

MP
Politechnika Lubelska

Kazimierz Zaleski

LABORATORIUM
OBRÓBKİ UBYTKOWEJ

Lublin 2001

131887

OPINIODAWCA:

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Górski



521.9

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

ISBN 83-88110-18-7

©Copyright by Politechnika Lubelska 2001

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
ul Bernardyńska 13, 20-109 Lublin

Druk: Zakład Poligraficzny BS
Al. Spółdzielczości Pracy 9a, 20-147 Lublin

D-186/01-3

SPIS TREŚCI

	str.
Przedmowa	5
1. Ocena skrawalności materiałów	7
2. Toczenie nożami punktowymi	17
3. Wiercenie i rozwiercanie	33
4. Pomiar mocy skrawania podczas frezowania	49
5. Pomiar sił skrawania podczas szlifowania płaszczyzn	63
6. Polerowanie elektrolityczne	71
7. Struktura geometryczna powierzchni po obróbce wiórowej, ściernej i erozyjnej	79
8. Ubytkowa obróbka gwintów	91
9. Obwiedniowe metody nacinania uzębień kół zębatych walcowych	103
Literatura	115

PRZEDMOWA

Skrypt przeznaczony jest dla studentów kierunku Mechanika i Budowa Maszyn jako pomoc dydaktyczna do ćwiczeń laboratoryjnych z obróbki ubytkowej. Tematyka ćwiczeń obejmuje taki zakres, aby studenci mogli praktycznie zapoznać się z podstawowymi sposobami obróbki ubytkowej. Operacje obróbki ubytkowej często są końcowymi operacjami kształtowania elementów maszyn. Dlatego w ćwiczeniach zwrócono uwagę na zagadnienia dokładności obróbki oraz struktury geometrycznej powierzchni obrobionej. Czas główny operacji jest bezpośrednio powiązany z kosztami wytwarzania. Uznano za celowe ukazanie studentom możliwości zmniejszania czasu maszynowego poprzez stosowanie narzędzi, których część robocza wykonana jest z lepszych materiałów.

Tematy ćwiczeń zostały dobrane w taki sposób, aby praktyczna część ćwiczenia mogła być zrealizowana na stanowiskach laboratoryjnych znajdujących się w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Przed przystąpieniem do zajęć studenci powinni zapoznać się z regulaminem ćwiczeń oraz instrukcją BHP.

Opisy części praktycznej ćwiczeń poprzedzone zostały wiadomościami wstępnymi, co powinno ułatwić przygotowanie się do zajęć. Przed rozpoczęciem ćwiczeń będzie sprawdzane przygotowanie studentów do zajęć na podstawie ich znajomości zagadnień kontrolnych.

Po wykonaniu części praktycznej ćwiczenia studenci zobowiązani są do złożenia sprawozdania. Zagadnienia, które winny być ujęte w sprawozdaniu podane zostały w opisie wykonania poszczególnych ćwiczeń. Terminem złożenia sprawozdania jest termin następnych zajęć. Wzór części nagłówkowej sprawozdania zamieszczono na stronie 6.

Wzór części nagłówkowej sprawozdania

POLITECHNIKA LUBELSKA WYDZIAŁ MECHANICZNY KATEDRA PODSTAW INŻYNIERII PRODUKCJI	Grupa dziekańska
LABORATORIUM OBRÓBKII UBYTKOWEJ Ćwiczenie nr..... Temat:	Studenci wykonujący ćwiczenie: 1. 2. 3. 4.
Prowadzący ćwiczenia.....	Data.....

Ćwiczenie 1

OCENA SKRAWALNOŚCI MATERIAŁÓW

1.1. Wiadomości ogólne

1.1.1. Wskaźniki skrawalności

Rozróżniać należy pojęcia: skrawalność oraz skrawność. Skrawalność rozumiana jest jako podatność danego materiału na obróbkę skrawaniem, natomiast skrawność charakteryzuje skuteczność narzędzia w procesie skrawania.

Właściwa ocena skrawalności materiału ma szczególne znaczenie w przypadku skrawania na obrabiarkach pracujących automatycznie (zmniejszenie zakłóceń działania systemu obróbkowego).

