układu tej płaszczyzny (dla tokarek jest to płaszczyzna XZ, dla frezarek najczęściej XY, może być również YZ lub ZX), przy czym nie jest możliwy jednoczesny ruch w dwóch osiach (w przypadku wyposażenia obrabiarki w interpolator liniowy możliwy jest jednoczesny ruch posuwowy wzdłuż obu osi, wtedy torem narzędzia jest odcinek nachylony pod określonym kątem do osi układu),
- kształtowe (ciągłe), w którym narzędzie może przemieszczać się względem przedmiotu po dowolnym torze w przestrzeni układu współrzędnych, wówczas obrabiarka jest wyposażona w interpolator, np. liniowo-kołowy.

Ze względu na sposób podawania współrzędnych punktów charakterystycznych drogi narzędzia przy wykonywaniu przedmiotu, układy sterowania można podzielić na (rys. 41):

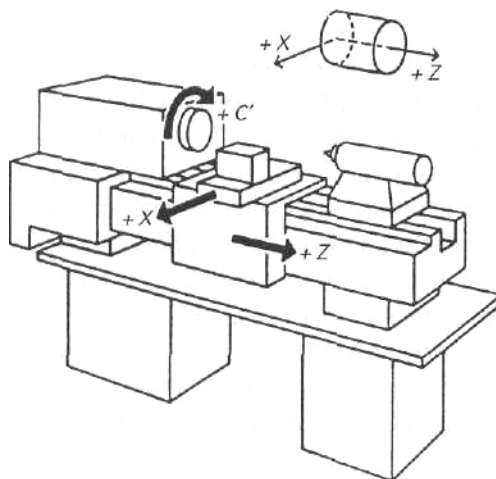
- przyrostowe - wartości współrzędnych są podawane w sposób przyrostowy,
- absolutne - wartości współrzędnych są podawane względem początku układu współrzędnych,
- absolutne i przyrostowe - mogą pracować w obu trybach programowania.

Pod względem sterowanych jednocześnie stopni swobody („osi”), tzn. przemieszczenia lub obrotu wrzeciona albo przedmiotu obrabianego, układy sterowania można podzielić na:



**Rys. 41.** Rodzaje sterowania ze względu na sposób podawania współrzędnych: a) absolutne, b) przyrostowe  
Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

- dwuosiowe; możliwe jest jednoczesne przemieszczanie narzędzia w płaszczyźnie względem dwóch osi,
- dwu i półosiowe; możliwe jest jednoczesne sterowanie ciągłe narzędzia w płaszczyźnie w dwóch osiach, a w trzeciej osi odcinkowe,
- trzyosiowe; możliwe jest jednoczesne sterowanie ciągłe w przestrzeni (frezarki) lub w płaszczyźnie i sterowanie obrotem wrzeciona (tokarki) (rys.42),

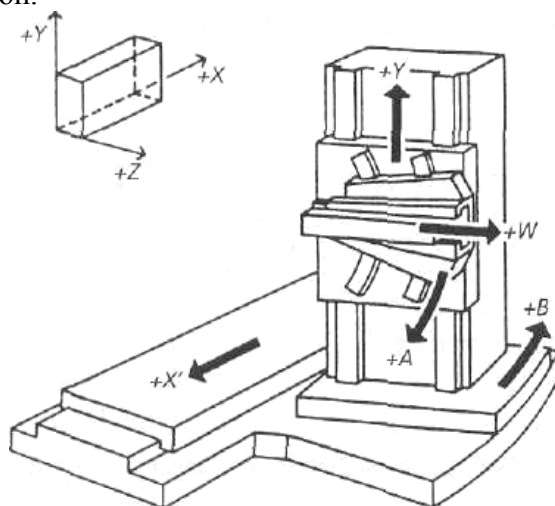


**Rys. 42** Przykład tokarki trzyosiowej CNC: Z - oś wrzecionowa, X - oś posuwu poprzecznego, C - oś (stopień swobody) -obrót sterowany wokół osi Z

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

- czteroosiowe; możliwe jest jednoczesne przemieszczanie narzędzia lub przedmiotu w przestrzeni względem trzech osi i obrót wrzeciona lub przedmiotu względem jednej z osi,

- pięcioosiowe; możliwe są przemieszczenia podobnie jak w sterowaniu czteroosiowym oraz obrót narzędzia lub przedmiotu względem dwóch osi układu współrzędnych (rys. 43),
- wieloosiowe (np. siedmioosiowe); jeżeli liczba osi jest większa niż 6 oznacza to, że obrabiarka jest wielowrzecionowa i obróbka może odbywać się najczęściej dwoma lub trzema narzędziami jednocześnie, a liczba sterowanych osi jest sumą sterowanych stopni swobody obu wrzecion.



**Rys. 43.** Przykład frezarki pięcioosiowej

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

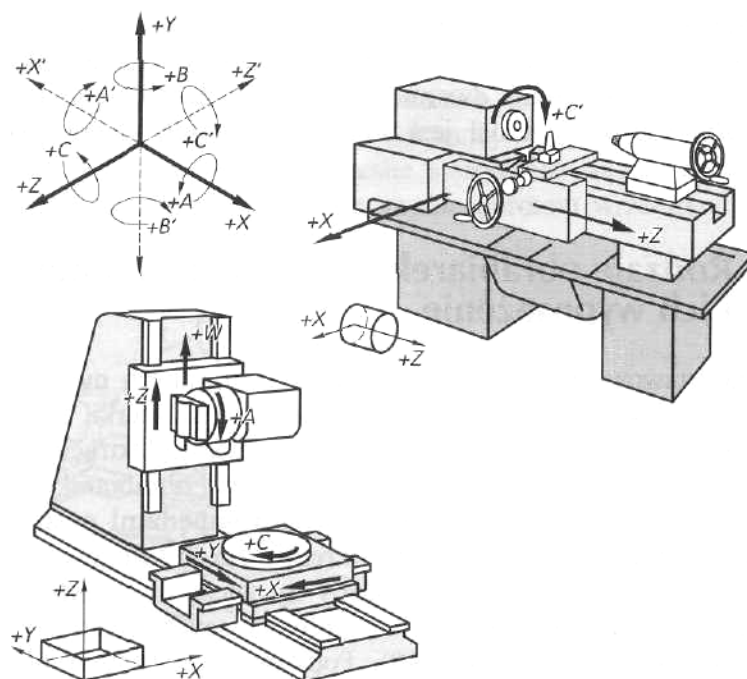
### Rodzaje obrabiarek sterowanych numerycznie i ich wyposażenie

Do podstawowych rodzajów obrabiarek sterowanych numerycznie należą: wiertarki, tokarki, frezarki, centra obróbkowe, szlifierki, obrabiarki elektroerozyjne wgłębne i wycinarki drutowe, obrabiarki elektrochemiczne, laserowe, wycinarki blach, itp. Wszystkie typy obrabiarek sterowanych numerycznie charakteryzują się bezluzowymi napędami posuwów składowych oraz układami pomiarowymi przemieszczeń (długości i kąta) o wysokiej rozdzielczości. Bezluzowe napędy są najczęściej realizowane za pomocą bezluzowych śrub tocznych współpracujących z nakrętką o wysokiej dokładności wykonania. Podstawowe zasady ustalania układu współrzędnych obrabiarek sterowanych numerycznie (wg PN-93/M-55251; rys. 44) ujmują następujące warunki:

- układ współrzędnych jest układem prostokątnym prawoskrętnym,
- oś Z jest skierowana równolegle do osi wrzeciona (gdy nie ma wrzeciona oś Z jest prostopadła do płaszczyzny mocowania przedmiotu),
- zwroty osi są tak skierowane, aby przy ruchu narzędzia w kierunku ujemnym narzędzie zagłębiało się w materiał,
- przemieszczenia liniowe narzędzia względem przedmiotu wzdłuż osi układu oznacza się: X, Y, Z, natomiast przedmiotu względem narzędzia: X', T, Z',
- przemieszczenia kątowe (obroty) narzędzia wokół osi układu (XYZ) oznacza się: A, B, C, a przedmiotu: A', B', C'.

