



*Kazimierz Zaleski
Agnieszka Skoczylas
Jakub Matuszak*

Narzędzia skrawające

Ćwiczenia laboratoryjne



PODRECZNIKI

Narzędzia skrawające

Ćwiczenia laboratoryjne

Podręczniki – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Kazimierz Zaleski
Agnieszka Skoczylas
Jakub Matuszak

Narzędzia skrawające

Ćwiczenia laboratoryjne



Politechnika Lubelska
Lublin 2014

Recenzent:

dr hab. inż. Jerzy Lipski, prof. Politechniki Lubelskiej

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2014

ISBN: 978-83-7947-093-8

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjaton.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 100 egz.

Spis treści:

Przedmowa	7
1. Sprawdzanie noży tokarskich jednolitych i łączonych w sposób trwały (oprac. A. Skoczylas, J. Matuszak).....	9
1.1. Noże ogólnego przeznaczenia	10
1.2. Noże kształtowe	13
1.3. Stanowisko do pomiaru zarysu noży kształtowych.....	17
1.4. Wykonanie ćwiczenia.....	21
2. Noże tokarskie składane (oprac. J. Matuszak, A. Skoczylas)	23
2.1. Budowa noża tokarskiego składanego	23
2.2. Oznaczanie noży tokarskich składanych.....	32
2.3. Wpływ sposobu ustalenia i mocowania płytek na powtarzalność i dokładność położenia ostrza.....	33
2.4. Stanowisko do pomiaru powtarzalności mocowania płytki skrawającej.....	34
2.5. Wykonanie ćwiczenia.....	36
3. Pomiary zużycia narzędzi do obróbki wiórowej (oprac. K. Zaleski, A. Skoczylas).....	39
3.1. Wiadomości ogólne.....	39
3.2. Rodzaje zużycia ostrza	39
3.3. Trwałość ostrza i przebieg zużycia	45
3.4. Czynniki wpływające na zużycie	46
3.5. Pomiary zużycia ostrzy	48
3.6. Wykonanie ćwiczenia.....	49
4. Pomiary wiertel krętych (oprac. K. Zaleski, J. Matuszak)	52
4.1. Wiadomości ogólne.....	52
4.2. Parametry skrawania.....	52
4.3. Budowa wiertel.....	54
4.4. Sprawdzanie wiertel krętych	57
4.5. Przykład komputerowego systemu pomiarowego do sprawdzania wiertel krętych ..	59

4.6. Pogram do pomiaru geometrii wiertel krętych	60
4.7. Wykonanie ćwiczenia	64
5. Pomiary geometrii ostrza frezów walcowo – czołowych (oprac. K. Zaleski, J. Matuszak)	67
5.1. Wiadomości ogólne	67
5.2. Wymagania stawiane narzędziom skrawającym	68
5.3. Rodzaje frezów walcowo-czołowych, ich budowa i geometria ostrza	69
5.4. Pomiary geometrii frezów	73
5.5. Stanowisko do pomiaru geometrii frezów	79
5.6. Wykonanie ćwiczenia	85
6. Pomiary przeciągaczy (oprac. K. Zaleski, J. Matuszak)	87
6.1. Wiadomości ogólne	87
6.2. Klasyfikacja przeciągaczy	87
6.3. Budowa przeciągaczy	91
6.4. Geometria ostrzy	93
6.5. Stanowisko do pomiaru geometrii ostrzy przeciągacza	95
6.6. Wykonanie ćwiczenia	102
7. Sprawdzanie ściernic (oprac. K. Zaleski, A. Skoczylas)	106
7.1. Wiadomości ogólne	106
7.2. Materiały ściernie i spoiwa	106
7.3. Ściernice	109
7.4. Sprawdzanie ściernic	113
7.5. Wykonanie ćwiczenia	116
8. Zużycie i regeneracja ściernic (oprac. K. Zaleski)	119
8.1. Zużycie ściernic	119
8.2. Obciąganie ściernic	125
8.3. Trwałość ściernic	132
8.4. Wykonanie ćwiczenia	132

Przedmowa

Narzędzia skrawające mają duże znaczenie w procesie wytwarzania elementów maszyn. Od zastosowanych narzędzi zależy, między innymi, dokładność wytwarzanych przedmiotów, chropowatość obrabionych powierzchni, czas trwania obróbki, a także koszty wytwarzania. W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój narzędzi skrawających, obejmujący materiały, z których wytwarzane są narzędzia, powłoki przeciwzużyciowe, nakładane na powierzchnie robocze, oraz konstrukcję narzędzi. Wiedza o narzędziach jest niezbędna współczesnemu inżynierowi, zajmującemu się technologią maszyn. Dlatego wiadomości na temat narzędzi skrawających są przekazywane studentom kierunków związanych z budową maszyn.

Narzędzia skrawające charakteryzują się bardzo dużą różnorodnością, która wynika z dużej ilości sposobów, odmian i rodzajów obróbki skrawaniem, metod mocowania na maszynie technologicznej, czy sposobami podawania cieczy chłodząco-smarującej. Budowa wielu narzędzi, zwłaszcza ich części roboczej, jest złożona. Poznanie budowy narzędzi, szczególnie ich geometrii ostrza, bez zajęć praktycznych, sprawia wielu studentom duże trudności. Aby ułatwić przyswojenie wiedzy z zakresu narzędzi skrawających, wprowadzone zostały zajęcia laboratoryjne z tego przedmiotu.

Niniejszy podręcznik przeznaczony jest dla studentów kierunku *inżynieria produkcji* oraz *mechanika i budowa maszyn* (specjalność-*technologia maszyn*) jako pomoc dydaktyczna do ćwiczeń laboratoryjnych z narzędzi skrawających. Ćwiczenia obejmują głównie sprawdzanie narzędzi oraz ocenę ich zużycia. Przyjęto dość proste metody pomiaru, aby studenci, mierząc, mogli zapoznać się z budową narzędzi skrawających. Przy doborze tematów ćwiczeń uwzględniano możliwości ich wykonania na stanowiskach znajdujących się w laboratoriach Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Wiele ze stanowisk pomiarowych jest stanowiskami autorskimi, zbudowanymi dla potrzeb dydaktyki.

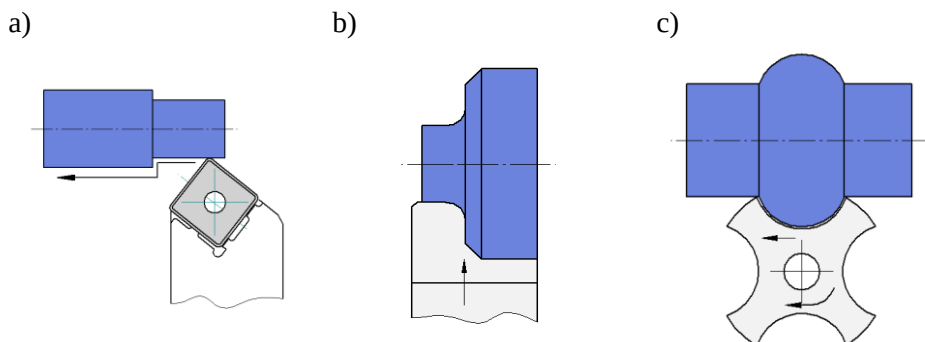
Poszczególne rozdziały mają podobny układ i obejmują wiadomości ogólne, związane z danym ćwiczeniem, opis stanowisk pomiarowych, przebieg wykonania ćwiczenia oraz zagadnienia, które należy opracować w sprawozdaniu. Wiadomości podane w początkowej części poszczególnych rozdziałów powinny ułatwić przygotowanie się do zajęć, przy czym zakłada się, że student opanował podstawy obróbki ubytkowej, wykładane na wcześniejszych latach studiów.

Przed przystąpieniem do ćwiczeń studenci powinni zapoznać się z regulaminem, obowiązującym w laboratorium, oraz z instrukcją BHP. Po wykonaniu części praktycznej ćwiczenia studenci składają sprawozdanie.

1. Sprawdzanie noży tokarskich jednolitych i łączonych w sposób trwały

Noże tokarskie są to narzędzia jednoostrzowe, które stanowią bardzo liczną grupę narzędzi skrawających, różniące się przeznaczeniem, sposobem kształtowania powierzchni, rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Istnieje wiele kryteriów podziału noży tokarskich. Ze względu na sposób kształtowania powierzchni obrobionej, noże tokarskie można podzielić na:

- **punktowe** – kształtujące powierzchnię obrabianą tylko jednym punktem ostrza w wyniku wzajemnego skojarzenia ruchu przedmiotu i narzędzia (rys. 1.1a),
- **kształtowe** - powierzchnia obrabiana jest kształtowana w wyniku odwzorowania zarysu krawędzi skrawającej (rys. 1.1b),
- **obwiedniowe** - kształtujące powierzchnię w wyniku „obtaczania się” obrotowego narzędzia wzdłuż tworzącej zarys przedmiotu (rys. 1.1c) [1,7].



Rys. 1.1. Klasyfikacja noży tokarskich ze względu na sposób kształtowania powierzchni obrabianej: a) nóż punktowy, b) nóż kształtowy, c) nóż obwiedniowy

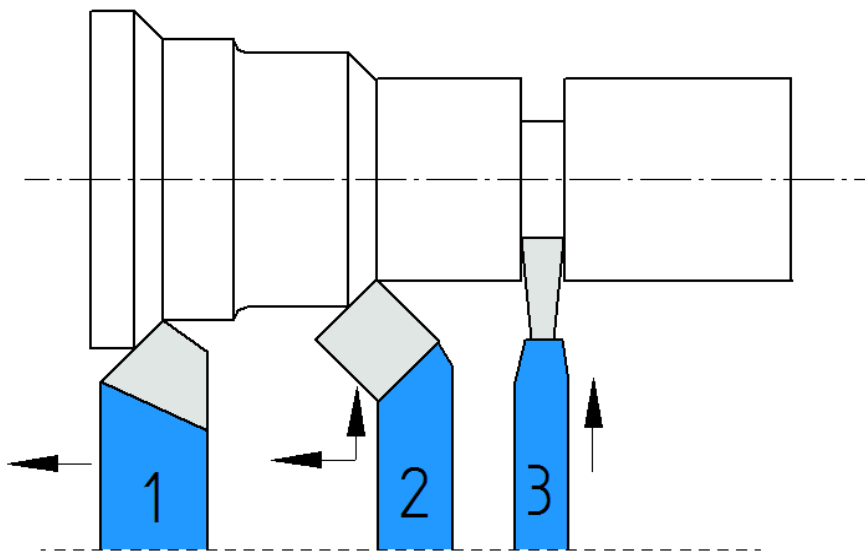
Ze względu na przeznaczenie noże tokarskie można podzielić na :

- **noże ogólnego przeznaczenia** – do których należy zaliczyć noże zdzieraki, noże boczne, noże różne oraz wytaczaki,
- **noże specjalnego przeznaczenia** – do których należą noże do toczenia gwintów i ślimaków,
- **noże specjalne** – dedykowane do obróbki ściśle określonej pod względem kształtu powierzchni przedmiotu obrabianego [3].

Ze względu na rozwiązania konstrukcyjne noże tokarskie można podzielić na: jednolite, łączone w sposób trwały oraz składane. Szczegółowy opis podziału noży według tego kryterium zostanie przedstawiony w rozdziale 2 podręcznika.

1.1. Noże ogólnego przeznaczenia

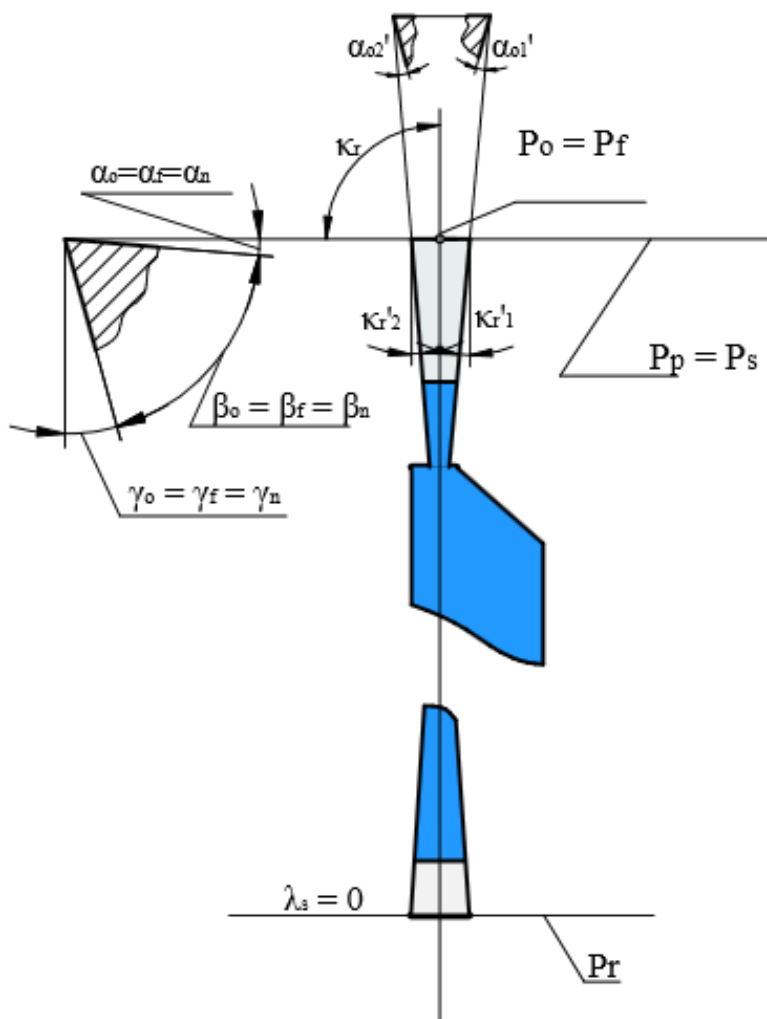
Noże ogólnego przeznaczenia są to tak zwane noże normalne lub handlowe, stosowane do typowych operacji tokarskich. Do grupy noży ogólnego przeznaczenia należy zaliczyć: noże do toczenia wzdłużnego zewnętrznego (noże zdzieraki prawe i lewe), noże boczne (wygięte prawe, wygięte lewe, odsadzone prawe, odsadzone lewe), noże różne (przecinaki, wykańczaki szerokie, wykańczaki spiczaste) oraz do toczenia wewnętrznego (wytaczaki) (rys. 1.2) [2].



Rys. 1.2. Przykład noży ogólnego przeznaczenia: 1- zdzierak prosty prawy, 2 – boczny wygięty prawy, 3- przecinak [4]

Zgodnie z PN-ISO 3002-1 dla noży ogólnego przeznaczenia można wyznaczyć geometrię ostrza w układzie odniesienia. Układ ten tworzy zespół płaszczyzn przechodzących przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej, zorientowany względem bazowych elementów narzędzia oraz kierunków ruchów występujących w procesie skrawania. Można wyróżnić dwa podstawowe układy odniesienia: układ narzędzia i układ roboczy [5]. Kąty określone w odpowiednich płaszczyznach posiadają ten sam indeks co płaszczyzna.

Na rysunku 1.3 przedstawiono geometrię ostrza noża przecinaka w układzie narzędzia. Nóż przecinak posiada bardzo "prostą" geometrię. Kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej (κ_r) jest równy 90° , oznacza to, że płaszczyzna boczna P_f i płaszczyzna ortogonalna P_o pokrywają się, a także płaszczyzna tylna P_p z płaszczyzną krawędzi skrawającej P_s . Po wyznaczeniu widoku w płaszczyźnie P_s widać, że kąt $\lambda_s = 0^\circ$, co sprawia, że płaszczyzna normalna P_n również pokrywa się z P_f i P_o [5, 6].



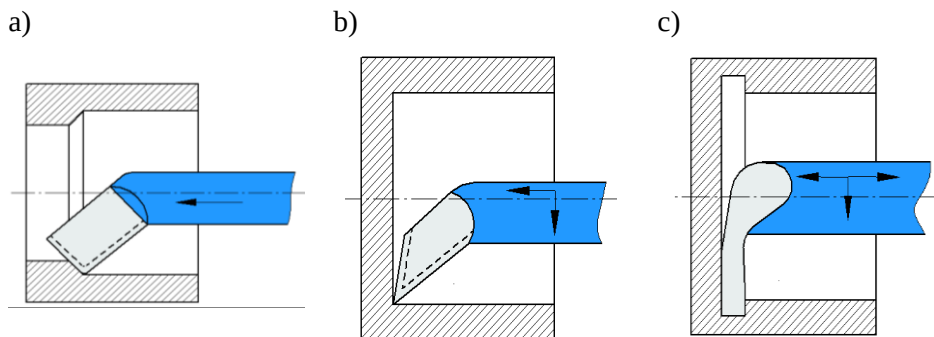
Rys. 1.3. Geometria ostrza noża przecinaka, gdy $\kappa_r = 90^\circ$

Do noży ogólnego przeznaczenia zaliczane są również wytaczaki, które stosowane są do obróbki powierzchni wewnętrznych. Zadaniem wytaczaka jest powiększenie i, bardzo często, poprawa jakości otworu.

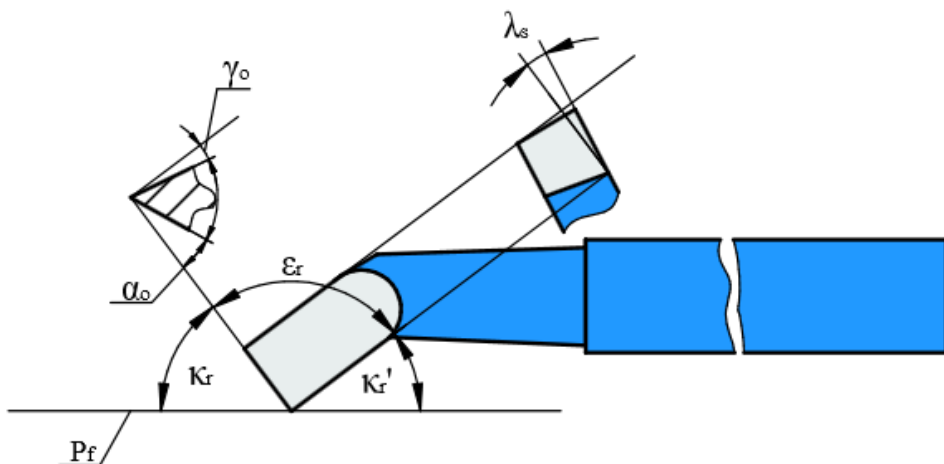
Można rozróżnić rodzaje wytaczaków:

- a) wytaczak prosty – np. do wykonania otworu przelotowego (rys. 1.4a),

- b) wytaczak spiczasty – np. do toczenia dna otworu lub stopnia otworu wielostopniowego (rys.1.4b),
- c) wytaczak hakowy – np. do toczenia wewnętrznych kanałków obwodowych (rys. 1.4c) [2].

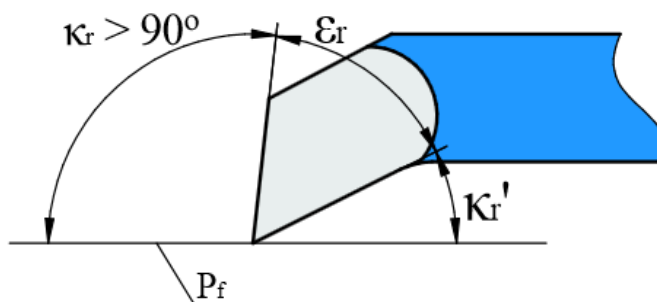


Rys. 1.4. Typowe noże do obróbki otworów [2]



Rys. 1.5. Geometria ostrz wytaczaka do otworów przelotowych

Geometria ostrza wytaczaka zbliżona jest do geometrii ostrza noża do toczenia powierzchni zewnętrznych. Płaszczyzna podstawowa (P_r) dla noża wytaczaka jest równoległa do podstawy narzędzia. Wyjątek stanowią wytaczaki z chwytem o przekroju kołowym, wtedy płaszczyzna P_r przechodzi przez oś chwytu. Płaszczyzna boczna P_f jest równoległa do osi chwytu, wyjątkiem jest wytaczak hakowy, w którym płaszczyzna P_f jest prostopadła do osi. Zarys wytaczaka do otworów przelotowych zbliżony jest do noża prostego (rys. 1.5) [6].



Rys. 1.6. Geometria ostrza wytaczaka szpiczastego do otworów nieprzelotowych

Wytaczak szpiczasty, umożliwiający kształtowanie otworu wielostopniowego ślepego, musi posiadać kąt przystawienia κ_r większy od 90° . Zazwyczaj $\kappa_r = 95^\circ$ (rys. 1.6) [6].

1.2. Noże kształtowe

Noże kształtowe są to takie noże, które pozwalają na odwzorowanie zarysu krawędzi skrawającej na przedmiocie obrabianym. Stosowane są one zazwyczaj w produkcji wielkoseryjnej i masowej przedmiotów o stosunkowo niedużych wymiarach gabarytowych. Dzięki nożom kształtowym istnieje możliwość wykonywania bardzo złożonych zarysów, bez stosowania kopiałów na prostych obrabiarkach, a przy tym operatorzy nie muszą mieć wysokich kwalifikacji [1, 4].

Noże kształtowe ze względu na kierunek wcinania się narzędzia w przedmiot obrabiany można podzielić na:

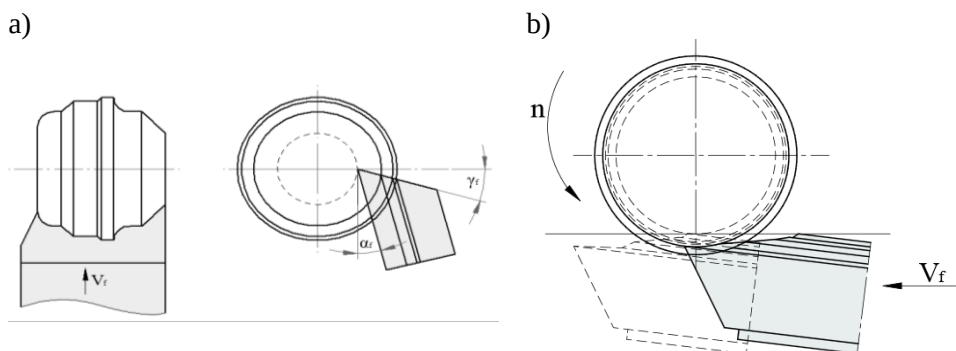
- **Narzędzia o ruchu promieniowym** – z promieniowym kierunkiem ruchu posuwowego względem przedmiotu obrabianego (rys. 1.7a). Noże o ruchu promieniowym przeznaczone są do toczenia stosunkowo krótkich przedmiotów.
- **Narzędzia o ruchu stycznym** – przemieszczające się stycznie do przedmiotu obrabianego. Narzędzie przechodzi strefowo przez całą długość kształtowanego zarysu, co umożliwia obróbkę elementów o większych długościach (rys. 1.7b) [1, 4].

Noże kształtowe ze względu na konstrukcję można podzielić na :

- płytkowe,
- słupkowe,
- krążkowe,
- styczne [1].

Noże słupkowe i styczne posiadają ograniczenia. Pozwalają one jedynie na kształtowanie zarysów zewnętrznych. W przypadku noży płytkowych oraz krążkowych jest możliwość obróbki także powierzchni wewnętrznych [1]. Noże

płytkowe oraz słupkowe charakteryzują się powierzchnią przyłożenia, która ma zarys odpowiadający kształtowi przedmiotu obrabianego, w przypadku noży krążkowych jest ona powierzchnią obrotową. Powierzchnia natarcia we wszystkich rodzajach noży jest płaszczyzną [6].



Rys. 1.7. Zasada pracy noża kształtowego a) o ruchu promieniowym, b) o ruchu stycznym

1.2.1. Noże słupkowe i krążkowe

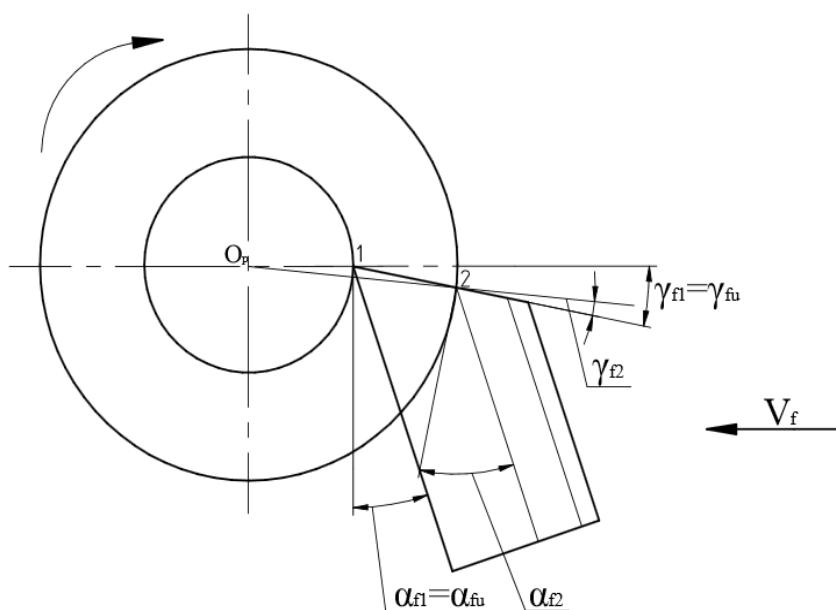
Noże słupkowe oraz noże krążkowe należą do noży promieniowych. Ten rodzaj noży przeznaczony jest do kształtowania stosunkowo krótkich przedmiotów. W końcowym etapie pracy skrawanie odbywa się na całej długości krawędzi skrawającej. Przyczynia się to do powstania dużych sił skrawania, czego konsekwencją jest znaczne ugięcie narzędzia i przedmiotu obrabianego [3, 4].

W momencie rozpoczęcia pracy nóż słupkowy oraz nóż krążkowy zaczyna skrawać jednym lub kilkoma punktami krawędzi skrawającej (rys. 1.8 i rys. 1.9). Są to najbardziej wysunięte punkty krawędzi skrawającej. W miarę zagłębiania się noża w materiał będą dołączały do pracy kolejne fragmenty krawędzi skrawającej, czego konsekwencją będzie wzrost długości czynnej krawędzi skrawającej. Spowoduje to wzrost obciążenia noża siłami skrawania.

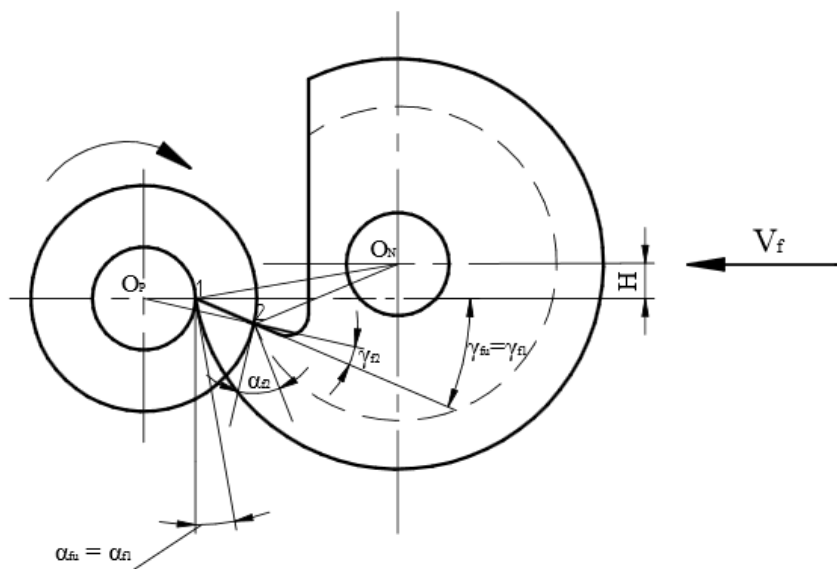
Praca noża promieniowego charakteryzuje się dużą zmiennością obciążenia narzędzia. Największe obciążenie noża występuje w momencie zakończenia pracy i jest ono uzależnione od długości przedmiotu obrabianego. Pomiedzy kątami natarcia i kątami przyłożenia dla poszczególnych punktów krawędzi skrawającej istnieje następująca zależność:

$$\gamma_{f1} > \gamma_{f2} \quad (1.1)$$

$$\alpha_{f1} < \alpha_{f2} \quad (1.2)$$



Rys. 1.8. Zasada pracy noża słupkowego oraz zmienność kątów natarcia i przyłożenia w różnych punktach krawędzi skrawającej



Rys. 1.9. Zasada pracy noża krążkowego oraz zmienność kątów natarcia i przyłożenia w różnych punktach krawędzi skrawającej

Największy kąt natarcia występuje na wierzchołku noża (punkt 1) natomiast największy kąt przyłożenia w punkcie krawędzi skrawającej ostrza, który kształtuje przedmiot na największej średnicy (punkt 2). W przypadku kąta ostrza w miarę zbliżania się do osi toczenia jego wartość jest stała. Natomiast dla punktów krawędzi skrawającej znajdujących się poniżej płaszczyzny osiowej przedmiotu kąty ostrza zmieniają się nieznacznie [4].

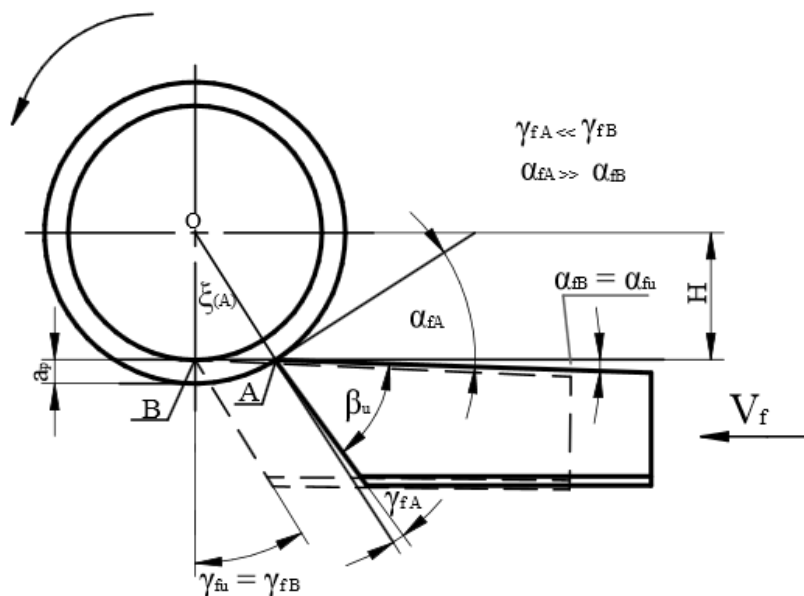
Nóż słupkowy mocowany jest w oprawce (na tzw. „jaskółczy ogon”), która jest nachylona pod kątem przyłożenia α_f . Kąt natarcia γ_f przyjmuje się najdogodniejszy ze względu na warunki skrawania, jednak podczas ostrzenia nie może ulec zmianie. Zwiększenie sztywności zamocowania noża, co w konsekwencji powoduje ograniczenie drgań, można osiągnąć poprzez podparcie noża regulowaną śrubą. Wykonanie noża słupkowego wiąże się z ustaleniem jego zarysu w przekroju normalnym [2].

Noże krążkowe, ze względu na mniejszą sztywność, stosowane są przy obróbce lżejszej. Nóż krążkowy nasadzany jest na trzpień, który następnie mocowany jest w oprawce. Aby uniemożliwić obrót noża na czołowej powierzchni nacina się drobne ząbki albo stosuje się kołek unieruchomiony w oprawce i zgłębniony w otworze wykonanym w korpusie. W przypadku małych noży krążkowych zabezpieczenie przed obrotem pochodzi od sił tarcia wynikających z mocowania w oprawce [4].

Zjawiskiem nieuniknionym podczas pracy noży promieniowych jest tarcie. Przyczynia się ono do zwiększenia obciążenia noża i powstania jego ewentualnych drgań. Intensyfikacja tego niepożądanego zjawiska ma miejsce, gdy w zarysie krawędzi skrawającej występują elementy prostopadłe do osi, oznacza to, że $\kappa_r = 90^\circ$ lub $\kappa_r' = 90^\circ$. Istnieje kilka sposobów polepszenia pracy noży promieniowych. Jednym z rozwiązań jest wprowadzenie dodatkowego kąta przystawienia $\kappa' = 1^\circ \div 3^\circ$ lub wykonanie bocznego pogłębienia powierzchni przyłożenia. Zmniejszenie tarcia może nastąpić również przez skośne wprowadzenie noża względem przedmiotu obrabianego lub zastosowanie noży krążkowych śrubowych. W nożach tych kształtowa powierzchnia przyłożenia uformowana jest na obwodzie noża według linii śrubowej [1, 4].

1.2.2. Noże styczne

Noże styczne przeznaczone są do obróbki elementów o niewielkiej głębokości zarysu, ale o znacznej długości. Cechą charakterystyczną pracy noży stycznych jest duża zmienność wartości efektywnych (roboczych) kątów natarcia i przyłożenia. Zmiany kątów zależą od wartości kąta ξ_A (ξ_A – jest to kąt pracy wierzchołka noża), na którego wartość wpływ ma głębokości skrawania [1,4].



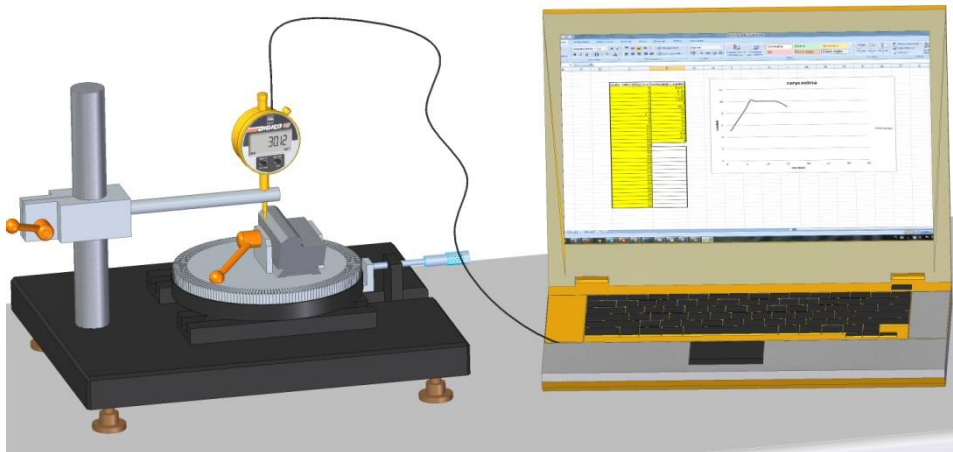
Rys. 1.10. Zasada pracy noża stycznego

Na rysunku 1.10 przedstawiono zasadę pracy noża stycznego. Drogę wierzchołka noża wyznacza linia prosta styczna do najmniejszej średnicy toczonego przedmiotu i znajdująca się w odległości H od jego osi. W punkcie A wierzchołek noża rozpoczyna skrawanie. Składowe kąta przyłożenia i kąta natarcia wynoszą odpowiednio: $\alpha_{fA} = \alpha_{fu} + \xi$, $\gamma_{fA} = \gamma_{fu} - \xi$. W miarę przesuwania się noża względem przedmiotu obrabianego kąt ξ maleje, a w związku z tym maleje również kąt przyłożenia α_{fB} a rośnie kąt natarcia γ_{fB} . W punkcie B wierzchołek narzędzia kończy pracę. Kąt pracy $\xi = 0^\circ$, a kąt przyłożenia $\alpha_{fB} = \alpha_{fu}$, a kąt natarcia $\gamma_{fB} = \gamma_{fu}$.

Dokładność przedmiotów obrabianych za pomocą noży stycznych uzależniona jest od dokładnego ustawienia drogi wierzchołka narzędzia [4].

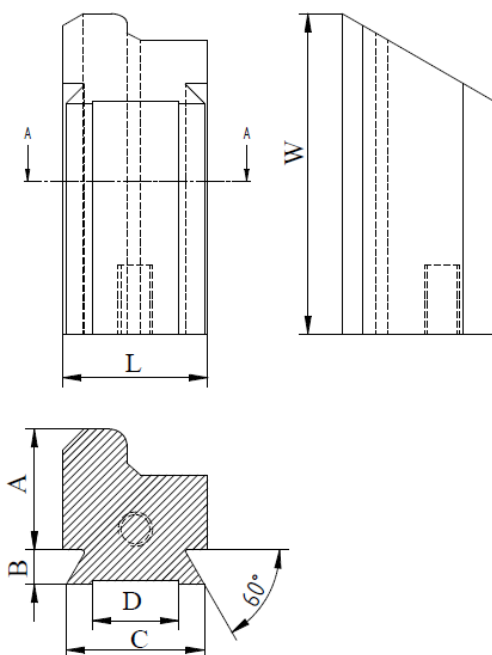
1.3. Stanowisko do pomiaru zarysu noży kształtowych

Na rysunku 1.11 przedstawiono system pomiarowy do sprawdzania zarysu noży kształtowych, w skład którego wchodzi stanowisko do pomiaru zarysu, czujnik pomiarowy wyposażony w gniazdo interfejsu RS232, umożliwiającego transmisję danych pomiarowych oraz komputer wraz z oprogramowaniem umożliwiającym zaimplementowanie danych bezpośrednio do programu Excel.



Rys. 1.11. System pomiarowy do sprawdzania geometrii noży kształtowych

Pomiar polega na wyznaczeniu zarysu krawędzi skrawającej noża kształtowego w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni przyłożenia (rys. 1.12).



Rys.1.12. Przekrój noża kształtowego promieniowego słupkowego

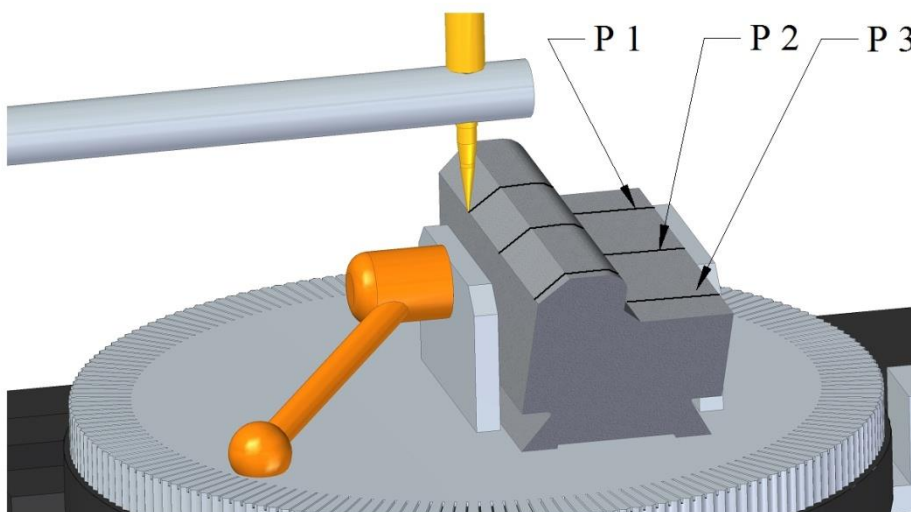
1.3.1. Uwagi ogólne

Przed przystąpieniem do pomiaru należy sprawdzić stan ogólny stanowiska, w szczególności płynność przesuwu platformy jezdnej, stan śruby mikrometrycznej oraz czujnika pomiarowego. Wszelkie uszkodzenia mechaniczne należy zgłosić prowadzącemu zajęcia.

1.3.2. Przeprowadzenie pomiaru zarysu krawędzi skrawającej noża kształtowego

Pomiaru można dokonać w następującej kolejności:

- 1) zamocować nóż na stanowisku pomiarowym powierzchnią przyłożenia skierowaną ku górze,
- 2) za pomocą stolika obrotowego ustawić boczną powierzchnię noża prostopadle do kierunku przesuwu platformy jezdnej,
- 3) ustawić końcówkę pomiarową czujnika na początku (po lewej lub po prawej stronie) kształtowej powierzchni przyłożenia (sposób ustawienia końcówki pomiarowej na nożu przedstawiono na rys. 1.13),
- 4) wyzerować wskazanie czujnika pomiarowego,
- 5) uruchomić arkusz Excel o nazwie "zarys noża słupkowego" oraz uruchomić makro programu Excel do transmisji danych,
- 6) za pomocą śruby mikrometrycznej przesuwać nóż kształtowy z krokiem $l = 0,5 \text{ mm}$. Dla każdego kroku przesłać wskazanie "h" z czujnika pomiarowego do arkusza programu Excel. W przypadku łukowych odcinków zarysu noża oraz dużych kątów pochylenia ścianek powierzchni przyłożenia $> 30^\circ$ w płaszczyźnie pomiarowej, zmniejszyć krok do $l = 0,1 \text{ mm}$,

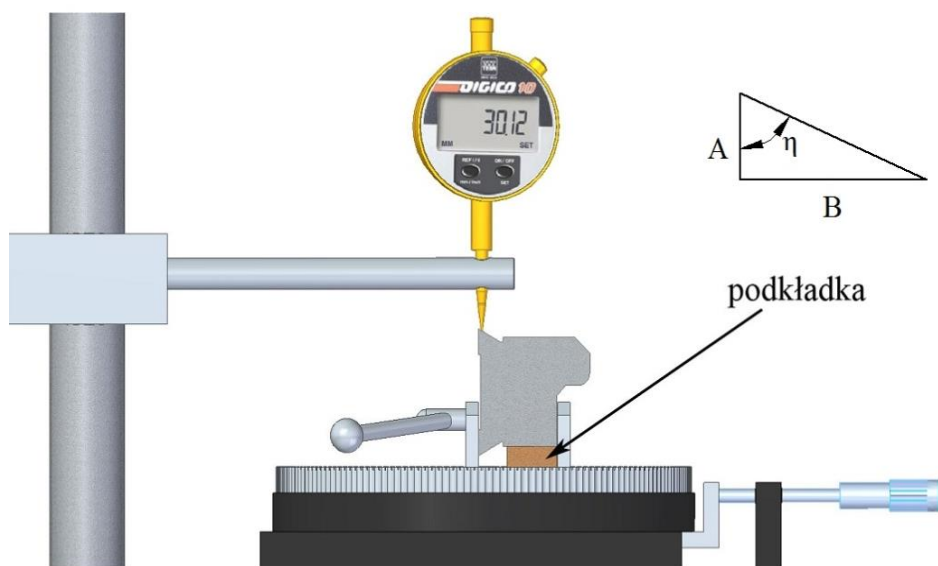


Rys. 1.13. Sposób ustawienia końcówki pomiarowej na nożu

- 7) pomiar powtórzyć dla trzech płaszczyzn pomiarowych P1, P2, P3,
8) w programie Excel wykonać wykres zarysu krawędzi skrawającej noża kształtowego w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni przyłożenia (po uśrednieniu wyników pomiarów) i porównać go z rysunkiem noża kształtowego.
UWAGA: W przypadku dużych kątów pochylenia ścianek powierzchni przyłożenia w płaszczyźnie pomiarowej, należy tak dobrać kierunek przesuwu platformy jezdnej, aby końcówka pomiarowa czujnika przesuwiała się ku dołowi podczas pomiaru.