Skrawalność materiałów oceniana jest za pomocą wskaźników skrawalności. Wskaźnikami ważnymi z użytkowego punktu widzenia są:

- 1) trwałość ostrza narzędzia (lub okresowa prędkość skrawania odpowiadająca założonej trwałości ostrza),
- 2) chropowatość powierzchni obrobionej,
- 3) siły występujące w procesie skrawania,
- 4) rodzaj i kształt wiórów.

Okresem trwałości ostrza nazywany jest czas skrawania danym ostrzem do jego stępienia, przy czym ostrze uważa się za stępione, jeśli określone wskaźniki

zużycia osiągną wartość dopuszczalną. Zużycie ostrza może też mieć charakter katastroficzny (np. wykruszenie, wyłamanie znacznej części ostrza itp.). Trwałość ostrza w sposób znaczący wpływa na koszty obróbki.

Uzyskiwana w wyniku skrawania chropowatość powierzchni, wyrażana za pomocą znormalizowanych parametrów (np. R_a , R_z , S_m), jest szczególnie istotna w przypadku, gdy dana powierzchnia obrabiana jest „na gotowo”. Chropowatość powierzchni obrobionej jest ważna również wówczas, gdy od tej chropowatości zależą efekty dalszej obróbki wykańczającej, następującej po danej operacji (np. dogładzanie, nagniatanie).

Siły występujące w procesie skrawania powodują obciążenie narzędzia skrawającego, przedmiotu obrabianego, uchwytu, przyrządu obróbkowego, a także wielu elementów obrabiarki. Całkowitą siłę skrawania rozkłada się na siły składowe: skrawania F_c , odporową F_p oraz posuwową F_f . Iloczynowi siły skrawania i prędkości skrawania równa jest moc skrawania.

Rodzaj wiórów (odrywane, ścinane) oraz ich kształt (np. pasmowe, śrubowe, spiralne, łukowe, elementowe, igłowe) jest uzależniony od rodzaju materiału obrabianego, budowy narzędzia oraz warunków technologicznych obróbki. Z kształtem wiórów związana jest „łatwość” ich usuwania ze strefy skrawania, co ma szczególne znaczenie w przypadku obróbki zautomatyzowanej. Oplatające się wokół narzędzia bądź przedmiotu obrabianego wióry mogą prowadzić do porysowania powierzchni obrobionej. Ponadto od kształtu wiórów zależy stosunek objętości zajmowanej przez wióry do objętości materiału, z którego dane wióry powstały (stosunek ten, zwany objętościowym współczynnikiem wióra, może wahać się w granicach 5 – 400 [4]).

Poza użytkowymi wskaźnikami skrawalności stosowane są też wskaźniki fizyczne, do których zalicza się między innymi [11, 12]: temperaturę skrawania, tarcie między ostrzem a wiórem oraz ostrzem a przedmiotem obrabianym, współczynnik spęczenia wióra, zdolność materiału do tłumienia drgań, naprężenia własne (tj. naprężenia równoważące się wewnątrz pewnego obszaru obrobionej części i występujące bez obciążenia zewnętrznego), utwardzenie warstwy wierzchniej obrabianego przedmiotu.

Wskaźniki skrawalności mogą być podawane jako wartości bezwzględne (np. trwałość ostrza w minutach, parametr chropowatości powierzchni R_a w mikrometrach itp.) albo wartości względne, wyrażające stosunek wartości bezwzględnej określonego wskaźnika dla badanego materiału do wartości bezwzględnej tego samego wskaźnika dla umownie przyjętego materiału odniesienia.

1.1.2. Metody oceny skrawalności

A. Ocena trwałości ostrza

Podstawowym wskaźnikiem skrawalności badanego materiału jest trwałość ostrza. Procedury badania trwałości noży tokarskich z ostrzami ze stali szybko tnącej, węglików spiekanych i materiałów ceramicznych są przedmiotem normy międzynarodowej PN – ISO 3685. Podane w tej normie zalecenia dotyczą tylko badań zużycia o charakterze głównie ciernym (starciu). Norma ta ustala wymagania dotyczące stosowanych próbek, narzędzi skrawających (materiał ostrza, sposób mocowania płytek, geometria ostrza), parametrów technologicznych skrawania, cieczy chłodząco-smarującej, oceny zużycia i trwałości narzędzi, procedury badań, rejestracji, opracowania i prezentacji wyników. Do badań skrawalności zalecane jest stosowanie materiałów obrabianych: stali 45 (180 – 200 HB) lub żeliwa ZI 250 (200 – 220 HB).