Współczesne układy sterowania numerycznego zawierają następujące podstawowe zespoły funkcjonalne:

- wprowadzania i kontroli programu obróbki (wizualizacja obróbki),
- rozdziału i przesyłania informacji geometrycznych i technologicznych,
- obliczeniowy, najczęściej wyposażony w interpolator liniowo-kołowy,
- sterowania napędami posuwów (przełączalnych lub impulsowych).



**Rys. 44.** Zasady ustalania układu współrzędnych dla tokarek i frezarek sterowanych numerycznie  
 Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

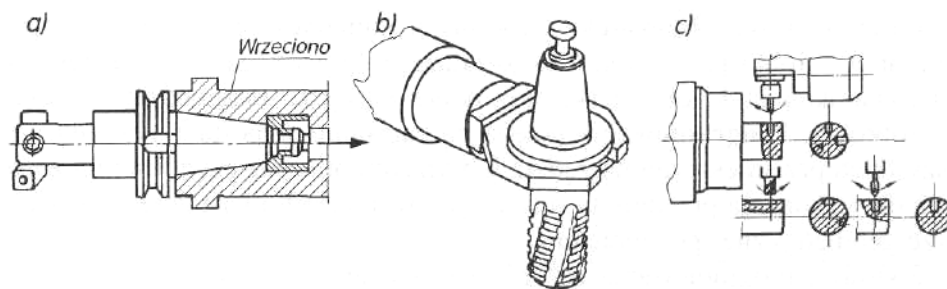
Struktura zespołu obliczeniowego jest uwarunkowana rodzajem sterowania napędami posuwów, a te z kolei zależą od rodzaju sterowania (punktowego, odcinkowego, ciągłego). Przy sterowaniu punktowo-odcinkowym mogą być stosowane napędy przełączalne (skokowa zmiana prędkości) lub sterowane impulsowo (bezstopniowa zmiana prędkości).

Przy sterowaniu ciągłym (kształtowym) są stosowane napędy posuwów sterowane impulsowo. Źródłem impulsów sterujących jest interpolator cyfrowy. Sterowanie impulsowe umożliwia sterowanie prędkością ruchu posuwów poprzez bezstopniową zmianę częstotliwości ciągu impulsów, natomiast wartość przemieszczenia jest wprost proporcjonalna do sumy doprowadzonych impulsów. Interpolator jest urządzeniem cyfrowym generującym sygnały (ciągi impulsów) wartości zadanych przemieszczeń dla kilku napędów jednocześnie, tak rozmieszczonych przestrzennie i czasowo, że prędkość wypadkowa posuwu jest zawsze styczna do określonego przez program zarysu przedmiotu i ma zadaną wartość. Według standardu wygenerowanie jednego impulsu odpowiada przemieszczeniu suportu o  $1\ \mu\text{m}$  (patrz rys. 45b).

Częstotliwość impulsów zależy od wartości posuwu i kształtu toru narzędzia. Teoretycznie interpolator jest generatorem krzywej schodkowej odpowiadającej zarysowi przedmiotu obrabianego. Teoretycznie zespół roboczy porusza się skokowo w określonych przez program kierunkach, tworząc krzywą schodkową. Praktycznie schodki nie są zauważalne; ze względu na bezwładność zespołu roboczego są znacznie złagodzone.

Współczesne obrabiarki sterowane numerycznie są wyposażone w wiele dodatkowych urządzeń, np.: podajniki, urządzenia załadownicze, dodatkowe napędy, zaciski uchwytów i elementów mocujących (rys. 45), głowice rewolwerowe z narzędziami obrotowymi, magazyny narzędzi z automatyczną wymianą (rys. 46), przenośniki wiórów, sondy pomiarowe i inne urządzenia ułatwiające pracę, np. elektroniczne kodowanie narzędzi (rys. 47).

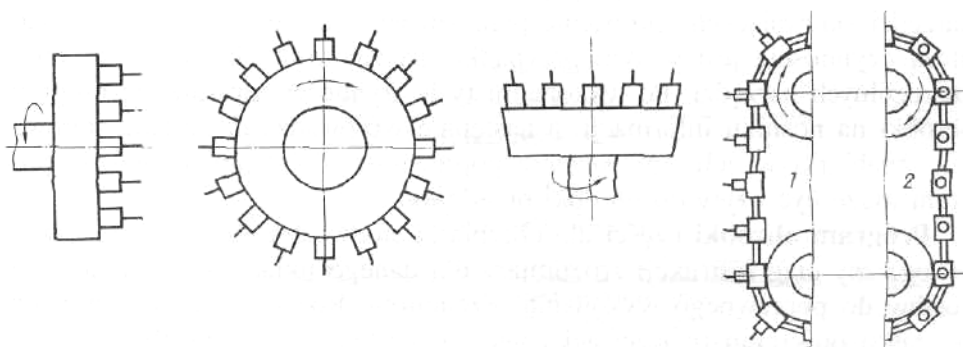




**Rys. 45.** Mocowanie narzędzi i dodatkowe napędy:

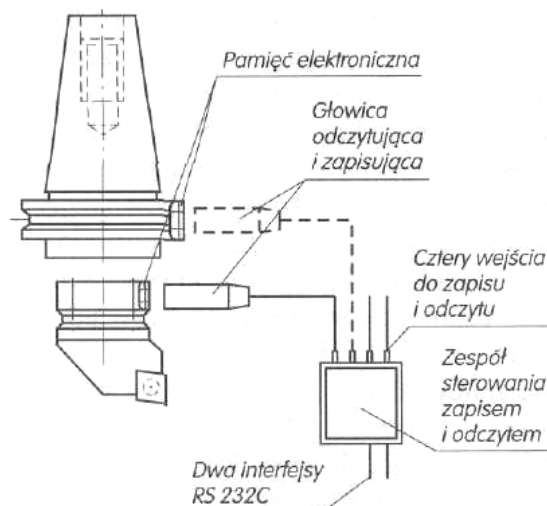
a) oprawka z narzędziem mocowana na końcówce wrzeciona, b) oprawka z narzędziem przenoszona podajnikiem, c) dodatkowy napęd narzędzia

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000



**Rys. 46.** Podstawowe układy magazynów narzędzi

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000



**Rys. 47.** Elektroniczne kodowanie narzędzi

Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

## **Podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie**

Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie to przygotowanie programu obróbki przedmiotu dostosowanego do wymagań układu sterowania i charakterystyki obrabiarki oraz dobór narzędzi, parametrów i warunków obróbki. Programowanie polega na zapisaniu w postaci symbolicznej wszystkich przemieszczeń narzędzia lub przedmiotu oraz czynności niezbędnych do wykonania przedmiotu o zadanych wymiarach i kształcie oraz strukturze geometrycznej powierzchni.

Podstawą programowania jest rysunek techniczny części wraz z warunkami technicznymi. Proces zapisu programu obróbki musi być poprzedzony przygotowaniem technologicznym, które obejmuje następujące czynności: dobór półfabrykatu, podział procesu technologicznego na operacje, zabiegi i przejścia przy określonych ustawieniach, dobór obrabiarki do określonej operacji, wybór baz obróbkowych i sposobu mocowania przedmiotu, dobór narzędzi skrawających, określenie parametrów i warunków obróbki.