1.3.3. Sprawdzenie wymiarów i geometrii pryzmatycznego chwytu

Pomiaru szerokości i wysokości pryzmatycznego chwytu noża słupkowego można dokonać za pomocą suwmiarki. Natomiast na specjalnym stanowisku można dokonać pomiaru kąta pochylenia bocznej ścianki pryzmatycznego chwytu. W tym celu należy ustawić nóż w pozycji bocznej. Jeśli któraś ze stron chwytu wystaje poza boczną powierzchnię noża wówczas należy skorzystać ze specjalnej podkładki, co pokazano na rys. 1.14.



Rys. 1.14. Zasada pomiaru kąta pochylenia bocznej ścianki chwytu

Następnie należy doprowadzić do dotyku końcówki pomiarowej czujnika z boczną powierzchnią pryzmatycznego chwytu i wyzerować wskazanie czujnika. Za pomocą śruby mikrometrycznej czujnika przesunąć nóż o pewną wartość i zapisać wskazania. Wartość kąta η można wyznaczyć z funkcji trygonometrycznej :

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{B}{A} \quad (1.3)$$

gdzie:

A - wskazanie czujnika pomiarowego,

B – różnica wskazań śruby mikrometrycznej po przemieszczeniu i przed przemieszczeniem.

W analogiczny sposób dokonać pomiaru kąta η dla drugiej ścianki pryzmatycznego chwytu.

1.4. Wykonanie ćwiczenia

1.4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową noży jednolitych oraz sprawdzenie zarysu krawędzi skrawającej i chwytu noża kształtowego słupkowego.

1.4.2. Przebieg ćwiczenia

Korzystając ze stanowiska do sprawdzania noży kształtowych oraz bazując na metodyce opisanej w punkcie 1.3.2 i 1.3.3 należy:

1. Dokonać pomiaru wymiarów gabarytowych noża kształtowego.
2. Dokonać pomiaru zarysu krawędzi skrawającej noża kształtowego w trzech płaszczyznach P1, P2 i P3 prostopadłych do powierzchni przyłożenia, eksportując wyniki pomiarów do Excela.
3. Wykonać wykres zarysu krawędzi skrawającej w trzech płaszczyznach i porównać z zarysem wzornika (przedstawionym w formie wykresu).
4. Przeprowadzić pomiary wymiarów i geometrii części chwytowej noża kształtowego.

1.4.3. Wzór protokołu

Protokół sprawdzania zarysu krawędzi skrawającej

Nr pomiaru	Płaszczyzna P1		Płaszczyzna P2		Płaszczyzna P3		Średnia z pomiarów		Wzornik	
	l	h	l	h	l	h	l	h	l	h
1										
2										
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n										

Protokół sprawdzania wymiarów gabarytowych noża i geometrii części chwytowej (wg rys. 1.12)

nazwa noża		
A		
B		
C		
D		
W		
L		
η		

1.4.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) rysunek badanego noża,
- 2) wypełnione protokoły badań,
- 3) wykres zarysu krawędzi w płaszczyznach P1, P2 i P3,
- 4) wnioski.

Literatura:

1. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2006.
2. Dudik K., Górski E.: *Poradnik tokarza*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2000.
3. Górski E.: *Obróbka skrawaniem*. Państwowe Wydawnictwo Szkolnictwa Zawodowego, Warszawa 1982.
4. Górski E., Harasymowicz J.: *Podstawy projektowania narzędzi skrawających wraz z zagadnieniami technologicznymi*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
5. Jemielniak K.: *Obróbka skrawaniem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
6. Kunstetter S.: *Podstawy konstrukcji narzędzi skrawających*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1980.
7. Zaleski K.: *Laboratorium obróbki ubytkowej*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2001.
8. PN-ISO 3002-1: Podstawowe pojęcia w obróbce wiórowej i ściernej - Geometria części roboczej narzędzi skrawających - Terminologia ogólna, układy odniesienia, kąty narzędzia i kąty robocze oraz łamacze wióra

2. Noże tokarskie składane

Noże tokarskie stanowią jedną z najliczniejszych grup narzędzi skrawających. Istnieje wiele kryteriów podziału noży tokarskich. Możemy je podzielić ze względu na sposób kształtowania powierzchni obrobionej, ze względu na kierunek skrawania oraz ze względu na konstrukcję.

Uwzględniając ostatnie kryterium podziału można wyróżnić noże:

- **jednolite** (np. wykonane w całości ze stali szybko tnącej),
- **łączone w sposób trwały** - (np. poprzez zgrzewanie lub lutowanie części roboczej do korpusu oprawki),
- **składane** - w których płytki skrawające są mocowane mechanicznie do oprawki [1].

Obecnie w produkcji odgrywają coraz większą rolę narzędzia składane. Do zalet noży składanych należy zaliczyć:

- szybką wymianę stępnionego ostrza,
- możliwość wymiany ostrza bez konieczności ponownego ustawienia narzędzia na wymiar bądź wprowadzenia korekcji do układu sterowania obrabiarki,
- możliwość uzyskiwania powtarzalnej geometrii i jakości ostrza po kolejnych wymianach płytek,
- brak naprężeń lutowniczych w ostrzu,
- istnienie powłok ochronnych na ostrzu po każdej regeneracji zużytego narzędzia.

Słabymi stronami noży składanych są:

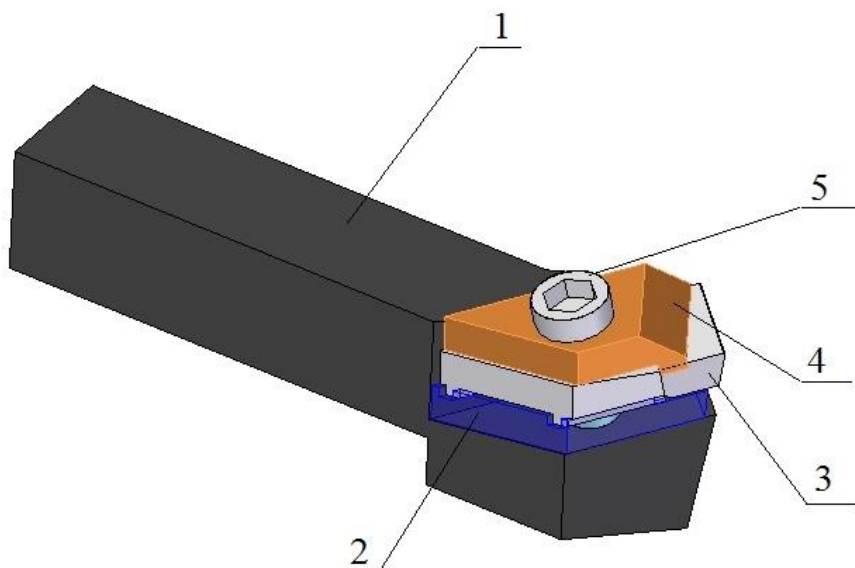
- mniejsza sztywność i wytrzymałość, szczególnie w przypadku narzędzi o małym przekroju, np. wytaczaków,
- mniejsza pewność mocowania ostrza w korpusie narzędzia [1, 3].

2.1. Budowa noża tokarskiego składanego

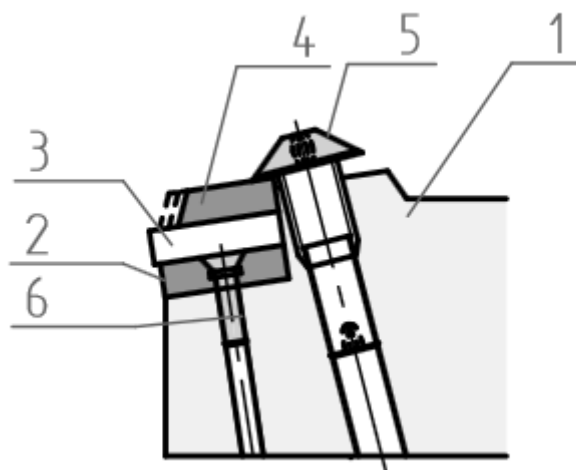
Nóż tokarski składany zbudowany jest z następujących części (rys. 2.1) :

- **korpus z gniazdem**, w którym znajduje się element ustalający położenie płytki skrawającej,
- **płytki podporowej**, która ma za zadanie ochronę gniazda przed wyrobieniem się, zabezpieczenie przed zużyciem katastroficznym oprawki w przypadku wyłamania ostrza, stworzenie dobrego przylegania płytki skrawającej do podłoża,
- **płytki skrawającej**,
- **nakładanego łamacza wióra**,
- **elementów mocujących płytkę** [1].

a)



b)



Rys. 2.1. Budowa noża tokarskiego składanego a) widok ogólny b) widok mechanizmu ustalającego - mocującego (1- korpus, 2- płytką podporową, 3- płytką skrawającą, 4- łamacz wióra, 5- śruba mocująca, , 6 – śruba mocująca płytkę podporową)

2.1.1. Płytki skrawające

Obecnie płytki skrawające oferowane są w coraz szerszym asortymencie. Dotyczy to zarówno wielkości, kształtu obrysu jak i ukształtowania powierzchni natarcia i krawędzi skrawającej, modyfikacji naroża itp. Zgodnie z PN-ISO 1832:1998 płytka skrawająca powinna być oznaczona w następujący sposób (rys. 2.2).

T P G N 16 03 12 F R -
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Rys. 2.2. Oznaczenie płytek wielostrzowych według PN-ISO 1832:1998

gdzie:

- 1) symbol kształtu i kąta naroża płytki (tabela 2.1),
- 2) symbol kąta przyłożenia płytki,
- 3) symbol klasy dokładności płytki,
- 4) symbol sposobu mocowania i/lub łamacza wióra,
- 5) symbol liczbowy wielkości płytki (liczbowa wartość długości jej boku, z pominięciem części ułamkowej),
- 6) symbol grubości płytki (jest to wymiar z pominięciem części ułamkowej),
- 7) symbol kształtu naroża,
- 8) symbol postaci krawędzi skrawającej,
- 9) symbol typu naroża i zastosowania płytki (kierunku ruchu posuwowego R- płytka prawa, L- płytka lewa, N- płytka neutralna),
- 10-11) symbole do wykorzystania przez wytwórcę [4].

Tabela 2.1. Symbole kształtu i kąta naroża płytki [4]

Symbol	Kształt i kąt naroża	kształt
A	równoległoboczna, $\varepsilon_r = 85^\circ$	
B	równoległoboczna, $\varepsilon_r = 82^\circ$	
K	równoległoboczna, $\varepsilon_r = 55^\circ$	
L	prostokątna, $\varepsilon_r = 90^\circ$	
C	rombowa, $\varepsilon_r = 80^\circ$	
D	rombowa, $\varepsilon_r = 55^\circ$	
E	rombowa, $\varepsilon_r = 75^\circ$	
F	rombowa, $\varepsilon_r = 50^\circ$	
M	rombowa, $\varepsilon_r = 86^\circ$	
V	rombowa, $\varepsilon_r = 35^\circ$	
T	trójkątna, $\varepsilon_r = 60^\circ$	

W	trygonalna, $\varepsilon_r = 80^\circ$	
S	kwadratowa, $\varepsilon_r = 90^\circ$	
H	sześciokątna, $\varepsilon_r = 120^\circ$	
O	ośmiokątna, $\varepsilon_r = 135^\circ$	
P	pięciokątna, $\varepsilon_r = 108^\circ$	
R	okrągła	

Norma PN-ISO 1832:1998 jednak nie obejmuje wszystkich rodzajów płytek skrawających. Nie zostały w niej uwzględnione płytki do wykonywania wszelkiego rodzaju kanalików, podcięć, przecinania materiału, wykonywania gwintów oraz płytki mocowane stycznie, czyli takie, w których największa powierzchnia bryły płytki usytuowana jest stycznie do wektora prędkości skrawania. Płytki styczne stosowane są, gdy istnieje potrzeba kształtowania głębokich wcięć lub kanałków o niewielkich szerokościach oraz gdy występują bardzo duże siły skrawania, o znacznej dynamice [1].

Wartość kąta przyłożenia wyznaczonego w płaszczyźnie normalnej zawarta jest w przedziale od 3° do 30° (np. $\alpha_n = 3^\circ$ - symbol A, $\alpha_n = 25^\circ$ - F). Może również przyjmować inne wartości [4].

Wielkość płytki skrawającej opisana jest długością boku i grubością, w przypadku płytek standardowych jest znormalizowana. Płytki wykonywane są w kilku klasach dokładności. Klasy płytek definiowane są poprzez odchyłki graniczne, które zależą od rodzaju płytki [1, 4].

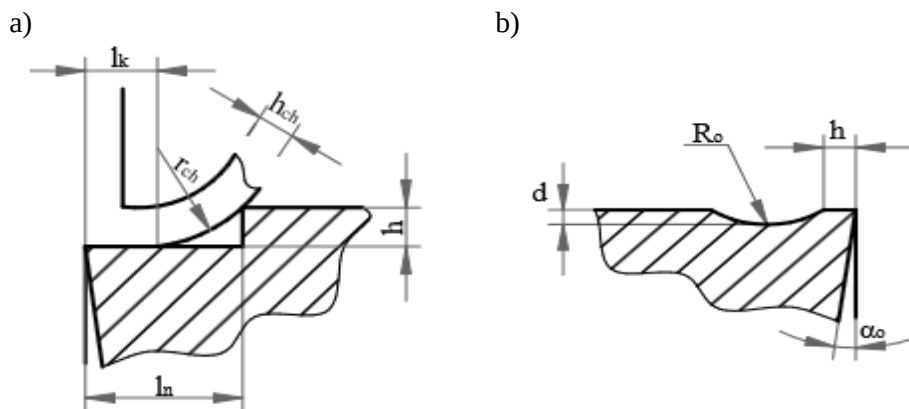
2.1.2. Łamacze i zwijacze wióra

Powierzchnia natarcia płytek skrawających jest zazwyczaj ukształtowana w specjalny sposób, co wpływa w istotny sposób na:

- kształtowanie i rozdrabnianie wióra,
- wielkość i rozkład siły skrawania,

- możliwość łatwiejszego dostępu cieczy chłodząco-smarującej do strefy skrawania,
- ochronę krawędzi skrawającej przed wyszczerbieniem i wykruszeniem, szczególnie w przypadku ostrzy ceramicznych [1].

Formą modyfikacji powierzchni natarcia jest wprowadzanie różnorodnych sfazowań, które spełniają funkcję **łamacza wióra** (rys. 2.3a) oraz tworzenie rowków połączonych także z sfazowaniem, które ułatwiają **zwijanie wióra** (rys. 2.3b) [1, 2]. Łamanie wióra polega na wytworzeniu krótkich wiórów, które dają się łatwo odprowadzić ze strefy skrawania i obciążają ostrze w możliwy do przyjęcia sposób [7]. Zadaniem zwijaczy wiórów jest takie oddziaływanie na kształt i odprowadzanie wiórów, aby, z punktu widzenia narzędzia i obrabianego przedmiotu, powstały optymalne warunki pracy [7].



Rys. 2.3. Przykłady ukształtowania powierzchni natarcia: a) łamacz wióra, b) zwijacz wióra [2]

Obecnie można zaobserwować bardzo dużą różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych łamaczy wiórów. Niestety ich ciągły rozwój oraz modernizacja uniemożliwiają ich normalizację. Coraz częściej spotyka się ofertę płytek z łamaczami oddzielnie do obróbki zgrubnej, kształtującej i wykończeniowej [1, 2].

2.1.4. Modyfikacje ostrza skrawającego

Do najważniejszych modyfikacji ostrza skrawającego należy zaliczyć:

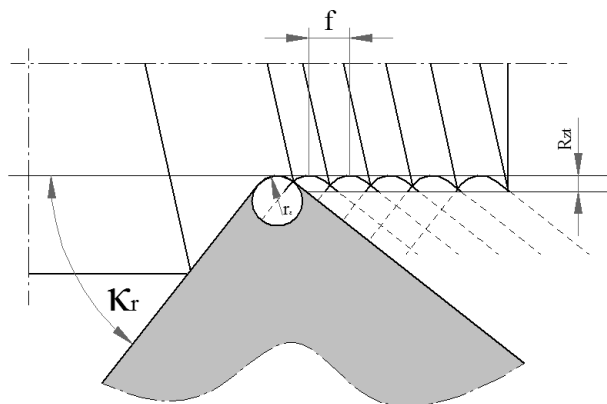
- wprowadzenie promienia zaokrąglenia naroża - r_n ,
- wprowadzenie naroża ściętego (krawędzi przejściowej lub wygładzającej) [2]

Płytki znormalizowane posiadają zazwyczaj zaokrąglenie o promieniu z następującego zbioru liczb $\{\sim 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,4; 2,8; 3,2\}$. W przypadku takiego ostrza w materiale obrabianym odwzorowuje się część krzywoliniowa głównej krawędzi skrawającej, która powoduje powstanie chropowatości

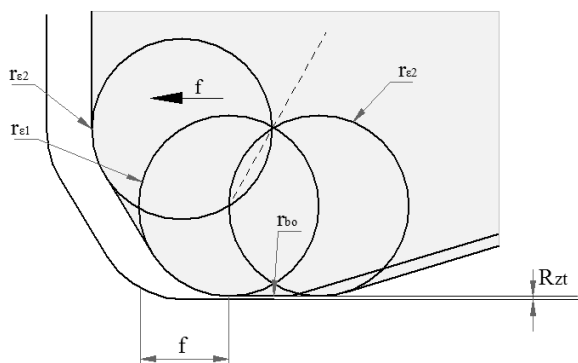
powierzchni o określonej wartości (rys. 2.4a). Tego rodzaju płytki dedykowane są głównie do toczenia i wiercenia [1, 4].

Obecnie płytki skrawające coraz częściej posiadają pomocnicze krawędzie wygładzające o bardzo dużym promieniu zaokrąglenia (r_{bo}) i czasami kilka pomocniczych promieni zaokrąglenia naroża r_{e1} i r_{e2} . Handlowa nazwa tej odmiany ukształtowania naroża to Wiper (rys. 2.4b). Ostrza tego typu pozwalają na ponad dwukrotne zmniejszenie chropowatości powierzchni w odniesieniu do ostrzy z promieniowym kształtem naroża [1, 2].

a)



b)



Rys. 2.4. Ukształtowanie naroża w płytkach skrawających a) promieniowe b) z krawędzią wygładzającą (r_e , r_{bo} , r_{e1} , r_{e2} – promienie zaokrąglenia, f – posuw, κ_r – kąt przystawienia, R_{zt} – teoretyczna wysokość chropowatości powierzchni)[1, 2]

2.1.5. Ustalenie płytki

Ustalenie płytki polega na odebranie jej wszystkich stopni swobody. Ustalenie realizowane jest bezpośrednio w gniazdach oprawki narzędzia, ewentualnie w sposób pośredni za pomocą wkładek [1].

Ustalenie powinno:

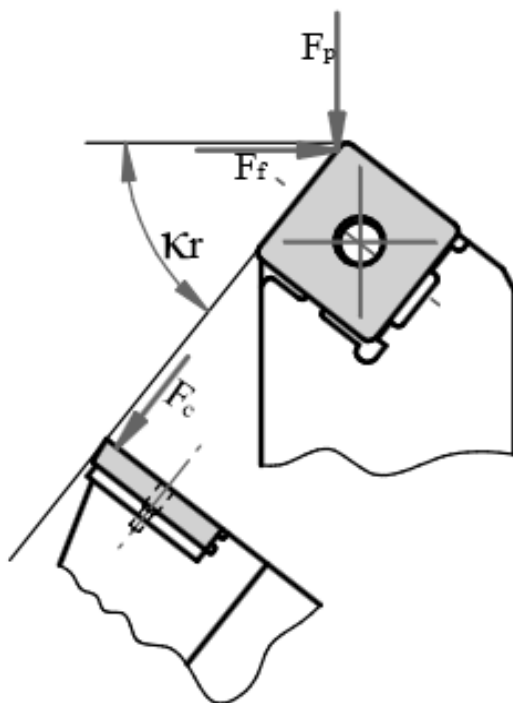
- jednoznacznie, powtarzalnie określać położenie płytki względem oprawki,
- odbierać płytce wszystkie stopnie swobody,
- zapewniać dużą powtarzalność położenia naroża i krawędzi skrawającej,
- powodować, aby siły skrawania dociskały płytkę do powierzchni oporowych, stanowiących jednocześnie bazy ustawcze,
- zabezpieczyć oprawkę przed wyrabianiem się jej gniazda,
- zabezpieczyć oprawkę przed skutkami katastroficznymi wyłamania ostrza,
- umożliwić dokładną regulację położenia płytki w kierunku prostopa-dłym do obrabianej powierzchni,
- być łatwe do wykonania [1].

Stopnie swobody podczas ustalania płytki skrawającej w pierwszej kolejno-ści powinny zostać odebrane po przez dosunięcie płytki do bazy głównej, na-stępnie do bazy pomocniczej, dwupunktowej, a w ostatnim kroku do bazy jed-nopunktowej.

Główne powierzchnie ustalające gniazda bardzo często wyposażone są w płytki podporowe, których zadaniem jest zabezpieczenie gniazda przed wyrabianiem się i negatywnymi skutkami zużycia katastroficznego. Dzięki zastosowaniu płytek podporowych można uzyskać powierzchnie bazowe o większej płaskości i mniejszej chropowatości. Umożliwia to większą stabilność zamoco-wania i powtarzalność położenia naroża, a także lepsze odprowadzenie ciepła. Niekiedy rezygnuje się z zastosowania płytek podporowych. Ma to zazwyczaj miejsce, gdy jest ograniczona przestrzeń gniazda (wpływa to negatywnie na wytrzymałość i sztywność narzędzia) oraz, gdy płytka podporowa ma skompli-kowany kształt, z trudnoobrabialnego materiału, co utrudnia jej szlifowanie.

Sposób ustalenia płytki w gnieździe uzależniony jest od rodzaju płytki. Dla płytek okrągłych, jako powierzchnie bazowe, mogą być wykorzystywane pry-zmy lub powierzchnie walcowe. Płytki do kanalików, podcięć oraz niektóre do gwintów, z powodu małych wymiarów, ustalane są w dość specyficzny sposób. Podstawa płytki jest zazwyczaj główną powierzchnia ustalająca. W przekroju prostopa-dłym ma ona najczęściej kształt zbliżony do litery V w położeniu nor-malnym lub odwróconym. Pozwala to aż na odebranie czterech stopni swobody płytce. Element mocujący od góry, np. w postaci mechanizmu samozakleszcza-jącego się klina, odbiera możliwość obrotu wokół własnej osi oraz przemiesz-czania się wzdłuż własnej osi [1].

Konstrukcję ustalenia płytki w gnieździe przedstawiono na rysunku 2.5. Główna powierzchnia ustalająca płytkę jest prostopadła do kierunku działania siły skrawania F_c . Odbiera ona płytce trzy stopnie swobody. Boczna powierzchnia płytki, przeciwległa do głównej krawędzi skrawającej, stanowi pomocniczą powierzchnie ustalającą i odbiera kolejne dwa stopnie swobody. Ostatni stopień swobody odbiera punkt oporowy, który styka się z płytką na powierzchni przeciwległej do pomocniczej krawędzi skrawającej [1]. Jest to poprawny, z teoretycznego punktu widzenia, sposób ustalenia.



Rys. 2.5. Przykład ustalenia płytek w gnieździe zamkniętym [1]

2.1.6. Mocowanie płytek

Mocowanie mechaniczne płytek skrawających w oprawce powinno spełniać następujące warunki:

- być silne, aby płytka nie uległa przemieszczeniu w warunkach niestabilnej pracy,
- siła mocująca płytkę powinna mieć kierunek i zwrot działania zgodny z kierunkiem siły skrawania,
- siła mocująca powinna być skierowana możliwie prostopadle do powierzchni ustalających,
- charakteryzować się prostotą budowy oraz składać się z jak najmniejszej liczby elementów,

- zajmować mało miejsca,
- krótki czas wymiany płytki skrawającej [1].

Zgodnie z PN-ISO 5608:2001 można wyróżnić następujące rozwiązania konstrukcyjne mocowania płytek skrawających w oprawkach: C – mocowanie od góry (płytki bez otworów), P – mocowanie na otworze, M – mocowanie od góry i na otworze, S – mocowanie śrubą na otworze (rys. 2.6).

a)



b)



c)



d)



Rys. 2.6. Schematy różnych sposobów mocowania płytek a) mocowanie od góry – C, b) mocowanie na otworze – P, c) mocowanie od góry i na otworze – M, d) mocowanie śrubą na otworze – S [5]

Poza sposobami mocowania, ujętymi w PN-ISO 5608:2001, można wyróżnić jeszcze następujące systemy mocowania:

- a) klinem do czopa,
- b) klinem do czopa i łapą do podstawy,
- c) łapą poprzez otwór i powierzchnią do baz oporowych gniazda,
- d) łapą skośnie po przez karb do baz oporowych gniazda,
- e) samozakleszczające się,
- f) klinem do baz oporowych gniazda,
- g) łapą skośnie poprzez fazkę otworu do baz oporowych gniazda [1].

Dobór poprawności mechanizmu ustalająco – mocującego powinien być oparty na następujących kryteriach:

- wielkości narzędzia oraz objętości przestrzeni mocującej,
- przeznaczenia narzędzia,
- kierunku skrawania,

- rodzaju obróbki,
- stabilności warunków skrawania,
- parametrów technologicznych skrawania (w szczególności prędkości skrawania) [1].

2.2. Oznaczanie noży tokarskich składanych

Klasyfikacja noży tokarskich składanych a także sposób ich oznaczenia przeprowadzony jest zgodnie z normą PN – ISO 5608: 2001. Symbol noża do toczenia zawiera informacje podane w następującej kolejności (rys. 2.7.):

P	C	L	N	R	32	25	M	19	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Rys. 2.7. Oznaczenie noża do toczenia według PN-ISO 5608:2001

gdzie:

- 1) sposób mocowania płytki ułożonej poziomo,
- 2) symbol kształtu i kąta naroża płytki,
- 3) symbol rodzaju noża (i kąta przystawienia),
- 4) symbol kąta przyłożenia płytki,
- 5) symbol usytuowania ostrza względem chwyty,
- 6) symbol wysokości noża (np. dla $h = 32$ mm, symbol 32),
- 7) symbol szerokości noża (np. dla $b = 8$ mm, symbol 08),
- 8) symbol długości noża,
- 9) symbol wielkości płytki (jest to liczba wyrażająca wielkość płytki, z pominięciem części ułamkowej, np. długość krawędzi płytki ma 9,525 mm to odpowiadający jej symbol będzie wynosił 09),
- 10) symbol fakultatywny – zawiera dodatkowe informacje, np. dotyczące narzędzi o podwyższonej dokładności bazowania lub inne informacje producenta [5].

W oparciu o PN-ISO 5608:2001 można wyróżnić następujące rodzaje noży oraz odpowiadające im kąty przystawienia:

- A – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 90^\circ$,
- B – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 75^\circ$,
- C – nóż prosty do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 90^\circ$,
- D – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 45^\circ$,
- E – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 60^\circ$,
- F – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 90^\circ$,
- G – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 90^\circ$,
- H – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 107,5^\circ$,
- J – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 93^\circ$,
- K – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 75^\circ$,
- L – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 95^\circ$,
- M – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 50^\circ$,

N – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 63^\circ$,
 P – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 117,5^\circ$,
 R – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 75^\circ$,
 S – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 45^\circ$,
 T – nóż odsadzony do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 60^\circ$,
 U – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 93^\circ$,
 V – nóż prosty do toczenia wzdłużnego $\kappa_r = 72,5^\circ$,
 W – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 60^\circ$,
 Y – nóż odsadzony do toczenia poprzecznego $\kappa_r = 85^\circ$.

Noże rodzaju D i S mogą być stosowane również z płytkami okrągłymi typu R.

Ze względu na usytuowanie ostrza względem chwytu a tym samym kierunek pracy noża, można je podzielić na: prawe (**R**), lewe (**L**) oraz neutralne (**N**).

Symbolowi długości noża (pozycja 8 w symbolu noża) przyporządkowane są litery wielkie alfabetu łacińskiego (tabela 2.2). W przypadku noży składanych znormalizowanych, w których dla wielkości noża określono tylko jedną długość, symbol w pozycji 8 może być zastąpiony kreską [5].

Tabela 2.2. Symbol długości noża [5]

symbol	długość l [mm]	symbol	długość l [mm]
A	32	N	160
B	40	P	170
C	50	W	180
D	60	R	200
E	70	S	250
F	80	T	300
G	90	U	350
H	100	V	400
J	110	W	450
K	125	Y	500
L	140	X	specjalne
M	150		

Sposób oznaczania wytaczaków różni się zamianą kolejności symboli oraz podaniu średnicy wyjściowej pręta, z którego wykonano narzędzie [5].

2.3. Wpływ sposobu ustalenia i mocowania płytek na powtarzalność i dokładność położenia ostrza

Niekwestionowaną zaletą noży składanych jest zachowanie powtarzalności położenia naroża (krawędzi) po kolejnych wymianach płytki skrawającej. Nie-

stety czasami występuje rozrzut położenia naroża. Do czynników wpływających na powtarzalność położenia należy zaliczyć:

- pole tolerancji wykonania płytek skrawających,
- poprawność ustalenia płytki w gnieździe oprawki,
- sprężystość elementów ustalających płytkę,
- zmienność siły mocowania,
- zanieczyszczenia na powierzchniach ustalających płytki i gniazda,
- zużycie powierzchni bazowych płytki i gniazda narzędzia,
- nalepy i narosty na powierzchniach roboczych ostrza,
- odkształcenia cieplne elementów składowych narzędzia [1].

Istnieją sposoby, które pozwalają na niwelację lub całkowite ograniczenia wielu z tych czynników.

Jednym ze sposobów na ograniczenie wpływu tolerancji wykonania płytek na powtarzalność położenia naroża jest stosowanie płytek o podwyższonej precyzji wykonania. Jednak nie tylko klasa dokładności wykonania płytek wpływa na powtarzalność mocowania, istotne znaczenie ma również, na przykład, tolerancja wykonania otworu w płytce oraz systematyczność jego położenia względem osi płytki, jeżeli mocowanie odbywa się na otworze.

Podczas montażu płytki należy, jako elementy ustawcze, wybierać sztywne ścianki gniazda, rezygnując z wiotkich kołków oraz stosować klucze lub wkręta dynamometryczne.

Ograniczenie wpływu ciał obcych na powtarzalność mocowania można uzyskać poprzez zmniejszenie powierzchni styku ostrza z bazami ustawczymi oraz sytuując je poza miejscami spodziewanego ich występowania.

Elementy ustawcze gniazda oprawki podczas całego okresu eksploatacji ulegają zużywaniu. Aby ograniczyć to zużycie, należy powierzchnie ustawcze utwardzać i zwiększać ich wymiary, co jest niezgodne w odniesieniu do warunków poprawności pozycjonowania [1].

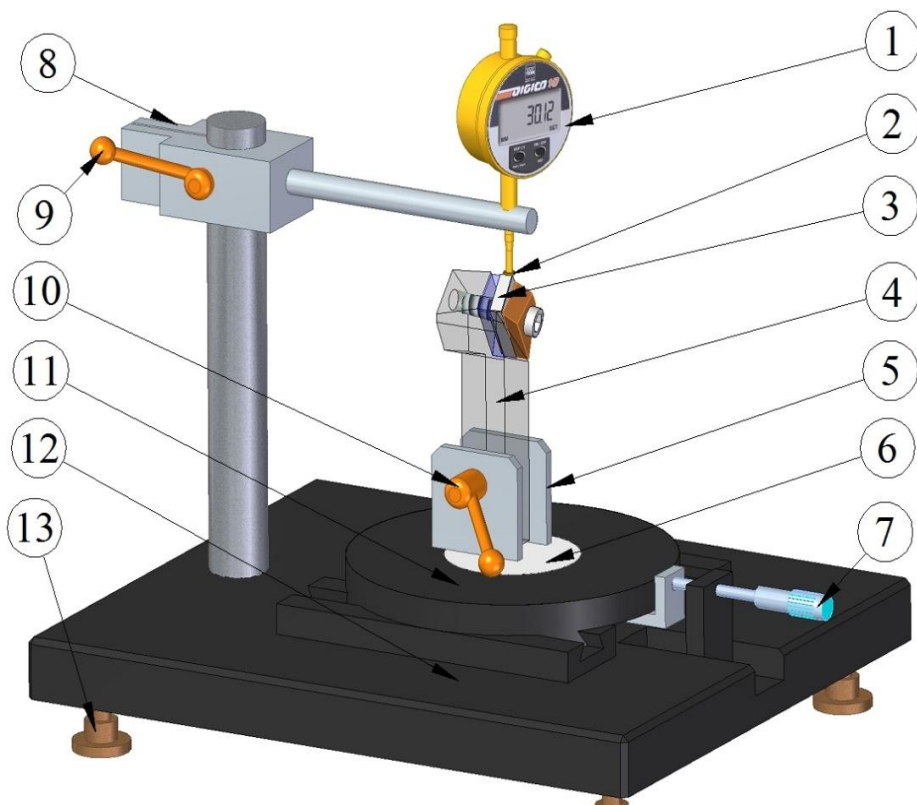
Niepowtarzalność położenia naroża w sposób istotny wpływa na przebieg obróbki powierzchni o wysokich klasach dokładności oraz podczas kształtowania elementów o małych wymiarach.

Należy pamiętać, że największą powtarzalnością mocowania i ustalenia odznaczają się te mechanizmy, które odbierają wszystkie stopnie swobody płytce i dociskają do sztywnych oporowych baz gniazda. Niepolecane są te mechanizmy, które ustalają płytkę na otwartym gnieździe i dociskają ją do mało sztywnego kołka [1].

2.4. Stanowisko do pomiaru powtarzalności mocowania płytki skrawającej

Powtarzalność mocowania elementów roboczych w narzędziach składanych w dużym stopniu wpływa na dokładność obrobionych części. Podczas skrawania

przedmiotów wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych wzrasta zużycie narzędzi. Nie zawsze udaje się obrobić dany element, a niekiedy daną powierzchnię obróbkową, bez wymiany płytki skrawającej. W takich sytuacjach istotna jest powtarzalność mocowania płytek skrawających. Stanowisko do sprawdzania powtarzalności mocowania płytki skrawającej przedstawiono na rysunku 2.8, wraz z wyszczególnionymi elementami składowymi.



Rys. 2.8. Model stanowiska do pomiaru powtarzalności mocowania płytki skrawającej

Opis modelu stanowiska:

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1) czujnik pomiarowy | 8) kostka zaciskowa |
| 2) talerzowa końcówka | 9) blokada kostki zaciskowej |
| 3) płytki skrawające | 10) blokada uchwytu zaciskowego narzędzia |
| 4) nóż składany | 11) platforma jezdna |
| 5) uchwyt zaciskowy narzędzia | 12) podstawa |
| 6) element magnetyczny | 13) stopka regulacyjna |
| 7) śruba mikrometryczna | |

2.4.1. Uwagi ogólne

Przed przystąpieniem do pomiaru sprawdzić stan ogólny stanowiska, w szczególności płynność przesuwu platformy jezdnej 11, stan śruby mikrometrycznej 7 oraz czujnika pomiarowego 1. Wszelkie uszkodzenie mechaniczne należy zgłosić prowadzącemu zajęcia.

2.4.2. Przeprowadzenie pomiarów powtarzalności zamocowania płytki skrawającej

Pomiaru można dokonać w następującej kolejności:

- 1) Ustawić pionowo nóż składany na elemencie magnetycznym 6, krawędzią skrawającą skierowaną ku górze,
- 2) za pomocą blokady 9 zwolnić kostkę zaciskową 8,
- 3) przesuwając kostkę zaciskową 8 oraz platformę jezdnią 11 za pomocą śruby mikrometrycznej 7, doprowadzić do takiego położenia, aby talerzowa końcówka 2 czujnika pomiarowego 1 oparła się o naroże płytki skrawającej 3 noża składanego 4,
- 4) podnieść końcówkę pomiarową czujnika pomiarowego 1,
- 5) za pomocą uchwytu zaciskowego narzędzia 5, zamocować nóż na stanowisku,
- 6) opuścić końcówkę pomiarową czujnika tak, aby oparła się o naroże płytki skrawającej,
- 7) wyzerować wskazanie czujnika pomiarowego,
- 8) podnieść końcówkę pomiarową czujnika,
- 9) za pomocą zestawu narzędzi zmienić położenie płytki skrawającej,
- 10) opuścić końcówkę pomiarową czujnika tak, aby oparła się o naroże płytki skrawającej,
- 11) zapisać wskazanie czujnika pomiarowego,
- 12) czynności opisane w punktach 8-12 powtórzyć minimum pięciokrotnie.

2.5. Wykonanie ćwiczenia

2.5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową noży składanych oraz sprawdzenie powtarzalności zamocowania płytki skrawającej na specjalnym stanowisku pomiarowym.

2.5.2. Przebieg ćwiczenia

Korzystając ze stanowiska do pomiaru powtarzalności zamocowania płytki skrawającej i bazując na metodyce pomiaru, opisanej w podrozdziale 2.4.2, należy:

1. Dokonać pomiaru powtarzalności mocowania płytki skrawającej dla trzech sposobów mocowania płytek,

2. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ z rozkładu t-Studenta wyznaczyć błąd powtarzalności mocowania płytki skrawającej dla każdego noża.

2.5.3. Wzór protokołu

Wzór protokołu sprawdzania powtarzalności mocowania

Numer noża			
Symbol noża			
Opis mocowania płytki			
	mocowanie 1		
Wskazanie czujnika			
	mocowanie 2		
Wskazanie czujnika			
	mocowanie 3		
Wskazanie czujnika			
	mocowanie 4		
Wskazanie czujnika			
	mocowanie 5		
Wskazanie czujnika			
poziom istotności α			
liczba stopni swobody k			
współczynnik t			
odchylenie standardowe S			
błąd powtarzalności mocowania płytki			

2.5.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) schemat badanych noży,
- 2) charakterystykę sposobu mocowania płytki,
- 3) wyznaczone statystycznie błędy powtarzalności mocowania płytek skrawających,
- 4) wypełnione protokoły pomiarów i obliczeń,
- 5) wnioski.

Literatura:

1. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2006.
2. Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2011.

3. Zaleski K.: *Laboratorium obróbki ubytkowej*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2001.
4. PN-ISO 1832:1998 Płytki wymienne do narzędzi skrawających – Oznaczenie
5. PN-ISO 5608:2001- Noże składane do toczenia i kopiowania oraz wkładki nożowe z płytkami wymiennymi – Oznaczenie
6. PN-M-59770: 1991 – Wytaczadła (oprawki z chwytem walcowym) z płytką wieloostrzową (wymenną) – Oznaczenie
7. <http://www.kfilipowicz.zut.edu.pl/Programowanie/GARANT>
POR/Poradnik GARANT/09 Toczenie.pdf- data pobrania 198.11.2014

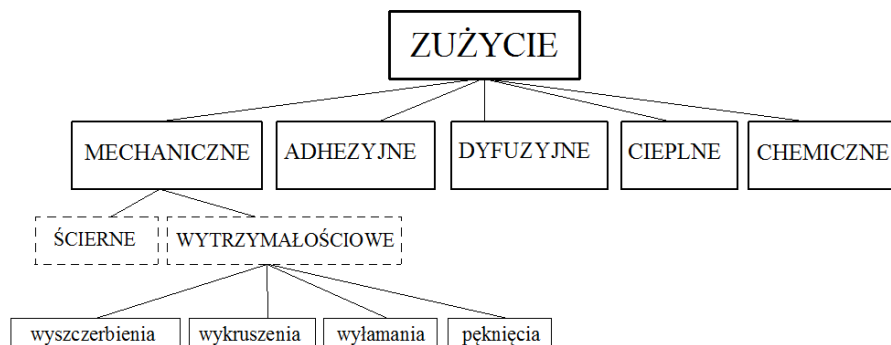
3. Pomiary zużycia narzędzi do obróbki wiórowej

3.1. Wiadomości ogólne

Podczas procesu skrawania ostrze w kontakcie z przedmiotem obrabianym i wiórem ulega zużyciu. Powstałe zużycie objawia się ubytkiem materiału ostrza, zmianą jego geometrii i zdolności skrawanej. Przyczynami zużycia są procesy tribologiczne oraz oddziaływanie cieplne i chemiczne, które występują podczas obróbki [1, 5]. W wyniku zużycia ostrza procesowi skrawania towarzyszą: wzrost sił składowych i mocy skrawania, zwiększone wydzielanie ciepła, występowanie drgań, pogorszenie stanu powierzchni obrobionej i spadek dokładności wymiarowo - kształtowej [3].

3.2. Rodzaje zużycia ostrza

W wyniku intensywnej interakcji ostrza z materiałem obrabianym w zróżnicowanych warunkach, występujące zużycie ostrza może przybierać kilka form. Kluczową rolę przy podziale na odmiany zużycia odgrywa rodzaj zjawiska mającego największy wpływ na stan ostrza. Można wyróżnić zużycie mechaniczne, adhezyjne, dyfuzyjne, cieplne i chemiczne (rys. 3.1.) [1].



Rys. 3.1. Podział i odmiany zużycia ostrza [1]

Zużycie mechaniczne ma miejsce, gdy następuje przekroczenie doraźnej lub zmęczeniowej wytrzymałości ostrza. Ma ono charakter skokowy i nazywane jest zużyciem wytrzymałościowym. Wystąpienie zużycia mechanicznego może być również skutkiem ciągłego ścinania wierzchołków mikronierówności ostrza, z różną intensywnością, przez twarde składniki struktury materiału obrabianego i wówczas mamy do czynienia ze zużyciem ściernym [1, 5].

Zużycie wytrzymałościowe może przybierać następujące formy:

- wyszczerbienia- (zwane potocznie szczerbatością) są to mikroskopowe ubytki materiału narzędzia;

- wykruszenia (chipping) - obejmują ubytki nieco większych fragmentów ostrza w obrębie krawędzi skrawającej; konsekwencją wykruszenia jest wzrost obciążenia ostrza, a więc podatność na zużycie i kolejne wykruszenia;
- wyłamania - występują bardzo często poza obszarem bezpośredniego styku ostrza z materiałem obrabianym; pojawienie się wyłamania oznacza utratę zdolności skrawnych ostrza;
- pęknięcia - występują na powierzchni natarcia lub powierzchni przyłożenia.