Trwałość ostrza zależy od wielu czynników, takich jak: właściwości materiału obrabianego, geometria i materiał ostrza, ciecz obróbkowa, parametry technologiczne itp. W celu określenia poszczególnych zmiennych wejściowych (np. posuw, głębokość skrawania, prędkość skrawania) na zmienną wyjściową (trwałość ostrza) należy zbudować model matematyczny procesu. Występujące w tym modelu stałe wylicza się na podstawie danych uzyskanych z eksperymentu, zrealizowanego według programu badań opracowanego przy wykorzystaniu teorii matematycznego planowania doświadczeń [19, 22].

Powyższa metoda pozwala na uzyskanie rozległej wiedzy o badanym obiekcie, ale wymaga przeprowadzenia licznych, czasochłonnych prób. W celu zmniejszenia czasu niezbędnego do przeprowadzenia oceny skrawalności materiałów można zastosować metody skrócone. Jedną z takich metod jest metoda bazująca na bezwymiarowej krzywej zużycia [3], wykreślanej na podstawie danych doświadczalnych w układzie współrzędnych: iloraz czasu skrawania i trwałości ostrza t_{skr}/T – szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia VB_B . Krzywa ta jest stała dla danego zestawienia materiał obrabiany – narzędzie i najczęściej jest opisywana w postaci wielomianu drugiego stopnia. Przeprowadzając krótkie próby skrawania i mierząc czas trwania tych prób oraz zużycie ostrza VB_B można wyznaczyć trwałość ostrza T .

B. Ocena chropowatości powierzchni

Parametry chropowatości powierzchni obrobionej mierzone są za pomocą odpowiednich przyrządów. Wysokości mierzonych nierówności mogą wahać się

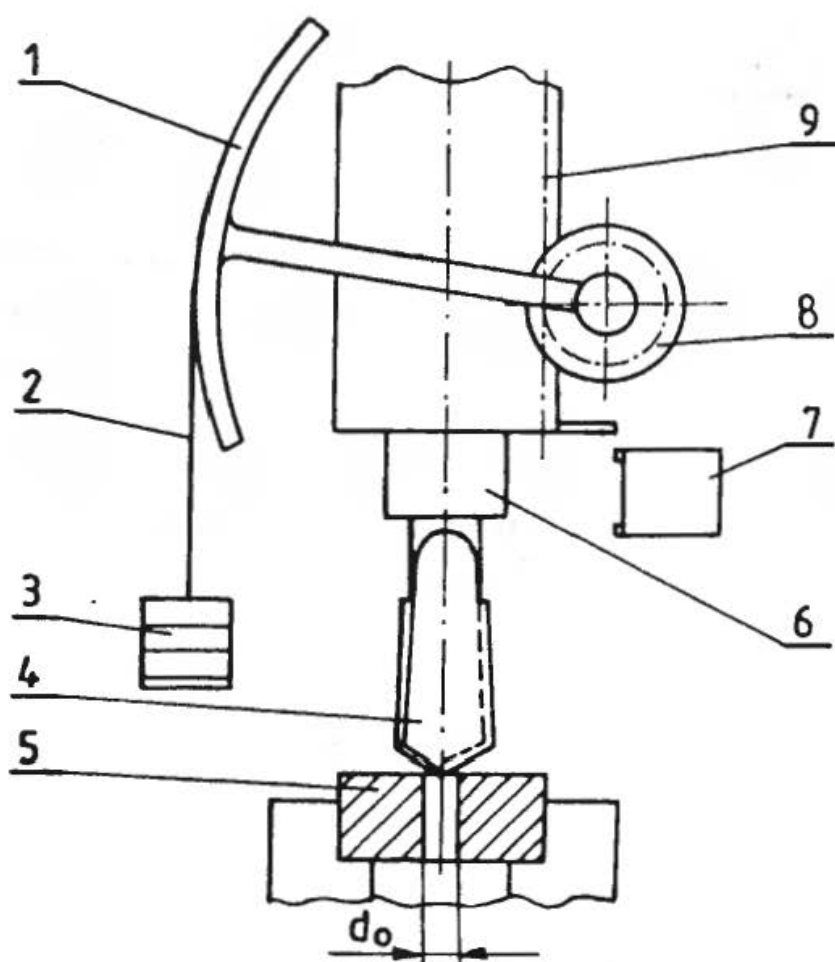
w granicach 10^{-10} – 10^{-4} m. Typowe zakresy wysokości chropowatości powierzchni elementów maszyn, zazwyczaj mieszczące się w granicach od dziesiątych (setnych) części μm do kilkunastu μm , mierzone są za pomocą przyrządów uniwersalnych, natomiast chropowatość powierzchni bardzo gładkich mierzona jest za pomocą specjalnych przyrządów umożliwiających pomiar chropowatości z rozdzielczością $2 \cdot 10^{-11}$ m (zbliżoną do średnic atomów) [16].