Zasadniczą czynnością jest w tym przypadku szczegółowe określenie dróg poszczególnych narzędzi. Po wykonaniu tych czynności zapisuje się program obróbki na nośniku informacji, a następnie wprowadza do układu sterowania obrabiarki w celu sprawdzenia poprawności działania. Poprawny program może być użyty do obróbki przedmiotu.

Program obróbki części dla obrabiarki sterowanej numerycznie zawiera logiczny ciąg instrukcji zrozumiały dla danego układu sterowania i niezbędny do poprawnego wykonania przedmiotu. Rozpoczyna się symbolem początku programu (najczęściej znak %), następnie zawiera zbiór wierszy programowych (bloków instrukcji) określających uporządkowany ciąg przemieszczeń narzędzi oraz czynności technologicznych i kończy symbolem końca programu. Struktura programu i znaczenie symboli alfanumerycznych (litery i cyfry) zostały znormalizowane.

Podstawowym elementem programu jest wiersz programowy (blok instrukcji). Składa się on z symbolu N początku wiersza, zbioru instrukcji i symbolu EOB końca wiersza (rys. 48). Poszczególne instrukcje są również określane w literaturze jako: słowa, rozkazy lub funkcje. Każdy wiersz (blok) zawiera informacje określające wykonanie jednego elementarnego przemieszczenia narzędzia względem przedmiotu lub czynności technologicznej, albo jedno i drugie jednocześnie.

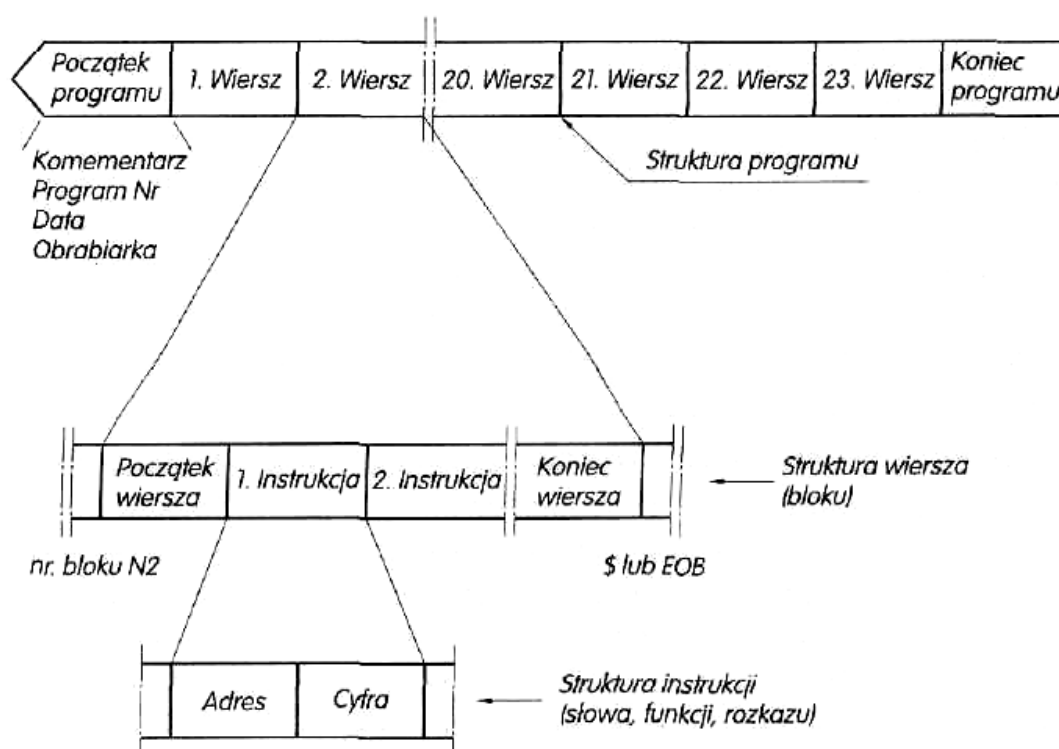
Każda instrukcja jest symbolem alfanumerycznym i składa się z litery i cyfr. Litera jest adresem, który oznacza, do jakiego urządzenia ma być skierowana dana informacja. Cyfry oznaczają w sposób umowny wartość funkcji (instrukcji). Liczba możliwych do wykorzystania instrukcji i ich postać zależy od rodzaju układu sterowania.

Wyróżnia się następujące podstawowe grupy instrukcji:

1. Instrukcje geometryczne - określają przemieszczenia lub obroty narzędzia lub przedmiotu. Są reprezentowane przez adresy: X, Y, Z, A, B, C, ... Wartości instrukcji określają cyfry za literą adresu. Cyfry określają współrzędne punktów lub przyrosty współrzędnych w kierunku osi określonych przez litery w rzeczywistych lub umownych jednostkach, np. w mm (X5.1 lub X5100 mogą oznaczać przemieszczenie 5,1 mm w odmiennych układach).
2. Instrukcje technologiczne - określają parametry skrawania, tj. prędkość obrotową, np. S1500 (1500 obr/min) lub prędkość skrawania, posuw minutowy, np. F120 (120 mm/min), numer narzędzia, np. T05 (narzędzie nr 5).
3. Instrukcje pomocnicze, dotyczące instrukcji geometrycznych, zwane funkcjami przygotowawczymi, oznaczają literą (adresem) G. Istnieje ok. 10 podgrup funkcji przygotowawczych. Funkcje te określają rodzaj ruchu, np.: posuw szybki (G00), przemieszczenie z interpolacją liniową (G01), ruch z interpolacją kołową zgodnie ze wskazówkami zegara (G02) lub przeciwnie (G03), zatrzymanie czasowe ruchu posuwowego (G04), wybór płaszczyzny korekcji promienia narzędzia, określenie

kierunku korekcji promienia (G41 - korekcja lewostronna, G42 - prawostronna), przesunięcie początku układu współrzędnych, rodzaj współrzędnych - absolutne (G90), przyrostowe (G91), wywoływanie cykli lub podprogramów.

4. Instrukcje pomocnicze, dotyczące czynności technologicznych oznacza się literą (adresem) M. Są również znane pod nazwą funkcji mieszanych, ponieważ w pewnych układach sterowania oznaczają wykonanie jednoczesne dwóch różnych czynności, np. włączenie wrzeciona i dopływu chłodziwa. Funkcje te definiują różne czynności związane z procesem wytwarzania, np.: kierunek obrotów wrzeciona (M03 - w prawo, M04 - w lewo, M05 - zatrzymanie wrzeciona), włączenie (M08) i wyłączenie (M09) wybranego rodzaju chłodziwa, zatrzymanie działania programu z określonymi warunkami (M00, M01, M02, M30), automatyczną wymianę narzędzia (M06).
5. Instrukcje wywołania korekcji promieniowej i długościowej, wywołują i uaktywniają korekcję położenia narzędzia. Są oznaczane literą (adresem) H, a niekiedy D. Cyfry za literą mogą oznaczać numer korektora lub mają znaczenie symboliczne.



		Znaczenie funkcji:
G	01	Interpolacja liniowa
X	126,4	Równocześnie w osi X i Y dla zadanego przemieszczenia
Y	5,5	
F	120	Z posuwem 120 mm/min
S	5200	Z prędkością wrzeciona 5200 obr/min
T	15	Z narzędziem nr 15, które musi zostać wymienione we wrzecionie, M funkcja przygotowawcza wymiany narzędzia
M	06	

**Rys. 48.** Struktura programu do obrabiarek sterowanych numerycznie  
Źródło: Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000

Każdy układ sterowania ma charakterystyczny, tzw. pełny blok (wiersz), który zawiera maksymalną liczbę i rodzaj instrukcji możliwych do wykorzystania w jednym wierszu, określa ich format i kolejność wprowadzania. Na przykład dla układu sterowania CNC H646 zainstalowanego na frezarce narzędziowej FUW 315/6 postać pełnego bloku jest następująca:

N4G2X+5.3Y+5.3Z+5.3I+5.3J+5.3K+5.3F4S4T2L2P2EOB,

gdzie ostatnie trzy litery EOB oznaczają koniec bloku (z ang. End Of Block). W starszych układach sterowania instrukcje należy wprowadzać w określonej kolejności, a w wielu przypadkach pierwszy blok musi być pełnym blokiem. Odpowiada to nadawaniu wartości początkowych zmiennym występującym w programie obróbki. W nowych układach sterowania warunki te nie muszą być spełnione, ponieważ szybkości i pojemności pamięci operacyjnej współczesnych komputerów umożliwiają błyskawiczną analizę instrukcji zawartych w danym bloku informacji, a wartości początkowe zmiennych są przyjmowane z założenia.