Zużycie wytrzymałościowe ostrza może być spowodowane zmęczeniem materiału oraz występowaniem drgań narzędzia względem przedmiotu obrabianego [1, 4].

Zużycie adhezyjne następuje na skutek zjawiska adhezji, gdzie cząstki materiału obrabianego przyczepiają się do ostrza. Powstały narost jest silnie przywarty do narzędzia. W wyniku jego odrywania dochodzi bardzo często do wyrywania materiału ostrza. Oderwane cząstki narostu rysują powierzchnię natarcia i powierzchnie przyłożenia, powiększając zużycie ostrza [4]. Forma tego zużycia jest intensywniejsza, jeśli występuje powinowactwo materiałów narzędzia i obrabianego [1].

Zużycie dyfuzyjne - widoczna jest jego intensyfikacja przy wyższych temperaturach. Podczas obróbki, w strefie skrawania, wiór, trąc o powierzchnię natarcia, przywiera do niej bardzo ściśle. To sprawia, że atomy materiału ostrza dyfundują do wióra, zaś cząstki materiału obrabianego, wnikając w ostrze, reagują z jego materiałem, jednocześnie osłabiając jego odporność na zużycie [4].

Zużycie cieplne związane jest ze zmianą właściwości materiału ostrza oraz jego struktury w wyniku przekroczenia temperatury, w jakiej traci ono swoje właściwości skrawane [1].

Zużycie chemiczne występuje, gdy na powierzchniach roboczych ostrza tworzące się tlenki i inne związki pierwiastków są usuwane przez wiór i przedmiot obrabiany [5].

Zaistniały proces zużycia ze względu na sposób narastania może mieć charakter ciągły lub skokowy. **Zużycie ciągłe (bezstopniowe)** charakteryzuje się wzrostem w czasie wybranych form zużycia ostrza. **Zużycie skokowe** objawia się mniejszym lub większym ubytkiem materiału ostrza, co w konsekwencji prowadzi do przedwczesnej utraty zdolności skrawnych ostrza.

3.2. Wskaźniki zużycia

Ocena stanu przydatności ostrza do dalszej pracy przeprowadzana jest w oparciu o wskaźniki zużycia ostrza. Wskaźniki zużycia ostrza należy podzielić na dwie grupy, są to wskaźniki geometryczne oraz pośrednie: technologiczne i fizyczne.

Podstawowe wskaźniki geometryczne zużycia ostrza określane są zgodnie z normami: PN-ISO 3685:1996, która dotyczy zużycia noży tokarskich punktowych, oraz PN-ISO 8688-2:1996, poświęconej zużyciu frezów walcowo – czołowych.

3.2.1. Parametry geometryczne zużycia noży tokarskich punktowych

Zgodnie z PN- ISO 3685: 1996 wskaźniki geometryczne zużycia ostrza noża punktowego wyznacza się na powierzchni przyłożenia oraz na powierzchni natarcia (rys. 3.2).

Wskaźniki zużycia dla powierzchni przyłożenia wyznacza się w płaszczyźnie głównej krawędzi skrawającej (P_s), prostopadle do krawędzi skrawającej w jej pierwotnym położeniu i czterech strefach. Główna krawędź skrawająca jest podzielona na cztery strefy:

- strefa C – obejmuje krzywoliniową część krawędzi skrawającej przy narożu,
- strefa B – obejmuje pozostałą prostoliniową część krawędzi skrawającej pomiędzy strefami C i A,
- strefa A – obejmuje $\frac{1}{4}$ długości zużytej krawędzi, najbardziej oddalonej od naroża,
- strefa N – rozciąga się poza zakresem kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym na długości około $1 \div 2$ mm, wzdłuż głównej krawędzi skrawającej (rys. 3. 2.) [7].

Rozróżnia się następujące wskaźniki zużycia na powierzchni przyłożenia:

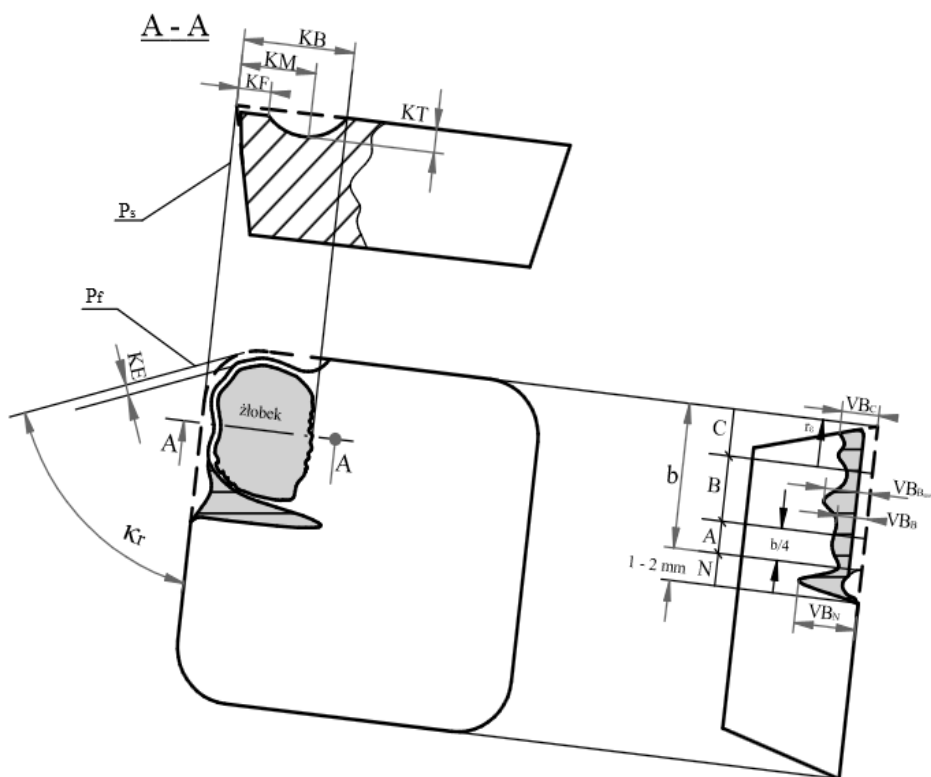
- VB_B – średnia szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia,
- VB_{Bmax} – największa szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia,
- VB_C – szerokość pasma zużycia naroża,
- VB_N – szerokość zużycia wrębowego,
- VB_A – szerokość pasma zużycia w strefie A.

Wskaźnik VB_A w normie PN-ISO 3685:1996 nie został zdefiniowany. W strefie A na ogół ze zużyciem nic interesującego ani znaczącego się nie dzieje, dlatego też strefę tę oraz wskaźnik można uznać za mało istotny [1].

Dla powierzchni natarcia zgodnie z PN- ISO 3685: 1996 występują następujące wskaźniki zużycia:

- KT – głębokość żłobka,
- KB – szerokość żłobka (odległość pomiędzy pierwotnym położeniem głównej krawędzi skrawającej a tylnym bokiem żłobka),
- KM – odległość środka żłobka (odległość pomiędzy pierwotnym położeniem głównej krawędzi skrawającej a najgłębszym punktem żłobka),
- KF – odległość żłobka (odległość żłobka od pierwotnej krawędzi żłobka),
- K – współczynnik żłobka $K = KT/KM$.

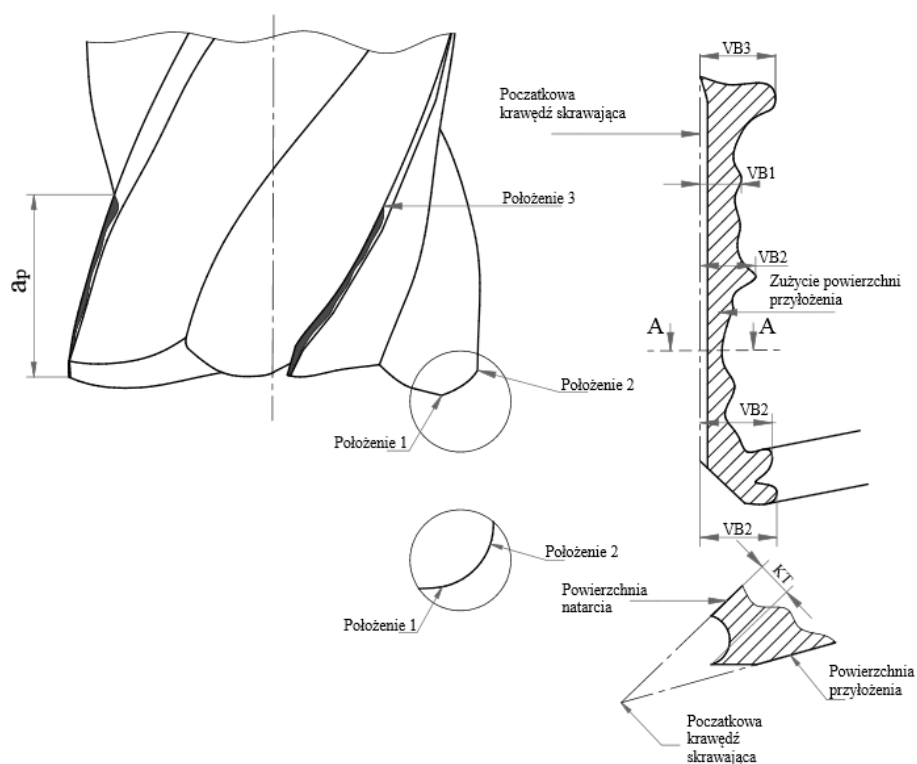
W obecnie obowiązującej normie dotyczącej zużycia ostrza noży punktowych nie został ujęty parametr geometryczny KE, lecz ze względu na bardzo duży wpływ na dokładność obróbki należy go uwzględnić podczas pomiarów wskaźników zużycia. KE oznacza cofnięcie naroża (zużycie promieniowe) odmierzany względem płaszczyzny P_f w jego pierwotnym położeniu [8].



Rys. 3.2. Geometryczne wskaźniki zużycia ostrza noża tokarskiego punktowego (na podstawie [7])

3.2.2. Parametry geometryczne zużycia frezów walcowo-czołowych

W oparciu o normę PN-ISO 8688: 1996 wyznaczane są geometryczne wskaźniki zużycia ostrza. Niniejsza norma odnosi się do zużycia ciernego, gdyż inny typ zużycia mógłby oznaczać koniec technologicznego okresu trwałości narzędzia. Zużycie cierne narzędzia jest to zmiana kształtu ostrza narzędzia względem kształtu początkowego, będąca wynikiem stopniowego ubytku materiału narzędzia skrawającego [9].



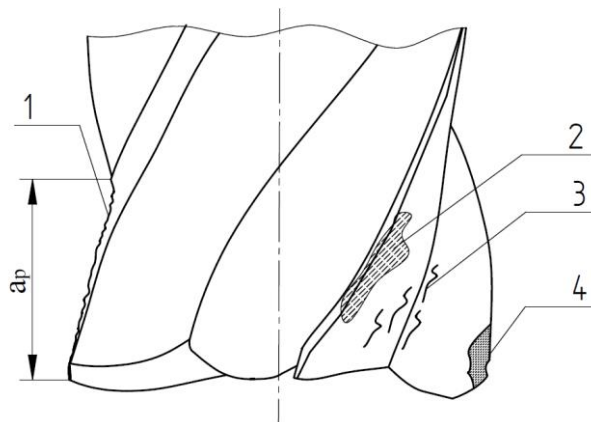
Rys. 3.3. Zużycie frezów walcowo - czołowych i frezów do rowków (na podstawie [9])

W przypadku frezów wskaźniki zużycia także są wyznaczane dla powierzchni przyłożenia oraz powierzchni natarcia.

Zgodnie z PN-ISO 8688: 1996 można wyróżnić następujące parametry geometryczne zużycia frezów (rys. 3.3 i rys. 3.4):

- a) VB – zużycie cieńce powierzchni przyłożenia (ubytek materiału narzędzia na powierzchni przyłożenia podczas skrawania),
 - VB1 – zużycie równomierne powierzchni przyłożenia (pasma starcia o stałej szerokości, rozciągające się na fragmenty powierzchni przyłożenia przy czynnej krawędzi skrawającej),
 - VB2 – zużycie nierównomierne powierzchni przyłożenia (pasma starcia o nieregularnej szerokości),
 - VB3 – zużycie miejscowe powierzchni przyłożenia (rozległa, miejscowa postać starcia powierzchni przyłożenia, pojawiająca się w określonych punktach,
- b) KT – zużycie cieńce powierzchni natarcia (stopniowy ubytek materiału na powierzchni natarcia podczas skrawania),

- KT1 – zużycie żłobkowe (stopniowy rozwój żłobka, zorientowany w przybliżeniu równoległe do głównej krawędzi skrawającej),
- KT2 – zużycie schodkowe powierzchni natarcia,
- c) CH – wykruszenie (zużycie krawędzi z jej odłamaniami),
 - CH1 – wykruszenie równomierne (ubytek fragmentów narzędzia o jednakowych, w przybliżeniu, wymiarach),
 - CH2 – wykruszenie nierównomierne (wykruszenie występujące głównie w połączeniu z pęknięciami w niewielu miejscach wzdłuż czynnych krawędzi skrawających),
 - CH3 – wykruszenie miejscowe (wykruszenie pojawiające się systematycznie w pewnych miejscach wydłuż czynnej krawędzi skrawającej),
- d) FL – złuszczenie (ubytek fragmentów narzędzia w postaci złuszczeń powierzchni natarcia),
- e) CR – pęknięcia,
 - CR1 – pęknięcia grzebieniowe (pojawiające się zarówno na powierzchni natarcia jak i na powierzchni przyłożenia, skierowane w przybliżeniu prostopadle do głównej krawędzi skrawającej),
 - CR2 – pęknięcia równoległe (pojawiające się na powierzchni natarcia lub przyłożenia, zorientowane w przybliżeniu równoległe do głównej krawędzi skrawającej),
 - CR3 – pęknięcia nieregularne (pojawiające się niekiedy na powierzchni natarcia lub przyłożenia ukierunkowane nieregularnie),
- f) CF – uszkodzenie katastroficzne.



Rys. 3.4. Zużycie frezów walcowo – czołowych i frezów do rowków (1- wykruszenie równomierne CH1; 2- złuszczenie FL; 3- pęknięcia równoległe CR2; 4- uszkodzenie katastroficzne CF) (na podstawie [9])

3.2.3. Wskaźniki pośrednie zużycia ostrza narzędzia

Ocena zużycia ostrza może być przeprowadzona także na podstawie fizycznych i technologicznych wielkości, ulegających zmianom w następstwie procesu skrawania, które określa się mianem wskaźników pośrednich. Zalicza się do nich:

- W grupie wskaźników fizycznych:
 - wzrost odkształceń sprężystych elementów układu OUPN,
 - wzrost składowych sił i momentu skrawania,
 - wzrost temperatury skrawania,
 - wzrost amplitudy drgań,
 - pojawienie się i narastanie sygnału emisji akustycznej (AE).
- W grupie wskaźników technologicznych:
 - wzrost chropowatości powierzchni,
 - przekroczenie tolerancji wymiarowo-kształtowej,
 - powstanie zadziórów na krawędziach,
 - zmianę postaci i kształtu wióra.

Należy jednak pamiętać, że granice pomiędzy tymi grupami wskaźników są niewyraźne i należy ten podział traktować jako umowny [3, 5].

3.3. Trwałość ostrza i przebieg zużycia

Trwałość ostrza (T) jest to łączny czas pracy narzędzia skrawającego w ustalonych warunkach obróbki od stanu jego pełnej zdolności (nowe lub przeostrzone) do chwili stępienia ostrza [6].

Żywotność narzędzia jest to suma okresów pracy ostrza do całkowitego wyeksploatowania narzędzia [5].

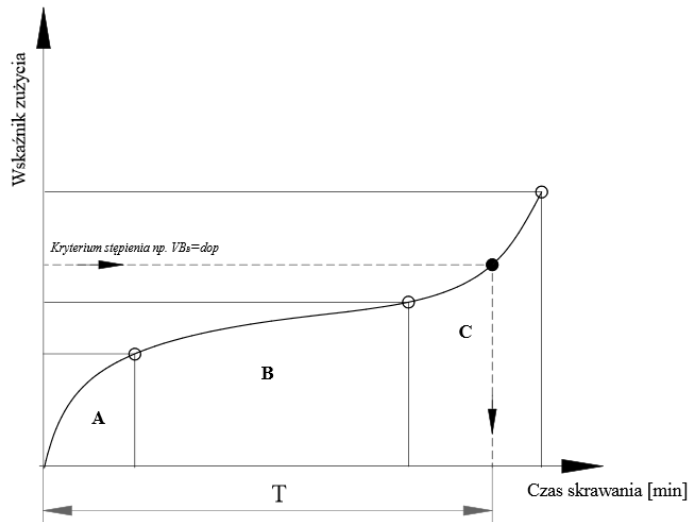
Łączny czas pracy narzędzia, w którym błąd obróbki spowodowany zużyciem ostrza nie przekracza tolerancji danego wymiaru obróbkowego, nazywamy **trwałością wymiarową** [6].

Przebieg krzywej zużycia ostrza w funkcji czasu przy niezmiennych warunkach pracy zbliżony jest do krzywej Lorenza (rys. 3.5), dla której wyróżnia się trzy charakterystyczne etapy. Są to:

A – okres docierania – jest to strefa przyśpieszonego zużywania ostrza, następuje intensywne ścinanie wierzchołków mikronierówności roboczych powierzchni ostrza;

B – jest najdłuższy okres, w którym podlega ono stopniowemu, równomiernemu zużyciu o niemal stałej intensywności;

C – etap ponownego przyśpieszonego zużywania do momentu osiągnięcia przez ostrze zużycia katastroficznego [1, 3].



Rys. 3.5. Przebieg zużycia ostrza w czasie (na podstawie [1])

Oczywiście ostrze należy wycofać z pracy, gdy przyjęty wskaźnik osiągnie dopuszczalną wartość, określaną jako **kryterium stępienia ostrza (KSO)** [5].

Stępieniem ostrza nazywamy stan graniczny wywołany zużywaniem się ostrza do chwili utraty jego zdolności skrawnych, co oznacza, że dalsza praca nie może być kontynuowana lub gdy występuje duże prawdopodobieństwo uszkodzenia katastroficznego [1].

Rozróżnia się cztery kryteria stępienia ostrza:

1. geometryczne – to umowne wartości wskaźników zużycia ostrza, przyjęte na podstawie wieloletnich doświadczeń;
2. technologiczne – ma miejsce, gdy następuje przekroczenie któregoś z ważnych efektów technologicznych obróbki;
3. fizyczne – dotyczy pośrednich fizycznych wskaźników zużycia ostrza;
4. ekonomiczne – to kryterium, które się wyznacza dążąc do osiągnięcia jak najniższych kosztów eksploatacji lub najniższych kosztów operacji.

3.4. Czynniki wpływające na zużycie

Do czynników wpływających w sposób istotny na zużycia ostrza należy zaliczyć:

- materiał obrabiany,
- geometrię i stan powierzchni ostrza narzędzia,
- parametry skrawania,
- rodzaj płynu obróbkowego [2, 6].

3.4.1. Wpływ materiału obrabianego

Na wskaźniki zużycia ostrza wpływają właściwości mechaniczne (twardość, wytrzymałość) i fizykochemiczne (przewodność cieplna) materiału obrabianego, które związane są ze składem chemicznym oraz strukturą materiału obrabianego [6]. Istotny wpływ na przebieg zużycia ostrza mają wpływ nie tylko właściwości mechaniczne, ale również fizyczne składników strukturalnych materiału obrabianego [2]. Na podstawie wielu przeprowadzonych badań stwierdzono, że zużycie ostrza jest większe, im większa jest praca właściwa skrawania i ścieralność materiału obrabianego [10]. Należy jednak mieć na uwadze, że charakter oddziaływań właściwości materiału obrabianego na trwałość jest zagadnieniem bardzo złożonym.

3.4.2. Wpływ narzędzia

Odporność materiału ostrza na zużycie ściernie, wytrzymałościowe (pęknięcia, wyłamania, wykruszenia, itp.), pracę w wysokich temperaturach ma znaczący wpływ na zużycie narzędzia.

Istotny wpływ na zużycie ostrza ma jego geometria. Zwiększaniu wartości kątów natarcia i przyłożenia towarzyszy zmniejszenie tarcia oraz odkształceń plastycznych, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia oporów skrawania i ilości ciepła wydzielanego w strefie obróbki. Jednak następstwem wzrostu tych kątów jest spadek wartości kąta ostrza, co powoduje pogorszenie warunków odprowadzania ciepła i spadek wytrzymałości ostrza, wywołane ubywaniem objętości materiału ostrza. Dlatego podczas procesu skrawania należy dobierać wartości optymalne kątów natarcia i przyłożenia.

Wzrost kąta przystawienia powoduje zwiększenie zużycia ostrza. Związane jest to ze zwiększeniem jednostkowego obciążenia krawędzi skrawającej, które spowodowane jest zmniejszeniem długości czynnej krawędzi skrawającej, rośnie równocześnie grubość warstwy skrawanej. Ponadto następuje zmniejszenie kąta naroża, co utrudnia odprowadzenie ciepła i powoduje wzrost temperatury ostrza. Korzystny wpływ małych kątów przystawienia widoczny jest tylko przy dostatecznej sztywności układu uchwyt – obrabiarka – narzędzie – przedmiot obrabiany. Przy małych kątach przystawienia wzrastają siły skrawania, co może powodować nadmierne ugięcie przedmiotu w czasie obróbki i zbyt duże błędy kształtu, wzrasta również podatność na drgania [2, 6].

Wpływ pomocniczego kąta przystawienia (κ_r) na zużycie jest podobny do wpływu kąta przystawienia, jednak znacznie słabszy. Zmiana κ_r powoduje niewielkie zmiany tarcia ostrza o nierówności pozostawione na powierzchni obrabianej. Następuje zmiana warunków odprowadzenia ciepła oraz wytrzymałości wierchołka ostrza [2].

Wzrostowi promienia zaokrąglenia naroża towarzyszy wzrost objętości naroża, co ułatwia odprowadzenie ciepła i obniżeniem temperatury ostrza. Obserwuje się zmniejszenie zużycia ostrza.

Dogłądanie powierzchni roboczych ostrza, mające na celu zmniejszenie chropowatości powierzchni oraz szczyratości krawędzi skrawającej, powoduje zmniejszenie zużycia ostrza, zwłaszcza w okresie docierania.

Zwiększenie odporności na zużycie można uzyskać poprzez zastosowanie zabiegów obróbki cieplno-chemicznej (np. azotowanie, tlenoazotowanie, węglazotowanie, siarkowęglazotowanie). Ten rodzaj zabiegów dedykowany jest dla ostrzy wykonanych ze stali szybko tnącej. Alternatywą do obróbki cieplno-chemicznej jest nanoszenie cienkich przeciwzużyciowych powłok np. TiN (zarówno dla ostrzy ze stali szybko tnącej jak i węglików spiekanych) [6].

3.4.3. Wpływ parametrów technologicznych

Spośród warunków skrawania najsilniej na zużycie ostrza wpływa prędkość skrawania (v_c), następnie posuw (f) i głębokość skrawania (a_p). Zmiana parametrów technologicznych skrawania prowadzi do zmiany obciążenia ostrza oraz temperatury skrawania. Przy wzroście głębokości skrawania i posuwu wzrastają siły skrawania, ilość wydzielonego ciepła i temperatura ostrza, prowadzi to do zmniejszenia trwałości ostrza. Stopień wpływu głębokości i posuwu nie jest jednakowy. Przy dużych wartościach stosunku głębokości skrawania do posuwu, zachowując stałe pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej, korzystniejsze okazuje się zwiększenie głębokości skrawania przy jednoczesnym zmniejszeniu posuwu. Takie działanie powoduje mniejszą koncentrację ciepła i występowaniem mniejszych temperatur na ostrzu [2, 6, 10].

Obecność cieczy obróbkowej przy procesie skrawania powoduje zmniejszenie oporów tarcia, obniżenie temperatury oraz zmianę okształceń plastyczno-sprężystych materiału, co przekłada się na zmniejszenie zużycia ostrza. Wpływ cieczy obróbkowych na zużycie ostrza zaznacza się wyraźniej, im gorsze są zdolności skrawane ostrza narzędzia [6, 10].

3.5. Pomiary zużycia ostrzy

Utrzymanie dokładności obróbki oraz niezawodności procesu wymaga odpowiedniego diagnozowania i nadzorowania stanu ostrza. W warunkach warsztatowych ocena stanu ostrza narzędzia przeprowadzana jest za pomocą metod bezpośrednich. Metody te polegają na mierzeniu określonego wskaźnika zużycia, którego dopuszczalną wartość przyjęto jako kryterium stopienia [5]. Ocenę jednego ze wskaźników zużycia przeprowadza się najczęściej w przerwie pomiędzy operacjami, a w przypadku obróbki zautomatyzowanej pomiary zużycia mogą podlegać automatyzacji.

Metody bezpośredniej identyfikacji zużycia ostrza można podzielić wg sposobu pomiaru na:

- a) metody optyczne – oparte na analizie obrazu ostrza;
- b) metody dotykowe – wykorzystujące sondy pomiarowe;

- c) metody indukcyjne – wykorzystujące bezdotykowe (indukcyjne) metody pomiaru;
- d) metody elektrooporowe – polegające na ocenie starcia powierzchni przyłożenia;
- e) metody radiometryczne – polegające na ocenie ubytku masy ostrza przy wykorzystaniu promieniowania [11].

Metody optyczne oparte są na analizie obrazu ostrza skrawającego jak i wykorzystaniu metod laserowych [11]. Analiza obrazu może być prowadzona przy zastosowaniu kamery cyfrowej, która bezpośrednio podłączona jest do komputera. Na monitorze pojawia się obraz zużytego ostrza, gdzie następnie, wykorzystując oprogramowanie do analizy obrazu (np. AxioVision firmy Carl Zeiss), można wyznaczyć wskaźniki zużycia. Kolejnym rozwiązaniem jest stosowanie mikroskopu warsztatowego uzbrojonego w kamerę cyfrową, co ułatwia wyznaczenie wskaźników bezpośrednich zużycia, również wspierając się oprogramowaniem do analizy obrazu [3, 11]. Laserowe nadzorowanie stanu ostrza polega na skierowaniu wiązki lasera na ostrze narzędzia. Wyłamane ostrze zmienia obraz odbieranego przebiegu impulsów promienia lasera [5].

Należy jednak pamiętać, że za pomocą metod optycznych można w sposób ciągły nadzorować stan ostrza podczas pracy narzędzi frezarskich, jednak nie jest możliwe nieprzerwane nadzorowanie stanu ostrza narzędzi pracujących w sposób ciągły (toczenie, wiercenie). Takie możliwości stwarza jedynie pomiar wskaźników pośrednich (np. sił czy emisji akustycznej) [5].

3.6. Wykonanie ćwiczenia

3.6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zużyciem narzędzi do obróbki wiórowej, wskaźnikami tego zużycia, a także praktyczne wyznaczenie wybranych wskaźników zużycia dla noża tokarskiego punktowego oraz dla frezu walcowego.

3.6.2. Przebieg ćwiczenia

1. Odczytać symbol noża tokarskiego
2. Odczytać materiał części roboczej,
3. Zmierzyć wymiary noża tokarskiego $b \times h \times l$
4. Przeprowadzić oględziny ostrza noża tokarskiego pod kątem wystąpienia zużycia mechanicznego
5. Korzystając z mikroskopu warsztatowego zmierzyć wybrane wskaźniki zużycia ostrza na powierzchni przyłożenia i powierzchni natarcia:
 - a. VB_{Bmax}
 - b. VB_C
 - c. VB_N
 - d. KE

- e. KT
6. Odczytać symbol frezu walcowo-czołowego
7. Odczytać materiał części roboczej frezu walcowo-czołowego
8. Zmierzyć wymiary frezu $D \times L_r \times L_c$
9. Przeprowadzić oględziny frezu pod kątem wystąpienia pęknięć, wykruszeń, złuszczeń
10. Korzystając z mikroskopu warsztatowego zmierzyć wybrane wskaźniki zużycia na powierzchni przyłożenia i natarcia
 - a. VB
 - b. KT

3.6.3. Wzory protokołów

Protokół zużycia noża tokarskiego

Symbol noża tokarskiego	
Materiał części roboczej	
Wymiary noża $b \times h \times l$	
Wskaźniki zużycia:	
VB_{Bmax} [mm]	
VB_C [mm]	
VB_N [mm]	
KT [mm]	
KE [mm]	
Oględziny zewnętrzne:	

Protokół zużycia frezu

Symbol frezu	
Materiał części roboczej	
Wymiary frezu $D \times L_r \times L_c$	
Wskaźniki zużycia:	
VB [mm]	
KT [mm]	
Oględziny zewnętrzne:	

3.6.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) opis narzędzi sprawdzanych w ćwiczeniu,
- 2) szkic noża tokarskiego z zaznaczonymi wskaźnikami zużycia,
- 3) szlif frezu walcowo-czołowego z zaznaczonymi wskaźnikami zużycia,
- 4) opis sposobu wyznaczania wskaźników zużycia,
- 5) opis przebiegu ćwiczenia,

- 6) wypełnione protokoły pomiarów,
- 7) wnioski.

Literatura

1. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2006.
2. Dmochowski J.: *Podstawy Obróbki Skrawaniem*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
3. Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2011.
4. Jemielniak K.: *Obróbka skrawaniem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
5. Olszak W.: *Obróbka Skrawaniem*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 2008.
6. Zaleski K., Łozak M.: *Laboratorium obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 1998.
7. PN-ISO 3685: 1996 Badanie trwałości noży tokarskich punktowych
8. PN-M 58350: 1983 Narzędzia do skrawania metali. Badania trwałości noży tokarskich (norma wycofana)
9. PN-ISO 8688: 1996 Badania trwałości frezów. Frezowanie obwodowo – czółowe.
10. Instrukcja: Wyznaczanie krzywej zużycia oraz optymalnego przebiegu stępienia ostrza noża tokarskiego.
http://www.ktmia.ath.bielsko.pl/zkww/skraw/lab_4.pdf - pobranie 9.11.2014
11. Instrukcja: Nadzór zużycia ostrza przy pomocy bezpośredniego pomiar noża tokarskiego. [http://www.zaaios.pw.edu.pl/kjemiel/aumon/NZO Nadzor zużycia ostrza przy pomocy bezpośredniego pomiaru noża tokarskiego.pdf](http://www.zaaios.pw.edu.pl/kjemiel/aumon/NZO_Nadzor_zuzycia_ostrza_przy_pomocy_bezposredniego_pomiaru_noz_a_tokarskiego.pdf)- pobranie 17.11.2014

4. Pomiary wiertel krętych

4.1. Wiadomości ogólne

Wiercenie – wykonywanie otworów, najczęściej o przekroju kołowym, poprzez obróbkę skrawaniem w pełnym materiale przy użyciu narzędzia zwanego wiertłem. Ponadto operacje wykonywane za pomocą wiertła to:

- nawiercanie – wykonanie otworu nieprzelotowego, np. jako baza obróbkowa,
- powiercanie (wiercenie wtórne) – powiększenie średnicy istniejącego otworu, stosowane przy obróbce otworów o większej średnicy,
- pogłębianie – jest operacją polegającą na kształtowaniu powierzchni walcowej bądź czołowej wcześniej wywierconego otworu, np. w celu schowania łba śruby.

4.2. Parametry skrawania

Ruchem głównym w procesie wiercenia jest ruch obrotowy narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Podczas wiercenia prędkość skrawania zmienia się w zależności od odległości od osi wiertła - w osi wiertła $v_c = 0$. Natomiast na obwodzie wiertła osiąga wartość maksymalną $v_c = \max$. W związku z tym w każdym punkcie krawędzi skrawającej wartość prędkości skrawania jest inna, co wymusza stosowanie odpowiedniej geometrii wiertła (zmienne kąty natarcia i przyłożenia) oraz ma wpływ na nierównomierne zużycie narzędzia. Prędkość skrawania (wyznaczaną na średnicy zewnętrznej wiertła) należy obliczać z zależności:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}, \text{ m/min} \quad (4.1)$$

gdzie: d - średnica narzędzia w mm, n - prędkość obrotowa w obr/min.

Ruchem posuwowym jest ruch narzędzia względem przedmiotu obrabianego wzdłuż osi otworu. Posuw f jest to przemieszczenie się narzędzia wzdłuż osi przypadające na jeden obrót. Wielkość posuwu f jest iloczynem wielkości posuwu f_z , odpowiadającego obrotowi o kąt równy podziałce międzyostrzowej, zwanego posuwem na ostrze, oraz liczby ostrzy z :

$$f = f_z z, \text{ mm/obr}, \quad (4.2)$$

Prędkość ruchu posuwowego oznacza przemieszczenie narzędzia wzdłuż osi otworu w ciągu jednej minuty. Prędkość posuwu można wyznaczyć z zależności:

$$v_f = f n, \text{ mm/min}, \quad (4.3)$$

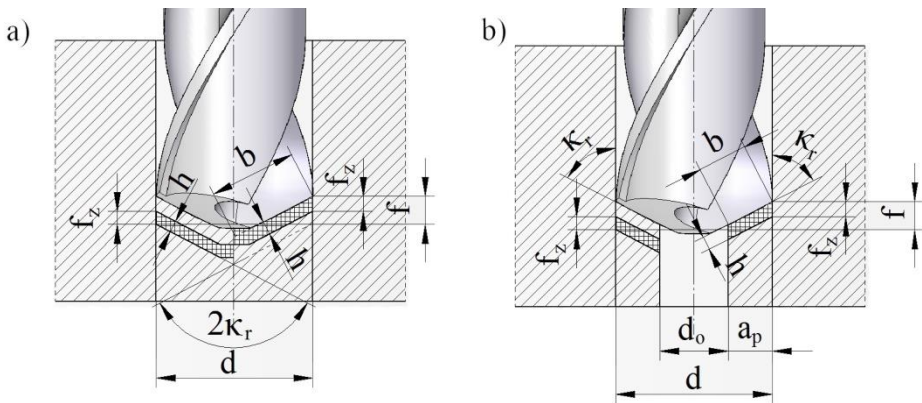
Głębokość skrawania a_p w procesie wiercenia, czyli wykonywania otworu w pełnym materiale określa się według zależności:

$$a_p = \frac{d}{2}, \text{ mm}, \quad (4.4)$$

W przypadku powiercania (wiercenia wtórnego) głębokość skrawania określa się według zależności:

$$a_p = \frac{d-d_0}{2}, \text{ mm} \quad (4.5)$$

gdzie: d – średnica obrabianego otworu w mm,
 d_0 – średnica otworu wstępnego w mm.



Rys. 4.1. Geometria warstwy skrawanej przy: a) wierceniu w pełnym materiale, b) powiercaniu (wierceniu wtórnym)

Wymiary poprzecznego przekroju warstwy skrawanej, to jest grubość warstwy skrawanej przez jedno ostrze h oraz szerokość tej warstwy b mogą być obliczone według wzorów (rys. 4.1):

$$h = f_z \sin \kappa_r, \text{ mm}, \quad (4.6)$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_f}, \text{ mm}, \quad (4.7)$$

gdzie: κ_r – kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej.

Całkowite pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej można wyznaczyć z zależności:

$$A = hbz, \text{ mm}^2, \quad (4.8)$$

Po przekształceniach wzór (4.8) przyjmuje postać:

- dla wiercenia w pełnym materiale

$$A = f \frac{d}{2}, \text{ mm}^2, \quad (4.9)$$

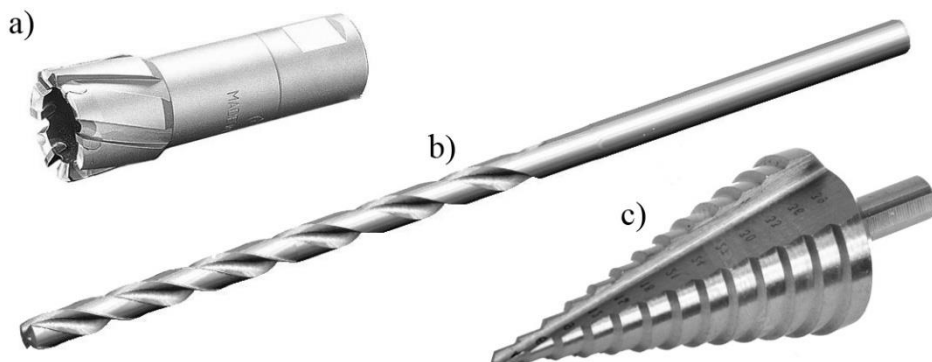
- dla powiercania (wiercenia wtórnego)

$$A = f \frac{d-d_0}{2}, \text{ mm}^2, \quad (4.10)$$

4.3. Budowa wiertel

Istnieje wiele kryteriów podziału wiertel. Do najważniejszych zalicza się kryterium przeznaczenia, budowy, materiału ostrza, długości wierconego otworu, kąta pochylenia rowków wiórowych, rodzaju części chwytowej, doprowadzania chłodziwa, liczby stopni średnic kształtowanych otworów i inne [4, 5, 6]. Ze względu na przeznaczenie wiertła dzieli się na:

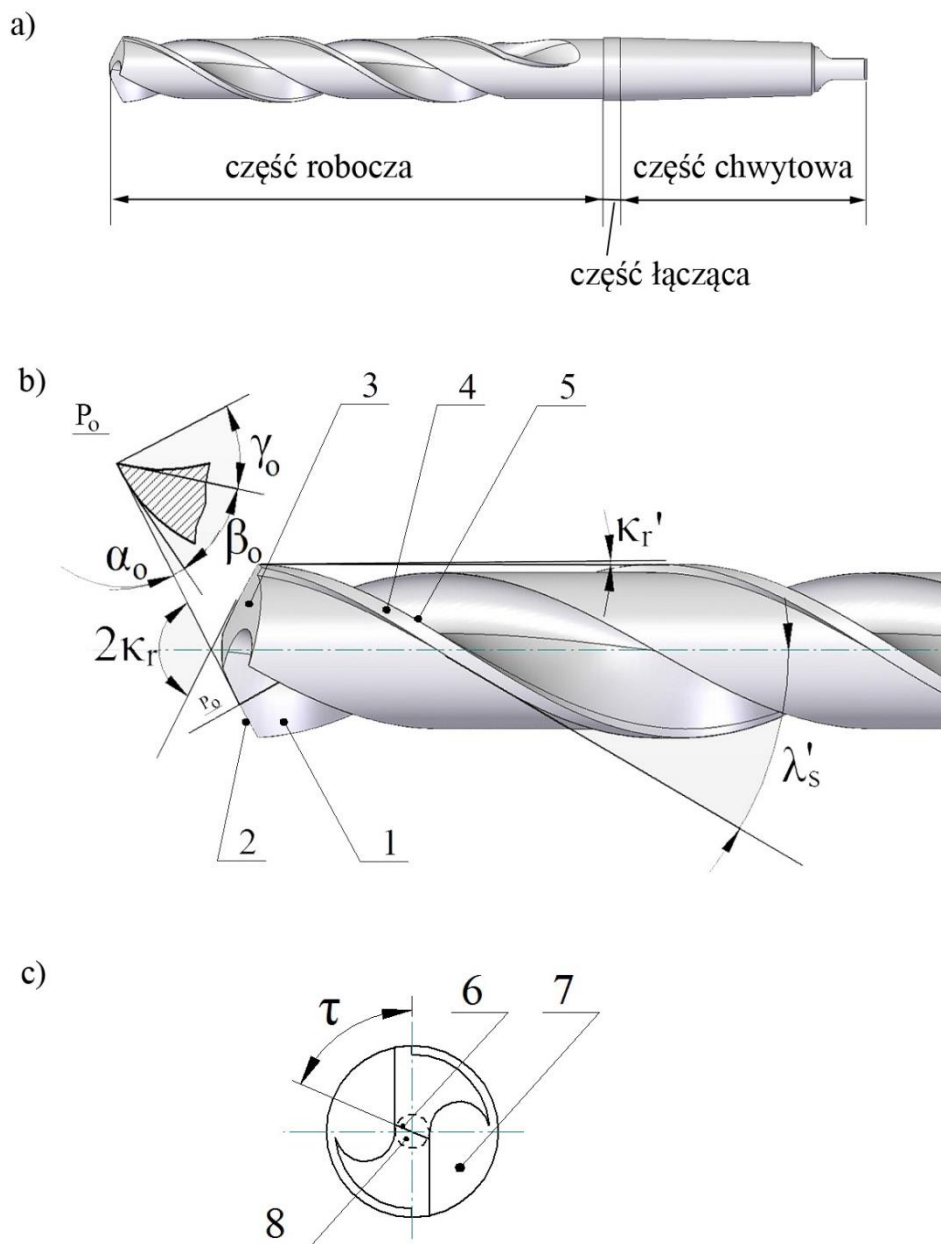
- ogólnego przeznaczenia, najczęściej kręte,
- specjalnego przeznaczenia np. rdzeniowe (rys. 4.2a), do wiercenia głębokich otworów (rys.4.2b), stożkowe (rys.4.2c).



Rys. 4.2. Wiertła specjalnego przeznaczenia

Do najczęściej stosowanych należą wiertła kręte. Podstawowe elementy oraz geometrię ostrza wiertła krętego pokazano na rysunku 4.3. Wiertła kręte wykonywane są jako:

- jednolite,
- łączone w sposób trwały,
- składane.



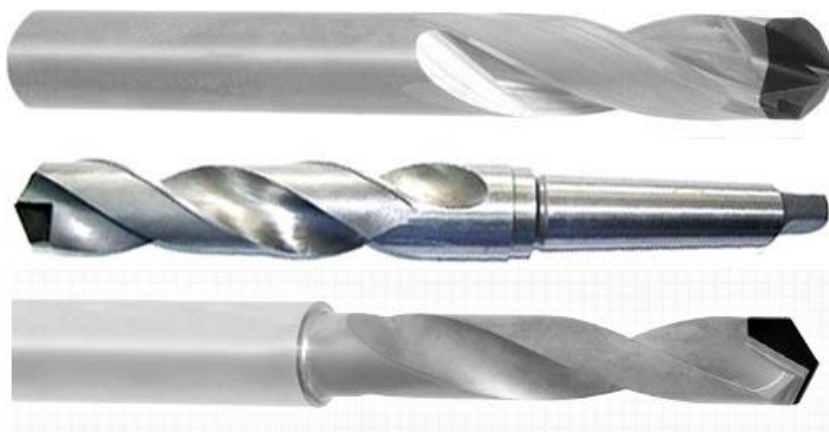
Rys. 4.3. Budowa i geometria ostrza wiertła krętego: a) widok boczny, b) widok czołowy: 1 - powierzchnia natarcia, 2 - główna krawędź skrawająca, 3 - powierzchnia przyłożenia, 4 - pomocnicza powierzchnia przyłożenia (łysinka), 5 - pomocnicza krawędź skrawająca, 6 - krawędź poprzeczna (ścin), 7 - rowek wiórowy, 8 - rdzeń.