C. Ocena sił w procesie skrawania

Siły występujące w procesie skrawania najczęściej wyznaczone są metodami doświadczalnymi. Siły te mierzone są za pomocą siłomierzy wyposażonych w różnego rodzaju czujniki pomiarowe (np. tensometryczne, piezoelektryczne, indukcyjne). Ponadto w skład układów pomiarowych wchodzi komputerowe systemy akwizycji i przetwarzania uzyskanych wyników.

Zakup urządzeń do pomiaru sił skrawania (zwłaszcza produkowanych przez przodujące w tej dziedzinie firmy światowe) wiąże się ze znacznymi kosztami. Próby porównawcze określenia oporów skrawania mogą być przeprowadzone metodą powiercania przy stałej sile osiowej działającej na wiertło. Za miarę skrawalności przyjmuje się wówczas czas wywiercenia otworu o określonej głębokości (im krótszy czas tym lepsza skrawalność) lub głębokość wywierconego otworu w określonym czasie (im większa głębokość tym lepsza skrawalność). Próba taka jest krótkotrwała. Koszty przystosowania wiertarki do przeprowadzenia takich prób są niewielkie.

Schemat stanowiska do powiercania ze stałą siłą posuwową przedstawiono na rys. 1.1. Stanowisko to zbudowane zostało na bazie wiertarki stołowej. Zamiast dźwigni posuwu ręcznego zamontowany jest segment koła 1, do którego przymocowano linkę 2. Zawieszone na linie 2 obciążniki 3 powodują obrót segmentu 1. Ruch segmentu 1 przenoszony jest przez koło zębate 8 i zębatkę tulei wrzecionowej 9 na wrzeciono 6. Zastosowanie segmentu kołowego zapewnia stałą długość ramienia, na którym działa stała siła ciężkości obciążników 3. Tym samym (przy ustalonej masie obciążników) jest zapewniona stała wartość siły posuwowej. We wrzecionie 6 zamocowane jest wiertło piórkowe 4, którym wiercony jest otwór w próbce 5. Zegar 7 służy do pomiaru czasu wiercenia otworu o ustalonej długości.



Rys. 1.1. Stanowisko do powiercania ze stałą siłą posuwową

Zastosowanie wiertła piórkowego podyktowane jest możliwością wykonania jego ostrzy w węższych tolerancjach wymiarów geometrycznych niż wiertła krętego, co ma korzystny wpływ na dokładność i powtarzalność wyników. Wykonanie w badanej próbce otworu wstępnego o średnicy d_0 ma na celu wyeliminowanie niekorzystnego wpływu krawędzi poprzecznej (ścina) wiertła na proces skrawania.

Metoda powiercania ze stałą siłą posuwową może być stosowana do badań porównawczych skrawalności różnych partii tego samego gatunku materiału (np. kontrola dostaw materiału [13], czy też sprawdzanie skrawalności odlewów żeliwnych).

D. Ocena kształtu wiórów i kierunku ich spływu

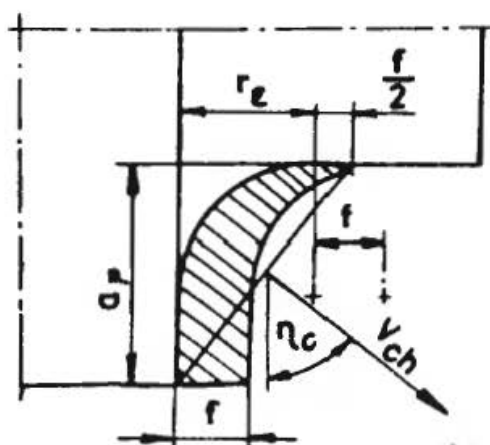
Duże znaczenie kształtu wiórów powstających w czasie skrawania uzasadnia potrzebę monitorowania tego procesu. Monitorowanie to ma na celu ocenę, czy powstające wióry można zaliczyć do grupy dopuszczalnych (krótkie, rozdrobnione) czy też ich kształt jest niedopuszczalny (długie, skłębione). Jest szereg koncepcji rozpoznawania kształtu wiórów (np. na podstawie emisji pro-

mieniowania podczerwonego ze strefy skrawania lub poprzez analizę sygnału emisji akustycznej) [5].