Każdy wiersz (blok) rozpoczyna się adresem N, który oznacza numer bloku. Wartości numerów bloków zaleca się przyjmować z pewnym odstopniowaniem, np. co 5 lub 10, bo jest to wygodne w przypadku konieczności wprowadzenia dodatkowego bloku do bloków wcześniej zapisanych. W celu zapewniania przejrzystości programu, w programie zapisuje się tylko informacje, które ulegają zmianie na drodze narzędzia między punktami charakterystycznymi.

Istnieje pojęcie funkcji modalnych, tzn. takich, które raz podane w programie obowiązują do momentu ich odwołania lub nadania im innych wartości. Wiersze, w których są podawane funkcje modalne nazywa się głównymi, a pozostałe - pomocniczymi. Przykładowy zapis programu:

```
%11
N5GOZ100
N10X0Y0T01M6
N15X-60Y-95
N17Z00
N20GIG42G45X-60Y-35F100
N25X21
N30G2X39.257Y-15.076I41J-35
N35G1X87.029Y-10.897
N40G2X100.471Y-14.599I1.11JO
N50G2X87.028Y10.897I88.772J30.821
N55G1X39.257Y15.076
N60G2X21Y35I41J35
N65G1X-21
N70G2X-34.571Y9.898I-51J35
N75G3X-34.571Y-9.898I-1JO
N80G2X-21.067Y-37I-51J-35
N85G0G40X-60Y-60
N90Z100M5
N95M2
```

Wyróżnia się dwa zasadnicze sposoby programowania: ręczne i automatyczne, zwane również maszynowym, a nawet komputerowym. Programowanie ręczne jest zorientowane na konkretny układ sterowania i obrabiarkę. Polega na zapisaniu programu zgodnie z zasadami

programowania danego układu sterowania bez wykorzystania systemów komputerowych CAD/CAM. Programowanie automatyczne jest zorientowane na przedmiot obrabiany.

Polega na przygotowaniu programu obróbki z wykorzystaniem komputerowych systemów CAD/CAM. Może być półautomatyczne, gdy wykorzystuje się tylko systemy obliczeń geometrycznych lub automatyczne, które oprócz obliczeń geometrycznych zawiera dobór technologii, symulację obróbki oraz wykorzystuje bibliotekę postprocesorów.

Wyniki obliczeń uzyskane z systemów geometrycznych (CLTAPE) są niezależne od układu sterowania i obrabiarki i nie mogą być użyte do sterowania NC bezpośrednio. W celu dostosowania wyników obliczeń geometrycznych do wymagań określonego układu sterowania danej obrabiarki wyniki te muszą być przetworzone przez oprogramowanie zwane postprocesorem.

Postprocesor jest zorientowany na obrabiarkę z określonym układem sterowania numerycznego, tak więc każda obrabiarka ze swoim układem sterowania musi mieć swój postprocesor.

#### **4.7.2. Pytania sprawdzające**

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest „obracarka CNC”?
2. Jaka jest budowa obrabiarki CNC?
3. W jaki sposób realizowana jest obróbka na obrabiarkach CNC?
4. Co to są „centra obróbkowe”?

#### **4.7.3. Ćwiczenia**

##### **Ćwiczenie 1**

Dokonaj porównania obrabiarki konwencjonalnej z obrabiarką CNC.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z budową i zasadą działania obrabiarki konwencjonalnej,
- 2) zapisać w tabeli najważniejsze informacje,
- 3) zapoznać się z budową i zasadą działania obrabiarki CNC,
- 4) zapisać w tabeli najważniejsze informacje,
- 5) porównać obie obrabiarki,
- 6) dokonać oceny ćwiczenia,
- 7) zaprezentować efekt swojej pracy.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- obrabiarki różnego typu (konwencjonalne i CNC),
- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa i instrukcje obsługi obrabiarek,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

## Ćwiczenie 2

Wprowadź do sterownika obrabiarki CNC program obróbki. Następnie zamocuj potrzebne narzędzia i wykonaj detal zgodnie z założeniami.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z budową i zasadą działania obrabiarki CNC,
- 2) sprawdzić program w sterowniku obrabiarki zgodnie z dokumentacją,
- 3) zamocować potrzebne narzędzia,
- 4) przeprowadzić test obrabiarki,
- 5) wprowadzić stosowne zmiany,
- 6) wykonać detal zgodnie z założeniami,
- 7) dokonać oceny wykonania,
- 8) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- obrabiarka CNC,
- Dokumentacja Technologiczna,
- narzędzia obróbcze,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

### 4.7.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) opisać zasadę działania obrabiarki CNC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić podstawowe elementy obrabiarki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) porównać obrabiarki konwencjonalne i CNC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) programować obrabiarkę CNC w zależności od układu sterowania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zamocować narzędzia skrawające?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wprowadzać zmiany do sterownika obrabiarki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **4.8. Przepisy bhp, ochrony ppoż. i ochrony środowiska podczas obróbki skrawaniem**

### **4.8.1. Materiał nauczania**

1. Przez obrabiarki skrawające do metali, zwane dalej "obrabiarkami", rozumie się maszyny służące do nadawania przedmiotom obrabianym żądanego kształtu metodą skrawania, w tym w szczególności: tokarki, wiertarki, frezarki, strugarki i szlifierki.
2. Montaż i eksploatacja obrabiarek powinny być zgodne z dokumentacją techniczno-ruchową lub instrukcją obsługi.
3. Drogi transportowe w pomieszczeniu lub hali fabrycznej, w których zainstalowano obrabiarki, powinny spełniać wymagania określone w odrębnych przepisach.
4. Transport zmechanizowany przedmiotów przeznaczonych do obróbki skrawaniem i ich odbiór po wykonanej obróbce powinien być tak zorganizowany, aby nie powodował zagrożenia bezpieczeństwa dla ruchu pracowników i transportu wewnątrzzakładowego.
5. Narzędzia pomocnicze i pomiarowe stosowane przy obsłudze obrabiarek powinny być oddzielone od miejsca składowania przedmiotów przed i po obróbce skrawaniem.
6. Wióry powstające podczas pracy obrabiarek powinny być na bieżąco odprowadzane z pomieszczenia lub hali fabrycznej na składowisko zakładowe.
7. W przypadku, gdy obsługa obrabiarki wymaga kilku pracowników, o jej uruchomieniu i przebiegu procesu skrawania powinien decydować pracownik odpowiedzialny za całość procesu skrawania na obrabiarence.
8. Stanowisko pracy pracownika, powinno być usytuowane w takim miejscu, aby mógł on bez przeszkód obserwować pracę nadzorowanych obrabiarek.
9. Obrabiarki powinny być wyposażone w osłony chroniące obsługujących przed urazami powodowanymi przez wióry oraz przed rozbryzgiem cieczy chłodzących.
10. Osłony powinny być wyposażone w urządzenia uniemożliwiające ich otwarcie podczas pracy obrabiarki.
11. Osłony stałe wystające poza obrys obrabiarki oraz osłony ruchome zmieniające swoje położenie podczas pracy obrabiarki powinny być oznakowane barwami i znakami bezpieczeństwa, zgodnie z Polskimi Normami.
12. Lampy elektryczne przeznaczone do oświetlania bezpośredniego stanowiska pracy powinny być zasilane prądem elektrycznym o napięciu 24 V, a natężenie tego oświetlenia powinno zapewniać widoczność pozwalającą na bezpieczne wykonywanie pracy.
13. Stanowisko pracy przy obrabiarence powinno znajdować się na powierzchni równej, bez progów i śliskich nawierzchni.
14. Obrabiarki o dużych rozmiarach powinny być obsługiwane z pomostu spełniającego wymagania określone w odrębnych przepisach.
15. W przypadku, gdy podczas obsługi obrabiarki istnieje ryzyko poparzenia, pracodawca powinien wyposażyć te obrabiarki w osłony, a gdy jest to niemożliwe ze względów technicznych - wyposażyć pracowników w środki ochrony indywidualnej, zgodnie z odrębnymi przepisami.
16. Jeżeli obrabiarki zostały zainstalowane przy przejściach przeznaczonych dla ruchu pracowników, przy drogach transportu wewnątrzzakładowego lub ustawione obok siebie, to obrabiarki te należy zabezpieczyć przed zagrożeniami stwarzanymi dla:
  - sąsiednich stanowisk pracy,
  - ruchu pracowników,