Jako jednolite wytwarza się wiertła o małej średnicy. Wiertła takie wykonuje się ze stali szybko tnącej lub z węglików spiekanych. Wiertła z węglików spiekanych umożliwiają wiercenie z wyższymi prędkościami skrawania, co pozwala na skrócenie czasu obróbki, ale są znacznie droższe w porównaniu z wiertłami ze stali szybko tnącej.

Do wiertel łączonych w sposób trwały zalicza się:

- wiertła, których część robocza wykonana ze stali szybko tnącej jest zgrzewana częścią chwytową,
- wiertła, których ostrze w postaci płytki z węglików spiekanych jest wlutowane w przecięcie korpusu wiertła,
- wiertła, których cała końcówka wykonana jest z materiałów supertwardych i połączona z korpusem.

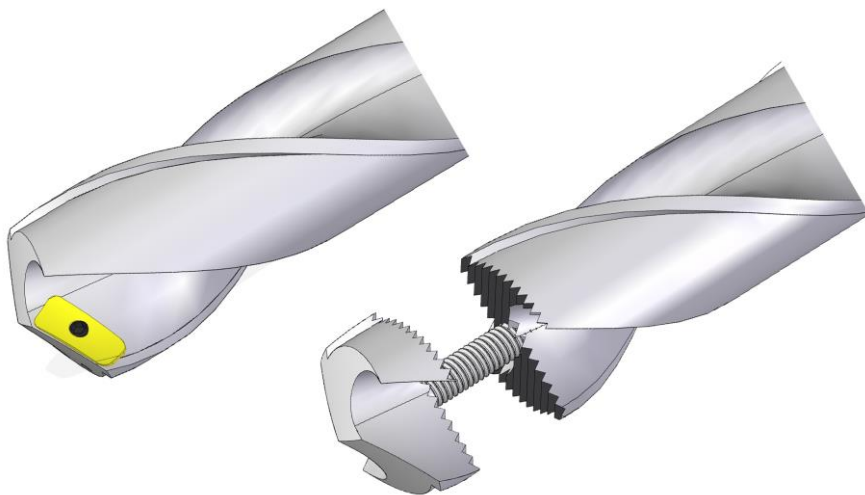
Obecnie częściej spotyka się narzędzia łączone w sposób trwały, których część roboczą stanowią płytki CBN (borazon) lub PCD (polikrystaliczny diament). Płytki z tych materiałów ze względu na swoją cenę zwykle mają jedynie wbudowaną końcówkę lub wlutowane naroże z materiału supertwardego. Natomiast korpus płytki jest w tym przypadku zazwyczaj węglikiem spiekany. Przykłady takich wiertel pokazano na rys. 4.4.



Rys.4.4. Przykłady wiertel łączonych w sposób trwały

Do wykonywania otworów o większych średnicach stosowane są coraz częściej wiertła składane, zbudowane w taki sposób, że wieloostrowe płytki skrawające są mocowane mechanicznie w korpusie narzędzia. Z uwagi na to, że prędkość skrawania zmienia się wraz z odległością od osi, inne są warunki skrawania w pobliżu osi a inne na średnicy zewnętrznej wiertła. Dlatego często spotyka się narzędzia składane, w których zastosowano dwa rodzaje płytek, centralnej i zewnętrznej, o zróżnicowanej geometrii. Stosowane są też wiertła składane z wymienną końcówką (rys. 4.5).

Podczas wiercenia utrudnione jest doprowadzenie cieczy obróbkowej do strefy skrawania, szczególnie podczas wiercenia głębokich otworów. Dlatego też spotyka się rozwiązania konstrukcyjne wiertel stosowanych na centrach obróbkowych, które posiadają wewnętrzne otwory, przez które ciecz obróbkowa doprowadzana jest bezpośrednio do miejsca skrawania, często pod dużym ciśnieniem.



Rys. 4.5. Przykłady wiertel składanych

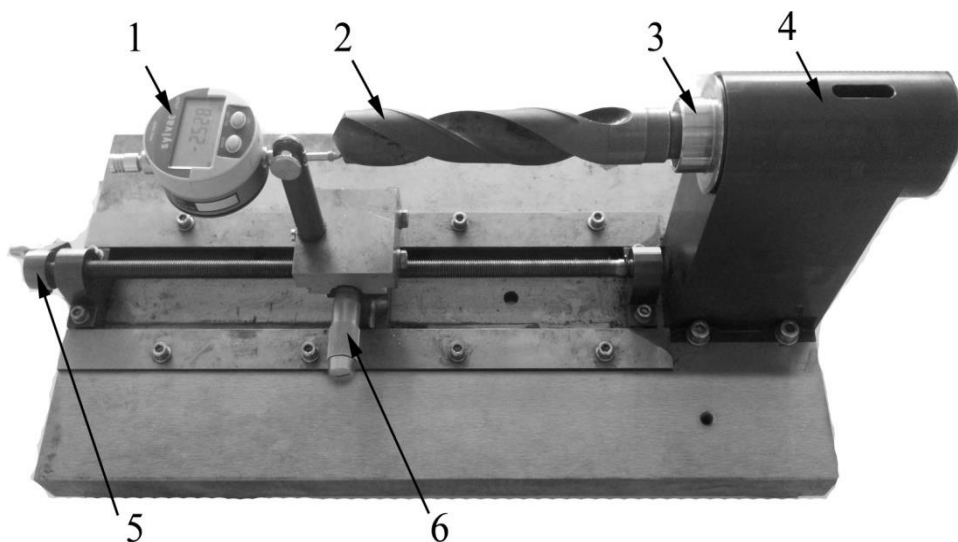
Istnieje podział wiertel związany jest z kierunkiem obrotu podczas skrawania. Jeżeli kierunek ten jest zgodny z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, patrząc od strony części chwytowej, to wiertło jest nazywane prawym, gdy kierunek jest przeciwny - lewym.

Wiertła można podzielić ze względu na rodzaj części chwytowej. Wyróżnić można część chwytową:

- walcową gładką,
- walcową z zabierakiem,
- stożkową (stożek Morse'a).

4.4. Sprawdzanie wiertel krętych

W celu pomiaru kąta przystawienia κ_r można wykorzystać specjalne stanowisko przedstawione na rys. 4.6. Zasadę pomiaru przedstawiono na rysunku 4.7. Należy doprowadzić za pomocą pokrętła 5 do styku końcówki pomiarowej czujnika 1 z główną krawędzią skrawającą i wyzerować czujnik. Następnie za pomocą śruby mikrometrycznej 6 przesunąć oś czujnika w kierunku prostopadłym

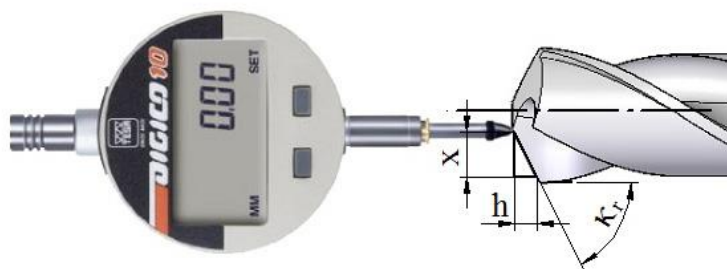


Rys. 4.6. Przyrząd do pomiaru geometrii wiertel krętych

do osi wiertła o wartość x . Wartość h oznacza przesunięcie końcówki pomiarowej czujnika. Wartość kąta przystawienia wyznaczyć można z zależności:

$$\operatorname{tg} \kappa_r = \frac{x}{h} \quad (4.11)$$

W analogiczny sposób można dokonać pomiaru kąta przystawienia drugiej krawędzi skrawającej.



Rys. 4.7. Zasada pomiaru kąta przystawienia κ_r

W celu wyznaczenia kąta pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej λ_s' należy zmierzyć długość skoku linii śrubowej wiertła s . Pomiar ten powinien

być przeprowadzony za pomocą wysokościomierza, po zamocowaniu wiertła w odpowiedniej podstawie. Wartość kąta λ_s' można obliczyć z zależności:

$$\operatorname{tg} \lambda_s' = \frac{\pi d}{s} \quad (4.12)$$

gdzie: d – średnica zewnętrzna wiertła.

Na średnicy zewnętrznej kąt λ_s' jest równy kątowi natarcia w płaszczyźnie bocznej γ_f (płaszczyzna boczna jest równoległa do osi wiertła). Kąt natarcia w miarę zbliżania się do osi wiertła zmniejsza się. Wartość kąta natarcia w dowolnym punkcie głównej krawędzi skrawającej M oblicza się według wzoru:

$$\operatorname{tg} \gamma_{fM} = \frac{d_M}{d} \operatorname{tg} \lambda_s' \quad (4.13)$$

gdzie: d_M – średnica wiertła w punkcie M .

Kąt przyłożenia można wyznaczyć metodą pośrednią, korzystając z przyrządu (rys. 4.6). Wiertło 2 należy osadzić w tulei 4, po czym za pomocą pokrętła 5 czujnik 1, służący do pomiaru przesuwu osiowego, przemieszcza się tak, aby jego końcówka pomiarowa oparła się o powierzchnię przyłożenia wiertła. Za pomocą śruby przesuwu poprzecznego można ustalić przesunięcie osi czujnika do położenia w żądanej odległości r od osi wiertła. Obracając wiertło o określony kąt φ (odczytany z kątomierza 3 rejestrujemy wielkość przesunięcia końcówki pomiarowej czujnika h). Kąt przyłożenia w płaszczyźnie bocznej wyznaczyć można z zależności:

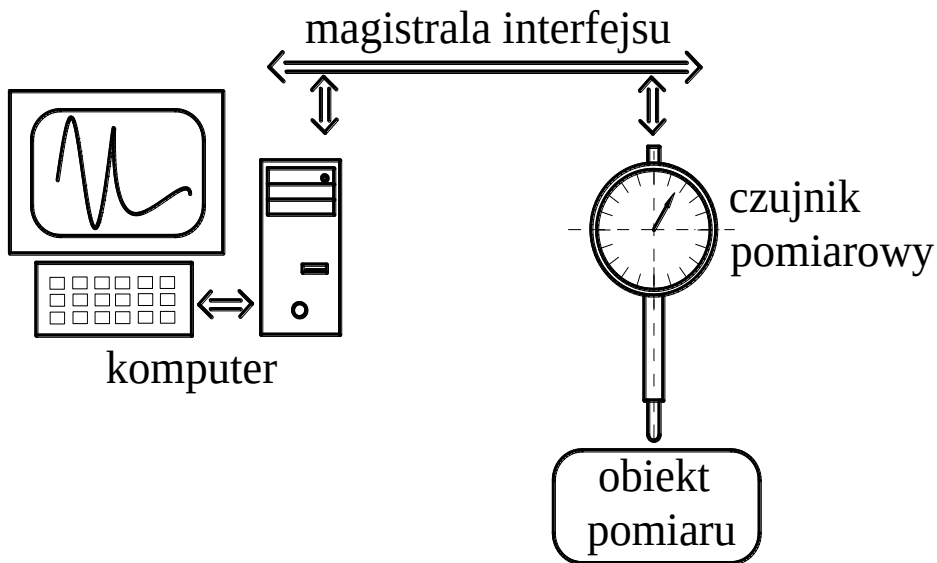
$$\operatorname{tg} \alpha_f = \frac{h}{l} \quad (4.14)$$

Wielkość l w powyższym wzorze, oznaczająca długość łuku zakreslanego przez oś końcówki pomiarowej czujnika na wyobraźalnej płaszczyźnie prostopadłej do osi wiertła i obracającej się wraz z wiertłem o kąt φ , może być obliczona ze wzoru:

$$l = \varphi \frac{\pi r}{180}, \text{ mm}, \quad (4.15)$$

4.5. Przykład komputerowego systemu pomiarowego do sprawdzania wiertel krętych

Jako przykład komputerowego systemu pomiarowego przedstawiony jest system wykorzystywany do badania geometrii wiertel krętych stosowany podczas wykonywania ćwiczeń w Laboratorium Obróbki Ubytkowej, w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji.



Rys. 4.8. Schemat blokowy systemu pomiarowego

Prezentowany system składa się z następujących części funkcjonalnych:

- czujnika pomiarowego wyposażonego w gniazdo interfejsu RS232, umożliwiającego transmisję danych pomiarowych,
- urządzenia do wizualizacji wielkości mierzonej - w postaci pola odczytowego cyfrowego przyrządu pomiarowego lub ekranu monitora,
- komputera wraz z oprogramowaniem, które spełnia funkcję przetwarzania danych.

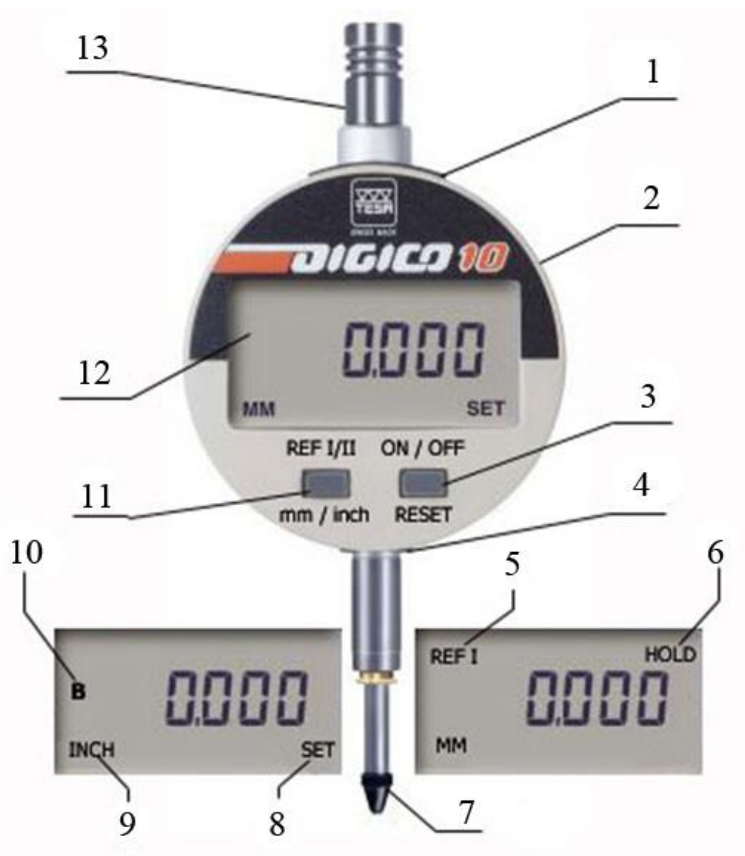
Schemat blokowy systemu pomiarowego przedstawia rysunek 4.8. Większość komputerów klasy PC ma wbudowany standardowo sterownik i złącza interfejsu szeregowego RS-232C. Jedno ze złączy RS-232C może być wykorzystane do podłączenia przyrządu pomiarowego. Większość przyrządów pomiarowych, dostępnych obecnie na rynku, również ma zainstalowane sterowniki i gniazda interfejsu RS-232C, dlatego możliwe jest szeregowe przesyłanie danych z przyrządu pomiarowego do komputera. Połączenie komputera i cyfrowego przyrządu pomiarowego kablem interfejsu RS-232C pozwala na zestawienie prostego, dwuczęściowego systemu pomiarowego [1].

4.6. Pogram do pomiaru geometrii wiertel krętych

Czujnik pomiarowy wykorzystany w systemie pomiarowym oraz jego podstawowe funkcje i elementy przedstawia rysunek 4.9.

Producenci cyfrowych przyrządów pomiarowych wyposażonych w sterownik z interfejsem RS-232C udostępniają zwykle firmowe oprogramowanie przeznaczone do sterowania transmisją danych z przyrządu pomiarowego do komputera

oraz do przetwarzania i prezentacji wyników. Korzystanie z takiego programu znacznie ułatwia skompletowanie systemu pomiarowego, ale wiąże się z ograniczeniami wynikającymi z niedostosowania programu do indywidualnych zadań pomiarowych. Opracowano oryginalny program do sterowania transmisją danych pomiarowych i ich przetwarzania oraz wyznaczania geometrii wiertel krętych. Skorzystano z jednego z powszechnie używanych języków programowania obiektowego – Visual Basic.

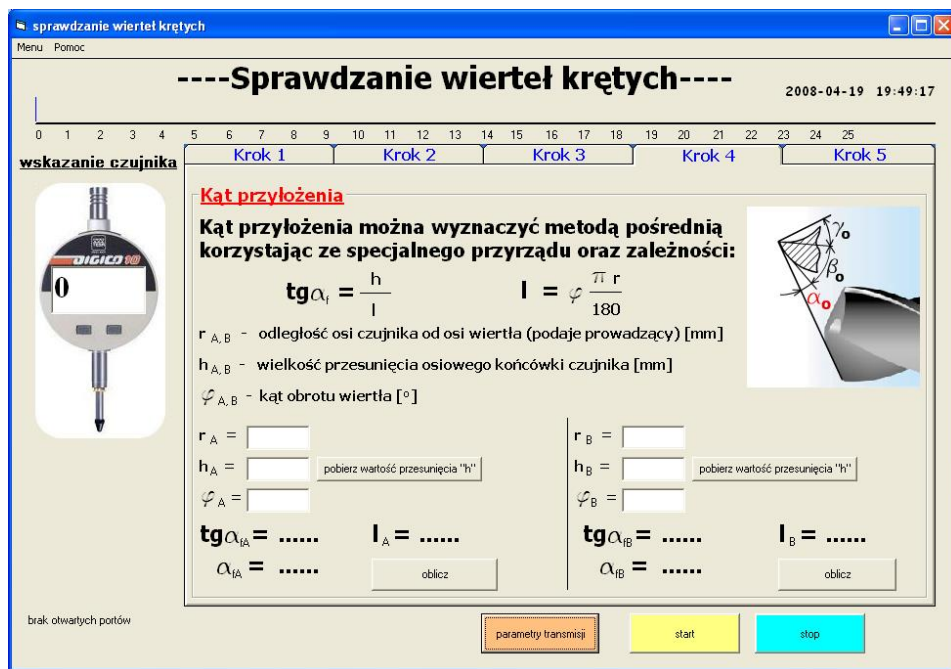


Rys. 4.9. Budowa i funkcje czujnika Tesa DIGICO [5]:

1 - złącze kabla do transmisji danych RS-232, 2 - obrotowa tarcza zegara w zakresie 270°, 3 - włączanie / wyłączanie (ON/OFF), 4 - pokrywa baterii, 5 - zmiana dostępnych funkcji, 6- wskazanie zapamiętanej wartości (HOLD), 7 - wymienna końcówka pomiarowa, 8 - funkcja dostępna po naciśnięciu przycisku 3, 9 - funkcja dostępna po naciśnięciu guzika 11, 10 - informacja o zużyciu baterii, 11 - konwersja mm/cale (mm/inch), 12 - wyświetlacz czujnika, 13 - ruchoma końcówka trzpienia pomiarowego

Interfejs programu „Sprawdzanie wiertel krętych” przedstawia rys. 4.10. Zawiera on wszystkie niezbędne obiekty (pola tekstowe do wprowadzania danych, elementy sterujące powodujące wykonanie określonej czynności, np. start pomiaru, ustawienie parametrów transmisji, zakończenie programu) służące do obsługi programu podczas pomiaru.

Aplikacja „Sprawdzanie wiertel krętych” posiada tzw. obsługę błędów. Polega ona na odpowiedniej reakcji programu na niepoprawne wprowadzenie danych lub braku danych. Dla przykładu, gdy użytkownik przez pomyłkę do pola „d_A”, oznaczającego średnicę wiertła w rozpatrywanym punkcie, wprowadzi jakikolwiek znak różny od znaków klawiatury numerycznej, program automatycznie zareaguje i wyświetli odpowiedni komunikat informujący o błędzie (rys. 4.11). Działanie programu zostanie zatrzymane do momentu wprowadzenia przez użytkownika prawidłowych danych.

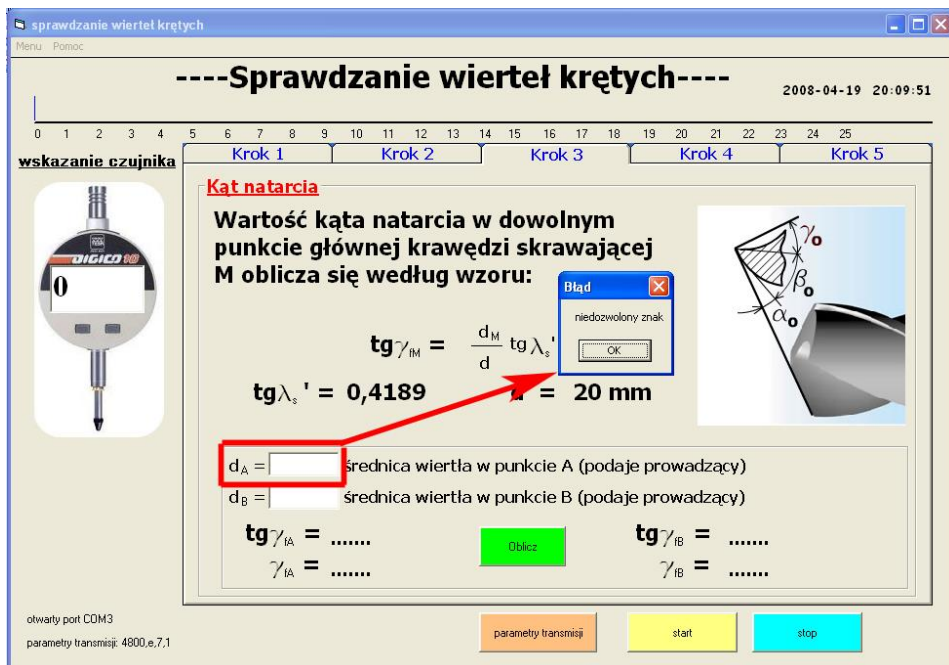


Rys 4.10. Interfejs programu „sprawdzanie wiertel krętych”

Kod programu realizujący reakcję aplikacji na niepoprawne wprowadzenie danych, (przedstawioną na rys. 4.11) widoczny jest na rys. 4.12.

Instrukcja „if”, wykorzystana w tym przypadku, jest jedną z najczęściej wykorzystywanych w języku programowania Basic. Logika, jaką dostarcza instrukcja „if”, umożliwia aplikacji podejmowanie decyzji na podstawie analizy [2]. Każdy znak klawiatury komputera ma swój odpowiednik w tablicy znaków

ASCII. W kodzie przedstawionym na rys. 4.12 program porównuje wszystkie znaki ASCII, jakie użytkownik może wprowadzić z klawiatury. Jeżeli wynik porównania jest pozytywny (True), wtedy program kontynuuje działanie aplikacji. Jeśli wynik porównania jest negatywny (False), wtedy wykonywana jest procedura obsługi błędu umieszczona po wyrażeniu „Else”, czyli zostanie wyświetlona informacja o błędzie (rys. 4.11) za pomocą funkcji „MsgBox”. Całość kodu wykonywana jest każdorazowo, gdy użytkownik naciśnie dowolny znak z klawiatury.

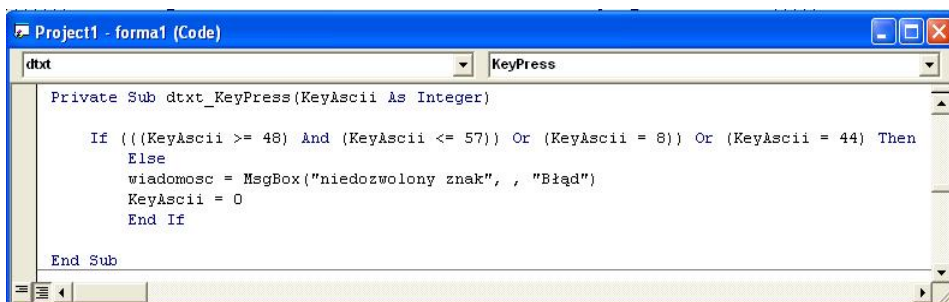


Rys. 4.11. Informacja o błędzie

Program „Sprawdzanie wiertel krętych” korzysta z funkcji programu Microsoft Excel do wygenerowania końcowych wyników badań. Klikając na klawisz „generuj protokół”, wszystkie wyliczone i otrzymane podczas pomiarów dane eksportowane są do programu Excel, gdzie automatycznie generowany jest końcowy protokół badań.

Program posiada następujące wymagania programowe i sprzętowe:

- system operacyjny Windows XP i wyższy,
- pakiet Microsoft Excel 2003 i wyższy,
- procesor minimum 500Mhz,
- pamięć minimum 64MB RAM,
- 5MB wolnego miejsca na dysku.



Rys. 4.12. Listing programu realizujący obsługę niepoprawnie wprowadzonych danych

4.7. Wykonanie ćwiczenia

4.7.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i geometrią wiertel krętych, wyznaczenie kątów przystawienia głównych krawędzi skrawających, kąta pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej a także ocena zmienności kątów natarcia i przyłożenia w funkcji odległości od osi wiertła.

4.7.2. Przebieg ćwiczenia

1. Dokonać pomiaru średnicy wiertła d i długości głównych krawędzi skrawających l_{k1} , l_{k2} .
2. Określić materiał części roboczej oraz rodzaj części chwytowej;
3. Uruchomić aplikację "Sprawdzanie wiertel krętych". Za pomocą przyrządu do pomiaru geometrii wiertel (rys. 4.6) wyznaczyć wartości kątów przystawienia głównych krawędzi skrawających κ_{r1} , κ_{r2} .
4. Wyznaczyć za pomocą wysokościomierza długość skoku linii śrubowej s . Znając średnicę wiertła d wyznaczyć za pomocą zależności (4.12) kąt pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej λ_s' .
5. W oparciu o wzór (4.13) obliczyć kąty natarcia γ_{fA} , γ_{fB} , γ_{fC} , w płaszczyźnie bocznej przechodzącej przez wybrane punkty A, B i C głównej krawędzi skrawającej (punkt A - поблизу ścinu, punkt B, w okolicy połowy średnicy wiertła, punkt C - w pobliżu naroża), położone odpowiednio w odległości r_A , r_B i r_C od osi wiertła.
6. Korzystając ze stanowiska do pomiaru wiertel krętych, za pomocą śruby mikrometrycznej 6 sprawdzić, czy dla zerowego wskazania na śrubie mikrometrycznej oś czujnika znajduje się w osi wiertła, obracając wiertło tak, aby ścin wiertła znajdował się w pozycji pionowej. Ustawić przyrząd w taki sposób, aby oś czujnika znalazła się w odległości r_A od osi wiertła (końcówka pomiarowa czujnika powinna opierać się o po-

wierzchnię przyłożenia). Następnie (obracając wiertło) zmierzyć wartości przesunięcia końcówki pomiarowej czujnika h_A oraz kąt obrotu wiertła φ_A (kąt obrotu φ odczytać z kątomierza 3). W oparciu o wzory (4.14) i (4.15) wyznaczyć kąt przyłożenia α_{fA} . Pomiary oraz obliczenia powtórzyć dla punktów B i C. Uwaga: podczas pomiaru nie należy dopuszczać do utraty kontaktu końcówki pomiarowej czujnika z powierzchnią przyłożenia, gdyż grozi to uszkodzeniem czujnika.

7. Przeprowadzić próbę wiercenia i powiercania, wyznaczyć głębokość skrawania a_p .

4.7.3. Wzory protokołów

Protokół sprawdzania wiertła krętego

Symbol wiertła			
Materiał części roboczej			
Opis części chwytowej			
Kąty przystawienia κ_{r1} , κ_{r2}			
Długości krawędzi skrawających l_{k1} , l_{k2}			
Średnica wiertła d			
Skok linii śrubowej s			
Kąt pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej λ_s'			
Promienie r_A , r_B , r_C ,			
Kąty natarcia γ_{fA} , γ_{fB} , γ_{fC}			
Przesunięcie końcówki pomiarowej czujnika h_A , h_B , h_C			
Kąty obrotu wiertła φ_A , φ_B , φ_C			
Kąty przyłożenia α_{fA} , α_{fB} , α_{fC}			

Protokół wiercenia i powiercania otworu

numer wiertła			
średnica wiertła d			
rodzaj obróbki			
głębokość skrawania a_p			
średnica otworu			

4.7.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) szkic i charakterystykę wiertła użytego w ćwiczeniu,
- 2) opis sprawdzania wiertła,
- 3) wyniki pomiarów i obliczeń geometrii części roboczej wiertła,
- 4) szkic procesu wiercenia, i powiercania,
- 5) wyniki pomiarów średnic narzędzi i otworów,
- 6) wypełnione protokoły pomiarów,
- 7) wnioski.

Literatura

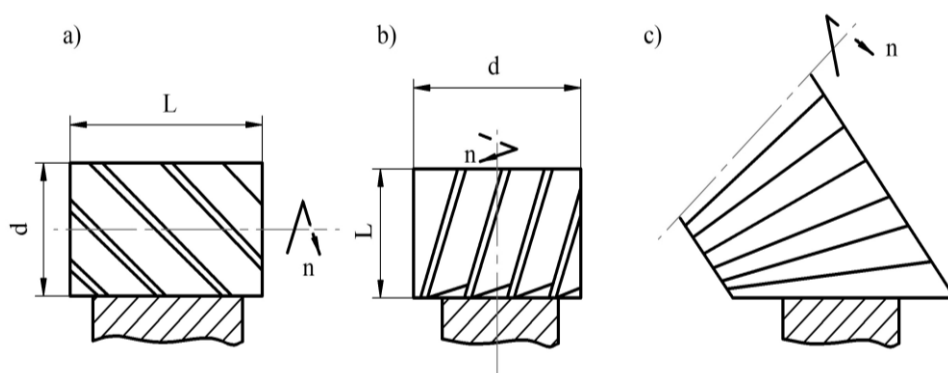
1. Nawrocki W.: *Komputerowe systemy pomiarowe*. WLiŁ, Warszawa 2002.
2. Perry G., Hettihewa S.: *Visual Basic 6*. Wyd. Helion. Gliwice 1998.
3. Dokumentacja czujnika TESA DIGICO.
4. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*. WNT, Warszawa 2006
5. Dmochowski J.: *Podstawy obróbki skrawaniem*. PWN, Warszawa 1978
6. Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*. WNT, Warszawa 2010.

5. Pomiary geometrii ostrza frezów walcowo-czołowych

5.1. Wiadomości ogólne

Frezowanie jest sposobem obróbki wiórowej, które charakteryzuje się tym, że ruchem głównym jest ruch obrotowy narzędzia skrawającego, nazywanego frezem, natomiast ruch posuwowy w kierunku prostopadłym do osi obrotu narzędzia wykonuje zwykle przedmiot obrabiany. Rozróżnia się następujące odmiany frezowania:

- frezowanie walcowe, gdy oś frezu jest równoległa do powierzchni obrobionej;
- frezowanie czołowe, gdy oś frezu jest prostopadła do powierzchni obrobionej;
- frezowanie skośne, gdy kąt między osią frezu a powierzchnią obrobioną jest większy od 0° i mniejszy od 90° .



Rys.5.1. Odmiany frezowania: a) walcowe, b) czołowe, c) skośne [1]

Frezowanie, z racji różnorodności odmian i narzędzi, należy do jednych z najczęściej stosowanych sposobów obróbki skrawaniem. Wynika to z licznych zalet obróbki frezowaniem, takich jak niska chropowatość powierzchni i możliwość stosowania obróbki frezowaniem jako ostatniego zabiegu w procesie kształtowania wyrobu (z pominięciem szlifowania), duża dokładność obróbki (z uwagi na coraz większą precyzję wykonania narzędzi i obrabiarek do obróbki frezowaniem), a także duża wydajność procesu. Ponadto zaletą frezowania, jako sposobu obróbki, jest możliwość obrabiania różnych powierzchni, tzn. powierzchni płaskich, sprężonych (rowków) oraz o różnych zarysach i kształtach przestrzennych. Proces frezowania jest procesem przerywanym, każde kolejne ostrze frezu usuwa materiał warstwy skrawanej co pewien określony czas, od-

powiadający jednemu obrotowi narzędzia. Dzięki takiej obróbce otrzymuje się stosunkowo krótki, łączny czas pracy każdego ostrza, przypadający na czas pracy całego narzędzia w jednym przejściu. W przerwach między okresami skrawania materiału następuje częściowy odpływ ciepła od ostrza do korpusu narzędzia, co przyczynia się do zmniejszenia średniej temperatury ostrza, z tego względu ostrza mają skłonność do zachowania zwiększonej trwałości okresowej.

5.2. Wymagania stawiane narzędziom skrawającym

Dla pełnego wykorzystania możliwości produkcyjnych frezarek konstruowane są frezy lub tylko ostrza frezów z materiałów narzędziowych zapewniających spełnienie szeregu wymagań:

1. Zdolność skrawania.

Do głównych właściwości użytkowych materiału narzędziowego jest zaliczana jego zdolność skrawania (zdolność materiału do usunięcia naddatku i nadawaniu mu pożądanego kształtu oraz korzystnych właściwości stereometrycznych powierzchni obrobionej), która określa bezpośrednio przydatność danego materiału do wykorzystania go na ostrze frezu. Materiał powinien charakteryzować się odpornością na zużycie w czasie pracy, które określają twardość i odporność na ścieranie (ścieralność).

2. Odporność na ścieranie.

Ścieralność jest spowodowana rysowaniem i ścinaniem mikrowierzchołków nierówności, znajdujących się na powierzchni ostrza. Intensywność zużycia ściernego zależy od stosunku twardości materiału ostrza do twardości materiału obrabianego.

3. Twardość.

Podstawowym warunkiem istnienia procesu skrawania jest odpowiednia twardość ostrza. Aby mógł zaistnieć proces skrawania wymagana jest nadwyżka twardości materiału ostrza w stosunku do twardości materiału obrabianego w warunkach obróbki.

4. Odporność na wysoką temperaturę.

Każdy materiał narzędziowy charakteryzuje się pewną graniczną temperaturą podczas skrawania, przy której traci swoje własności skrawne. Po przekroczeniu tej temperatury następuje przyspieszony proces zużycia narzędzia. Ważnym parametrem jest współczynnik przewodzenia ciepła materiału zastosowanego na ostrze narzędzia, ponieważ wpływa na ilość odprowadzonego ciepła od ostrza w głąb korpusu narzędzia

5. Wytrzymałość na naciski jednostkowe.

Wytrzymałość materiałów narzędziowych w warunkach skrawania decyduje o maksymalnym dopuszczalnym obciążeniu. Podczas frezowania występuje przerywany charakter pracy ostrzy. Zatem ostrze jest obciążone udarowo, a jedną z ważniejszych wymaganych właściwości jest udarność oraz niekiedy wytrzymałość zmęczeniowa. Mała udarność jest przyczyną zużycia ostrzy w postaci wykruszenia lub uszkodzenia katastroficznego.

6. Duża wydajność skrawania.

Wydajność skrawania jest szczególnie istotna w przemyśle lotniczym przy obróbce stopów metali lekkich, gdzie niekiedy nawet 90% półfabrykatu przekształcana jest w wióry. W celu zapewnienia dużej wydajności skrawania stosuje się metody HSM (High Speed Machining) skrawania z podwyższonymi prędkościami skrawania. Przy tej specyficznej metodzie obróbki wymagania stawiane narzędziom skrawającym są szczególnie istotne i związane są z wyrównoważeniem narzędzia, dużą sztywnością przy zwiększonych wysięgach (obróbka głębokich kieszeni), pojemnymi przestrzeniami wiórowymi, odpowiednią wytrzymałością pod działaniem siły odśrodkowej itp.

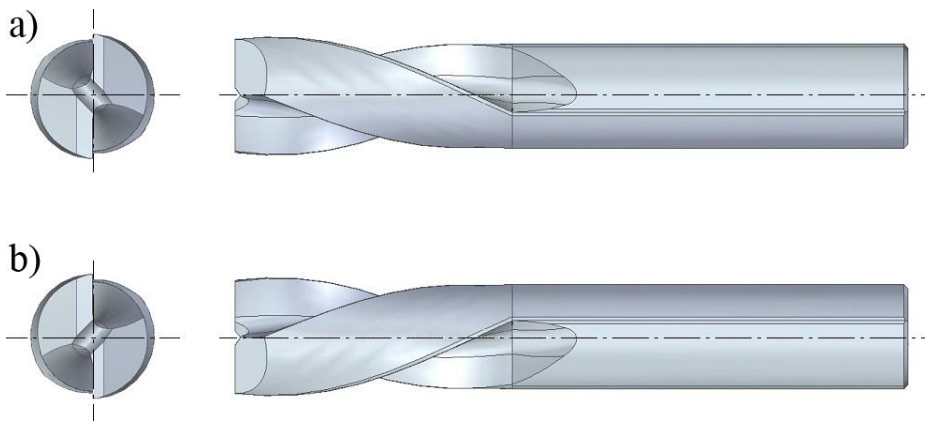
5.3. Rodzaje frezów walcowo-czołowych, ich budowa i geometria ostrza

Ze względu na sposób mocowania frezy walcowo-czołowe można podzielić na trzpieniowe lub nasadzone. Charakteryzują się tym, że mogą skrawać powierzchnią czołową oraz powierzchnią walcową. Na powierzchni obwodowej ostrza rozciągają się wzdłuż linii śrubowej, natomiast na powierzchni czołowej frezu mają kształt prostoliniowy. Dzięki takiej budowie istnieje możliwość frezowania powierzchni bocznej przedmiotu obrabianego ostrzami, które znajdują się na powierzchni obwodowej frezu oraz frezowanie wgłębne ostrzami znajdującymi się na powierzchni czołowej frezu. Frezy te mogą być zbudowane w taki sposób, że jedno z ostrzy na powierzchni czołowej dochodzi do osi obrotu narzędzia, co zapewnia możliwość frezowania wgłębnego. Jeśli ostrza usytuowane są w zewnętrznym obszarze czołowym frezu, wtedy frezowanie wgłębne jest możliwe tylko na niewielką głębokość. Jeżeli w procesie obróbki wymagane jest frezowanie głębszych rowków frezem, w którym ostrza są usytuowane na zewnętrznym obszarze czołowym i żadne z ostrzy nie dochodzi do osi frezu, to należy zagłębiać narzędzie po spirali (ten rodzaj obróbki dostępny jest w większości programów CAM do wyznaczania ścieżki narzędzia).

Ze względu na budowę frezy walcowo-czołowe można podzielić na:

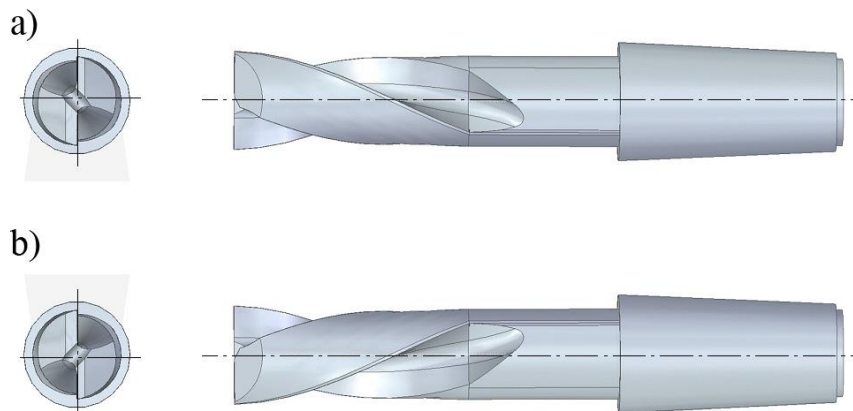
- jednolite – w całości wykonane z tego samego materiału, np. ze stali szybkotnącej,

- łączone w sposób trwały – z ostrzami w postaci listew śrubowych wykonanych z droższego i lepszego gatunku stali i przymocowanych mechanicznie lub przylutowanych do korpusu,
- składane – z wymiennymi płytkami skrawającymi.



Rys. 5.2. Frez trzpieniowy walcowo-czołowy: a) prawotnący z chwytem walcowym, b) lewotnący z chwytem walcowym

Stosowanie ostrzy w postaci wymiennych płytek z węglików spiekanych, ceramiki, materiałów supertwardych itp. umożliwia istotne zwiększenie prędkości

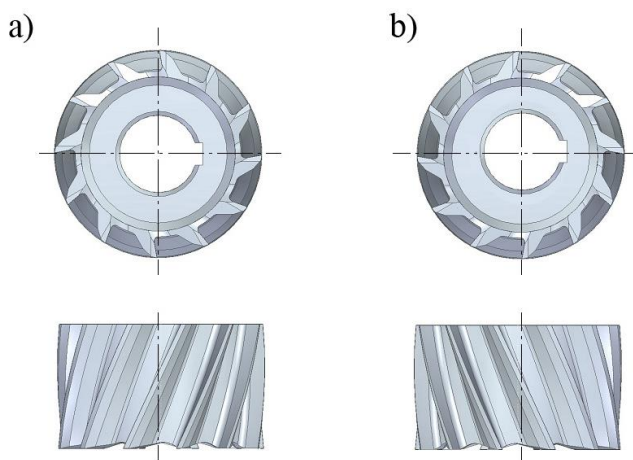


Rys. 5.3. Frez trzpieniowy walcowo-czołowy: z chwytem stożkowym Morse'a: a) prawotnący, b) lewotnący

skrawania, a więc i wydajności obróbki, w porównaniu z frezami ze stali szybko-
kotnącej. Frezy o stosunkowo niewielkiej średnicy mogą być w całości wykonane
z węglików spiekanych i charakteryzują się znacznie większą sztywnością
w porównaniu ze stalowymi, co pożądane jest zwłaszcza w warunkach obróbki
HSM. Wyróżnia się następujące rodzaje frezów walcowo-czołowych:

- 1) frezy trzpieniowe walcowo-czołowe z chwytem walcowym prawotnące
oraz lewotnące (np. rys. 5.2a i 5.2b),
- 2) frezy trzpieniowe walcowo-czołowy z chwytem stożkowym prawotnące
oraz lewotnące (np. rys. 5.3a i 5.3b),
- 3) frezy nasadzone walcowo-czołowe prawotnące oraz lewotnące (np. rys.
5.4a i 5.4b).