Kierunek spływu wiórów w dużym stopniu zależy od kąta pochylenia głównej krawędzi skrawającej λ_s . Przy skrawaniu nieswobodnym nożem o kącie $\lambda_s = 0$ kierunek spływu wiórów można określić metodą zaproponowaną przez Colwella, według której jest on prostopadły do prostej przechodzącej przez skrajne punkty kontaktu krawędzi skrawającej z materiałem obrabianym. Przykładowo gdy kąt przystawienia $\kappa_r = 90^\circ$ i głębokość skrawania a_p jest większa od promienia naroża r_e wartość kąta η_c zawartego między kierunkiem spływu wióra (v_{ch}) a płaszczyzną tylną (rys. 1.2) można obliczyć z zależności [5]:

$$\operatorname{tg} \eta_c = \frac{a_p}{r_e + \frac{f}{2}} \quad (1.1)$$

gdzie: f – posuw



Rys. 1.2. Wyznaczanie kierunku spływu wióra

1.1.3. Wpływ właściwości i struktury materiału na jego skrawalność

Do najważniejszych czynników wpływających na skrawalność materiału należy zaliczyć następujące jego cechy:

- twardość i wytrzymałość,
- skład chemiczny,
- strukturę,
- skłonność do umocnienia,
- przewodność cieplną.

Wzrost twardości i wytrzymałości materiału obrabianego wpływa na zwiększenie sił skrawania i szybsze zużywanie się ostrza. Jednakże materiały bardziej miękkie skłonne są do tworzenia narostu podczas skrawania, a powstające podczas ich obróbki wióry są trudne do łamania.

Skład chemiczny materiału ma bardzo duży wpływ na jego skrawalność. Można to prześledzić na przykładzie stali. Należy stwierdzić, że źle skrawalne są stale niskowęglowe oraz wysokowęglowe, natomiast dobrą skrawalnością charakteryzują się stale średniowęglowe. Przyczyną złej skrawalności stali niskowęglowych jest ich duża ciągliwość, z czym wiąże się łatwość tworzenia się narostu i zwiększanie się chropowatości powierzchni obrobionej. Z kolei stale wysokowęglowe mają większą twardość i wytrzymałość, co wpływa na wzrost sił skrawania i zmniejszanie się trwałości ostrza.

Niewielki dodatek manganu w stalach niskowęglowych poprawia ich skrawalność, natomiast większa ilość tego dodatku, zwłaszcza w stalach wysokowęglowych, wpływa niekorzystnie na skrawalność.

Występujące w stalach stopowych takie składniki jak: nikiel, chrom, kobalt, molibden, wolfram, wanad wpływają niekorzystnie na skrawalność z uwagi na wzrost wytrzymałości i twardości tych stali.

Korzystnie na skrawalność wpływają dodatki siarki i ołowiu (następuje zmniejszenie sił skrawania, zmniejszenie chropowatości powierzchni obrobionej, zwiększenie łamliwości wióra).

Skrawalność zależy też od struktury materiału obrabianego. Ferryt ze względu na bardzo małą twardość może być skrawany z dużymi prędkościami skrawania (małe zużycie ostrza), ale ma dużą skłonność do tworzenia narostu, co powoduje znaczną chropowatość powierzchni obrobionej. Z kolei martenzyt jest bardzo źle skrawalny z uwagi na dużą twardość (obróbka wiórowa może być prowadzona tylko narzędziami o ostrzach z borazonu). Również sorbit, troostyt i austenit są strukturami niekorzystnymi ze względu na skrawalność. Natomiast dobrą skrawalnością charakteryzuje się perlit (szczególnie drobnoziarnisty).