- transportu wewnętrznego.
17. Przed uruchomieniem obrabiarki należy sprawdzić stan techniczny jej zabezpieczeń.
  18. Podczas przerw w pracy obrabiarki narzędzia skrawające powinny być odsunięte od obrabianego przedmiotu.
  19. W przypadku zakończenia pracy lub unieruchomienia obrabiarki na czas dłuższy niż jedna zmiana robocza, wyłączniki główne i awaryjne powinny być zablokowane.
  20. Jeżeli podczas pracy obrabiarki powstaje wiór wstęgowy, należy zastosować niezbędne środki techniczne, ograniczające zagrożenia związane z powstawaniem tego typu wiórów.
  21. Do środków technicznych należą przede wszystkim zgarniacze wiórów oraz mechaniczny transporter do usuwania wiórów bezpośrednio na składowisko zakładowe.
  22. W przypadku braku technicznych możliwości zastosowania mechanicznego transportera, obsługującego obrabiarkę należy wyposażyć w narzędzia pozwalające na bezpieczne usuwanie wiórów z obrabiarki.
  23. Wióry powstające podczas pracy obrabiarki wyposażonej w zbiornik do ich gromadzenia powinny być systematycznie usuwane z tego zbiornika i przechowywane w miejscu i w sposób niestwarzający zagrożeń dla pracowników.
  24. Niedopuszczalne jest usuwanie wiórów sprężonym powietrzem lub bez odpowiedniego narzędzia ręcznego.
  25. Do podnoszenia i zakładania przedmiotów przeznaczonych do obróbki, o masie powyżej 10 kg, powinny być stosowane urządzenia pomocnicze zmniejszające wysiłek pracownika.
  26. Przedmiot w uchwycie obrabiarki, imadle lub w przyrządzie mocującym powinien być tak zamocowany, aby podczas pracy obrabiarki nie zmienił swego położenia i nie został wyrwany z elementu mocującego, w wyniku działania sił bezwładności lub sił skrawania.
  27. Obrabiarki wyposażone w uchwyt hydrauliczny lub pneumatyczny powinny być wyposażone w urządzenia blokujące, uniemożliwiające wyrwanie zamocowanego przedmiotu w przypadku zaniku ciśnienia w układzie zasilania.
  28. Uruchomienie urządzenia blokującego, o którym mowa w ust. 2, powinno uniemożliwiać kontynuowanie obróbki skrawaniem oraz być sygnalizowane sygnałem świetlnym lub dźwiękowym.
  29. Podczas pracy obrabiarki:
    - stosowane narzędzia skrawające oraz przyrządy pomiarowe należy przechowywać w szafkach narzędziowych, regałach lub stojakach,
    - rękawy przy nadgarstkach obsługującego powinny być opięte,
    - obsługujący powinien pracować z nakrytą głową.
  30. Przed przystąpieniem do czyszczenia lub konserwacji obrabiarki należy wyłączyć jej napęd i zabezpieczyć przed przypadkowym uruchomieniem.
  31. Podczas pracy obrabiarki niedopuszczalne jest:
    - chłodzenie narzędzia lub obrabianego przedmiotu za pomocą mokrego czyściwa,
    - dokonywanie czynności konserwacyjnych w przypadku, gdy instrukcja obsługi nie zezwala na taką czynność,
    - zatrzymywanie wrzeciona lub uchwytu ręką,
    - nakładanie pasów napędowych i regulacja ich naciągu.
  32. Podczas przerw w pracy niedopuszczalne jest pozostawianie obrabiarki bez nadzoru lub zezwalanie na jej obsługiwanie osobom nieuprawnionym.
  33. Naprawy obrabiarek powinny być dokonywane wyłącznie przez osoby upoważnione przez pracodawcę.



34. Przed przystąpieniem do napraw należy umieścić w widocznym miejscu tablicę ostrzegawczą z napisem: "Uwaga naprawa - nie uruchamiać".
35. Jeżeli przy naprawach jest wymagane podniesienie osłon, przed ich podniesieniem należy sprawdzić stan zabezpieczenia blokującego ich opadanie.
36. Po dokonanej naprawie uruchomienie obrabiarki następuje po uzyskaniu zgody pracodawcy lub służby serwisowej wykonującej naprawę.
37. Stanowiska pracy przy obsłudze centrum obróbkowego, magazynów narzędzi, podajników narzędzi skrawających oraz przedmiotów powinny być zabezpieczone osłonami stałymi lub ruchomymi.
38. Przestrzeń przemieszczania się podajnika przedmiotów poza obrys obrabiarki powinna być zabezpieczona osłonami.
39. W przypadku braku technicznej możliwości zastosowania osłony, o której mowa, centrum obróbkowe powinno być wyposażone w sygnalizację świetlną lub dźwiękową uruchamianą w czasie przemieszczania się podajnika z przedmiotem poza obrys obrabiarki.
40. Przed uruchomieniem centrum obróbkowego obsługujący powinien sprawdzić w szczególności:
  - czystość gniazda wrzeciona i szczęk uchwytu,
  - prawidłowość rozmieszczenia narzędzi skrawających w magazynie i ich stan techniczny oraz stopień zużycia ostrzy,
  - stan wypełnienia zbiornika wiórami,
  - stan wypełnienia magazynu przedmiotami przeznaczonymi do obróbki przed i po jej wykonaniu,
  - poziom cieczy chłodzącej w zbiorniku i ciśnienie w układzie hydraulicznym bądź pneumatycznym,
  - stan pozycji wyjściowych do pracy zespołu roboczego centrum.
41. Uchwyty i tarcze zabierakowe obrabiarek niezabezpieczone na całej przestrzeni roboczej stałymi osłonami powinny być osłonięte osłonami z urządzeniem blokującym, uniemożliwiającym otwarcie osłony w czasie pracy obrabiarki.
42. Stoły obrotowe, w szczególności tokarek karuzelowych, powinny być wyposażone na całym obwodzie w osłony chroniące przed zagrożeniami powodowanymi przez wióry lub ciecz chłodzącą.
43. Osłony uchwytów powinny być dostosowane do wymiarów uchwytu i wielkości tarczy zabierakowej obrabiarki.
44. Tokarki rewolwerowe i automaty tokarskie, które nie zostały wyposażone w magazyn obrabianego przedmiotu, powinny być wyposażone w osłonę przedmiotu wystającego poza obrys tokarki.
45. Osłona powinna być wyposażona w urządzenie blokujące jej otwarcie podczas pracy obrabiarek i być oznakowana barwami i znakami bezpieczeństwa, zgodnie z Polskimi Normami.
46. Podczas pracy na tokarce należy używać wyłącznie narzędzi skrawających i przyrządów dostosowanych do określonych procesów skrawania.
47. Przed uruchomieniem wrzeciona tokarki należy sprawdzić, czy nie pozostawiono klucza do zaciskania przedmiotu w uchwycie tokarki.
48. Podczas regulacji siły zacisku przedmiotu obrabianego w uchwycie tokarki należy uwzględniać w szczególności:
  - działanie siły skrawania,
  - prędkość obrotową,