W zależności od przeznaczenia jednolite frezy trzpieniowe walcowo-
czołowe mogą różnić się liczbą ostrzy. Podczas obróbki stopów lekkich, gdzie
dąży się do uzyskania dużej wydajności, liczba ostrzy jest mniejsza w stosunku
do frezów przeznaczonych do obróbki materiałów twardszych, z uwagi

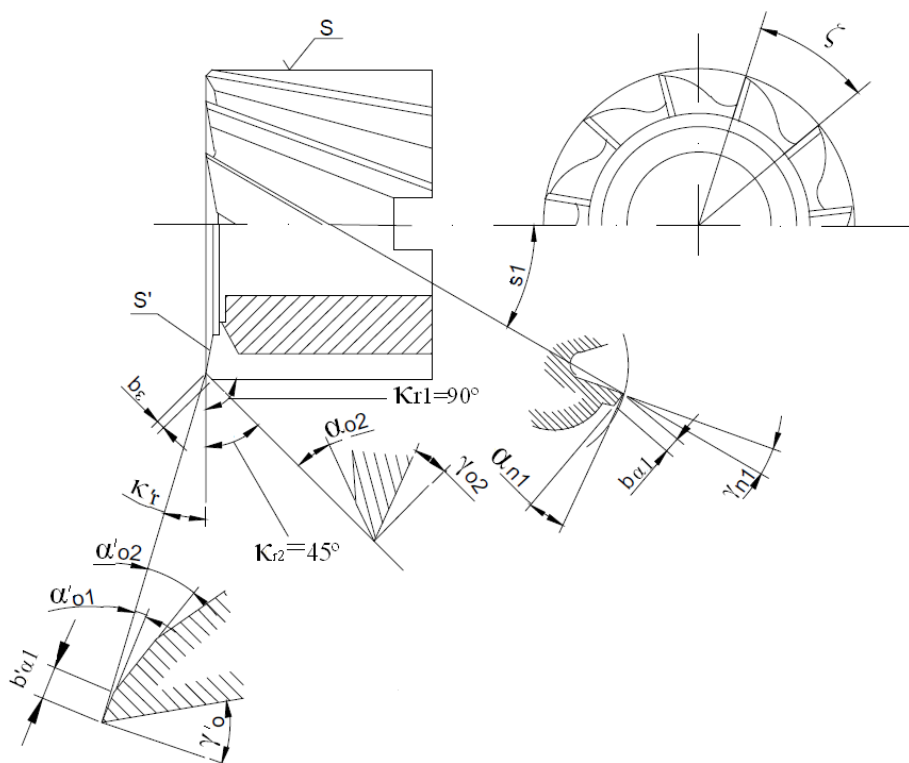


Rys. 5.4. Frez walcowo-czołowy nasadzany: a) prawotnący, b) lewotnący

na konieczność stosowania rowków wiórowych, które powinny zmieścić dużą
ilość wiórów.

Frezy trzpieniowe charakteryzują się także różnymi rozwiązaniami konstruk-
cyjnymi powierzchni czołowej frezu. Mogą mieć zakończenie płaskie (jak na
rysunku 5.2.) lub kształtowe, z fazką, półkuliste (charakterystyczne dla obróbki
HSC), stożkowe itp. Krawędzie skrawające frezów mogą być ciągłe (rys. 5.3.),
przerywane, faliste [9].

Jako trzpieniowe wykonywane są frezy walcowo-czołowe o małych średnicach (np. rys. 5.2) i są one stosowane do obróbki rowków oraz płaszczyzn o niewielkich szerokościach. Natomiast frezy nasadzone charakteryzują się znacznie mniejszym stosunkiem L/D w stosunku do frezów trzpieniowych (np. rys. 5.4). Podczas skrawania częścią walcową mogą powstawać wióry o znacznej szerokości. Dzięki istnieniu rozdzielaczy wiórów w postaci zaszlifowanych rowków, wióry dzielone są na krótsze odcinki, co sprzyja zmniejszeniu sił i drgań podczas skrawania. Narzędzia, dzięki temu, mogą pracować z dużymi posuwami.



Rys. 5.5. Geometria frezu walcowo-czołowego nasadzanego [1]

Geometrię ostrza frezu walcowo-czołowego przedstawiono na rys.5.5 i obejmuje kąty:

α_o, α_n – kąty przyłożenia w płaszczyźnie: ortogonalnej, normalnej,

γ_o, γ_n – kąty natarcia w płaszczyźnie: ortogonalnej, normalnej,

λ_s – kąt pochylenia krawędzi skrawającej,

- κ_r – kąt przystawienia,
 ζ – kąt podziałki międzyostrzowej,
 b_e – długość przejściowej krawędzi skrawającej.

W przypadku frezów, które skrawają zarówno częścią obwodową jak i czołową na powierzchni obwodowej znajdują się główne krawędzie skrawające S , natomiast krawędzie pomocnicze S' usytuowane są na powierzchni czołowej frezu. Kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej na powierzchni obwodowej λ_s w normalnych frezach wynosi $\lambda_s = 15^\circ, 20^\circ$ lub 30° . Można spotkać mniejsze wartości tych kątów we frezach z wstawianymi ostrzami

Ostrza we frezach walcowo-czołowych mogą być ścinowe, łukowe i zatacane. Ostrza ścinowe dzielą się na jednościnowe (najprostsza konstrukcja) lub dwuścinowe (o większej wytrzymałości niż jednościnowe). Ostrza jednościnowe wykonuje się poprzez jednorazowe frezowanie frezem kątowym jednostronnym w przypadku frezów z ostrzami prostymi oraz frezem niesymetrycznym w przypadku frezów ze śrubową linią ostrzy.

Z liczbą ostrzy związane jest pojęcie podziałki międzyostrzowej, czyli obwodowej odległości pomiędzy ostrzami. Z reguły stosuje się frezy z podziałkami równomiernymi jednak stosowanie podziałki nierównomiernej może przynieść korzyści w postaci zmniejszenia drgań podczas frezowania. Zastosowanie nierównomiernej podziałki powoduje zróżnicowanie czasu rozpoczęcia pracy przez poszczególne ostrza i zróżnicowanie ich obciążeń. Przekłada się to na większą trwałość narzędzi i lepszą jakość powierzchni obrobionej. Podziałkę międzyostrzową P określa się na zewnętrznej powierzchni za pomocą wzoru (5.1):

$$P = \pi D / z \quad (5.1)$$

gdzie: D – średnica frezu

z – liczba ostrzy

Przykładowe wartości kątów podziałek nierównomiernych dla frezów wynoszą [2]:

- frezy z 4 ostrzami $\zeta_1=90^\circ, \zeta_2=85^\circ, \zeta_3=90^\circ, \zeta_4=95^\circ$;
- frezy z 5 ostrzami $\zeta_1=68^\circ, \zeta_2=72^\circ, \zeta_3=76^\circ, \zeta_4=68^\circ, \zeta_5=76^\circ$;
- frezy z 6 ostrzami $\zeta_1=57^\circ, \zeta_2=63^\circ, \zeta_3=57^\circ, \zeta_4=63^\circ, \zeta_5=57^\circ, \zeta_6=63^\circ$.

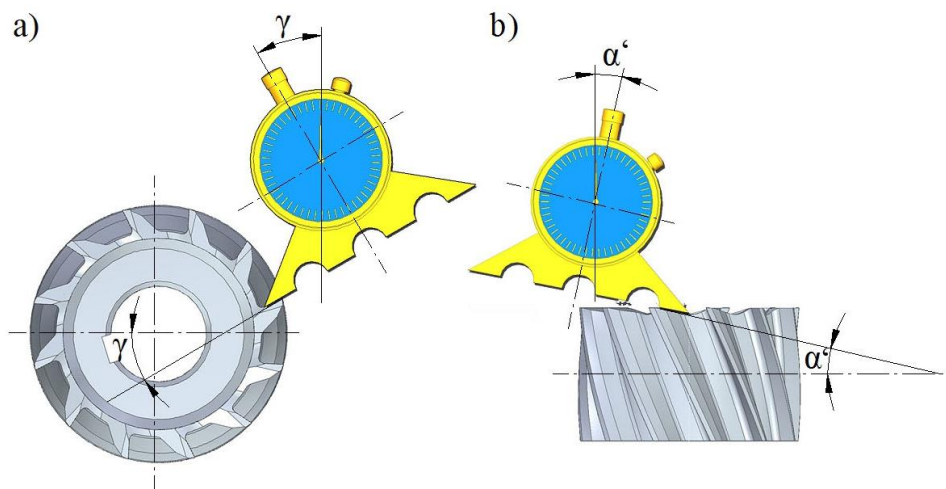
5.4. Pomiary geometrii frezów

5.4.1. Pomiar kątów natarcia i przyłożenia kątomierzem uchylnym

Pomiar polega na umieszczeniu frezu w przyrządzie kłowym i ustawieniu krawędzi skrawających na wysokości kłów za pomocą wzorca nastawczego. Aby dokonać pomiaru kąta natarcia należy przyłożyć podstawę kątomierza uchylnego do ostrza frezu (rys. 5.6a). Konstrukcja mechanizmu kątomierza po-

woduje, że wskazówka podczas pomiaru, pod wpływem grawitacji zawsze jest usytuowana w kierunku pionowym. Tarcza z podziałką kątową obraca się razem z podstawą. Po odpowiednim przyłożeniu podstawy, wskazówka pokazuje wynik pomiaru mierzonego kąta.

W celu pomiaru pomocniczego kąta przyłożenia należy umieścić frez na podłożu powierzchnią przyłożenia zwróconą ku górze i następnie przyłożyć podstawę kątomierza (rys. 5.6b). Z uwagi na grawitacyjne ustawianie się wskazówki pomiarowej istotne jest by podłoże, na którym umieszcza się frez było wypoziomowane.



Rys. 5.6. Pomiar kątomierzem uchylnym: a) kąt natarcia, b) pomocniczy kąt przyłożenia

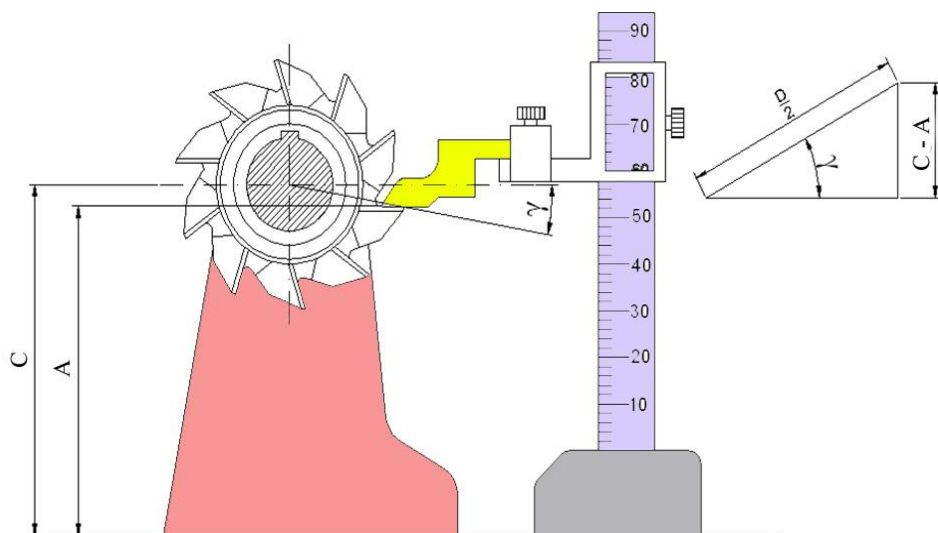
Pomiar kątomierzem uchylnym jest prosty do wykonania, wskazywana wartość jest wartością mierzonego kąta (nie wymaga żadnych obliczeń). Problemem jednak może być odpowiednie ustawienie, zwłaszcza na frezach o małych średnicach, z uwagi na niewielką powierzchnię przylegania powierzchni roboczych narzędzia do podstawy kątomierza.

5.4.2. Pomiar kąta natarcia za pomocą wysokościomierza

Przed pomiarem należy umieścić badany frez w uchwycie wysokościomierza (rys. 5.7). Pomiar polega na doprowadzeniu do przylegania krawędzi końcówki pomiarowej z powierzchnią natarcia frezu. Dla takiego ustawienia należy odczytać wartość wskazaną na prowadnicy z podziałką wysokościomierza. Sposób pomiaru wysokościomierzem przedstawiono na rysunku 5.7. Do wyznaczenia wartości kąta natarcia potrzebna jest średnica mierzonego frezu. Otrzymane wartości należy podstawić do wzoru (5.2):

$$\gamma_o = \arcsin \frac{2 \cdot (C - A)}{D} \quad (5.2)$$

gdzie: A – zmierzona wartość wysokościomierzem,
 C – wysokość na jakiej frez został zamocowany,
 D – średnica mierzonego frezu.

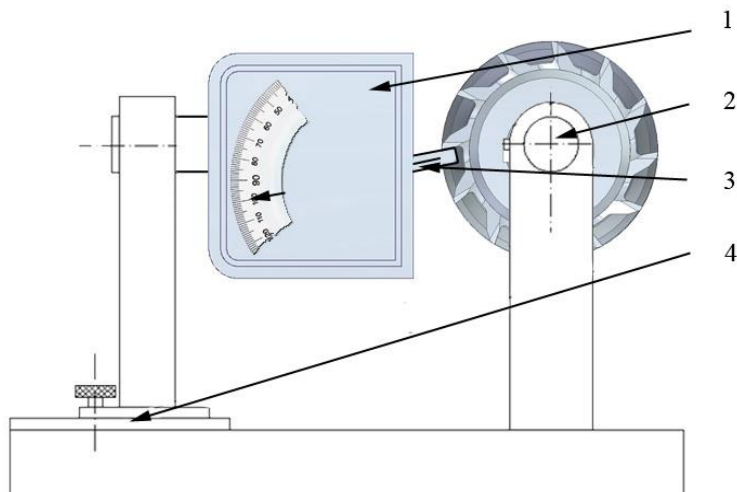


Rys. 5.7. Pomiar kąta natarcia za pomocą wysokościomierza [8]

Na dokładność pomiaru kąta natarcia wysokościomierzem wpływa ustawienie końcówki pomiarowej na powierzchni natarcia. Problematyczny staje się pomiar dla frezów o małej średnicy lub o kształtowej powierzchni natarcia. Metoda ta nie nadaje się do pomiaru kąta przyłożenia α_o .

5.4.3. Pomiary kątomierzem KN-4

Kątomierz KN-4 (rys. 5.8) posiada wymienne głowice pomiarowe 1, które dobiera się w zależności od mierzonego kąta. Przed przystąpieniem do pomiaru należy umieścić badany frez w kłach uchwyty mocującego. Za pomocą prowadnicy 4 należy zbliżyć głowicę pomiarową tak, aby element pomiarowy opierał się na jednej z roboczych powierzchni frezu. Po uzyskaniu odpowiedniego styku pomiarowego w miejscu 3, należy odczytać mierzony kąt z kątomierza głowicy.

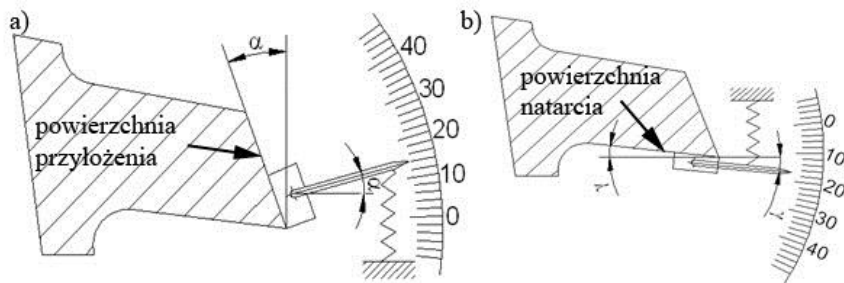


Rys. 5.8. Pomiar kątomierzem KN-4 [7]

Wynik odczytuje się z okienka pomiarowego na głowicy pomiarowej. Poprawność działania kątomierza sprawdza się za pomocą wzorca kontrolnego.

5.4.4. Pomiar kątów natarcia i przyłożenia kątomierzem stolikowym

Przed przystąpieniem do pomiaru należy sprawdzany frez zamocować w przyrządzie kłowym i tak ustawić głowicę pomiarową, aby powierzchnia



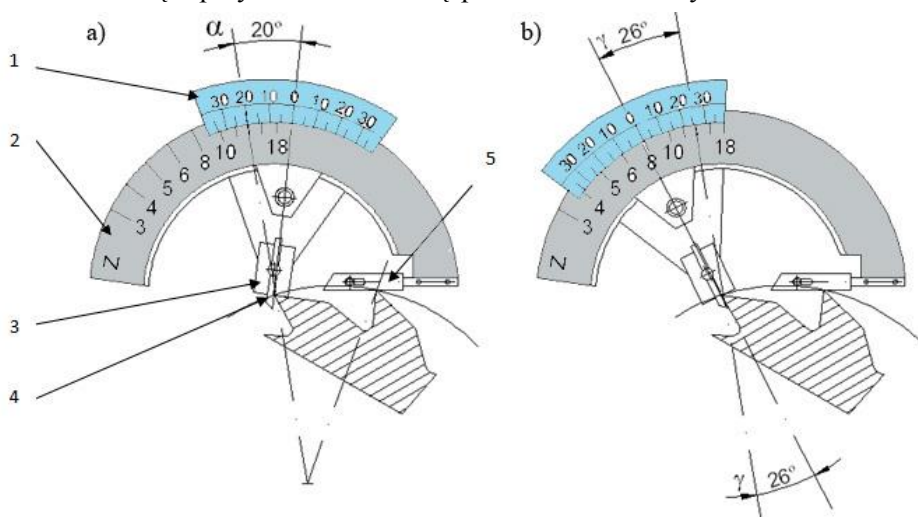
Rys. 5.9. Sposób pomiaru kątomierzem stolikowym : a) kąta przyłożenia, b) kąta natarcia [13]

elementu pomiarowego przylegała do powierzchni natarcia (w przypadku pomiaru kąta natarcia) lub powierzchni przyłożenia (w przypadku pomiaru kąta przyłożenia). Następnie należy odczytać wynik pomiaru z podziałki kątowej znajdującej się na tarczy kątomierza, co przedstawiono na rysunku 5.9.

Zaletą metody jest bezpośredni odczyt wartości mierzonych kątów i zapewnienie możliwości pomiaru mniejszych narzędzi. Jednak z uwagi na małe gabaryty elementów pomiarowych wymaga dużej precyzji.

5.4.5. Pomiar kątów frezu kątomierzem Babczynicera

Za pomocą kątomierzem Babczynicera można dokonywać pomiarów kąta natarcia oraz kąta przyłożenia. Budowę przedstawiono na rysunku 5.10. Składa



Rys. 5.10. Pomiar kątów frezu kątomierzem Babczynicera a) kąt przyłożenia, b) kąt natarcia [13]

się on z korpusu 2, na którym naniesiona jest podziałka z liczbą ostrzy mierzonego frezu. Po korpusie 2 przesuwają się element pomiarowy 1 z naniesioną podziałką kątową do odczytania mierzonego kąta. Do elementu pomiarowego 1 przymocowana jest płytka 3, w której znajduje się wkładka pomiarowa 4. Natomiast do korpusu 2 przymocowana jest listwa 5, która służy do podparcia kątomierza na sąsiadującym ostrzu frezu.

Podczas pomiaru kąta przyłożenia (rys. 5.10.a) należy, opierając listwę 5 na krawędzi sąsiadującego ostrza, tak ustawić krawędź czołową płytki 3, aby doprowadzić do przylegania (zlikwidowania szczeliny) tej krawędzi do powierzchni przyłożenia mierzonego ostrza. Dla takiego ustawienia, w zależności od liczby ostrzy frezu, należy odczytać wynik pomiaru z podziałki 1 w miejscu pokrycia się z kreską na korpusie 2, odpowiadającą liczbie ostrzy mierzonego frezu.

W przypadku pomiaru kąta natarcia (rys. 5.10.b) należy ustawić płytkę 3 w taki sposób, aby wkładka pomiarowa 4 przylegała do powierzchni natarcia mierzonego ostrza. Wartość kąta natarcia odczytuje się z podziałki 1 w analogiczny sposób jak w przypadku pomiaru kąta przyłożenia.

Używając kątomierza Babczynicera można mierzyć kąty natarcia i przyłożenia w różnych płaszczyznach, ustawiając tarczę kątomierza pod odpowiednim kątem w stosunku do krawędzi skrawającej.

5.4.6. Pomiar na centrach pomiarowych

Do pomiaru kątów natarcia i przyłożenia można wykorzystać nowoczesne urządzenia do pomiaru chropowatości i konturu. Urządzenie o budowie modułowej zapewnia pomiar chropowatości, konturu oraz topografii 3D. Ocena cech chropowatości i konturu może odbywać się z zastosowaniem jednolitego interfejsu użytkownika, pozwalającego na obliczanie wszystkich znormalizowanych parametrów profilu chropowatości i falistości oraz ocenę cech geometrycznych takich jak odległości, kąty, promienie, itp. Do pomiarów geometrii narzędzi skrawających wykorzystuje się wymienną głowicę do pomiaru konturu, której końcówka ślizga się po mierzonej powierzchni. Przedstawione urządzenie na rysunku 5.11 jest przeznaczone do szybkiej kontroli wymiarowej złożonych zarysów kształtów za pomocą końcówki o zakresie 120 mm.

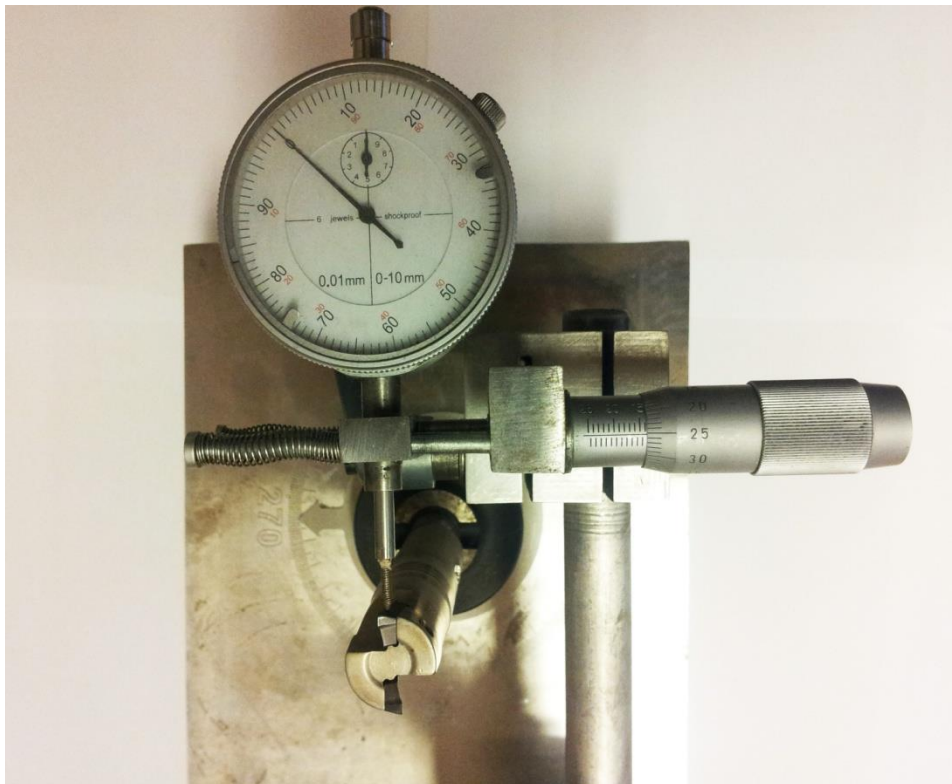


Rys. 5.11. Urządzenie do pomiaru konturu, chropowatości oraz topografii 3D T8000 RC120-400 firmy Hommel-Etamic

Zaletą jest automatyczny pomiar, możliwość komputerowej obróbki danych i przedstawienie wyników na specjalnych protokołach. Obsługa urządzenia wymaga odpowiednich kwalifikacji pracownika, a cena urządzenia jest największą jego wadą.

5.5. Stanowisko do pomiaru geometrii frezów

Na rysunku 5.12 przedstawiono widok stanowiska do pomiaru geometrii frezów. Model, z zaznaczonymi elementami składowymi, przedstawiony jest na rysunku 5.13.

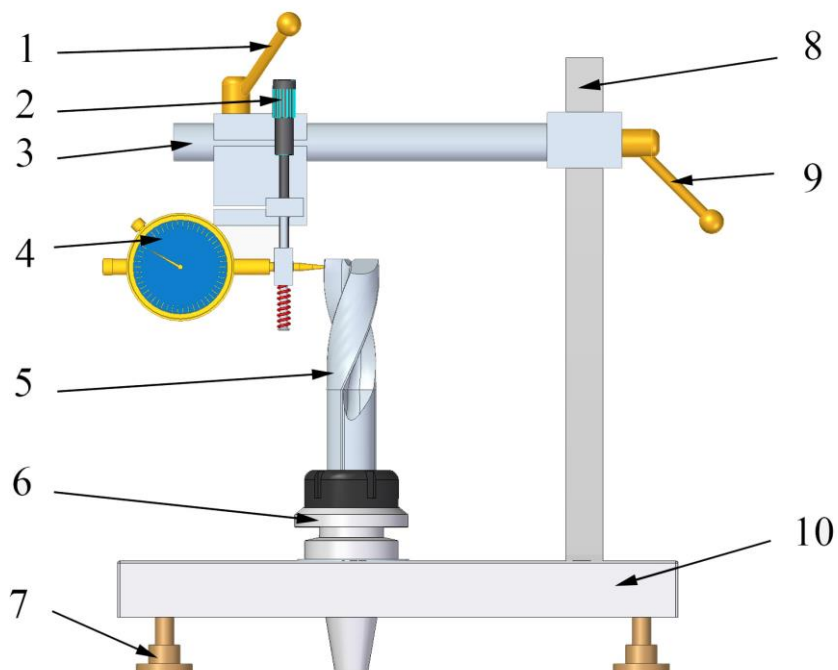


Rys. 5.12. Widok stanowiska do pomiaru geometrii frezów

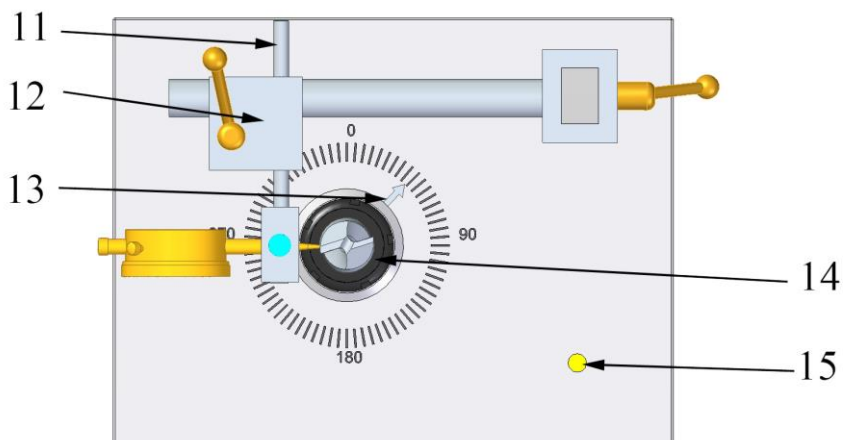
Pomiaru geometrii frezu można dokonać w następującej kolejności:

1. Przed przystąpieniem do pomiaru należy wypoziomować urządzenie przy pomocy stopki regulacyjnej 7. Kierunek poziomy ustawiony jest, gdy oczko poziomicy 15 znajduje się w centralnym położeniu. Po wypoziomowaniu, wszystkie stopki powinny wywierać zbliżony nacisk na podłoże, a uchwyt 6 nie powinien dotykać do podłoża. Takie ustawienie gwarantuje stabilną pozycję stanowiska podczas pomiaru.
2. Mierzony frez 5 należy zamocować w uchwycie 6, dobierając odpowiednią tuleję sprężystą 14, uzależnioną od średnicy frezu. Następnie należy dokręcić śrubę zaciskową uchwytu. Uchwyt zaciskowy 6 wraz z zamocowanym frezem umieszcza się w otworze płyty 10 przyrządu pomiarowego.

a)

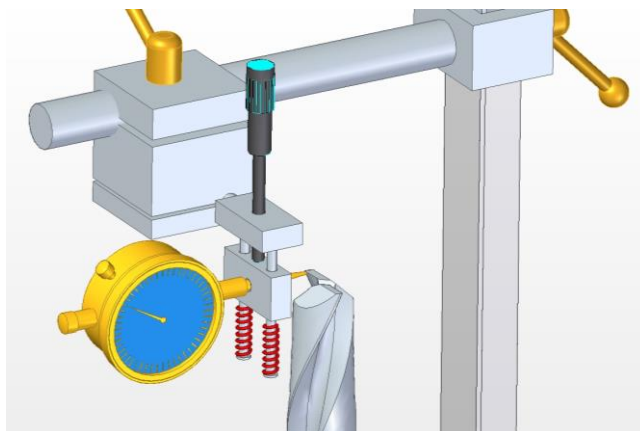


b)



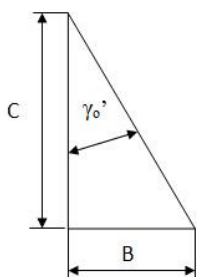
Rys. 5.13. Schemat przyrządu do mierzenia geometrii ostrza frezów walcowo-czołowych: a) widok z boku, b) widok z góry

- Podczas pomiaru pomocniczego kąta natarcia γ_o' należy tak ustawić prowadnicę 11, luzując zacisk przy pomocy dźwigni 12 znajdującej się w elemencie 12, aby mikromierz 2 znajdował się w pozycji pionowej, a oś czujnika pomiarowego 4 w pozycji poziomej. Następnie za pomocą dźwigni 9 ustawić prowadnicę 3 na takiej wysokości, aby końcówka czujnika zegarowego 4 zetknęła się z powierzchnią natarcia w pobliżu krawędzi skrawającej frezu 5. Prawidłowe ustawienie przedstawia rysunek 5.14.



Rys. 5.14. Konfiguracja przyrządu do pomiaru pomocniczego kąta natarcia γ_o'

- Po ustawieniu przyrządu jak w punkcie 3 (rys. 5.14) można przystąpić do pomiaru pomocniczego kąta natarcia γ_o' . W tym celu należy odczytać wartość początkową z mikromierza 2 oraz wyzerować czujnik zegarowy 4. Następnie przemieszczając czujnik zegarowy pionowo w dół za pomocą śruby mikrometrycznej mikromierza 2, należy na pewnej odległości ponownie odczytać wartości z mikromierza i czujnika zegarowego. Następnie należy obliczyć różnice między końcową i początkową wartością ze śruby mikromierza oraz odczytać wartość z czujnika zegarowego. Aby obliczyć kąt należy



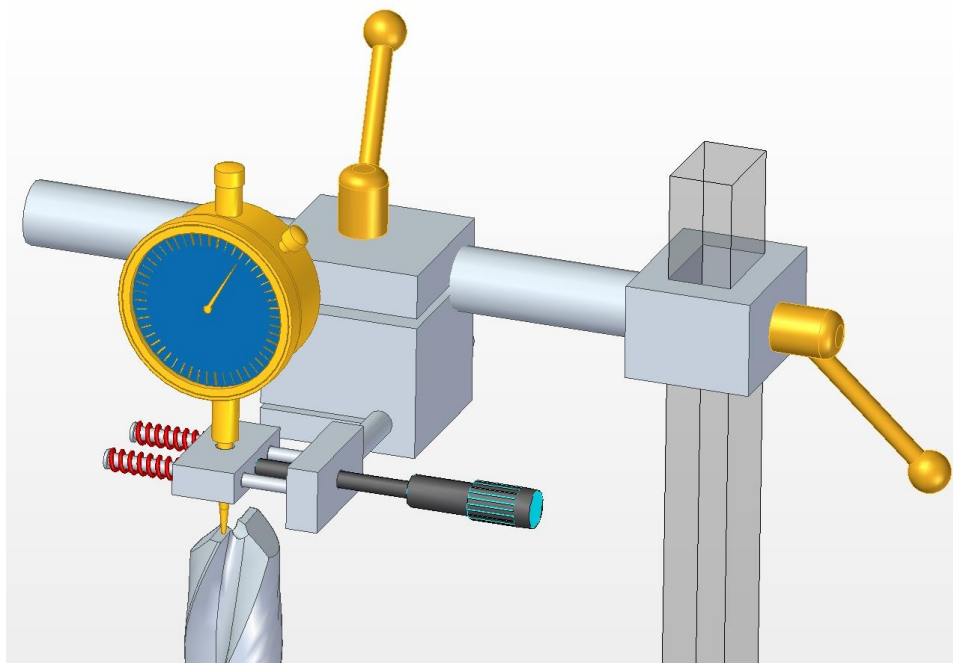
$$\operatorname{tg} \gamma_o' = \frac{B}{C} \quad (5.3)$$

Rys.5.15. Zasada wyznaczania pomocniczego kąta natarcia γ_o'

skorzystać z funkcji trygonometrycznych (5.3). Zasadę wyznaczania pomocniczego kąta natarcia przedstawiono na rys. 5.15:

gdzie: B – różnica wartości z czujnika zegarowego,
 C – różnica wartości z mikromierza,
 γ_o' – pomocniczy kąt natarcia.

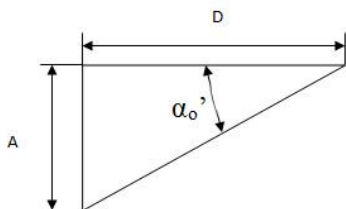
5. W celu pomiaru pomocniczego kąta przyłożenia α_o' należy poluzować dźwignię 1 i obrócić prowadnice 11 tak, aby mikromierz 2 znajdował się w pozycji poziomej. Za pomocą dźwigni nastawczych 1 i 9 należy tak ustawić końcówkę czujnika zegarowego 4, aby znajdowała się ona na powierzchni przyłożenia w pobliżu krawędzi skrawającej mierzonego frezu 5, co przedstawiono na rys. 5.16.



Rys. 5.16. Sposób mierzenia pomocniczego kąta przyłożenia α_o'

Dla takiego ustawienia przyrządu, można przystąpić do pomiaru pomocniczego kąta przyłożenia α_o' . W tym celu należy wyzerować wskazanie czujnika zegarowego 4 oraz kąt jaki wyznacza wskaźnik 13 (znajdujący się na płycie przyrządu). Podziałka kątowa naniesiona jest na płycie przyrządu pomiarowego 10. Następnie po obróceniu uchwytu zaciskowego 6 o pewien kąt, należy odczytać wartości z czujnika zegarowego 4, a także kąt wskazany przez wskaźnik 13 na podziałce kątowej naniesionej na płycie 6. Pomocniczy kąt przyłożenia α_o' można wyznaczyć z funkcji trygonometrycznych (5.4).

Zasadę wyznaczania pomocniczego kąta przyłożenia α_o' przedstawiono na rys. 5.17:



$$\operatorname{tg} \alpha_o' = \frac{A}{D} \quad (5.4)$$

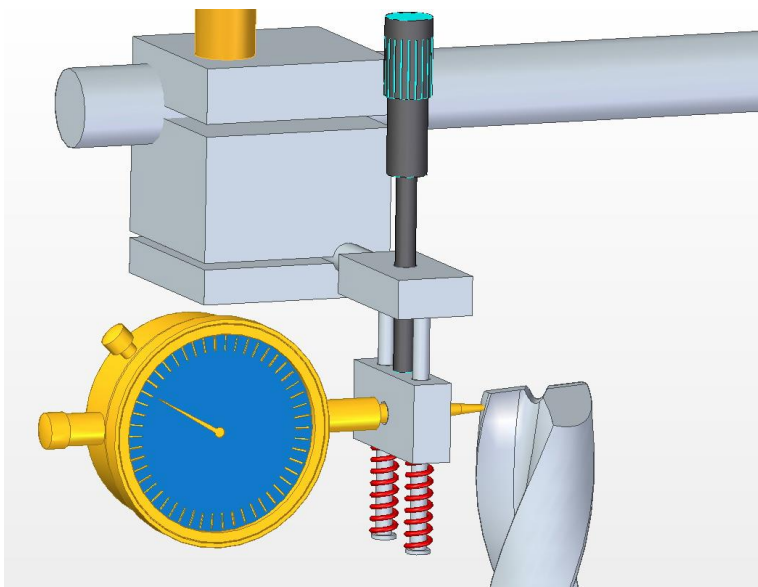
$$A = \frac{\varphi}{360} \cdot 2\pi r \quad (5.5)$$

Rys.5.17. Zasada wyznaczania pomocniczego kąta przyłożenia α_o'

gdzie:

- A – długość łuku zakreslanego przez końcówkę pomiarową czujnika zegarowego, wyliczonego z zależności (5.5),
- φ – jest to wartość kąta, o jaki został obrócony uchwyt zaciskowy 6,
- D – jest to różnica wartości z czujnika zegarowego,
- r – odległość końcówki pomiarowej czujnika od osi frezu.

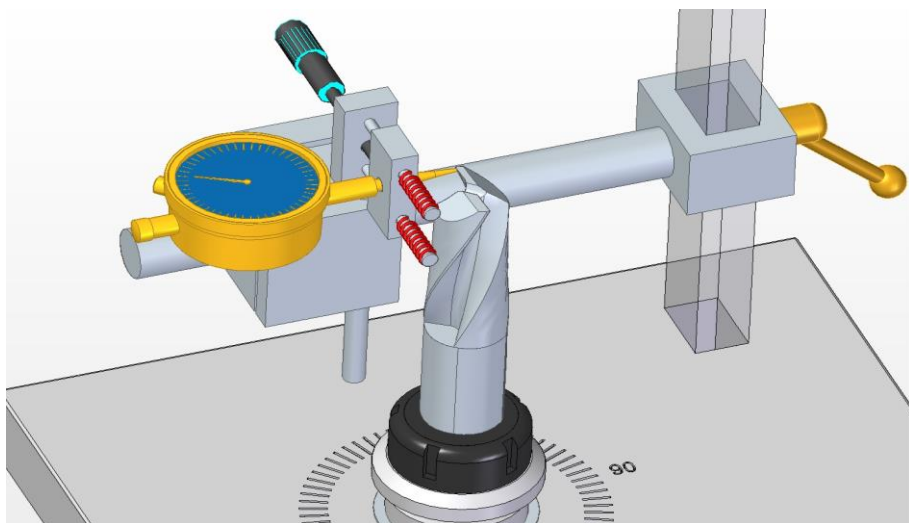
6. Sposób pomiaru głównego kąta przyłożenia α_o przedstawiono na rysunku 5.18
W celu pomiaru głównego kąta przyłożenia należy poluzować dźwignię 1



Rys. 5.18. Sposób mierzenia głównego kąta przyłożenia α_o
i obrócić prowadnice 11 tak, aby mikromierz 2 znajdował się w pozycji pio-

nowej. Za pomocą dźwigni nastawczych 1 i 9 należy doprowadzić do styku końcówki pomiarowej czujnika zegarowego 4 z powierzchnią przyłożenia tak, aby znajdowała się ona na powierzchni przyłożenia tuż za krawędzią skrawającą frezu 5. Dla takiego ustawienia, można przystąpić do pomiaru głównego kąta przyłożenia α_0 . W tym celu należy wyzerować wskazanie czujnika zegarowego 4, a także kąt, jaki wskazuje wskaźnik 13 na podziałce kątowej naniesionej na podstawie urządzenia 10. Należy obrócić uchwyt zaciskowy 6 o pewien kąt, a następnie odczytać wartości z czujnika zegarowego 4 i kąt wskazany przez wskaźnik 13. Wartości głównego kąta przyłożenia α_0 należy wyznaczyć w sposób analogiczny jak przy wyznaczaniu pomocniczego kąta przyłożenia α_0' korzystając z zależności (5.4) i (5.5).

7. W celu pomiaru głównego kąta natarcia γ_0 należy poluzować dźwignię 1, po czym obrócić element 12 tak, aby mikrometr 2 znajdował się w pozycji



Rys. 5.19. Sposób mierzenia głównego kąta natarcia γ_0

poziomej na prowadnicy 3. Ponadto należy obrócić prowadnicę 11 tak, aby końcówka pomiarowa czujnika zegarowego 4 znajdowała się tuż za główną krawędzią skrawającą na powierzchni natarcia, co zobrazowano na rysunku 5.19. Dla takiego ustawienia końcówki czujnika należy odczytać wartość z czujnika oraz mikrometru, a następnie przemieszczać czujnik 4, pokręcając pokrętłem mikrometru 2. Do obliczenia wartości głównego kąta natarcia γ_0 należy skorzystać z funkcji trygonometrycznych (rys. 5.15) na podstawie wzoru (5.3).

5.6. Wykonanie ćwiczenia

5.6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z geometrią frezów walcowo - czołowych i metodami pomiarów geometrii ostrza. Praktycznym celem ćwiczenia jest pomiar wybranych kątów frezu walcowo-czołowego.

5.6.2. Przebieg ćwiczenia

Korzystając z przyrządu do mierzenia geometrii ostrza frezów walcowo-czołowych i bazując na metodyce, opisanej w podrozdziale 5.5, należy:

1. Zamocować frez w uchwycie zaciskowym
2. Zmierzyć wartość pomocniczego kąta natarcia γ_o'
3. Zmierzyć wartość pomocniczego kąta przyłożenia α_o'
4. Zmierzyć wartość głównego kąta natarcia γ_o
5. Zmierzyć wartość głównego kąta przyłożenia α_o
6. Przeprowadzić próbę frezowania frezem walcowo - czołowym

5.6.3. Wzór protokołu

Numer frezu			
Symbol frezu			
Materiał części roboczej			
Liczba ostrzy			
Opis części chwytowej			
pomocniczy kąt natarcia γ_o'			
pomocniczy kąt przyłożenia α_o'			
główny kąt natarcia γ_o			
główny kąt przyłożenia α_o			

5.6.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) schemat badanych frezów,
- 2) charakterystykę frezu (budowa, materiał części roboczej, rodzaj części chwytowej),
- 3) wartości wyznaczonych kątów,
- 4) wypełnione protokoły pomiarów i obliczeń,
- 5) wnioski.