Niekorzystnie na skrawalność wpływa skłonność materiału do umocnienia ze względu na zwiększenie oporów skrawania. Do materiałów charakteryzujących się znaczną skłonnością do umocnienia zaliczyć można stale austenityczne oraz stopy tytanu.

Ważną właściwością materiału, ze względu na jego skrawalność, jest przewodność cieplna. Mała przewodność cieplna powoduje, że ciepło jest powoli odprowadzane ze strefy skrawania w głąb materiału, przez co rośnie temperatura ostrza a tym samym obniża się jego trwałość.

1.2. Zagadnienia kontrolne

1. Pojęcia skrawalności i skrawności.
2. Bezwzględne i względne wskaźniki skrawalności.
3. Ocena trwałości ostrza.
4. Wskaźniki zużycia ostrza.
5. Chropowatość powierzchni obrobionej jako wskaźnik skrawalności.
6. Siły występujące w procesie skrawania.
7. Próba powiercania ze stałą siłą posuwową.
8. Znaczenie rodzaju i kształtu wiórów oraz kierunku ich spływu w procesie skrawania.
9. Czynniki wpływające na kierunek spływu wiórów.
10. Wpływ właściwości, składu chemicznego i struktury materiału na jego skrawalność.
11. Skrawalność stali i żeliw.

Literatura uzupełniająca: [4, 5, 10, 11, 12].

1.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Tokarka uniwersalna.
- b. Zestaw wałków o jednakowych wymiarach ale z różnych materiałów.
- c. Noże tokarskie o jednakowej geometrii ostrza.
- d. Mikroskop warsztatowy.
- e. Stanowisko do badań skrawalności metodą powiercania ze stałą siłą posuwową.
- f. Wiertło piórkowe.
- g. Zestaw próbek do powiercania.

1.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Toczyć wałki wykonane z różnych materiałów z zachowaniem jednakowych warunków technologicznych obróbki (parametry skrawania poda prowadzący ćwiczenia).
2. Zmierzyć na mikroskopie warsztatowym średnią szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia VB_B noży po toczeniu.
3. Wykonać powiercanie otworów ze stałą siłą posuwową (dla danych próbek), mierząc czas skrawania t_s przy zachowaniu jednakowej długości otworów.

4. Opracować sprawozdanie, które powinno zawierać:

- opis przeprowadzonych prób,
- wyniki pomiarów szerokości pasma zużycia powierzchni przyłożenia noży tokarskich VB_B oraz czasu powiercania t_s (wypełnione protokoły),
- wnioski wynikające z przeprowadzonych pomiarów.

Tablica 1.1. Protokół pomiarów średniej szerokości pasma zużycia powierzchni przyłożenia noży tokarskich.

Parametry stałe:

- długość wałka $l_p =$
- średnica wałka $D =$
- symbol noża:
- materiał ostrza:
- parametry skrawania: $a_p =$, $f =$, $n =$, $v_c =$

Nr próby			
Materiał obrabiany			
R_m lub HB			
Średnia szerokość pasma zużycia VB_B			

Tablica 1.2. Protokół pomiarów czasu skrawania przy powiercaniu otworów ze stałą siłą posuwową.

Parametry stałe:

- średnica otworu wstępnego $d_0 =$
- średnica wiertła $D =$
- materiał ostrza wiertła:
- długość wiercenia $l_p =$
- prędkość obrotowa $n =$
- prędkość skrawania $v_c =$

Nr próby			
Materiał obrabiany			
R_m lub HB			
Czas skrawania t_s			



Ćwiczenie 2

TOCZENIE NOŻAMI PUNKTOWYMI

2.1. Wiadomości ogólne

Toczenie jest sposobem obróbki wiórowej, w którym ruchem głównym jest ruch obrotowy przedmiotu obrabianego, natomiast ruch posuwowy wykonuje narzędzie. Ze względu na sposób kształtowania powierzchni obrobionej rozróżnia się toczenie punktowe, kształtowe i obwiedniowe. Najczęściej stosowane jest toczenie punktowe, które charakteryzuje się tym, że zarys powierzchni obrobionej otrzymywany jest jako odwzorowanie toru naroża narzędzia (punktu przecięcia głównej i pomocniczej krawędzi skrawającej).