- moment bezwładności uchwytu i przedmiotu obrabianego,
  - niewyważenie przedmiotu obrabianego.
49. Prędkość obrotową podczas procesu skrawania niewyważonych przedmiotów należy tak dobierać, aby nie spowodować drgań obrabiarki.
  50. Przed uruchomieniem wiertarki należy sprawdzić stan zamocowania przedmiotu poddanego wierceniu oraz usunąć ze stołu zbędne przedmioty lub narzędzia pomocnicze.
  51. Przedmiot poddawany wierceniu powinien być tak zamocowany na stole lub w imadle wiertarki, aby jego obrót lub przemieszczenie pod wpływem działania siły skrawania był niemożliwy.
  52. Elementy stosowane do zamocowania narzędzi w uchwycie wiertarki nie powinny wystawać poza obrys uchwytu lub wrzeciona tej wiertarki.
  54. Czynności związane z mocowaniem, wymianą narzędzi skrawających lub ustawianiem przedmiotów na wiertarce oraz dokonywaniem niezbędnych pomiarów powinny być wykonywane po uprzednim unieruchomieniu wrzeciona obrabiarki.
  55. Podczas wiercenia otworów przy użyciu wiertarek niedopuszczalne jest trzymanie w dłoni przedmiotu poddanego wierceniu.
  56. Wiertarki pracujące w układzie zespołowym z indywidualnymi napędami wrzeciona, zainstalowane szeregowo, powinny być wyposażone w awaryjne wyłączniki do unieruchomienia napędu wszystkich wiertarek z każdego stanowiska ich obsługi.
  57. Mechanizmy napędu głównego i posuwowego wystające poza obrys frezarki oraz wystający koniec śruby służący do mocowania narzędzia lub jego oprawki powinny być osłonięte kołpakiem oraz oznakowane zgodnie z Polskimi Normami.
  58. Frezarki sterowane numerycznie powinny być wyposażone w automatyczny mechanizm mocowania narzędzi i przyrządów we wrzecionie.
  59. W punktach krańcowego położenia stołu frezarki lub obrabianego przedmiotu o gabarytach większych niż stół frezarki należy ustawić barierki oznakowane barwami i znakami zgodnie z Polskimi Normami.
  60. Wokół strugarki podłużnej, w krańcowym położeniu jej stołu i obrabianego przedmiotu powinna znajdować się wolna przestrzeń.
  61. W krańcowym położeniu należy ustawić barierki ochronne.
  62. Barierek nie stosuje się, jeżeli strefa zagrożenia jest odpowiednio zabezpieczona kabiną.
  63. W przypadku, gdy odległość pomiędzy końcowym położeniem stołu lub obrabianego przedmiotu a ścianą lub innym stałym obiektem jest mniejsza niż 0,6 m, wolna przestrzeń pomiędzy nimi powinna być zabezpieczona ogrodzeniem.
  64. Przy ustawieniu strugarki poprzecznej należy uwzględnić wolną przestrzeń o szerokości, co najmniej 0,6 m, za tylnym i przednim końcem suwaka lub w jego krańcowych położeniach.
  65. W łożu strugarki i pod jej stołem nie należy przechowywać jakichkolwiek przedmiotów.
  66. Przed rozpoczęciem pracy na strugarce należy sprawdzić, czy przedmiot obrabiany nie zaczepi o jakąkolwiek część strugarki oraz, czy strefa przemieszczania się suwaka jest zabezpieczona na całej jego długości.
  67. Mechanizmy i elementy napędu wprowadzające w ruch imak nożowy powinny być osłonięte, zgodnie z odrębnymi przepisami.
  68. Osłony ruchome zabezpieczające pokrętła regulacyjne ustawienia wielkości skoku suwaka powinny być wyposażone w urządzenie blokujące, uniemożliwiające uruchomienie strugarki podczas regulacji skoku suwaka.

69. Tarcze ściernie szlifierek powinny być osłonięte w sposób zabezpieczający obsługujących przed zagrożeniami powstającymi podczas szlifowania, w szczególności w wyniku rozerwania się tarczy.
70. Taśma ścierna szlifierek taśmowych powinna być osłonięta na całej długości, z wyjątkiem przestrzeni roboczej taśmy.
71. Tarcza ścierna przed założeniem na szlifierkę powinna być sprawdzona, czy nie posiada pęknięć, ubytków miejscowych i innych uszkodzeń.
72. Tarcze ściernie należy umocować na trzpieniu wrzeciona za pomocą stalowych tarczy oporowej i dociskowej o średnicach zewnętrznych wynoszących, co najmniej 1/3 średnicy tarczy ścierniej. W miarę zużywania się tarczy ścierniej, tarcze stalowe powinny być odpowiednio zmieniane na mniejsze.
73. W celu prawidłowego i bezpiecznego zamocowania tarczy ścierniej na trzpieniu mocującym, pomiędzy tarczą ścierną a tarczami oporową i dociskową umieszcza się podkładki z elastycznego materiału o grubości od 1 do 1,5 mm.
74. Szlifierki ostrzarki powinny być wyposażone w stół lub regulowaną podpórę umożliwiającą ustawianie i przytrzymanie szlifowanego przedmiotu rękami.
75. Odstęp pomiędzy tarczą ścierną i podporą powinien być tak wyregulowany, aby szlifowany przedmiot nie dostał się pomiędzy tarczę ścierną a podpórę.
76. Podczas pracy na szlifierce obsługujący powinien znajdować się z boku tarczy ścierniej, poza płaszczyznę jej obrotu.
77. Podczas szlifowania przedmiotów na obrabiarkach do szlifowania niewyposażonych w przezroczyste osłony lub ekrany chroniące przed urazami obsługujący powinien być wyposażony w środki ochrony indywidualnej zgodnie z odrębnymi przepisami.
78. Tarcze ściernie powinny być przechowywane w sposób nienarażający ich na uszkodzenia mechaniczne lub działanie wilgoci, a przed zamontowaniem na obrabiarkę wyważone.
79. W liniach technologicznych obrabiarek, w których przemieszczanie przedmiotów obrobionych odbywa się za pomocą transportera podwieszanego, elementy tego transportera przebiegające nad przejściami dla ruchu pracowników powinny znajdować się na wysokości, co najmniej 2,5 m od poziomu podłogi.
82. Przejścia powinny być zabezpieczone od góry osłoną chroniącą pracowników przed upadkiem transportowanych przedmiotów lub zabrudzeniem cieczą chłodzącą.
83. Odległość w strefie zagrożenia pomiędzy najdalej wysuniętymi elementami sąsiednich stanowisk linii technologicznej obrabiarek powinna wynosić, co najmniej 0,6 m.
84. Jeżeli zachowanie odległości jest niemożliwe - strefa zagrożenia powinna być oznakowana i osłonięta w sposób uniemożliwiający wejście pracowników do tej strefy.