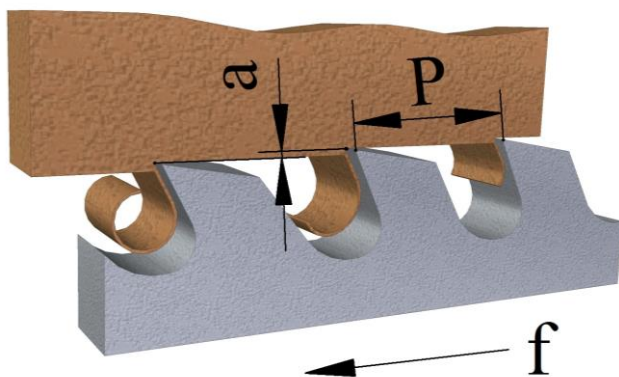
Literatura

1. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne Warszawa 2006.
2. Feld M.: *Projektowanie procesów technologicznych typowych części maszyn*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 1994.
3. Górski E. Harasymowicz J.: *Podstawy projektowania narzędzi skrawających wraz z zagadnieniami technologicznymi*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1980.
4. Górski E.: *Frezy*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 1977.
5. Górski E.: *Poradnik narzędziowca*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne Warszawa 1989.
6. Harasymowicz J.: *Narzędzia skrawające ćwiczenia projektowe*. Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej 1980.
7. Hulboj S.: *Regeneracja i pomiary narzędzi skrawających*. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej 1997.
8. Jakubiec W., Malinowski J.: *Metrologia wielkości geometrycznych*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 2007.
9. Kunstetter S.: *Podstawy konstrukcji narzędzi skrawających*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 1980.
10. Olszak W.: *Obróbka skrawaniem*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 2009.
11. *Poradnik metrologa warsztatowego*. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 1970.
12. Porembski J.: *Przyrządy obróbkowe. Podstawy teoretyczne i zasady projektowania*. Polskie Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1982.
13. Zaleski K.: *Laboratorium obróbki ubytkowej*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2001.

6. Pomiary przeciągaczy

6.1. Wiadomości ogólne

Przeciągacze zalicza się do grupy narzędzi specjalnych. Obróbka przeciąganiem należy do bardzo dokładnych sposobów obróbki skrawaniem. Możliwe jest uzyskanie 5 klasy dokładności. Podczas skrawania naddatek rozkłada się na szereg ostrzy. Dzięki stopniowo rosnącym wymiarom poprzecznym narzędzia, każde ostrze skrawa w krótkim czasie, usuwając stosunkowo niewielki naddatek, co zwiększa żywotność całego narzędzia. Chropowatość powierzchni możliwa do uzyskania w procesie przeciągania mieści się w przedziale $Ra = (0,16 - 0,32) \mu m$. Zasadę pracy przeciągaczy przedstawiono na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Zasada pracy przeciągacza

Przeciąganie jest odmianą obróbki bardzo wydajnej. Kinematyka procesu nie jest skomplikowana, a obsługa obrabiarki jest łatwa i nie wymaga szczególnych kwalifikacji. Do wad procesu przeciągania zalicza się skomplikowaną budowę przeciągacza i wysokie wymagania odnośnie dokładności wykonania. Wpływa to na wysoki koszt wykonania przeciągaczy, co sprawia, że znajdują zastosowanie jedynie podczas produkcji seryjnej i masowej.

6.2. Klasyfikacja przeciągaczy

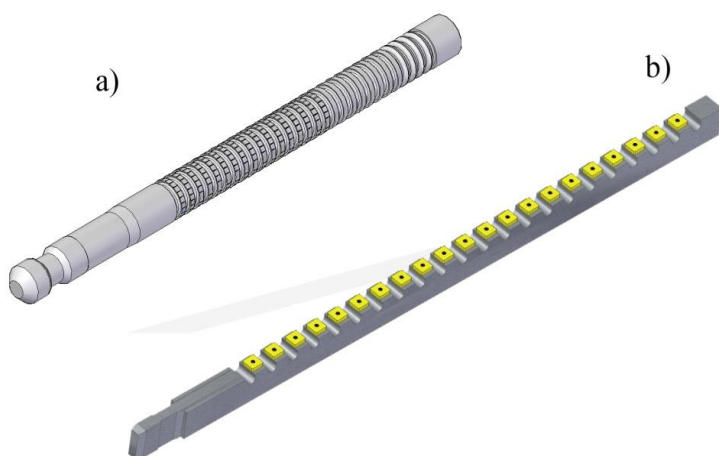
Przeciągacze w znacznej większości stanowią grupę narzędzi specjalnych, projektowanych każdorazowo do określonego zadania. Ich budowa, kształt ostrzy, sposób pracy oraz przeznaczenie są uzależnione od rodzaju przedmiotu obrabianego.

Narzędzia te można klasyfikować według wielu kryteriów:

- ze względu na budowę,
- ze względu na powierzchnię obrabianą,
- ze względu na kinematykę skrawania,
- ze względu na materiał ostrza,
- ze względu na zarys ostrza,
- ze względu na grubość warstwy skrawanej.

6.2.1. Podział ze względu na budowę

Podział ze względu na budowę wyróżnia przeciągacze jednolite, czyli takie, które w całości są wykonane z jednego materiału, oraz składane, które mogą być wykonane z kilku części lub z użyciem płytek skrawających. Zastosowanie kilkuelementowej konstrukcji ułatwia technologie wytwarzania w przypadku, gdy narzędzia mają długość powyżej 1,5 m. Przeciągacze o dużych wymiarach ze



Rys. 6.2. Przeciągacze: a) jednolity, b) składany

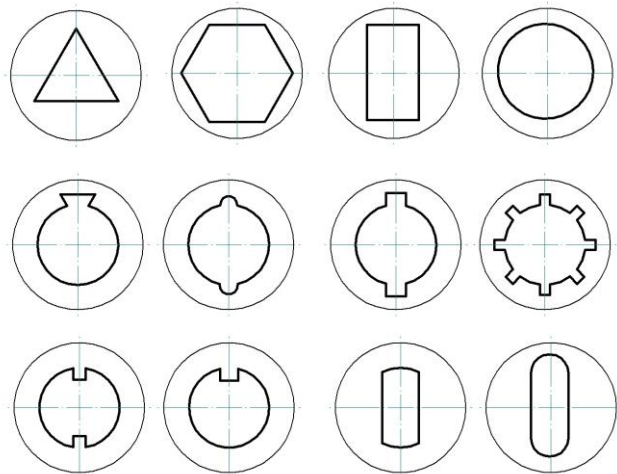
stali szybko tnących wykonuje się niekiedy w sposób zgrzewany, przy czym część chwytowa wykonana jest ze stali konstrukcyjnej, natomiast część robocza ze stali szybko tnącej. Na rysunku 6.2 przedstawiono przykład przeciągacza jednolitego oraz składanego z wstawianymi płytkami skrawającymi.

6.2.2. Podział ze względu na powierzchnię obrabianą

Ze względu na kształt powierzchni obrabianej przeciągacze można podzielić na dwie grupy:

- wewnętrzne – przeciągacze do otworów i rowków wpustowych (tzw. przeciągacze płaskie), służące do obróbki powierzchni zamkniętych na obwodzie we-

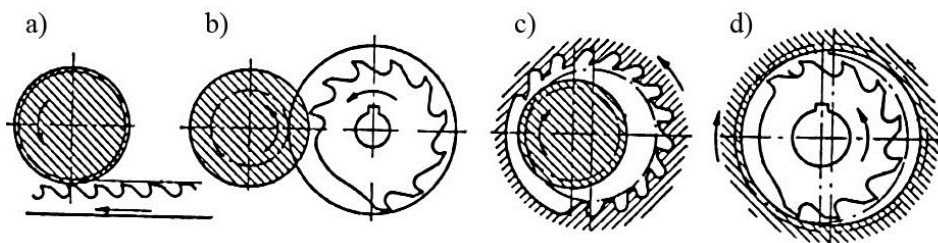
wnętrznym (przykładowe kształty powierzchni obrabianych przeciąganiem przedstawiono na rysunku 6.3),
 - zewnętrzne – służące do obróbki powierzchni zewnętrznych.



Rys. 6.3. Przykładowe kształty powierzchni obrabianych przeciąganiem

6.2.3. Podział ze względu na kinematykę skrawania

Istnieje kilka odmian kinematycznych procesu przeciągania. Najczęściej przeciągacz wykonuje ruch prostoliniowy przy nieruchomym przedmiocie obrabianym w układzie pionowym lub poziomym. Jednak, jeśli wzdłuż przeciąganego otworu znajdują się rowki rozmieszczone po linii śrubowej, wtedy także przeciągacz lub przedmiot wykonują dodatkowy ruch obrotowy. Na rysunku 6.4 przedstawiono różne przypadki obróbki brył obrotowych.



Rys. 6.4. Różne przypadki obróbki powierzchni brył obrotowych przeciąganiem: a) przeciąganie powierzchni zewnętrznej przy prostoliniowym ruchu narzędzia i obrotowym przedmiotu, b i c) przy ruchu obrotowym narzędzia i przedmiotu, d) przeciąganie powierzchni wewnętrznej przy ruchu obrotowym narzędzia i przedmiotu [4]

6.2.4. Podział ze względu na materiał ostrza

Ze względu na materiał ostrza przeciągacze dzielą się na:

- ze stali stopowych,
- ze stali szybkotnących,
- z płytkami z węglików spiekanych.

Stale stopowe, które stosuje się do wyrobu przeciągaczy powinny charakteryzować się małymi odkształceniami podczas obróbki cieplnej (102Cr6, 107WCr5) [2]. Materiały te są rzadko stosowane z uwagi na swoje niskie właściwości skrawne. Za pomocą stali stopowych obrabia się bardziej miękkie gatunki stali i żeliwa. Do wyrobu przeciągaczy stosuje się najczęściej stale szybkotnące HS18-0-1 i HS6-5-2.

6.2.5. Podział ze względu na zarys ostrza

Wyróżnić można przeciągacze o stałym zarysie ostrzy oraz o zmiennym zarysie ostrzy. Krawędzie skrawające ostrzy przeciągacza o stałym zarysie mają kształt odpowiadający zarysowi gotowej powierzchni po obróbce, dlatego też materiał jest usuwany warstwami, które są równoległe do powierzchni obrabianej. Ostatnie ostrza kalibrujące nadają kształt pożądanej powierzchni przedmiotu obrabianego. Natomiast ostrza nagniatające wpływają na stan warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego. Wadą takiej konstrukcji jest utrudnione ostrzenie przeciągacza.

W drugim przypadku zarys krawędzi ostrzy jest inny niż zarys gotowej powierzchni po obróbce, a usuwanie materiału odbywa się warstwami nierównoległymi do tej powierzchni. W wyniku takiej pracy większość ostrzy narzędzia bierze udział w ostatecznym kształtowaniu gotowej powierzchni, co negatywnie wpływa na dokładność i chropowatość powierzchni obrobionej.

6.2.6. Podział ze względu na grubość warstwy skrawanej

Z uwagi na grubość warstwy zdejmowanej przez poszczególne ostrza, różni się przeciąganie cienkimi warstwami – przeciągacze konwencjonalne, oraz przeciąganie grubymi warstwami – przeciągacze sekcyjne [2]. W przeciągaczach sekcyjnych ostrza dzielą się na poszczególne grupy (sekcje). Przy skrawaniu warstwami grubymi stosunek szerokości do grubości wióra jest znacznie mniejszy w stosunku do przeciągania cienkimi warstwami. To sprawia, że w przeciągaczach sekcyjnych opory skrawania są znacząco mniejsze dla tych samych przekrojów. To może mieć duże znaczenie w przypadku przeciągaczy o małych średnicach, których wytrzymałość jest mniejsza lub przy przeciąganiu długich otworów, gdzie większa ilość ostrzy przeciągacza bierze udział jednocześnie w procesie skrawania. Przy przeciąganiu cienkimi warstwami problemem może być nieprawidłowe oddzielanie materiału skrawanego. Istnieje graniczna wartość grubości warstwy skrawanej w stosunku do promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej r_n , przy której proces skrawania zachodzi prawi-

dłowo. Przyjmuje się, że dla grubości warstwy skrawanej $h > 0,02 \text{ mm} > r_n$ rozpoczyna się prawidłowy proces oddzielania warstwy skrawanej.

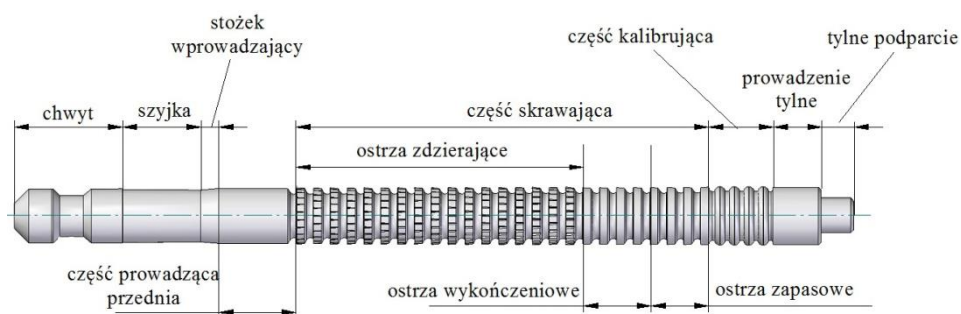
6.3. Budowa przeciągaczy

Przeciągacze charakteryzują się skomplikowaną budową i wymagają wysokiej jakości wykonania. Każda z części przeciągacza spełnia określoną rolę. Na etapie projektowania przeciągacza należy wziąć pod uwagę wiele czynników, takich jak: właściwości materiału obrabianego, wymiary wzdłużne i poprzeczne obrabianego przedmiotu, konstrukcja obrabiarki zapewniającej proces przeciągania, kinematykę obróbki, materiał narzędzia itp. W przeciągaczach wyróżnia następujące części składowe:

- część chwytowa (chwyt, szyjka i stożek wprowadzający),
- część prowadząca przednia,
- część robocza (skrawająca i nagniatąjąca),
- część prowadząca tylna,
- tylne podparcie (przeciągacze długie i wiotkie oraz w przeciągaczach przeznaczonych do pracy na przeciągarkach pionowych).

Części składowe przeciągaczy i przepychaczy przedstawiono na rys. 6.5:

- **Chwyt** – wyróżnia się różne rodzaje części chwytowej w zależności od konstrukcji przeciągarki; należy tak zaprojektować chwyt by dało się prawidłowo zamocować przeciągacz w gnieździe przeciągarki.
- **Cześć łącząca (szyjka)** – jest elementem łączącym chwyt przeciągacza z jego częścią roboczą. Jej długość musi być tak dobrana, aby po przełożeniu przeciągacza przez otwór przedmiotu obrabianego można było swobodnie zamocować chwyt w oprawce.



Rys. 6.5. Budowa przeciągacza

- **Stożek wprowadzający** – służy do łatwiejszego wprowadzenia części prowadzącej przedniej do otworu obrabianego. Długość tej części przyjmuje się w zakresie od 10 do 20 mm.

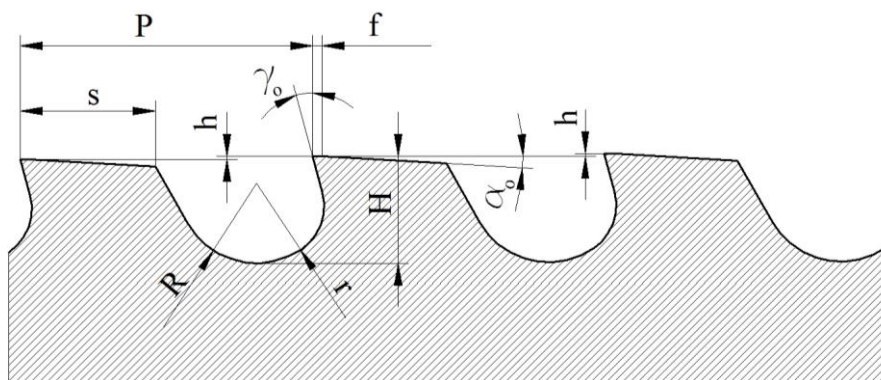
- **Część prowadząca przednia** – główną rolą części prowadzącej przedniej jest prawidłowe, osiowe ustawienie obrabianego przedmiotu względem przeciągacza, co zapewnia równomierne usuwanie materiału wzdłuż całego obwodowego zarysu przeciąganego otworu. Długość części prowadzącej liczy się od podstawy stożka wprowadzającego do krawędzi pierwszego ostrza. Przyjmuje się, że jest ona równa 0,7 długości przeciąganego otworu (orientacyjnie 1,5 średnicy otworu). Nominalny wymiar części prowadzącej równy jest dolnemu wymiarowi granicznemu średnicy wstępnego otworu, tak by można go było przełożyć do zamocowania w gnieździe przeciągarki. Odchyłka wymiaru dla średnicy tej części ustalana jest w klasie f7.
- **Część robocza (skrawająca i nagniatąjąca)** – część obejmująca grupy następujących ostrzy:
 - a) ostrza zdzierające – usuwające większą część naddatku przeznaczonego do usunięcia w warunkach obróbki zgrubnej,
 - b) ostrza wykończeniowe – usuwające pozostałą niewielką część naddatku, nadając kształt, wymiar i jakość powierzchni, występujące w ilości od 2 do 4,
 - c) ostrza zapasowe – występujące w ilości od 3 do 6, które wraz z postępującym zużyciem przeciągacza stopniowo wchodzi do strefy skrawania, przedłużając tym samym żywotność narzędzia,
 - d) ostrza nagniatąjące – występujące w ilości 2 lub 3, których zadaniem jest wytworzenie określonego stanu warstwy wierzchniej obrobionego materiału.
- **Część prowadząca tylna** – zapobiega skośnemu ustawieniu się przedmiotu obrabianego w momencie wyjścia z otworu ostatnich ostrzy wykończeniowych/nagniatąjących. Taka sytuacja mogłaby spowodować uszkodzenie końcowej krawędzi przeciąganego otworu przez te ostrza. Zarys części prowadzącej tylnej jest najczęściej identyczny z zarysem obrabianego otworu, jak, na przykład, w przeciągaczach do otworów cylindrycznych, kwadratowych, prostokątnych, w kształcie wielowypustu itp. Długość części prowadzącej tylnej przyjmuje się w granicach od 0,5 do 0,8 długości otworu, nie mniej jednak niż 20 mm.
- **Tylne podparcie** – w przypadku dłuższych przeciągaczy o niewielkiej średnicy stosuje się tylne podparcie, w celu zabezpieczenia przed zwisem, ujemnie wpływającym na dokładność obróbki. W przeciągaczach pracujących na przeciągarkach pionowych tylne podparcie spełnia rolę tylnego chwytu narzędzia i służy do podnoszenia przeciągacza przez pomocniczy suwak obrabiarki.

6.4. Geometria ostrzy

Geometria ostrza przeciągacza przedstawiona jest na rysunku 6.6. Wymiary, jakie uwzględnia się podczas projektowania, to:

- H – wysokość ostrza,
- γ_o – kąt natarcia,
- α_o – kąt przyłożenia,
- P – wartość podziałki międzyostrzowej,
- h – grubość warstwy skrawanej,
- s – osiowa długość powierzchni przyłożenia,
- f – długość łysinki,
- R, r – promienie zaokrąglenia dna rowka.

Krawędź skrawająca, usytuowana na przecięciu powierzchni natarcia i przyłożenia, jest na ogół prostopadła do kierunku ruchu narzędzia, ale w szczególnych przypadkach może być również skośna.



Rys. 6.6. Geometria ostrza przeciągacza [3]

Wartość kąta natarcia γ_o ostrzy skrawających ustala się w zależności od rodzaju materiału obrabianego. Zalecane wartości przedstawia tab. 6.1.

Aby zmniejszyć siły skrawania podczas przeciągania dąży się do stosowania w przeciągaczach dużych kątów natarcia, co wpływa na łatwiejszy spływ wiórów i mniejszy opór skrawania. Czynnikiem ograniczającym nadmierne zwiększanie kąta natarcia jest spadek wytrzymałości ostrza.

Ostrzenie przeciągacza polega zasadniczo na szlifowaniu tylko powierzchni natarcia. Szlifowanie powierzchni przyłożenia powodowałoby zmianę wymiarów poprzecznych przeciągacza. W tabeli 6.2 przedstawiono zalecane wartości kątów przyłożenia przeciągaczy do otworów, które dobiera się w zależności od rodzaju ostrzy.

Tabela 6.1. Zalecane wartości kąta natarcia γ_o [3]

Rodzaj materiału		γ_o
Stal	$R_m < 650 \text{ MPa}$	$15 \div 18^\circ$
	$R_m = 650 \div 850 \text{ MPa}$	$12 \div 15^\circ$
	$R_m > 850 \text{ MPa}$	$8 \div 10^\circ$
Żeliwo	szare	$4 \div 10^\circ$
	ciągliwe	10°
Miedź i aluminium		$15 \div 20^\circ$
Brąz		$0 \div 5^\circ$

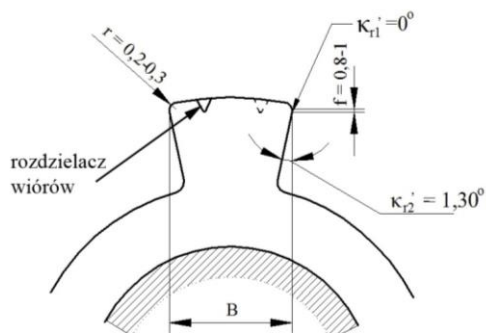
W przypadku obróbki otworu wielorowkowego, lub rowków wpustowych, ostrze powinno być wykonane tak, aby zawierało pomocniczy kąt przystawienia κ_{r2}' oraz łysinkę o kącie κ_{r1}' równym zero. Służy to zmniejszeniu tarcia na bocznych powierzchniach ostrza. Zaleca się także stosowanie naroża

Tabela 6.2. Zalecane wartości kątów przyłożenia α_o [3]

Rodzaj ostrzy	α_o
Zdzierające	$1^\circ 30' \div 3^\circ$
Wykończeniowe	$0^\circ 30' \div 1^\circ$
Zapasowe	$0^\circ 30'$

z promieniem r , lub odpowiednim ścięciem pod kątem 45° [6].

W przypadku obróbki otworów okrągłych lub kształtowych o długich zarysach, problemem jest znaczna szerokość wióra. W takim przypadku powstający wiór zakleszcza się i utrudnione jest prawidłowe zwijanie wióra w rowku



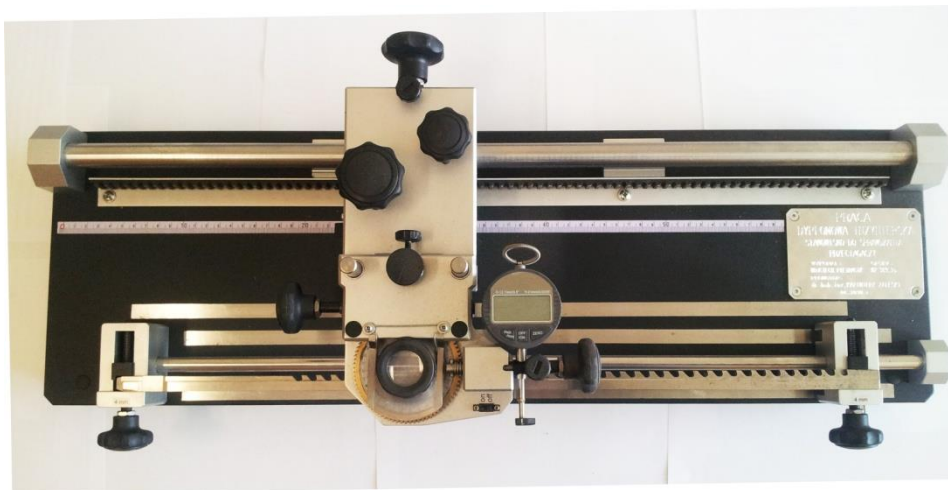
Rys. 6.7. Ukształtowanie pomocniczej krawędzi skrawającej w przeciągaczu do otworów wielorowkowych [8]

wiórowym. Dla ułatwienia zwijania wiórów, ostrza o szerokości $B = 6 \div 8$ mm wyposaża się w przemiennie ułożone rozdzielacze warstwy skrawanej. Są to tzw. rozdzielacze wiórów (rys. 6.7) [1].

Ostrza przeciągaczy wyposażone są w łysinki walcowe o szerokości f . Łysinki zwiększają tarcie ostrzy o materiał, jednak są niezbędne w celu zachowania wymiarów poprzecznych przeciągacza, a tym samym żywotności narzędzia. Dla ostrzy części skrawającej szerokość łysinki $f = 0,05$ mm. Natomiast łysinki na ostrzach kalibrujących są pożądane z uwagi na wygładzanie powierzchni obrabianej. Szerokość łysinki na ostrzach kalibrujących stopniowo wzrasta od 0,2 mm na ostrzu pierwszym, do 1,2 mm – na ostatnim [4, 8].

6.5. Stanowisko do pomiaru geometrii ostrzy przeciągacza

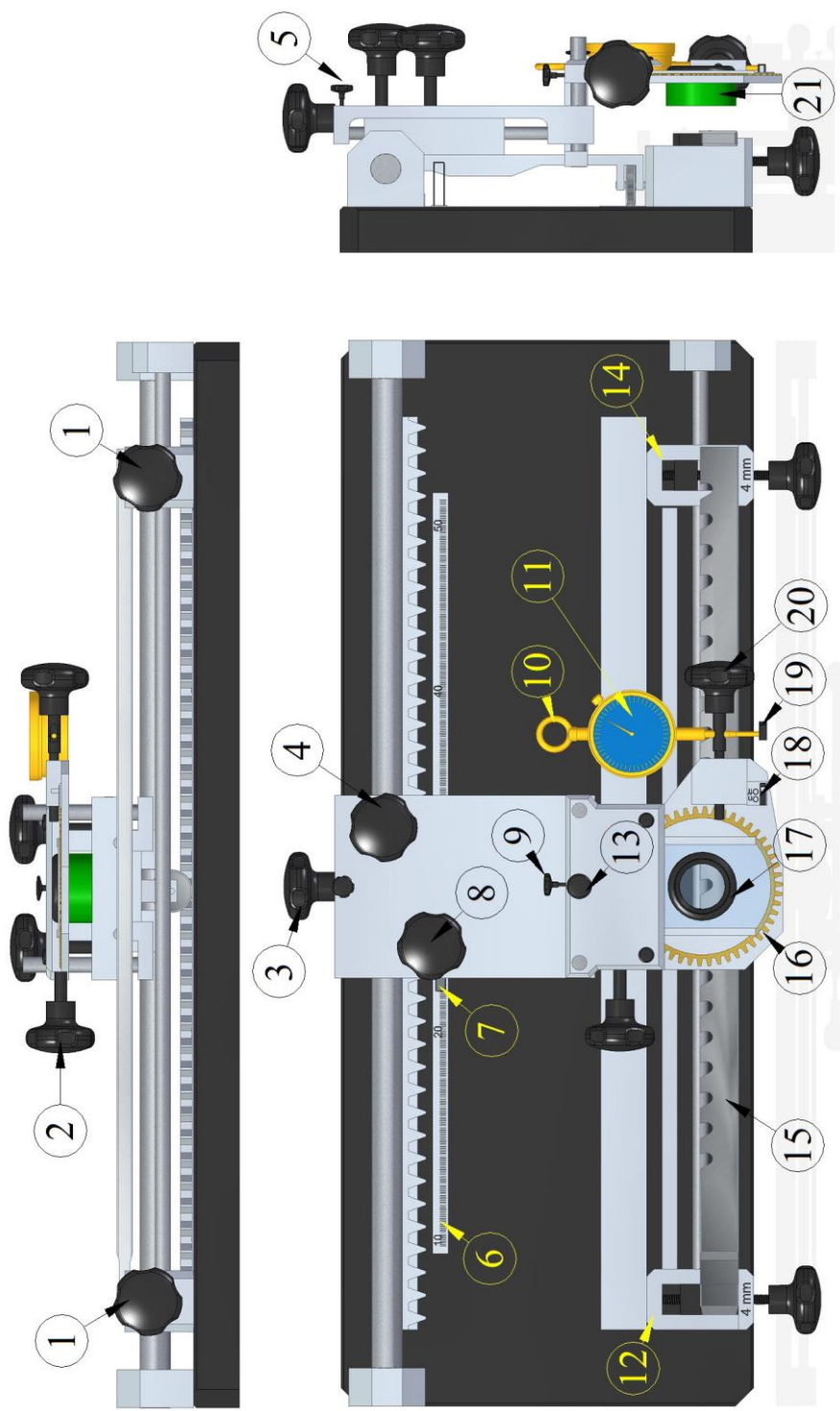
Widok stanowiska do pomiaru geometrii przeciągaczy przedstawiono na rysunku 6.8.



Rys. 6.8. Widok stanowiska do pomiaru geometrii przeciągaczy

Sprawdzenie przeciągaczy (przepychaczy) na stanowisku obejmuje pomiar:

- długości przeciągacza,
- wymiarów części chwytowej,
- wymiarów przedniego prowadzenia (długość i szerokość),
- wymiarów tylnego prowadzenia (długość i szerokość),
- podziałki międzyostrzowej,
- naddatku obróbkowego na ostrze,
- szerokości powierzchni przyłożenia (szerokość łysinek),
- kąta natarcia ostrzy,



Rys. 6.9. Schemat stanowiska do pomiaru geometrii przeciągaczy

- kąta przyłożenia ostrzy,
- kształt rowków międzyzębnych,
- symetryczności położenia krawędzi skrawającej.

Na rysunku 6.9 przedstawiono model stanowiska z wyszczególnionymi elementami składowymi.

Opis schematu stanowiska:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1) pokrętło zaciskowe uchwytów bazowych, | 12) uchwyt bazowy stały, |
| 2) pokrętło przekładni ślimakowej, | 13) pokrętło przesuwu pionowego, |
| 3) pokrętło przesuwu poziomego, | 14) uchwyt bazowy ruchomy, |
| 4) blokada przesuwu głównego, | 15) przeciągacz |
| 5) blokada przesuwu poziomego, | 16) kątomierz, |
| 6) przymiar liniowy, | 17) lupa pomiarowa, |
| 7) wskaźnik przymiaru liniowego, | 18) włącznik, |
| 8) pokrętło przesuwu głównego, | 19) końcówka pomiarowa czujnika, |
| 9) blokada przesuwu pionowego, | 20) pokrętło obrotowe czujnika, |
| 10) uchwyt specjalny | 21) zderzak, |
| 11) czujnik cyfrowy, | |

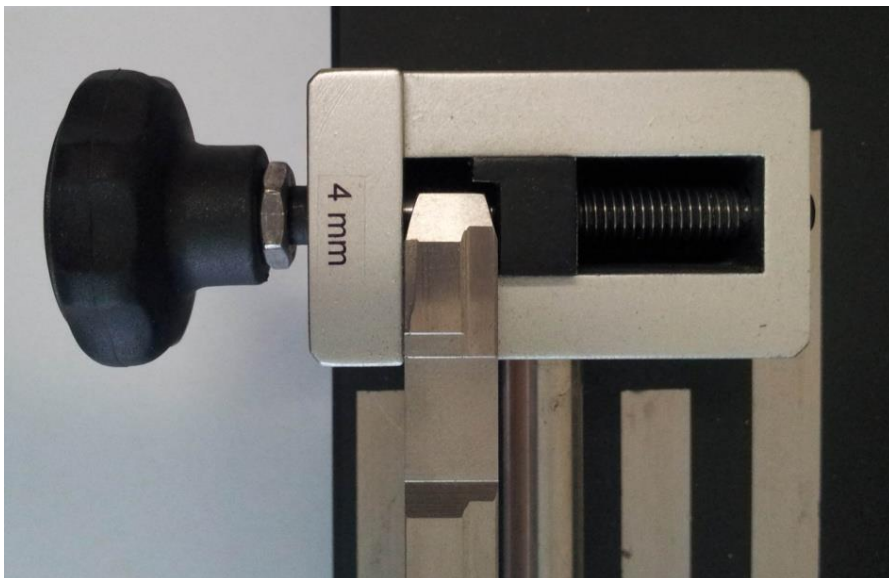
6.5.1. Uwagi ogólne

Przed przeprowadzeniem pomiaru przeciągaczy lub przepychaczy na stanowisku pomiarowym zaleca się dokonać ogólnych oględzin urządzenia. Należy zwrócić uwagę na stan wszystkich wałków szlifowanych stanowiących prowadnice elementów ruchomych. Ich powierzchnie powinny być wolne od kurzu korozji i innych zabrudzeń. Należy także sprawdzić stan powierzchni płyty podstawowej, po których przesuwają się rolka korpusu głównego oraz rolki kostki bazowej przesuwnej. Wszelkie uszkodzenie mechaniczne należy zgłosić prowadzącemu zajęcia. Podczas transportu stanowiska zablokować ruchome elementy blokadami 4, 5, 9.

6.5.2. Pomiary długości przedniego i tylnego prowadzenia oraz całkowitej długości narzędzia

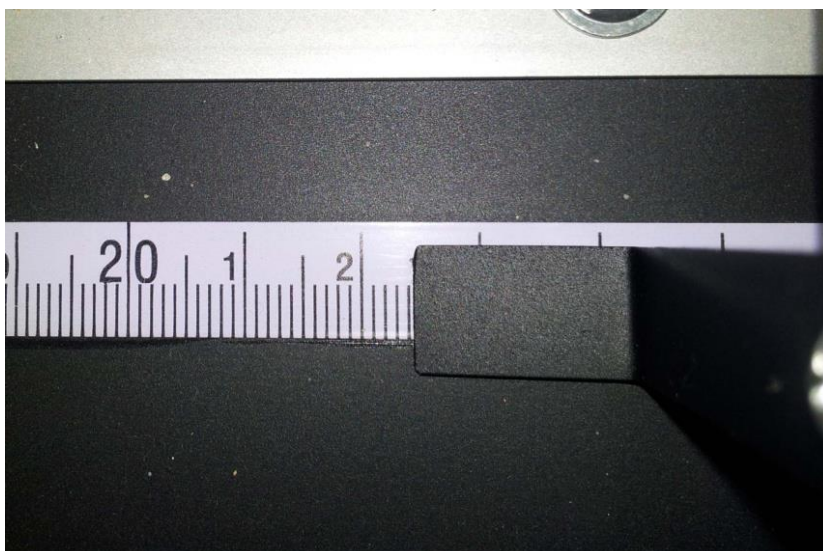
W celu przeprowadzenia pomiarów długości poszczególnych części składowych przeciągaczy lub przepychaczy należy:

- 1) zamocować narzędzie w uchwytach bazowych 12, 14, za pomocą pokręteł zaciskowych uchwytów bazowych 1 (rys. 6.10),
- 2) punkt zerowy lupy pomiarowej 17 ustawić na krawędzi części chwytowej,
- 3) sprawdzić położenie wskaźnika przymiaru liniowego 7, który powinien wskazywać wartość „0”,



Rys. 6.10. Zamocowanie przeciągacza w zamku uchwyty bazowego

- 4) za pomocą pokrętkła przesuwu poziomego 3 obracać do momentu, kiedy punkt zerowy lupy pomiarowej 17 znajdzie się w miejscu, w którym należy zakończyć pomiar (koniec części chwytowej, koniec narzędzia),
- 5) odczytać wskazaną wartość na przymiarze liniowym 6 (rys. 6.11).



Rys. 6.11. Pomiar długości narzędzia

6.5.3. Pomiary części chwytowej oraz wymiarów poprzecznych narzędzia

Wyznaczenie długości części chwytowej oraz wymiarów poprzecznych może być zrealizowane na dwa sposoby. Dla narzędzi (przeciągaczy lub przepychaczy), których szerokość i wysokość jest mniejsza niż 20 mm pomiar ten może być zrealizowany przy użyciu szablonu lupy pomiarowej 3. W tym celu należy ustawić lupę odpowiednio za pomocą pokręteł: 8, 3, 13, 2. Do pomiaru narzędzi, dla których wymiary poprzeczne są większe niż 20 mm należy skorzystać z płytek wzorcowych. Pomiar odbywa się wg następujących czynności:

- 1) zamocować narzędzie w uchwytach bazowych 12, 14,
- 2) umieścić płytkę wzorcową na powierzchni uchwytu bazowego z napisem 4 mm,
- 3) ustawić czujnik cyfrowy 11 w pozycji pionowej za pomocą pokrętła obrotowego 20,
- 4) posługując się pokrętkami 8, 3 i 13 ustawić stopkę 19 na powierzchni płytki wzorcowej,
- 5) zablokować przesuw główny i pionowy pokrętkami 4 i 9,
- 6) wyzerować wskazanie czujnika pomiarowego,
- 7) podnieść trzpień czujnika za pomocą specjalnego uchwytu 10 (rys. 6.12),



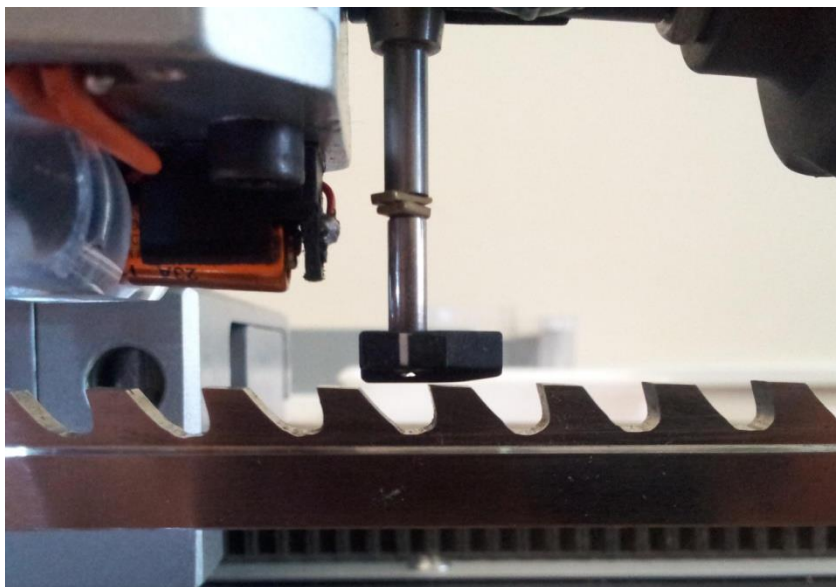
Rys. 6.12. Podniesienie trzpień czujnika pomiarowego za pomocą specjalnego uchwytu

- 8) trzymając trzpień w pozycji podniesionej ustawić pokręteł 3 przesuwu poziomego stopkę 19 czujnika pomiarowego tak, aby po zwolnieniu trzpienia stopka czujnika trafiła na powierzchnię narzędzia,
- 9) zwolnić trzpień czujnika, tak by stopka oparła się na powierzchni narzędzia,
- 10) odczytać wartość wskazaną przez czujnik pomiarowy,
- 11) do odczytanej wartości dodać 4 mm oraz grubość płytki wzorcowej.

6.5.4. Pomiary wysokości ostrzy

W celu przeprowadzenia pomiarów wysokości ostrzy przeciągaczy lub przepychaczy należy:

- 1) zamocować narzędzie ostrzami skrawającymi ku górze w uchwytach bazowych 12 i 14,
- 2) przy użyciu pokręła obrotowego 20 ustawić czujnik pomiarowy 11 w pozycji pionowej,
- 3) za pomocą pokręteł 8, 3 i 13 ustawić stopkę 19 na powierzchni części prowadzącej narzędzia,
- 4) zablokować przesuw poziomy i pionowy pokręteł 5 i 9,
- 5) wyzerować wskazanie czujnika pomiarowego 11,
- 6) obracając pokręteł przesuwu głównego 8 ustawić położenie stopki na kolejnym ostrzu (linia znajdująca się na stopce powinna pokryć się z narożem ostrza, rys. 6.13),



Rys. 6.13. Ustawienie stopki na ostrzu przeciągacza

- 7) odczytać wartość wskazaną przez czujnik pomiarowy,
- 8) czynności punktu 5 i 6 powtórzyć, aż do ostatniego ostrza.

Pomiar symetryczności położenia krawędzi skrawającej można przeprowadzić podobnie jak w przypadku pomiaru wysokości ostrzy. W tym celu należy jedynie zamocować narzędzie na bocznej powierzchni (ostrzami skierowanymi do wewnątrz stanowiska). Ustawienie stopki 19 na pomocniczej powierzchni przystawienia pozwala na rozpoczęcie pomiaru.

6.5.5. Pomiary podziałki, łysinek i sprawdzanie kształtu rowków międzyzębnych

Pomiary podziałki, łysinek i sprawdzanie rowków międzyzębnych wykonuje się przy użyciu lupy pomiarowej 17. W tym celu należy doświetlić miejsce pomiaru poprzez załączenie włącznikiem 18 oświetlenia obszaru pomiarowego. Podczas pomiaru podziałki oraz łysinek posługujemy się lupą oraz szablonem odcinka 20 mm, a w celu sprawdzenia kształtu rowków międzyzębnych wykorzystujemy szablon promieni. Pomiaru podziałki dokonujemy poprzez odpowiednie ustawienie lupy pomiarowej względem ostrza narzędzia, za pomocą pokręteł 8, 3, 13 i 2.

6.5.6. Pomiary kąta natarcia i przyłożenia

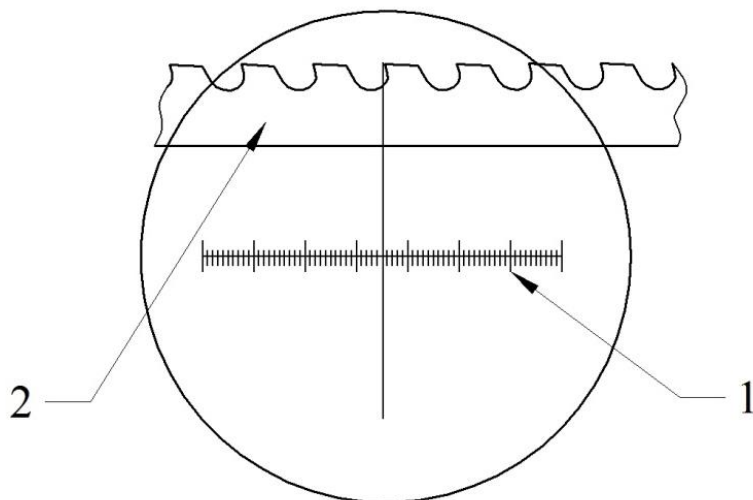
Pomiary kąta natarcia i przyłożenia poszczególnych ostrzy należy wykonać według następujących czynności:

- 1) zamocować narzędzie na bocznej powierzchni w uchwytach bazowych 12 i 14 (ostrzami skierowanymi do wewnątrz stanowiska, rys. 6.14),



Rys. 6.14. Zamocowanie przeciągacza na powierzchni bocznej

- 2) za pomocą pokrętła przesuwu pionowego 13 ustawić położenie zderzaka 21 stycznie do bocznej powierzchni narzędzia,
- 3) za pomocą pokrętła 9 zablokować przesuw pionowy,
- 4) przy użyciu pokrętła przesuwu poziomego 3, pokrętła przekładni ślimakowej 2 i pokrętła przesuwu głównego 8 ustawić szablon odcinka 20 mm równoległe do krawędzi narzędzia (sposób ustawienia przedstawiono na rys. 6.15),



Rys. 6.15. Ustawienie szablonu lupy pomiarowej: 1) szablon odcinka 20 mm, 2) przeciągacz

- 5) linię prostopadłą do szablonu odcinka 20 mm ustawić równoległe do powierzchni natarcia lub przyłożenia (w zależności od mierzonego kąta) za pomocą pokrętła 3 i 13,
- 6) odczytać wartość kąta na kątomierzu 16.

6.6. Wykonanie ćwiczenia

6.6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i geometrią ostrzy przeciągaczy oraz wyznaczenie, korzystając ze stanowiska do pomiaru przeciągaczy, podstawowych wymiarów oraz kątów natarcia i przyłożenia.

6.6.2. Przebieg ćwiczenia

Przed przystąpieniem do ćwiczenia dokonać oględzin stanowiska (p. 6.5.1). Za pomocą liniału krawędziowego sprawdzić płaskość prowadnicy głównej oraz powierzchni płyty podstawowej, po której przesuwają się rolki korpusu główne-

go i uchwytu bazowego ruchomego. Następnie na stanowisku do pomiaru przeciągaczy przeprowadzić pomiary:

- 1) całkowitej długości przeciągacza,
- 2) części chwytowej,
- 3) przedniego prowadzenia (długość i gabaryty poprzeczne),
- 4) tylnego prowadzenia (długość i gabaryty poprzeczne),
- 5) wysokości ostrzy,
- 6) podziałki,
- 7) szerokości powierzchni przyłożenia (szerokość łysinek),
- 8) kąta natarcia i przyłożenia ostrzy,
- 9) kształtu rowków międzyzębnych,
- 10) symetryczności położenia krawędzi skrawającej.

Opis pomiarów poszczególnych elementów składowych przeciągacza oraz geometrii ostrzy znajduje się w podrozdziale 6.5. W tabeli 3 przedstawiono wymagane dokładności pomiaru.

Tabela 6. 3. Dokładność i sposób pomiaru poszczególnych wielkości przeciągaczy

Wielkość	Przyrząd pomiarowy	Wartość działki elementarnej
kąt natarcia	lupa pomiarowa i kątomierz uniwersalny	5''
kąt przyłożenia	lupa pomiarowa i kątomierz uniwersalny	5''
długość całkowita i długość poszczególnych części narzędzia	Przymiar liniowy	1 mm
wymiary poprzeczne	lupa pomiarowa (szablon odcinka 20 mm)	0,1 mm
podziałka	lupa pomiarowa (szablon odcinka 20 mm)	0,1 mm
szerokość łysinek	lupa pomiarowa (szablon odcinka 20 mm)	0,1 mm
kształt rowków międzyzębnych	lupa pomiarowa (szablon promieni)	0,5 mm
Uwaga: Dokładność pomiaru wymiarów porzecznych za pomocą czujnika cyfrowego zależna jest od granicznego błędu czujnika ($\Delta W = 0,02$).		

6.6.3. Wzór protokołu

Rodzaj narzędzia		
kąt natarcia γ		
kąt przyłożenia α		
długość całkowita		
długość części chwytowej		
długość i szerokość przedniego prowadzenia		
długość i szerokość tylnego prowadzenia		
wysokość ostrzy		
podziałka		
szerokość powierzchni przyłożenia		
kształt rowków międzyzębnych		
symetryczność położenia krawędzi skrawającej		

6.6.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) schemat badanego przeciągacza wraz z zaznaczonymi elementami składowymi (rys.6.5),
- 2) charakterystykę przeciągacza (opis elementów składowych, materiał części roboczej),
- 3) wypełniony protokół pomiarowy,
- 4) wnioski.

Literatura

1. Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2006.
2. Górski E.: *Narzędzia skrawające kształtowe*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1971.
3. Górski E., Harasymowicz J.: *Podstawy projektowania narzędzi skrawających wraz z zagadnieniami technologicznymi*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
4. Dobrzyński T.: *Części maszyn* [W:] Reymers B. (red.): *Poradnik mechanika*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1985.
5. Górski E.: *Poradnik narzędziowca*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1980.
6. Hulboj S.: *Ostrzenie i pomiary narzędzi skrawających*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1992.
7. Kolman R.: *Miernictwo warsztatowe*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1971.

8. Kunstetter S.: *Narzędzia skrawające do metali*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1973.
9. Miracki J.: *Przeciąganie*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1975.
10. Sadowski A.: *Narzędzia pomiarowe do kontroli wymiarów*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1965.
11. Sadowski A.: *Sprawdzanie narzędzi skrawających*, Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1956.

7. Sprawdzanie ściernic

7.1. Wiadomości ogólne

Obróbka ścierna może być realizowana za pomocą narzędzi spojonych, narzędzi nasypowych oraz luźnych ziaren ściernych. Do narzędzi spojonych zalicza się ściernice, osełki i segmenty ściernic [2].

7.2. Materiały ściernic i spoiwa

7.2.1. Materiały ściernic

Materiał ścierny jest to substancja mineralna, naturalna bądź sztuczna, po rozdrobnieniu której powstałe elementy mają właściwości ostrzy skrawających. Materiały ściernic są to ciała stałe krystaliczne, charakteryzujące się dużą twardością, dużą odpornością na ścieranie oraz wytrzymałością na zginanie i ściskanie, stosowane do obróbki innych ciał stałych, zwykle mniej twardych [2, 4].

Zgodnie z normą PN-84/M-59100, materiały ściernic dzieli się na dwie grupy: naturalne i sztuczne. Do materiałów naturalnych zalicza się: krzemień (KM), granat (G), korund (AN), szmergiel (N), pumeks (P) oraz diament naturalny [D]. Materiały sztuczne to: elektrokorund (A), węgiel krzemu (C), węgiel boru (BC), regularny azotek boru (B), diament syntetyczny (DS.), kompozyt diamentowy (KD) oraz kompozyt z regularnego azotku boru (KB).

Materiały ściernic naturalne (wyjątkiem jest diament) posiadają na ogół niską jakość, dlatego też spełniają one rolę drugorzędną przy produkcji narzędzi ściernych. Stosowane są głównie do wyrobu niektórych papierów i płócien ściernych oraz, niekiedy, jako luźne materiały ściernic [1, 2].

Największe zastosowanie wśród materiałów sztucznych znajduje **elektrokorund (A)**. Jego głównym składnikiem jest krystaliczny tlenek glinu α Al_2O_3 , otrzymany przez stopienie technicznego tlenku glinu lub boksytu z dodatkiem materiału redukującego w piecach oporowo - łukowych [2, 4]. Twardość jego wynosi 9 w skali Mohsa, a według metody Knoopa zawiera się w przedziale 16,35÷21,5 GPa. Elektrokorund posiada wiele gatunków, których właściwości oraz odmiany zależą od ilości niepożądanych domieszek (zanieczyszczeń) lub celowo dodanych składników uszlachetniających. Można wyróżnić: elektrokorund zwykły (95A), półszlachetny (97A), szlachetny (99A), spiekany (96SA), szlachetny niskosodowy (99NSA), chromowy (CrA), tytanowy (TiA) cyrkonowy (ZrA) oraz monokorund (MA) [4].

Węgiel krzemu (C) powszechnie zwany karbokorundem jest to minerał syntetyczny α – SiC, otrzymany w wyniku syntezy krzemu i węgla, krystalizujący w układzie heksagonalnym [4]. Karborund cechuje się twardością 9,5 w skali Mohsa (24,5 GPa w skali Knoop), dużą wytrzymałością mechaniczną w wyso-

kiej temperaturze, bardzo dobrym przewodnictwem cieplnym a także elektrycznym. Stosowany jest on na narzędzia spojone, nasypowe oraz jako luźny materiał ścierny. Można wyróżnić dwie odmiany węgla krzemu, różniące się stopniem czystości: węgiel krzemu zielony (99C) oraz węgiel krzemu czarny (98C) [1-3].

Materiałem ściernym powszechnie stosowanym jest również **węgiel boru (BC)**, który jako minerał syntetyczny B_4C otrzymywany jest elektrotermicznie z mieszaniny bezwodnego kwasu borowego i węgla [4]. Twardość węgla boru wynosi 9,9 w skali Mohsa (w skali Knoop 40 GPa). Jego wadą jest uleganie procesowi utleniania w temperaturze powyżej 800 °C, dlatego nie jest stosowany do budowy ściernic. Używany jest jako luźny materiał ścierny.

W grupie materiałów sztucznych można wyróżnić materiały supertwarde. Zalicza się do tej grupy **diament syntetyczny (DS)** oraz **regularny azotek boru (B)**. Pozostałe materiały ściernie określa się potocznie mianem konwencjonalnych lub klasycznych [3]. **Diament syntetyczny (DS)** otrzymywany jest w wyniku sztucznej przemiany w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury. Charakteryzuje się twardością 10 w skali Mohsa (w skali Knoop - 70 GPa), najlepszą przewodnością cieplną i jest bardzo odporny na ścieranie. Ziarna diamentu syntetycznego wykorzystywane są do budowy tarcz oraz oselek ściernych [1,2].

Regularny azotek boru (B) w technice znany jest także pod wieloma innymi nazwami: borazon, amber, kubonit. Powstaje w wyniku przemiany azotku boru heksagonalnego w regularny pod wpływem wysokiego ciśnienia i temperatury [2, 4]. Twardość borazonu według skali Knoop wynosi 47 GPa, jest także odporny na temperaturę do 1400 °C oraz obojętny na kontakt z żelazem, niklem i kobaltem w wysokich temperaturach, co pozwala na stosowanie go do obróbki stali i żeliw.

7.2.2. Spoiwo

Spoiwo jest to materiał łączący ziarna ściernie. Jego głównym zadaniem jest (zamocowanie) ziaren ściernych i utrzymanie ich tak długo, aż osiągną odpowiedni stan zużycia. Następnie ziarno wykrusza się w całości lub z częścią spoiwa i odsłania nowe ziarno [1]. Spoiwo powinno być dostatecznie wytrzymałe i tworzyć trwałe połączenia (mostki) z ziarnami ściernymi.

Spoiwa stosowane w produkcji narzędzi ściernych można podzielić na dwie zasadnicze grupy [4]:

- spoiwa nieorganiczne: ceramiczne (V), magnezytowe (Mg), krzemianowe (K), metalowe spiekane (M) oraz metalowe galwaniczne (G),
- spoiwa organiczne, do których należą: spoiwa żywiczne naturalne zwane szelakowymi (E), sztuczne (B), gumowe (R) oraz klejowe (KS).

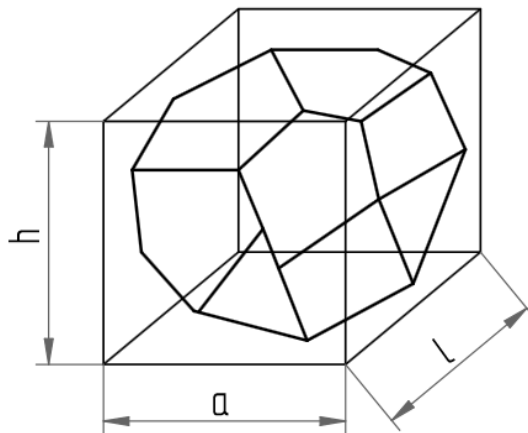
Oprócz wymienionych spoiw należy jeszcze wyróżnić spoiwa mechaniczne wzmocnione żywicznie (BF) oraz gumowe (RF). Jako elementy wzmacniające mogą być stosowane siatki metalowe albo tkaniny z włókien naturalnych lub sztucznych.

Spoiwa ceramiczne (V) przeznaczone są do łączenia ziaren elektrokorundów oraz karbokorundów. W produkcji ściernic miękkich wykorzystywane są spoiwa magnezytowe (Mg) oraz krzemianowe (K). Spoiwa metalowe (M, G) stosowane są do wyrobu narzędzi z materiałów supertwardych (diament, borazon). Spoiwo szelakowe (E) jest miękkie i elastyczne, co pozwala stosować je do produkcji narzędzi polerskich. Natomiast spoiwo sztuczne (B) przeznaczone jest do produkcji ściernic do przecinania, z kolei gumowe (R) znajduje zastosowanie przy wytwarzaniu ściernic o małej grubości [1, 2].

Niekiedy w procesie wytwarzania narzędzi ściernych dodaje się do spoiwa substancje wypełniające zwane wypełniaczami. Na wypełniacze stosowane są następujące materiały: mączka kwarcowa, wodorotlenek wapniowy, piryt, tlenek żelaza, tlenek tytanu, tlenek cyrkonu, krzemionka, żelazo. Wybór wypełniacza uzależniony jest od rodzaju materiału ściernego. Głównym zadaniem wypełniacza jest polepszenie właściwości skrawnych a co za tym idzie, zwiększenie obciążalności ściernicy [1].

7.2.3. Wielkość i kształt ziarna

Materiał ścierny po rozdrobnieniu składa się z ziaren ściernych. Ziarna mogą mieć różne wymiary i kształty. W przybliżeniu określają je wymiary prostopadłościanu opisanego na ziarnie (rys.7.1), gdzie l – długość, h – wysokość, a – szerokość.



Rys. 7.1. Podstawowe wymiary ziarna ściernego [4]

Ziarna stosowane do produkcji narzędzi ściernych uporządkowane są według skali wielkości ziaren, zwanej skalą Nortona. Podstawą klasyfikacji ziaren jest

wymiar a , przy czym $l \geq a \geq h$ oraz $\frac{l}{h} \leq 3$. Ziarna o wielkości $a \geq 53\mu\text{m}$ sortowane są na sitach, natomiast gdy $a \leq 53\mu\text{m}$ (mikroziarna) są one rozdzielane metodą sedymentacji. Ziarno otrzymuje numer sita, na którym się zatrzymuje. Numer ten to ilość oczek sita na długości jednego cala [2].

Kryterium podziału ziaren ściernych jest stosunek wymiarów $l : a : h$. W zależności od stosunku wymiarów można wyróżnić następujące kształty ziaren ściernych:

- izometryczne $1 : 1 : 1$,
- blaszkowate $1 : 1 : 0,33$,
- iglaste $1 : 0,33 : 0,33$.

Do produkcji klasycznych narzędzi skrawających najczęściej wykorzystywane są ziarna izometryczne. Wielkość ziarna ma decydujący wpływ na jakość powierzchni i składowe sił szlifowania [1, 2, 4].

7.3. Ściernice

Ściernicą nazywa się bryłę stałą o ustalonym kształcie oraz wymiarach, która posiada ziarna ściernie związane w sposób dostatecznie trwały za pomocą spoiwa. Ziarna ściernie spełniają rolę ostrzy skrawających, a spoiwo części chwytowej [2].

Narzędzie ściernie utworzone jest przez trzy podstawowe składniki: ziarna ściernie – o udziale procentowym w objętości ściernicy V_z , spoiwo – V_{sp} oraz pory – V_o . Objętość narzędzia ściernego jest sumą objętości poszczególnych składników [1].

$$V = V_z + V_{sp} + V_o = 100\% \quad (7.1)$$

7.3.1. Struktura ściernic

Struktura ściernicy określana jest umownie za pomocą liczby N . Oznacza ona objętościowy udział ścierniwa V_z w całkowitej objętości narzędzia spójnego wyrażonego w procentach (7.2).

$$V_z = 62 - 2N [\%] \quad (7.2)$$

gdzie: N – numer struktury ($N = 0 \div 4$ – struktura zwarta, $N = 5 \div 8$ – struktura średnia, $N = 9 \div 14$ – struktura otwarta).

Zmiana udziału procentowego jednego ze składników narzędzia musi spowodować zmianę udziału innego składnika w objętości tego narzędzia, a zatem

i zmianę właściwości eksploatacyjnych narzędzia. Objętość zastosowanego spoiwa także uzależniona jest od numeru struktury oraz od założonej porowatości ściernicy [2].

7.3.2. Twardość ściernic

Twardość ściernicy jest to odporność na wyrywanie ziaren ściernych z otaczającego ją spoiwa. Można ją określić siłą potrzebną do wyrywania ziarna ze ściernicy. Uzależniona jest ona od przyczepności spoiwa do ziarna oraz od wytrzymałości mostków spoiwa [2].

Twardość oznacza się wielkimi literami alfabetu łacińskiego. Obowiązuje następująca skala twardości [2]:

- A B C D – ściernica nadzwyczaj miękka,
- E F G – ściernica bardzo miękka,
- H I J K – ściernica miękka,
- L M N O – ściernica średnia,
- P Q R S – ściernica twarda,
- T U W Z – ściernica bardzo twarda,
- X Y Z – ściernica nadzwyczaj twarda.

Pomiar twardości narzędzi ściernych realizowany jest metodą piaskową [5] albo metodą wciskania kulki [6].

Metoda piaskowa realizowana jest za pomocą aparatu piaskowego. Na powierzchnię ściernicy działa skierowany prostopadle strumień piasku kwarcowego pod odpowiednim ciśnieniem. Miarą twardości jest wartość wgłębienia h [mm] utworzonego na powierzchni ściernicy [5]. Metoda piaskowa dedykowana jest do określania twardości narzędzi ściernych o spoiwie ceramicznym i żywicznym.

Pomiar twardości metodą wciskania kulki przeprowadza się za pomocą aparatu Rockwella. Podstawą oceny twardości jest trwały przyrost głębokości odcisku kulki [6].

Istnieją także metody wykorzystujące pomiary drgań ściernicy w celu określenia modułu sprężystości E . Wartość modułu E wzrasta prostoliniowo ze wzrostem twardości ściernicy [2].

7.3.3. Rodzaje ściernic

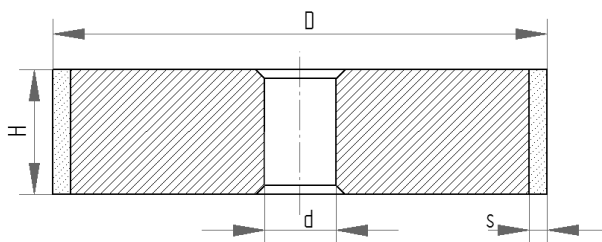
Narzędzia spojone stosowane do szlifowania można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- ściernice (T),
- segmenty ściernic (S).

W przypadku ściernic, w zależności od wykorzystania materiałów ściernych, można mówić o ściernicach klasycznych (T) (konwencjonalnych) oraz o ściernicach supertwardych (S). Klasyczna ściernica to spiek materiału ściernego oraz spoiwa. Ściernica supertwarda ze względów ekonomicznych ma zupełnie inną

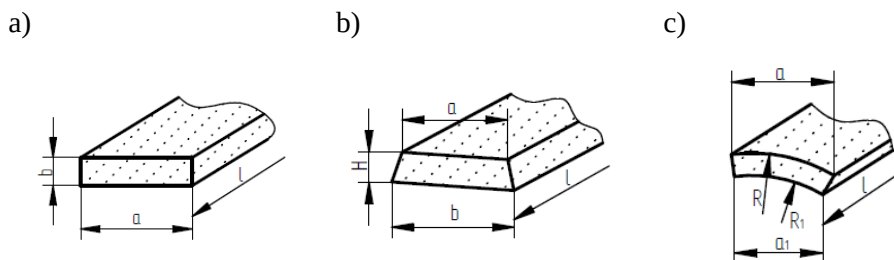
budowę. Składa się ona z korpusu, na który w różny sposób zostaje naniesiona warstwa ścierna, składająca się ze ścierniwa supertwardego oraz spoiwa (rys. 7.2.) [1]. Na korpusy ściernic supertwardych stosowane są najczęściej następujące materiały:

- stop aluminium – dedykowany przy produkcji narzędzi wąskich (ze względu na wysoką stabilność) lub, gdy ściernica osiąga duże prędkości obwodowe (ze względu na bezpieczeństwo pracy); korpusy wykonane ze stopu aluminium posiadają dużą wytrzymałość;
- tworzywo sztuczne termoutwardzalne – charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami tłumiącymi;
- tworzywo sztuczne z wiórami aluminiowymi [1].



Rys. 7.2. Budowa ściernicy płaskiej z materiałów supertwardych z wymiarami charakterystycznymi [13]

Segmenty ściernie dzielą się na prostokątne, trapezowe i pierścieniowe (rys. 7.3). Ich komplety zamontowane w korpusie tworzą ściernice segmentową [1].

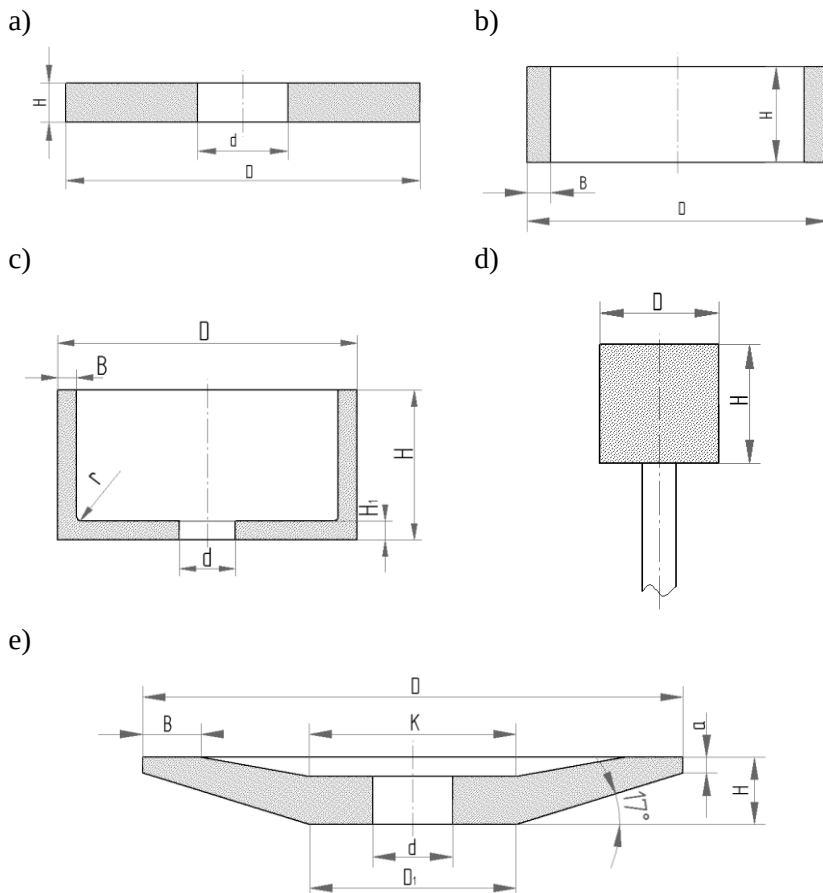


Rys. 7.3. Segmenty ściernie wraz z wymiarami charakterystycznymi a) prostokątny, b) trapezowy, c) pierścieniowy [2]

Ściernice, w zależności od kształtu bryły, można podzielić na (rys. 7.4):

- ściernice płaskie,
- ściernice pierścieniowe,
- ściernice garnkowe,
- ściernice talerzowe,
- ściernice trzpieniowe.

Podział ten dotyczy zarówno ściernic konwencjonalnych jak i supertwardych.



Rys. 7.4. Przykłady kształtów ściernic z wymiarami charakterystycznymi a) ściernica płaska (typu T1) [7], b) ściernica pierścieniowa (typu T2) [8], c) ściernica garnkowa (walcowa typu T6) [9], d) ściernica trzpieniowa (walcowa typu T30.10) [11], e) ściernica talerzowa (typu T12) [10]

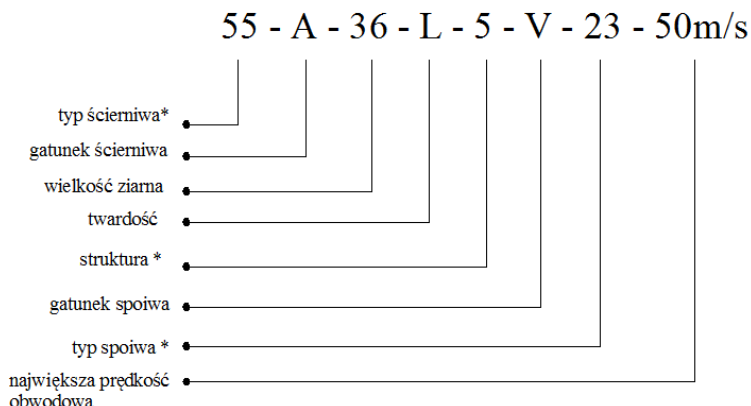
7.3.4. Oznaczanie ściernic

Zgodnie z PN- ISO 525:2001 pełne oznaczenie ściernicy z materiałów twardych spojonych powinno zawierać informacje podane w następującej kolejności:

1. Oznaczenie ściernicy zgodnie z właściwym rozdziałem ISO 603;
2. Blok numeru normy międzynarodowej;
3. Typ ściernicy;
4. Zarys ściernicy (jeśli jest wymagany);
5. Wymiary nominalne;

6. Specyfikacje;
7. Największą prędkość obwodową [12].

Specyfikacja składa się z siedmiu symboli, które charakteryzują w sposób bardziej szczegółowy właściwości fizykochemiczne ściernicy (rys. 7.5).



Rys. 7.5. Przykład specyfikacji ściernicy [12] (*- opcjonalnie, według wytycznych wytwórcy)

Pełny symbol ściernicy z materiałów twardych powinien wyglądać następująco: PN – ISO 603 – 1/2001 – T1 – 300 x 50 x 127 – 99A – 80 K 4 V [2].

Sposób tworzenia oznaczenia dla ściernic diamentowych lub z regularnego azotku boru podaje norma PN-M 59168.

7.4. Sprawdzanie ściernic

Przed dopuszczeniem ściernicy do pracy, partia ściernic poddana zostaje szczegółowej kontroli, która obejmuje następujące badania:

1. Kontrolę wzrokową.
2. Kontrolę dźwiękową.
3. Sprawdzenie wymiarów.
4. Sprawdzenie wyważenia statycznego oraz bicia promieniowego powierzchni obwodowej i płasko- równoległość powierzchni czołowych
5. Sprawdzenie prędkości próbnej.
6. Pomiar twardości.
7. Sprawdzenie prędkości obwodowej granicznej [14, 15].

Kontrola wzrokowa obejmuje oględziny wizualne, gdzie uwaga zwracana jest na jednolitość barwy ściernicy, występowanie wtrąceń i plam żelazistych, obecność porów, wtrąceń, pęknięć oraz naderwań i przytępień na krawędziach

nieuzbrojonym okiem [16]. Podczas tego etapu weryfikowana jest również poprawność cechowania ściernicy.

Podczas kontroli dźwiękowej, ściernica uderzana jest przedmiotem niemetalowym. Nieuszkodzona ściernica daje czysty dźwięk, natomiast uszkodzona głuchy i niejednolity ton [14].

Sprawdzenie wielkości geometrycznych ściernicy obejmuje pomiar średnicy otworu za pomocą sprawdzianu oraz średnicy zewnętrznej i szerokości ściernicy.

Pomiar niewyważenia realizowany jest na wyważarce do ściernicy tarczowej bądź na wyważarce wałkowej. Sprawdzanie bicia promieniowego powierzchni obwodowej oraz płasko – równoległości powierzchni czołowych przeprowadza się na urządzeniu do testowania ruchu obrotowego [1].

Badania prędkości próbnej pozwalają na wykrycie wad, które w dużym stopniu wpływają na wytrzymałość narzędzi ściernych. Ściernica zamocowana jest w uchwycie odpowiedniego stanowiska badawczego, a następnie poddawana jest wzrastającej prędkości obwodowej aż do osiągnięcia prędkości próbnej. Pozwala to na oszacowanie dwukierunkowego stanu naprężeń występującego podczas szlifowania [1, 14].

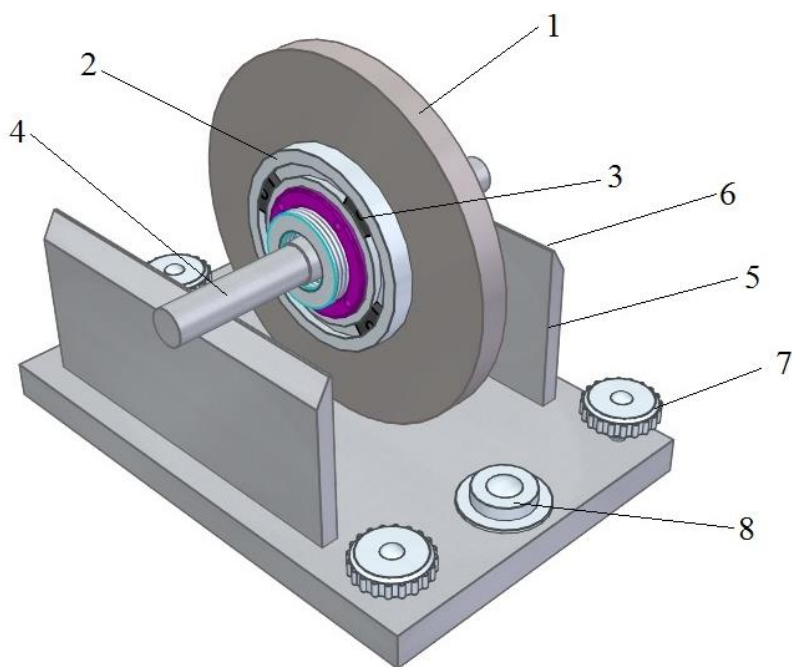
Pomiar twardości przeprowadzany jest zgodnie z PN-M-59119 lub PN-M-59117. W podrozdziale 7.3.2. omówiono w sposób szczegółowy pomiary twardości ściernic.

Podczas wyznaczania prędkości obwodowej granicznej ściernice sprawdzane są na działanie siły odśrodkowej. Zamocowana ściernica jest rozpędzana równomiernie do minimalnej prędkości obwodowej granicznej. Jeżeli nie ulegnie rozerwaniu przy minimalnej prędkości obwodowej granicznej przechodzi pozytywnie test [15].

7.4.1. Wyważanie statyczne ściernic

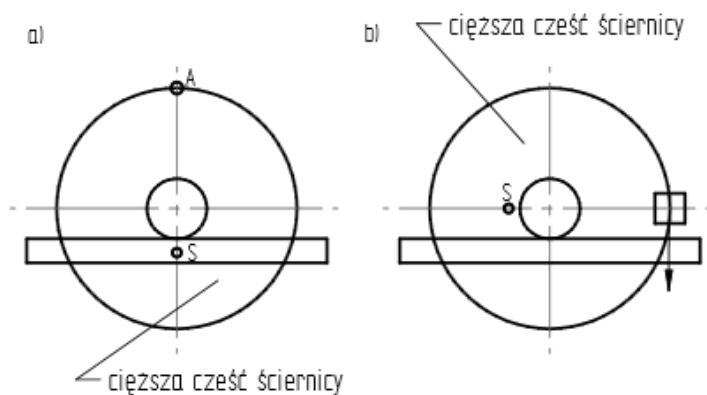
Niewyważenie ściernicy oznacza, że jej środek masy przesunięty jest względem osi obrotu o odległość e , zwaną mimośrodowością środka masy.

Proces wyważania realizowany jest zawsze po obciążeniu ściernicy. Wykonywany jest on bardzo często na przyrządzie składającym się z równoległych prowadnic, wykonanych w postaci ostrzy pryzmowych lub wałków, osadzonych w korpusie i ustawianych dokładnie poziomo (rys. 7.6).



Rys. 7.6. Model przyrządu do statycznego wyważania ściernicy: 1- ściernica, 2- oprawa ściernicy, 3- obciążniki, 4- trzpień do wyważania, 5- korpus, 6- przmy, 7- śruba do ustawienia poziomu, 8- poziomica

Następnie ściernicę osadzoną na trzpieniu umieszcza się tak, aby oś trzpienia była prostopadła do listew, a ściernica była umieszczona symetrycznie między listwami.



Rys. 7.7. Pomiar odchyłek wyważenia [17]

Przez lekki dotyk wprowadza się kilkakrotnie ściernicę w ruch obrotowy. Jeżeli środek ciężkości S nie pokrywa się osią obrotu ściernicy, to po kilkakrotnym wprowadzeniu ściernicy w ruch obrotowy zatrzymuje się ona w jednym i tym samym położeniu. Po zatrzymaniu się ściernicy w tym położeniu znakuje się najwyższy punkt na jej obwodzie A (rys. 7.7a), jako miejsce na zwieszenie ciężarków. Następnie po obróceniu ściernicy o 90° w punkcie A zawiesza się ciężarek aby nastąpił stan równowagi obojętnej ściernicy (rys. 7.7b). Ciężar ten w stanie równowagi jest odchyłką wyważenia statycznego ściernicy [17].

7.5. Wykonanie ćwiczenia

7.5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową i zastosowaniem narzędzi ściernych spojonych oraz z metodami badań technicznych ściernic i sposobami ich realizacji, a także poznanie praktyczne wybranych metod sprawdzania ściernic.

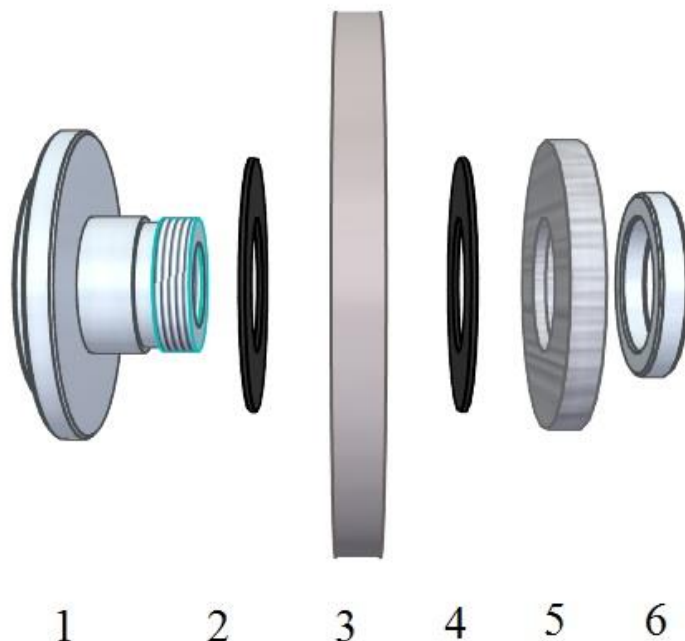
7.5.2. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

1. Ściernica
2. Przyrząd do wyważania statycznego ściernic
3. Oprawa ściernicy
4. Trzpień do wyważania
5. Obciążniki
6. Podkładki tekturowe lub skórzane
7. Suwmiarka
8. Młotek drewniany o ciężarze ok. $200 \div 300\text{g}$

7.5.3. Realizacja ćwiczenia

1. Dokonać pomiaru wymiarów ściernicy.
2. Przeprowadzić kontrolę wzrokową ściernicy.
3. Opukać ściernicę w celu wykrycia ewentualnych pęknięć wewnętrznych.
4. Przeprowadzić wyważanie statyczne ściernicy:
 - a) wypoziomować przyrząd do wyważania statycznego,
 - b) osadzić zestaw oprawa – ściernica wraz z trzpieniem na przyrządzie do wyważania (rys.7.8),
 - c) wprawić ściernicę delikatnie w ruch obrotowy,
 - d) sprawdzić delikatnie położenie ściernicy,
 - e) przesunąć obciążniki w pierścieniu oprawy,

- f) czynności podane w podpunktach c – e powtarzać aż do całkowitego wyważenia ściernicy.



Rys. 7.8. Schemat mocowania ściernicy w oprawie: 1- korpus, 2- podkładka, 3- ściernica, 4- podkładka 5- pierścień, 6- nakrętka

7.5.4. Wzór protokołu

Pomiary ściernicy

Symbol ściernicy	
Wymiary ściernicy	
Rodzaj materiału ściernego	
Rodzaj spoiwa	
Opis kontroli wzrokowej ściernicy	
Opis wyważania ściernicy	

7.5.5. Sprawozdanie

Opracować sprawozdanie, które powinno zawierać:

- opis oraz szkic stanowiska do sprawdzania ściernic,
- charakterystykę sprawdzanej ściernicy,
- opis przebiegu ćwiczenia,
- wypełniony protokół pomiarów,
- wnioski.

Literatura:

1. Oczko K., Porzycki J.: *Szlifowanie. Podstawy i technika*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1986.
2. Olszak W.: *Obróbka Skrawaniem*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa, 2008.
3. Woźniak K.: *Materiały ściernie wytwarzanie i własności*. Wydawnictwo – Naukowo Techniczne, Warszawa, 1982.
4. PN-M-59100: 1984 Materiały i narzędzia ściernie. Terminologia
5. PN-M-59119: 1986 Narzędzia ściernie spojone. Metoda określania twardości za pomocą strumienia piasku
6. PN-M-59117: 1986 Narzędzia ściernie spojone. Metoda określania twardości za pomocą wciskania kulki
7. PN-ISO 603-1: 2001 Narzędzia ściernie spojone. Ściernice płaskie
8. PN-M-59200: 1975 Wyroby ściernie. Narzędzia ściernie spojone. Ściernice pierścieniowe
9. PN-M-59175: 1975 Wyroby ściernie. Narzędzia ściernie spojone. Ściernice garnkowe
10. PN-M-59179: 1975 Wyroby ściernie. Narzędzia ściernie spojone. Ściernice talerzowe
11. PN-M- 59225: 1973 Wyroby ściernie. Ściernice trzpieniowe
12. PN-ISO 525: 2001 Narzędzia ściernie spojone. Wymagani ogólne
13. PN-M-59168: 1992 Wyroby ściernie. Ściernice diamentowe lub z regularnego azotku boru. Wymiary
14. PN-EN 12413: 2008 Wymagania bezpieczeństwa dotyczące narzędzi ściernych spojonych
15. PN-EN 13236: 2003 Wymagania dotyczące bezpieczeństwa narzędzi ściernych supertwardych
16. PN- M-59120: 1985 Ściernice. Wymagania i badania techniczne.
17. PN- EN ISO: 6103:2002 Ściernice. Wyważanie statyczne

8. Zużycie i regeneracja ściernic

Narzędzia ściernic stosowane do obróbki szlifowaniem, zwane ściernicami, mogą być eksploatowane w określonym czasie, po którym konieczne jest poddanie ich procesowi obciążania w celu przywrócenia utraconej zdolności skrawnej. W czasie pracy ściernicy następuje jej zużycie, które spowodowane jest warunkami występującymi w strefie szlifowania. Wierzchołki poszczególnych ziaren ściernych obciążone są siłą rzędu 5-10 N, a temperatura na tych wierzchołkach jest bardzo wysoka (niekiedy przewyższa temperaturę obrabianego materiału) [1]. Zużycie ściernicy wpływa na dokładność wymiarowo-kształtową, chropowatość powierzchni oraz właściwości fizyczne warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów.

8.1. Zużycie ściernic

8.1.1. Mikrozużycie ściernic

Ściernice zbudowane są z ziaren ściernych połączonych spoiwem, przy czym spoiwo nie wypełnia całkowicie przestrzeni między ziarnami (te nie wypełnione przestrzenie nazywane są porami). Podczas szlifowania ściernica narażona jest na oddziaływanie różnych czynników natury fizycznej jak i chemicznej, w wyniku czego następuje ścieranie i wykruszanie ziaren ściernych jak i spoiwa. Zmiany w obrębie poszczególnych ziaren ściernych nazywane są mikrozużyciem ściernic. Mikrozużycie ściernic jest rezultatem występowania w procesie szlifowania następujących zjawisk [6, 7]:

- 1) tępienie się ziaren ściernych,
- 2) pękanie i wykruszanie ziaren ściernych,
- 3) wyrywanie ziaren ściernych i erozja spoiwa,
- 4) zalepianie ściernicy.

Tępienie się ziaren ściernych związane jest ze stopniowym usuwaniem materiału wierzchołków skrawających (rys. 8.1a). Do głównych przyczyn tępienia się ziaren ściernych zalicza się:

- ścieranie mechaniczne,
- plastyczne płynięcie materiału ściernego,
- zużycie adhezyjne,
- zużycie dyfuzyjne.

Ścieranie mechaniczne ziaren ściernych następuje wskutek oddziaływania twardych wtrąceń materiału obrabianego na uplastycznioną pod wpływem wysokiej temperatury powierzchnię ziaren. Ścieranie ziaren prowadzi do powiększenia powierzchni styku ziaren z materiałem obrabianym, czego skutkiem jest

dalszy wzrost sił skrawania i temperatury. W warunkach dużych obciążeń mechanicznych i cieplnych może nastąpić plastyczne płynięcie materiału ściernego.

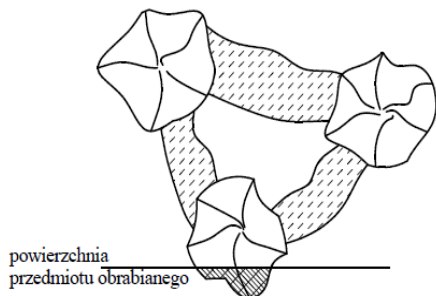
W warunkach dużych nacisków jednostkowych występujących na styku materiału obrabianego i ziaren ściernych mogą powstawać spojenia adhezyjne. Zrywanie tych spojeń wiąże się z usuwaniem materiału ziaren ściernych. Zużycie adhezyjne zwiększa się ze wzrostem nacisków jednostkowych, a zmniejsza się ze wzrostem temperatury (w wysokiej temperaturze na powierzchni styku powstaje warstewka tlenków). Intensywność zużycia adhezyjnego zależy też od powinowactwa chemicznego ziaren ściernych i szlifowanego materiału. Zjawisko adhezji w bardzo dużym stopniu zależy od ośrodka, w którym znajdują się współpracujące ściernie ciała. Zależność tę można zaobserwować porównując współczynnik adhezji, który jest definiowany jako stosunek siły potrzebnej do rozdzielenia dwóch powierzchni do początkowego obciążenia ściskającego, podczas tarcia w różnych ośrodkach. Przykładowo, podczas tarcia diamentu o platynę w powietrzu wartość tego współczynnika wynosi zero, natomiast w próżni współczynnik ten jest równy 0,4. Zależność tę można również zaobserwować porównując współczynnik tarcia, który w powietrzu wynosi 0,2 a w próżni – 3. Zużycie adhezyjne często można zaobserwować podczas szlifowania narzędziami diamentowymi. W początkowej fazie obróbki na powierzchni przyłożenia ziaren pojawiają się nalepy materiału szlifowanego, które w dalszej fazie obróbki są wyrwane wraz z cząstkami diamentu, a na powierzchni przyłożenia pozostają małe zagłębienia [1].