#### **4.8.2. Pytania sprawdzające**

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe wymagania bhp podczas obróbki skrawaniem?
2. Wymień główne zagrożenia, jakie występują podczas toczenia?
3. Wymień główne zagrożenia, jakie występują podczas wiercenia?
4. Wymień główne zagrożenia, jakie występują podczas szlifowania?
5. Wymień główne zagrożenia, jakie występują podczas frezowania?
6. Wymień środki ochrony osobistej podczas obróbki skrawaniem?

### 4.8.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Opisz zagrożenia występujące podczas toczenia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z wyposażeniem stanowiska pracy,
- 2) zapoznać się ze stanowiskową instrukcją bhp,
- 3) zapoznać się z instrukcją obsługi obrabiarki,
- 4) wypisać zagrożenia,
- 5) dokonać oceny ryzyka zawodowego,
- 6) zaproponować środki ochrony osobistej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa,
- instrukcje obsługi obrabiarek,
- instrukcje stanowiskowe bhp,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 2

Opisz zagrożenia występujące podczas szlifowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z wyposażeniem stanowiska pracy,
- 2) zapoznać się ze stanowiskową instrukcją bhp,
- 3) zapoznać się z instrukcją obsługi obrabiarki,
- 4) wypisać zagrożenia,
- 5) dokonać oceny ryzyka zawodowego,
- 6) zaproponować środki ochrony osobistej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa,
- instrukcje obsługi obrabiarek,
- instrukcje stanowiskowe bhp,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### Ćwiczenie 3

Opisz urządzenia zabezpieczające stosowane podczas toczenia długich przedmiotów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z wyposażeniem stanowiska pracy,

- 2) zapoznać się ze stanowiskową instrukcją bhp,
- 3) zapoznać się z instrukcją obsługi obrabiarki,
- 4) wypisać zagrożenia,
- 5) dokonać oceny ryzyka zawodowego,
- 6) zaproponować środki ochrony osobistej.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa,
- instrukcje obsługi obrabiarek,
- instrukcje stanowiskowe bhp,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

#### 4.8.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
<b>Czy potrafisz:</b>		
1) stosować przepisy bhp podczas obsługi obrabiarek skrawających?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dobierać środki ochrony osobistej w zależności od wykonywanych prac?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) definiować zagrożenia na różnych stanowiskach pracy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

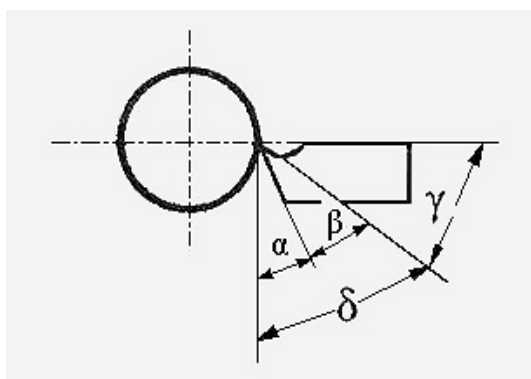
## 5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

### INSTRUKCJA DLA UCZNIA

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
  2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
  3. Zapoznaj się z zestawem pytań testowych.
  4. Test zawiera 15 pytań dotyczących projektowania odzieży. Pytania: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 są to pytania wielokrotnego wyboru i tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa; pytania 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 to pytania otwarte.
  5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi:
    - w zadaniach wielokrotnego wyboru zaznacz prawidłową odpowiedź X (w przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową),
    - w zadaniach z krótką odpowiedzią wpisz odpowiedź w wyznaczone pole.
  6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
  7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas. Trudności mogą przysporzyć Ci pytania: 11 – 17, gdyż są one na poziomie trudniejszym niż pozostałe.
  8. Na rozwiązanie testu masz 45 min.
- Powodzenia

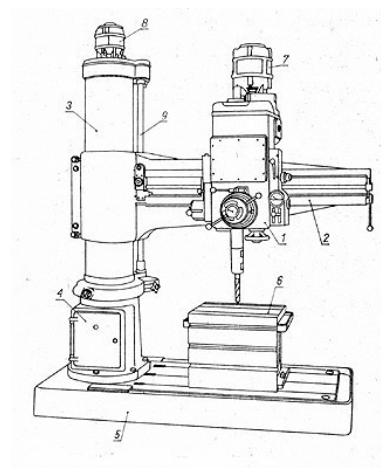
### Zestaw zadań testowych

1. Wskaż poprawne kąty ostrza noża:
  - a)  $\alpha$  - przyłożenia;  $\beta$  - ostrza;  $\gamma$  - natarcia;  $\delta$  - skrawania,
  - b)  $\alpha$  - natarcia;  $\beta$  - skrawania;  $\gamma$  - ostrza;  $\delta$  - przyłożenia,
  - c)  $\alpha$  - ostrza;  $\beta$  - przyłożenia;  $\gamma$  - skrawania;  $\delta$  - natarcia,
  - d)  $\alpha$  - ostrza;  $\beta$  - skrawania;  $\gamma$  - przyłożenia;  $\delta$  - natarcia.



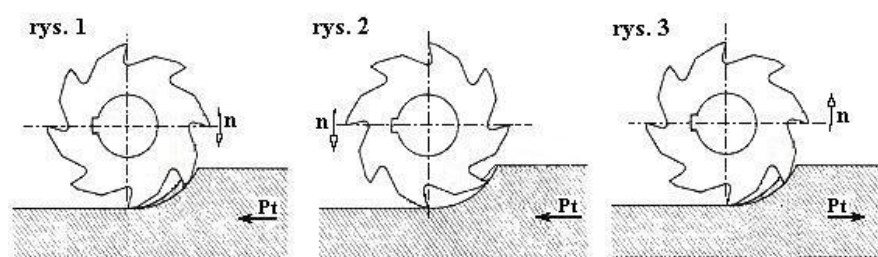
2. Podczas obróbki materiałów miękkich i ciągliwych (stal o małej zawartości węgla, aluminium, miedź) powstają wióry:
  - a) wstępowe,
  - b) schodkowe,
  - c) odpryskowe,
  - d) piłkowe.

3. Przedstawiona na rysunku obrabiarka to:
- wiertarka rewolwerowa,
  - wiertarka współrzędnościowa,
  - wytaczarko-frezarka,
  - wiertarka promieniowa.

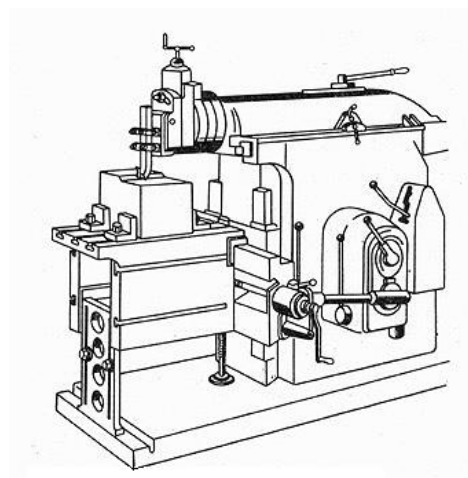


4. Frezowanie przeciwbieżne przedstawia rysunek:

- rys. 1,
- rys. 2,
- rys. 3,
- rys. 1, rys. 3.

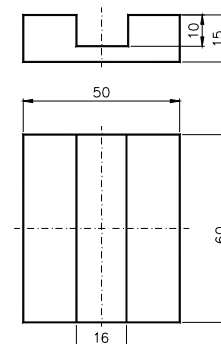


5. Przedstawiona na rysunku obrabiarka to:
- frezarka wspornikowa,
  - strugarka poprzeczna,
  - przeciągarka,
  - dłutownica obwiedniowa typu Fellowsa.



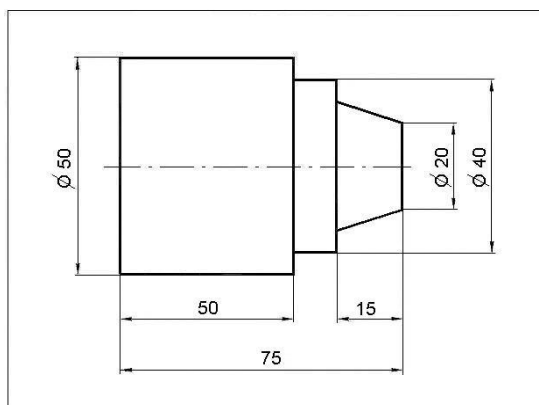
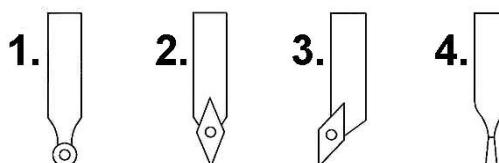
6. Do wykonania przedstawionego na rysunku rowka należy użyć:

- freza ślimakowego  $\phi 16$ ,
- freza palcowego  $\phi 16$ ,
- freza piłkowego  $\phi 16$ ,
- freza teowego  $\phi 16$ .



7. Którego noża należy użyć do wykonania wałka przedstawionego na rysunku?

- a) noża nr 1
- b) noża nr 2
- c) noża nr 3
- d) noża nr 4

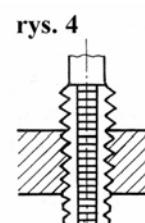
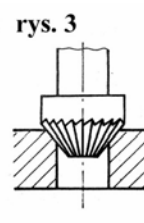
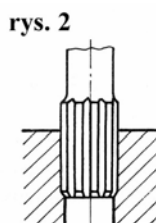
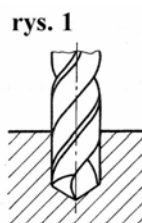


8. W celu zabezpieczenia się przed wiórami odpryskowymi operator powinien użyć:

- a) okularów lub ekranu ochronnego,
- b) cieczy chłodzącej,
- c) sprężonego powietrza,
- d) rękawic skórzanych.

9. Zabieg pogłębiania otworu przedstawia rysunek:

- a) rys. 1,
- b) rys. 2,
- c) rys. 3,
- d) rys. 4.



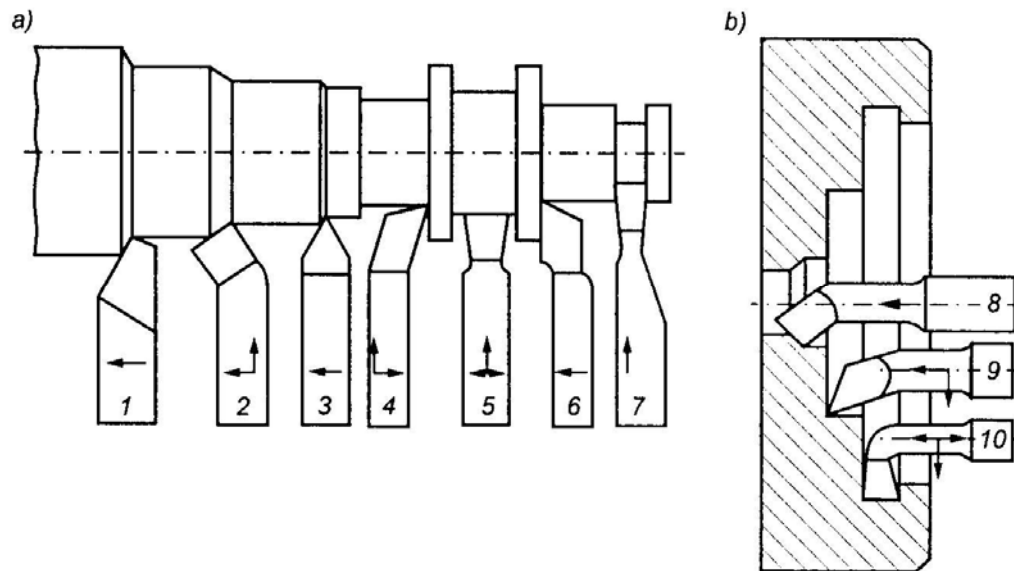
10. Wały szlifujemy metodą:

- a) kłową,
- b) bezuchwytowo,
- c) powierzchnią czołową ściernicy,
- d) planetarną.

11. Wymień obrabiarki, na których można wykonać proces wiercenia.



12. Nazwij noże tokarskie przedstawione na rysunku:



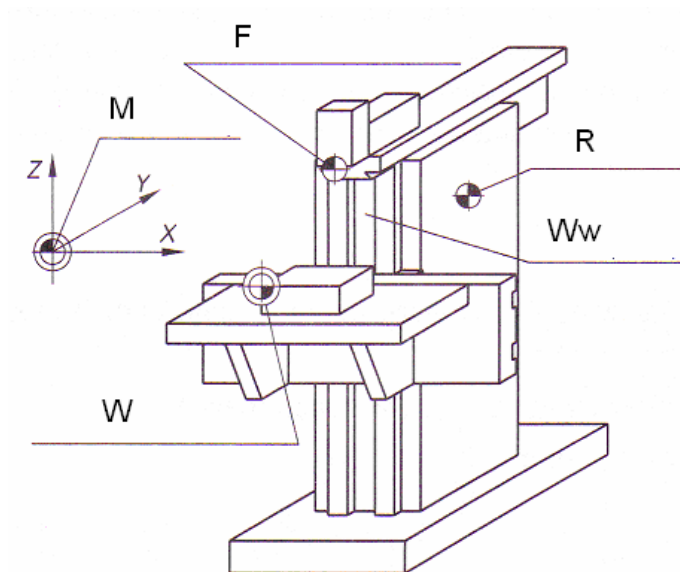
13. Dokonaj podziału schematów kinematycznych.

14. Sklasyfikuj sterowania obrabiarek CNC.

15. Dokonaj podziału ściernic.

16. Dokonaj podziału parametrów skrawania.

17. Opisz oznaczenia punktów zerowych obrabiarki CNC:



# KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko .....

## Wykonywanie części maszyn w procesach obróbki skrawaniem

**Zakreśl poprawną odpowiedź, wpisz brakujące części zdania lub opisz.**

Numer pytania	Odpowiedź				Punktacja
1.	a	b	c	d	
2.	a	b	c	d	
3.	a	b	c	d	
4.	a	b	c	d	
5.	a	b	c	d	
6.	a	b	c	d	
7.	a	b	c	d	
8.	a	b	c	d	
9.	a	b	c	d	
10.	a	b	c	d	
11.					
12.					
13.					

14.		
15.		
16.		
17.		
	Razem	

## 6. LITERATURA

1. Berkowski L.: Stale szybko tnące narzędzia do obróbki. Poznań Instytut Obróbki Plastycznej 1994
2. Brodowicz W., Grzegórski Z.: Technologia budowy maszyn. WSiP, Warszawa 1993
3. Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998
4. Dretkiewicz-Więch J.: Technologia mechaniczna. Techniki wytwarzania.
5. Dudik K., Górski E.: Poradnik tokarza. WNT, Warszawa 2000
6. Górecki A.: Technologia ogólna. Podstawy technologii mechanicznych.
7. Górski E.: Obróbka skrawaniem. WSiP, Warszawa 1987
8. Lewandowski T.: Rysunek techniczny dla mechaników. WSiP, Warszawa 2004
9. Paderewski K.: Obrabiarki. WSiP, Warszawa 1996
10. Praca zbiorowa: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1999
11. Solis H., Lenart T.: Technologia i eksploatacja maszyn. WSiP, Warszawa 1996
12. Wysiecki M.: Nowoczesne materiały narzędziowe. WNT, Warszawa 1997.
13. Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001