Zużycie dyfuzyjne związane jest z wysoką temperaturą w strefie styku ziaren ściernych z obrabianym materiałem. W wysokiej temperaturze występuje bardziej intensywny ruch cząstek materiału ziaren ściernych, prowadzący do ich przemieszczania się, a w konsekwencji do zmiany właściwości tego materiału (np. zmniejszenia wytrzymałości i twardości). Pogorszenie właściwości mechanicznych materiału ziaren, spowodowane procesami dyfuzyjnymi, prowadzi do szybszego ich zużycia wskutek ścierania. W procesach zużycia dyfuzyjnego ziaren ściernych dużą rolę odgrywa prędkość szlifowania, przy czym należy dostrzegać dwa aspekty wpływu tej prędkości na przebieg zużycia ziaren. Pierwszy aspekt związany jest ze skróceniem czasu kontaktu ziaren ściernych z materiałem obrabianym wraz ze wzrostem prędkości szlifowania, co prowadzi do zmniejszenia grubości warstwy, w której występuje dyfuzja. Natomiast drugi aspekt związany jest ze wzrostem temperatury w strefie obróbki spowodowanym zwiększeniem prędkości szlifowania. Ze wzrostem temperatury następuje znaczący wzrost intensywności procesów dyfuzyjnych, co upoważnia do stwierdzenia, że dyfuzja jest jednym z ważnych mechanizmów zużycia ziaren ściernych.

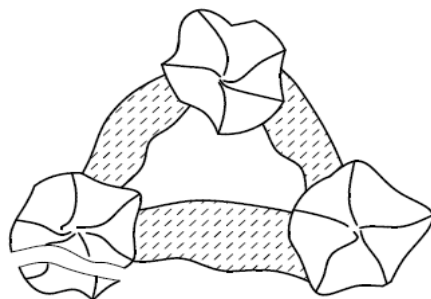
Na zużycie ziaren ściernych ma wpływ również oddziaływanie chemiczne materiału ziaren z otaczającym je środowiskiem, które stanowi powietrze, nagrany materiał obrabiany oraz płyny obróbkowe. Na powierzchniach materiałów ściernych, zwłaszcza konwencjonalnych, które charakteryzuje mniejsza odporność chemiczna, powstają warstewki tlenków, które łatwo ulegają starciu,

przyczyniając się do szybszego zużywania się ziaren ściernych. Z drugiej strony warstewki tlenków działają hamująco na procesy zużycia dyfuzyjnego [1].

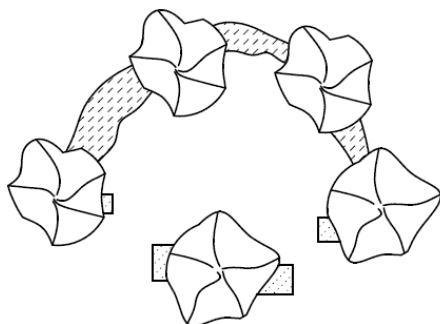
a)



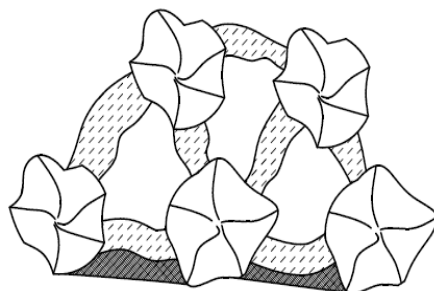
b)



c)



d)



Rys. 8.1. Rodzaje zużycia ściernicy: a) tępienie się ziaren, b) pęknięcie i wykruszanie ziaren, c) wyrywanie ziaren, d) zalepanie ściernicy

Tępienie się ziaren ściernych (rys. 8.1a) może mieć niekorzystny wpływ na właściwości warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów. Szlifowanie stępionymi ziarnami powoduje wzrost sił skrawania i temperatury w strefie obróbki, co może powodować pojawienie się wad powierzchniowych na przedmiocie obrabianym w postaci tzw. przypaleń szlifierskich i mikropęknięć.

Pęknięcie ziaren i wykruszanie się cząstek materiału z ziaren ściernych (rys. 8.1b) następuje wówczas, gdy powstające w ziarnach naprężenia są większe od wytrzymałości materiału ściernego. Zatem intensywność wykruszania się materiału ziaren ściernych w dużym stopniu zależy od właściwości fizycznych tego materiału. Większe prawdopodobieństwo wykruszeń wykazują materiały mniej ciągliwe. Pęknięcie ziaren może następować wskutek przekroczenia wytrzymałości doraźnej materiału ściernego albo z powodu zmęczenia tego materiału, spowodowanego zmiennymi obciążeniami ziaren. Zmęczeniowe wykruszanie się cząstek ścierniwa występuje głównie w początkowej fazie pracy

ściernicy, gdy krawędzie ziaren są dość ostre. W przypadku bardzo drobnoziarnistych ściernic często występującą przyczyną zużycia ściernicy jest zmęczeniowe pękanie mostków spoiwa wiążącego ziarna ściernie. Ze względu na wysoką temperaturę w strefie szlifowania oraz intensywne chłodzenie strumieniem cieczy dużą rolę w procesie pękania ziaren może odgrywać zmęczenie cieplne. Zużycie termozmęczeniowe występuje głównie w ściernicach charakteryzujących się dużym zużyciem ziaren ściernych. Ten rodzaj zużycia ściernicy ma również aspekt pozytywny, gdyż wskutek wykruszania się cząstek materiału z ziaren ściernych tworzą się ostre krawędzie, co umożliwia zwiększenie czasu pracy ściernicy (jest to tzw. samoostrzenie ściernicy).

Wrywanie całych ziaren ściernych (rys. 8.1c) następuje na skutek uszkodzenia mostków spoiwa wiążącego poszczególne ziarna. Główną przyczyną pękania spoiwa jest oddziaływanie mechaniczne na ziarna ściernie. Pęknięcia spoiwa mogą następować wskutek przekroczenia wytrzymałości doraźnej lub zmęczeniowej. Wykruszenia ziaren mogą też następować z powodu erozji spoiwa. Ten rodzaj zużycia jest powiązany z twardością ściernicy. Przykładowo dla ściernicy o twardości G pękanie spoiwa jest przyczyną około 85% ogólnego zużycia, a dla ściernicy o twardości K udział ten zmniejsza się do około 55% [1].

Szczególnie niebezpieczną formą zużycia ściernicy jest zalepianie jej porów drobnymi wiórami oraz wykruszonymi cząstkami ściernicy (rys. 8.1d). Wskutek zalepiania następuje wzrost sił tarcia, w następstwie czego zwiększa się temperatura w strefie szlifowania. Zalepianie porów ściernicy prowadzi do wrywania całych bloków ziaren ściernych. Przywrócenie zdolności do pracy takiej ściernicy następuje poprzez obciążanie, które jednak, w takim przypadku, łączy się z koniecznością usunięcia znacznej objętości ściernicy.

8.1.2. Makrozużycie ściernic

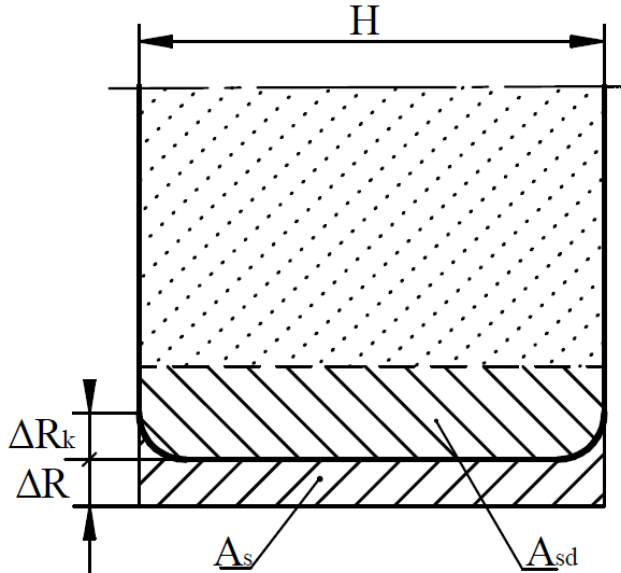
Mianem makrozużycia określa się zmiany kształtu i wymiarów ściernicy, jakie następują podczas szlifowania. Do oceny makrozużycia ściernic stosowane są wskaźniki [6], do których zalicza się (rys. 8.2):

- zużycie promieniowe ΔR ,
- zużycie krawędziowe $\Delta R_{k,}$,
- zużycie całkowite ΔR_c ,
- zużycie objętościowe (zmniejszenie objętości ściernicy) V_s ,
- powierzchnia zużycia promieniowego A_{SR} , będąca iloczynem zużycia promieniowego ΔR oraz szerokości ściernicy H ,
- całkowita powierzchnia zużycia ściernicy A_s , będąca sumą powierzchni zużycia promieniowego i krawędziowego,
- powierzchnia ściernicy usunięta podczas obciążania A_{sd} ,
- zużycie względne ściernicy, które wyrażane jest zależnością:

$$q = \frac{V_s}{V_m}, \quad (8.1)$$

gdzie: V_m – objętość zeszlifowanego materiału.

Do oceny przebiegu procesu szlifowania używany jest również wskaźnik szlifowania G , będący odwrotnością zużycia względnego ściernicy.



Rys. 8.2. Wskaźniki makrozużycia ściernicy

8.1.3. Wpływ charakterystyki ściernicy na jej zużycie

Na zużycie ściernicy ma wpływ zarówno rodzaj materiału ściernego jak i spoiwa. Ze względu na malejącą odporność na zużycie, materiały ściernie można uszereżować w następującej kolejności [6]: diament, regularny azotek boru, węgiel krzemu. Ściernice, w których zastosowano spoiwo ceramiczne, wykazują większą odporność na zużycie niż ściernice ze spoiwem żywicznym.

Zmniejszenie zużycia można uzyskać stosując ściernice o mniejszej wielkości ziaren ściernych, większej twardości (wzrost twardości oznacza konieczność użycia większej siły do wrywania ziaren ściernych z wiążącego je spoiwa), a także, chociaż w mniejszym stopniu, o mniejszej zwartości struktury (wpływ struktury na zużycie jest bardziej widoczny w przypadku ściernic o spoiwie żywicznym).

Zużycie ściernic zależy również od ich wymiarów. W przypadku ściernic tarczowych zużycie promieniowe zmniejsza się wraz ze wzrostem ich średnicy jak

i szerokości. Zużycie to zmienia się wzdłuż szerokości ściernicy, osiągając największe wartości na krawędziach.

8.1.4. Wpływ materiału obrabianego i warunków szlifowania na zużycie ściernicy

Zużycie ściernicy zależy od składu chemicznego oraz struktury obrabianego materiału. Do wzrostu zużycia ściernicy przyczynia się obecność w materiale obrabianym takich składników stopowych jak wanad, bor, wolfram, kobalt, gdyż pierwiastki te tworzą bardzo twarde, wieloskładnikowe węgliki (mikrotwardość tych węglików może nawet przewyższać mikrotwardość ziaren ściernych). Również obecność w materiale obrabianym chromu i niklu powoduje zwiększenie zużycia ściernicy, gdyż pierwiastki te utrudniają tworzenie i usuwanie wiórów. Natomiast pierwiastkiem korzystnie wpływającym na zużycie ściernicy jest siarka [1].

Duże zużycie ściernicy występuje podczas szlifowania materiałów miękkich, gdyż następuje zalepianie przestrzeni między ziarnami ściernymi. Składnikiem strukturalnym wpływającym niekorzystnie na zużycie ściernicy jest austenit, ze względu na dużą plastyczność oraz małą przewodność cieplną (utrudniony przepływ ciepła do materiału obrabianego powoduje, że więcej ciepła przenika do ściernicy). Porównując zużycie ściernicy podczas szlifowania stali o strukturze sorbitu i martenzytu zauważono, że większe zużycie ściernicy występuje podczas obróbki stali martenzytycznej [1, 6].

Istotny wpływ na zużycie ściernicy wywierają parametry szlifowania. Ze wzrostem wartości takich parametrów jak posuw wzdłużny, dosuw wglębny oraz prędkość przedmiotu obrabianego następuje zwiększenie zużycia ściernicy, co można uzasadnić rosnącymi siłami skrawania, a tym samym większym obciążeniem poszczególnych ziaren ściernych.

Natomiast w miarę wzrostu prędkości szlifowania następuje zmniejszenie zużycia ściernicy. Prędkość szlifowania jest parametrem oddziałującym w złożony sposób na przebieg procesu szlifowania. Zwiększanie prędkości szlifowania wiąże się ze wzrostem prędkości tarcia oraz częstości styku ziaren z materiałem obrabianym, co prowadzi do wzrostu plastyczności obrabianego materiału, stwarzając tym samym warunki sprzyjające zalepianiu powierzchni roboczej ściernicy. Z drugiej strony, zwiększenie prędkości szlifowania wiąże się ze zmniejszeniem przekroju warstwy skrawanej, czego skutkiem jest zmniejszenie sił działających na ziarna ściernic, a także ze skróceniem czasu kontaktu ziaren z materiałem obrabianym. Badania wykazują, że te ostatnie czynniki mają dominujący wpływ na zużycie ściernicy [1].

Korzystny wpływ na zużycie ściernicy ma ciecz chłodząco-smarująca. Zmniejszenie zużycia narzędzi ściernych tłumaczy się tym, że obecność cieczy zmniejsza tarcie w strefie skrawania oraz zmniejsza prawdopodobieństwo zalepiania powierzchni roboczej ściernicy.

8.1.5. Normatywy zużycia ściernic

Jako wskaźnik oceny zużycia ściernic zwykle przyjmowane jest zużycie względne q , które obliczane jest według wzoru (8.1) i wyrażane w mm^3/mm^3 . Wskaźnik q może też być obliczany jako stosunek masy zużytej ściernicy do masy zeszlifowanego materiału i w takim przypadku wyrażany jest w mg/g .

W literaturze podawane są orientacyjne wartości zużycia względnego q ściernic przy szlifowaniu różnych materiałów [1]. Przykładowo, podczas szlifowania stali niestopowych konstrukcyjnych i narzędziowych ściernicą z elektrokorundu wartość wskaźnika q wynosi $(0,015-0,040) \text{ mm}^3/\text{mm}^3$, natomiast podczas obróbki stopu tytanu wartość tego wskaźnika może osiągnąć wartość $(0,8-1,5) \text{ mm}^3/\text{mm}^3$. Mniejszym zużyciem charakteryzują się ściernice borazonowe. Przykładowo, podczas szlifowania stali szybko tnącej $q=(0,3-0,5) \text{ mg/g}$, a przy szlifowaniu stopu tytanu $q=(20-40) \text{ mg/g}$.

8.2. Obciążanie ściernic

Zużycie ściernicy prowadzi do utraty przez tę ściernicę właściwości skrawnych. Wykruszanie i wyrywanie ziaren ściernych odbywa się, na ogół, nierównomiernie na powierzchni ściernicy, co powoduje zmiany geometrii zarysu ściernicy. Natomiast tępienie ziaren wpływa na wzrost sił skrawania oraz temperatury w strefie obróbki, co prowadzi do „przypaleń szlifierskich” i odpuszczania materiału obrabianego. W celu przywrócenia właściwości skrawnych oraz dokładności wymiarów i kształtu ściernice poddaje się procesowi regeneracji, zwanemu obciążaniem.

Obciążanie polega na oddziaływaniu na czynną powierzchnię ściernicy narzędziem, nazywanym obciążaczem, w taki sposób, aby powodować wykruszanie lub wyrywanie stępionych ziaren ściernych oraz usuwanie zalepień. Wykruszanie ziaren prowadzi do powstawania nowych ostrych krawędzi skrawających, a wyrywanie powoduje odsłanianie nowych ziaren z ostrymi krawędziami.

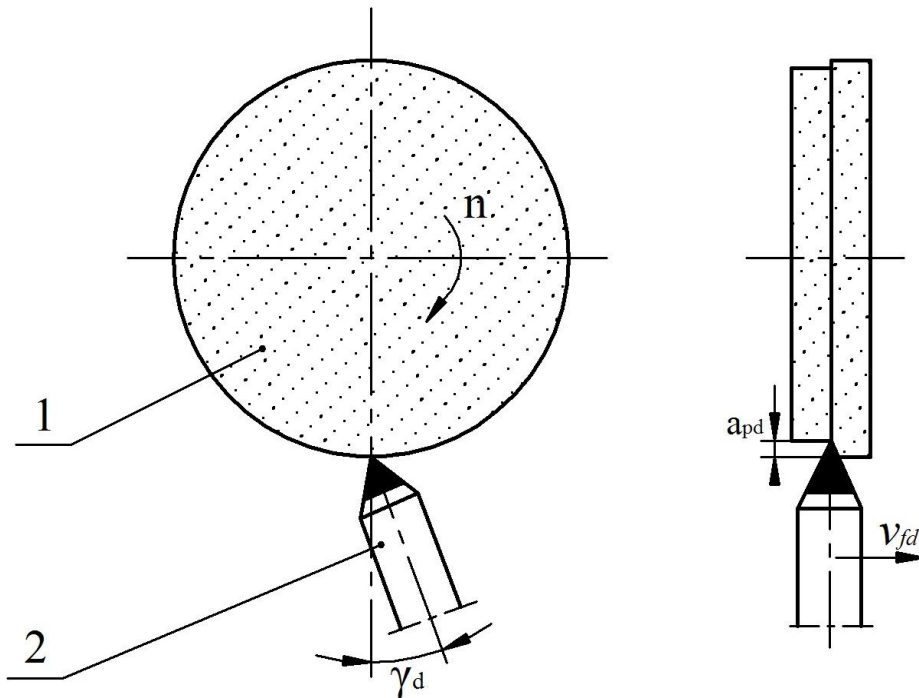
Celem obciążania ściernicy może być:

- 1) ostrzenie, czyli przywrócenie ściernicy zdolności skrawnych,
- 2) wyrównanie czynnej powierzchni ściernicy, tj. usunięcie błędów geometrycznych ściernicy powstałych podczas szlifowania,
- 3) profilowanie czynnej powierzchni ściernicy, tj. nadanie jej odpowiedniego zarysu do szlifowania określonych powierzchni kształtowych (np. gwintów lub kół zębnych).

8.2.1. Kinematyka obciążania ściernic

Obciążanie może odbywać się wieloma sposobami. Przykład obciążania ściernicy tarczowej za pomocą obciążacza jednoziarnistego pokazano na rys. 8.3. Ściernica 1 wykonuje ruch obrotowy, natomiast obciążacz 2, którego

część roboczą stanowi ziarno diamentu, wykonuje ruch posuwowy wzdłuż tworzącej ściernicy z prędkością v_{fd} . Diamentowy wierzchołek ostrza obciągacza jest zagłębiony w materiał ściernicy na głębokość a_{pd} . Oś obciągacza jest pochylona względem płaszczyzny wyznaczonej przez oś ściernicy i punkt styku wierzchołka obciągacza i powierzchni czynnej ściernicy pod kątem γ_d , przy czym zaleca się, aby wartość tego kąta wynosiła $(10-15)^\circ$ [7].



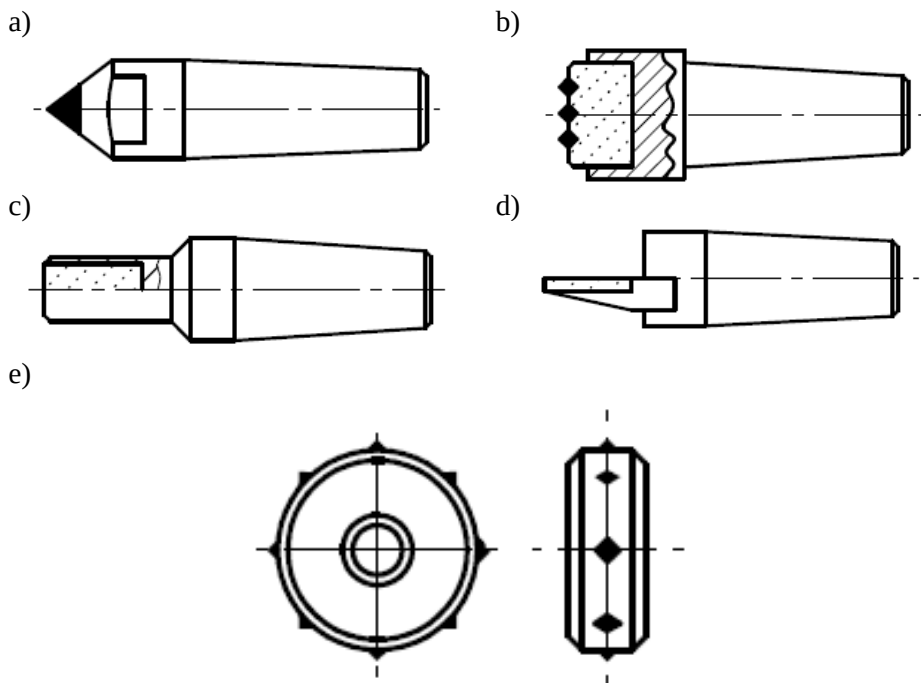
Rys. 8.3. Obciąganie ściernicy tarczowej obciągaczem jednoziarnistym

8.2.2. Obciąganie ściernic konwencjonalnych

Określenie „ściernice konwencjonalne” obejmuje głównie ściernice o ziarnach z elektrokorundu lub węgla krzemu i spoiwie ceramicznym lub żywicznym. Ściernice te obciągane są na ogół obciągaczami diamentowymi. Najczęściej stosowane obciągacze przedstawione zostały na rys. 8.4.

Obciągacze jednoziarniste zbudowane są z ziarna diamentowego i korpusu, w którym to ziarno jest osadzone (rys. 8.4a). Mogą być stosowane zarówno do ostrzenia jak i profilowania ściernic z elektrokorundu i węgla krzemu o spoiwie ceramicznym (często stosowane są do obciągania dokładnych ściernic o złożonym profilu, np. ściernic do kształtowego szlifowania kół zębatych).

Obciągacze wielozziarniste warstwowe (rys. 8.4b) składają się z wielu ziaren diamentu (od kilku do kilkunastu), rozmieszczonych w jednej lub kilku warstwach. Ziarna te umieszczone są w spoiwie znajdującym się w gnieździe obciągacza. Przeznaczone są głównie do obciągania zgrubnego.



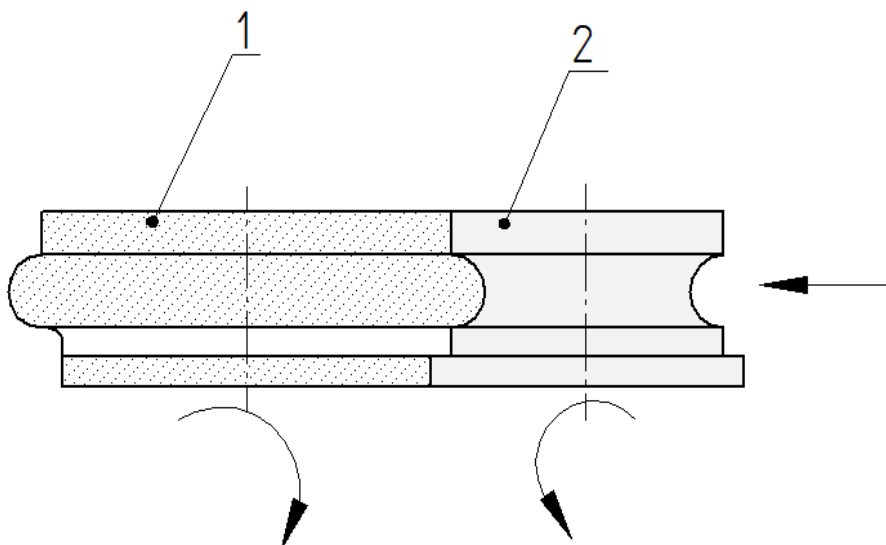
Rys. 8.4. Rodzaje obciągaczy: a) jednoziarnisty, b) wielozziarnisty warstwowy, c) wielozziarnisty pyłowy, d) płytkowy, e) krążkowy

Obciągacze wielozziarniste pyłowe (rys. 8.4c) zbudowane są z proszku diamentowego osadzonego we wkładkach wykonanych ze spoiwa metalowego, umieszczonych w korpusie obciągacza. Zalecane są do obciągania ściernic miękkich i średniotwardych, o małych ziarnach. Wielkość ziarna proszku diamentowego należy dobierać w zależności od wielkości ziarna w ściernicy.

Obciągacze płytkowe (rys. 8.4d) składają się z wkładki ze spoiwa metalowego, w którym osadzone są drobne ziarna lub igły diamentu naturalnego lub syntetycznego. Zalecane są do obciągania ściernic o dużych wymiarach, przeznaczonych do szlifowania głównie przedmiotów o złożonych kształtach.

Obciągacze krążkowe (rys. 8.4e) mają kształt krążka, na którego zewnętrznej powierzchni walcowej osadzone są ziarna diamentowe. Po zużyciu ziarna krążek można obrócić w oprawce, umożliwiając obciąganie ściernicy kolejnym ziarnem.

Do profilowania ściernic mogą być używane również obciążacze obrotowe (rys 8.5). Zarys ściernicy jest odwzorowaniem rolki kształtowej z nasypem diamentowym. Ściernica 1 obraca się wokół własnej osi, natomiast rolka 2 wykonuje ruch obrotowy oraz posuw promieniowy.



Rys. 8.5. Profilowanie ściernicy obciążaczem obrotowym

Warunki technologiczne obciążania mają wpływ na szybkość zużycia ściernicy. Zastosowanie bardziej intensywnych warunków obciążania, prowadzącego do „spulchnienia” czynnej powierzchni ściernicy, wpływa na zwiększenie szybkości zużywania się ściernicy podczas szlifowania.

8.2.3. Obciążanie ściernic supertwardych

Do materiałów supertwardych zalicza się diament oraz regularny azotek boru, często nazywany borazonem. Obciążanie ściernic z materiałów supertwardych jest znacznie trudniejsze niż ściernic konwencjonalnych.

Ściernice z regularnego azotku boru mogą być obciążane za pomocą obciążaczy diamentowych. Podczas obciążania wydzielą się dużo ciepła i należy stosować obfite chłodzenie. Natomiast do obciążania ściernic diamentowych nie używa się obciążaczy diamentowych [9].

Ściernice supertwarde mogą być obciążane wieloma metodami, do których można zaliczyć [3,5,8]:

- obciążanie blokiem korundowym,
- obciążanie rolką z węgliku krzemu,
- obciążanie metodą szlifowania miękkiej stali.
- obciążanie elektrochemiczne,

- obciążanie elektroerozyjne,
- obciążanie laserowe,
- obciążanie chemiczne,
- obciążanie strugą cieczy,
- mikroobciążanie ściernie.

Obciążanie ściernicy diamentowej blokiem korundowym polega na dociskaniu do obracającej się ściernicy oselki z tlenku glinu, zielonego węgla krzemu lub tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym [5].

Obciążanie ściernicy diamentowej rolką polega na oddziaływaniu na obracającą się ściernicę rolką, najczęściej z węgla krzemu, która również wykonuje ruch obrotowy. Prędkość rolki w punkcie styku z obciążaną ściernicą różni się od prędkości ściernicy (stosuje się hamowanie rolki albo nadawanie jej większej prędkości), co powoduje wzajemne ślizganie i przetaczanie się rolki i obciążanej ściernicy. Efektem takiego oddziaływania jest obciążanie ściernicy diamentowej, któremu jednak towarzyszy duże zużycie rolki obciążającej [5].

Obciążanie ściernic metodą szlifowania miękkiej stali polega na szlifowaniu, ze zwiększoną wydajnością, obciążaną ściernicą narzędzia obciążającego w kształcie płyty lub obracającej się rolki, wykonanego z niskowęglowej stali (np. C15). W czasie obciążania tą metodą powstają bardzo długie wióry, które powodują usuwanie produktów zalepiających pory ściernicy oraz ścieranie spoiwa. Metoda ta stosowana jest głównie do regeneracji czynnej powierzchni ściernic z regularnego azotku boru ze spoiwem metalowym lub ceramicznym. Natomiast nie jest zalecane stosowanie tej metody do obciążania ściernic diamentowych. Wydłużanie czasu obciążania prowadzi do wtórnego zalepiania czynnej powierzchni ściernicy materiałem narzędzi obciążających [3].

Metody elektrochemiczne stosowane są do obciążania ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym. Obciążanie tymi metodami polega na roztwarzaniu spoiwa i materiałów zalepiających powierzchnię ściernicy w wyniku reakcji chemicznych zachodzących pod wpływem przepływającego prądu elektrycznego. Powstające w wyniku tych reakcji produkty są usuwane wraz z przepływającym elektrolitem oraz wskutek oddziaływania siły odśrodkowej obracającej się ściernicy. Obciążanie elektrochemiczne może być przeprowadzone z zastosowaniem prądu stałego lub przemiennego. Obciążanie elektrochemiczne z zastosowaniem prądu stałego może być przeprowadzone elektrodą pojedynczą (rolę anody pełni wówczas obciążana ściernica) lub elektrodą podwójną. Anodowe roztwarzanie podczas obciążania elektrochemicznego z zastosowaniem prądu przemiennego ma charakter cykliczny (obciążania ściernica przemiennie jest anodą lub katodą) [3].

W metodzie obciążania elektroerozyjnego wykorzystywana jest energia wyładowań iskrowych, zachodzących pomiędzy metalowym spoiwem ściernicy diamentowej a erodą, która jest narzędziem obciążającym. Podczas wyładowania uzyskuje się bardzo dużą gęstość mocy i wysoką temperaturę w strefie wyładowania. Ubytek metalowego spoiwa ściernicy następuje wskutek topienia, pa-

rowania oraz wrywania cząstek metalu. Produkty elektroerozji są usuwane przez ciecz dielektryczną, która przepływa między ściernicą i erodą. Efektem usuwania spoiwa metalowego z przestrzeni między ziarnami ściernymi jest odsłanianie ostrych krawędzi skrawających. Obciąganie elektroerozyjne może być realizowane za pomocą elektrod stacjonarnych, wirujących, drutowych i segmentowych. Ujemną stroną tej metody jest niebezpieczeństwo uszkodzenia ziaren ściernych oraz spoiwa ściernicy wskutek bardzo wysokiej temperatury [3]. Metoda ta jest przydatna zwłaszcza w przypadku profilowania kształtowego zarysu powierzchni ściernicy, korygowania geometrycznych odchyłek ściernicy oraz kształtowania makro- i mikrogeometrii czynnej powierzchni ściernicy [2].

Obciąganie laserowe polega na skierowaniu na czynną powierzchnię ściernicy wiązki laserowej, wskutek czego następuje topienie i odparowanie metalowego spoiwa oraz produktów zalepiających przestrzeń między ziarnami ściernicy. Metoda ta jest głównie przydatna do obciągania ściernic z regularnego azotku boru. Głębokość penetracji wiązki laserowej w materiał ściernicy zależy od jej energii. Przykładowo, wiązka laserowa o energii $(25-50) \text{ J/cm}^2$ penetruje na głębokość około $10 \text{ }\mu\text{m}$. W przypadku dużych energii impulsu laserowego może następować destrukcja ziaren ściernych. W większym stopniu na oddziaływanie destrukcyjne wiązki laserowej narażone są ziarna z regularnego azotku boru niż ziarna diamentowe. Jest to związane z większą przezroczystością ziaren diamentowych, przez co pochłaniają one mniej energii. Obciąganie może być przeprowadzone wiązką laserową skierowaną promieniowo lub stycznie do powierzchni ściernicy. Lepsze wyniki obciągania uzyskuje się dla kierunku stycznego wiązki laserowej [3].

Obciąganie chemiczne polega na oddziaływaniu na ściernice supertwarde ze spoiwem metalowym aktywnymi związkami chemicznymi. Wskutek zachodzących reakcji chemicznych następuje usuwanie metalowego spoiwa i produktów zalepiających pory ściernicy, co powoduje odsłonięcie ostrych krawędzi ziaren ściernych [3].

W metodzie obciągania strugą cieczy wykorzystywana jest energia strumienia samej cieczy lub cieczy z domieszką ścierniwa, skierowanego na powierzchnię ściernicy. Struga samej cieczy podawana pod ciśnieniem $(15-20) \text{ MPa}$ usuwa produkty szlifowania zalepiające pory ściernicy. Energia takiej strugi jest zbyt mała, aby możliwa była korekcja kształtu i wymiarów ściernicy. Korekcja ta wiąże się z usuwaniem spoiwa metalowego ściernicy i jest możliwa przy znacznie większym ciśnieniu strugi, wynoszącym około 500 MPa . Jednakże oddziaływanie na ściernicę cieczą o tak dużym ciśnieniu powoduje wystąpienie niekorzystnych zmian w strukturze ściernicy (powstawanie mikropęknięć i szczelin). Efekt obciągania jest większy, jeżeli zostanie zastosowana struga cieczy z dodatkiem luźnego ścierniwa (tlenek aluminium, węgiel krzemu). Struga cieczy ze ścierniwem może być podawana pod małym ciśnieniem do szczeliny pomiędzy obracającą się ściernicą i obracającą się w kierunku współbieżnym rolką stało-

wą, albo pod dużym ciśnieniem bezpośrednio na czynną powierzchnię obracającej się ściernicy [3].

Mikroobciąganie ściernie polega na tym, że obciągacz jest wprowadzany w materiał obracającej się ściernicy z bardzo małymi wartościami dosuwu (rzędu kilku mikrometrów), a kontakt obciągacza ze ściernicą jest bardzo dokładnie kontrolowany. W wyniku mikroobciągania usuwane są bardzo cienkie warstwy materiału spoiwa i odsłaniane są ziarna położone najbliżej powierzchni ściernicy. W zależności od konstrukcji urządzenia realizującego mikrodosuw obciągacza, sposobu sterowania procesem ostrzenia i metody kontroli kontaktu obciągacza ze ściernicą, rozróżnia się mikroobciąganie „wahlwe” i „muskające. Metodą mikroobciągania można ostrzyć ściernice supertwarde, przeznaczone do bardzo precyzyjnego szlifowania [3, 8].

Obciąganie ściernic może być realizowane przy jednoczesnym stosowaniu różnych metod. Takie łączne stosowanie metod wykorzystujących różne rodzaje energii do kształtowania powierzchni ściernic określane jest mianem metody hybrydowej. Do tych metod zalicza się obciąganie elektroerozyjno-elektrochemiczne oraz obciąganie elektroerozyjno-mechaniczne elektrodą szczotkową.

Obciąganie elektroerozyjno-elektrochemiczne ściernic supertwardych może być realizowane w systemie komutatorowym lub w systemie bezkomutatorowym. W systemie komutatorowym narzędziem jest jednolita elektroda robocza, która umieszczona jest w takim położeniu względem obciąganej ściernicy, aby między elektrodą a ściernicą zachowana była szczelina międzyelektrodowa. Do szczeliny podawany jest elektrolit o małej przewodności elektrycznej. Do ściernicy i elektrody doprowadzone jest napięcie z generatora impulsów. Do doprowadzenia napięcia do obracającej się ściernicy stosowany jest komutator szczotkowy. Elektroerozyjne profilowanie ściernicy następuje wskutek wyładowań iskrowych, natomiast ostrzenie elektrochemiczne jest efektem reakcji chemicznych wywołanych przepływającym prądem elektrycznym. System bezkomutatorowy charakteryzuje się zastosowaniem segmentowej elektrody roboczej, która umożliwia bezkontaktowe doprowadzenie napięcia do ściernicy [3].

Elektroerozyjno-mechaniczne obciąganie ściernic charakteryzuje się tym, że narzędzie w postaci szczotki walcowej, wykonanej z cienkich drutów (o średnicy kilku dziesiątych mm) wykonuje ruch obrotowy i ma kontakt z czynną powierzchnią obracającej się ściernicy. Do strefy obróbki skierowany jest strumień cieczy roboczej. Obracająca się szczotka walcowa pełni rolę elektrody roboczej w procesie wyładowań iskrowych, zachodzących między drutami szczotki a obciąganą ściernicą, a także oddziałuje mechanicznie na czynną powierzchnię ściernicy. Wskutek wyładowań iskrowych o niskich wartościach energii oraz oddziaływania mechanicznego drutów szczotki na powierzchnię ściernicy usuwana jest, w sposób kontrolowany, cienka warstwa spoiwa oraz drobne wiórki zalepiające przestrzeń między ziarnami ściernymi. Ponadto, w wyniku oddziaływania mechanicznego na metalowe spoiwo ściernicy następuje umocnienie

warstwy wierzchniej tego spoiwa i ukształtowanie ściskających naprężeń własnych. Pod wpływem wyładowań iskrowych o niskiej energii nie następują niekorzystne zmiany właściwości ziaren diamentowych (np. pęknięcia, wykruszenia, grafityzacja) [3, 4].

8.3. Trwałość ściernic

W miarę zużywania się ściernic następuje zmiana stanu powierzchni oraz właściwości warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów. Ważną kwestią jest umiejętność oceny stanu ściernicy, w którym należy przerwać szlifowanie i daną ściernicę poddać procesowi obciążania. O konieczności obciążania może też decydować przekroczenie wartości dopuszczalnej zmiany kształtu ściernicy.

Trwałość ściernicy definiowana jest jako suma czasów szlifowania daną ściernicą między kolejnymi obciążaniami. Wartości normatywnych okresów trwałości ściernic w zależności od materiału obrabianego, charakterystyki ściernicy i rodzaju szlifowania mogą zmieniać się w szerokim zakresie. Przykładowo, orientacyjne wartości normatywnych okresów trwałości ściernic standardowych w różnych rodzajach szlifowania wynoszą [1]:

- szlifowanie kłowe wałków obwodem ściernicy, przelotowe, z posuwem wzdłużnym – 40 minut,
- bezkłowe szlifowanie wałków, wzdłużne (przelotowe) – 60 minut,
- szlifowanie powierzchni otworów – 10 minut,
- obwodowe szlifowanie bieżni pierścieni wewnętrznych łożysk tocznych – 7 minut.

Trwałość ściernic może być określana na podstawie przekroczenia wartości granicznych wielkości zależnych od zużycia tych ściernic. Do wielkości tych można zaliczyć:

- chropowatość obrobionej powierzchni,
- temperatura skrawania,
- siły skrawania,
- bieżący wymiar obrabianego przedmiotu,
- poziom emisji wibroakustycznej.

8.4. Wykonanie ćwiczenia

8.4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zużyciem ściernic, wskaźnikami tego zużycia oraz metodami obciążania ściernic, a także poznanie praktyczne przebiegu zużycia ściernicy, wyznaczenie wybranych wskaźników zużycia, ocena zmian chropowatości powierzchni obrobionej w miarę zużywania się ściernicy, wykonanie obciążania ściernicy.

8.4.2. Przebieg ćwiczenia

1. Zmierzyć średnicę ściernicy tarczowej, przygotowanej do szlifowania, korzystając ze specjalnego przyrządu czujnikowego, oraz szerokość ściernicy.
2. Zmierzyć wymiary przeznaczonej do szlifowania próbki prostopadłościenną.
3. Zamocować ściernicę oraz próbkę prostopadłościenną na szlifierce do płaszczyzn.
4. Na podstawie parametrów technologicznych podanych przez prowadzącego ćwiczenia obliczyć czas jednego przejścia podczas szlifowania płaszczyzny.
5. Przeprowadzić obróbkę szlifowaniem próbki prostopadłościenną, przerywając szlifowanie co N przejść w celu pomiaru, za pomocą profilografometru, chropowatości szlifowanej powierzchni (liczbę N określi prowadzący ćwiczenia).
6. Zdemontować ściernicę i próbkę ze szlifierki.
7. Korzystając z przyrządu czujnikowego, zmierzyć zużycie promieniowe ΔR oraz zużycie krawędziowe ΔR_k ściernicy.
8. Zamontować ściernicę na szlifierce.
9. Przeprowadzić obciążanie ściernicy.
10. Zdemontować ściernicę ze szlifierki.
11. Zmierzyć średnicę ściernicy.
12. Obliczyć: zużycie całkowite ΔR_C , powierzchnię zużycia promieniowego A_{SR} , powierzchnię ściernicy usuniętą podczas obciążania A_{Sd} , zużycie objętościowe ściernicy V_S , objętość zeszlifowanego materiału V_m oraz zużycie względne ściernicy q .

8.4.3. Wzory protokołów

Pomiary zużycia ściernicy

Średnica ściernicy przed szlifowaniem d_{S1} [mm]	
Szerokość ściernicy H [mm]	
Zużycie promieniowe ściernicy ΔR [mm]	
Zużycie krawędziowe ściernicy ΔR_k [mm]	
Zużycie całkowite ściernicy ΔR_C [mm]	
Powierzchnia zużycia promieniowego A_{SR} [mm ²]	
Powierzchnia ściernicy usunięta podczas obciążania A_{Sd} [mm ²]	
Zużycie objętościowe ściernicy V_S [mm ³]	
Objętość zeszlifowanego materiału V_m [mm ³]	
Zużycie względne ściernicy q	

Pomiary chropowatości szlifowanej powierzchni

Czas szlifowania [min]						
Parametr chropowatości R_a [μm]						

8.4.4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) charakterystykę ściernicy użytej w ćwiczeniu,
- 2) rodzaj materiału i wymiary szlifowanej próbki,
- 3) opis przebiegu ćwiczenia,
- 4) obliczenia,
- 5) wypełnione protokoły pomiarów i obliczeń,
- 6) wnioski.

Literatura

1. Borkowski J.: *Zużycie i trwałość ściernic*. PWN, Warszawa 1990.
2. Gołąbczak A., Kozak J.: *Badania elektroerozyjnego procesu obciągania ściernic ze spoiwem metalowym*. [W:] *Obróbka ścierna, tendencje rozwoju*, pod red. A. Koziarskiego i A. Gołąbczaka, Wyd. Katedra Technologii Maszyn, Politechnika Łódzka, 2003, s. 355-366.
3. Gołąbczak A.: *Metody kształtowania właściwości użytkowych ściernic*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, 2004.
4. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: *Badania elektroerozyjno-mechanicznego ostrzenia supertwardych narzędzi ściernych o spoiwach metalowych przy pomocy elektrod szczotkowych*, [W:] *Obróbka ścierna, tendencje rozwoju*, pod red. A. Koziarskiego i A. Gołąbczaka, Wyd. Katedra Technologii Maszyn, Politechnika Łódzka, 2003, s. 373-378.
5. Oczóś K.: *Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1996.
6. Oczóś K., Porzycki J.: *Szlifowanie, podstawy i technika*, WNT, Warszawa, 1986.
7. Olszak W.: *Obróbka skrawaniem*, WNT, Warszawa, 2008.
8. Pająk E.: *Zaawansowane technologie współczesnych systemów produkcyjnych*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2000.
9. *Poradnik inżyniera, obróbka skrawaniem*, tom 1, WNT, Warszawa, 1991.