2.1.1. Technologiczne parametry skrawania

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

Głębokość skrawania a_p określana jest jako odległość między powierzchnią obrabianą a powierzchnią obrobioną. W przypadku toczenia wzdłużnego wałka można napisać:

$$a_p = \frac{D - d}{2}, \text{ mm}, \quad (2.1)$$

gdzie: D – średnica wałka przed toczeniem, mm,
 d – średnica wałka po toczeniu, mm.

Prędkość skrawania v_c jest to prędkość charakteryzująca ruch główny. Prędkość v_c jest powiązana z prędkością obrotową przedmiotu obrabianego n , wyrażaną w obr/min, oraz średnicą przedmiotu obrabianego D (w mm) zależnością:

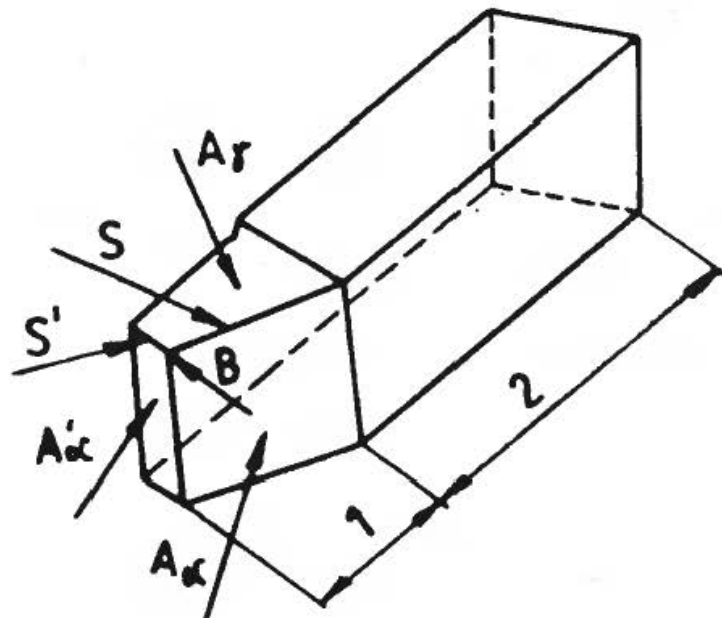
$$v_c = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ m/min}, \quad (2.2)$$

Posuw f (w mm/obr.) jest wielkością drogi pokonywanej przez narzędzie w czasie, gdy przedmiot obrabiany wykonuje jeden obrót. Prędkość ruchu posuwowego można wyznaczyć z zależności:

$$v_f = f n, \text{ mm/min}, \quad (2.3)$$

2.1.2. Budowa noży tokarskich

Narzędzia stosowane do toczenia nazywane są nożami tokarskimi. Budowę noża tokarskiego (jednolitego) pokazano na rys. 2.1. Podstawowymi elementami noża tokarskiego jest część robocza i część chwytowa.

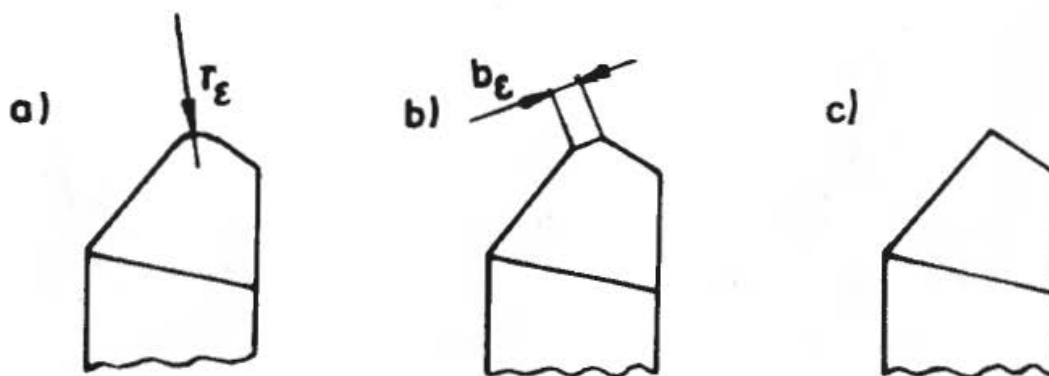


Rys. 2.1. Elementy noża tokarskiego: A_r – powierzchnia natarcia, A_a – powierzchnia przyłożenia, A'_a – pomocnicza powierzchnia przyłożenia, S – główna krawędź skrawająca, S' – pomocnicza krawędź skrawająca, B – naroże, 1 – część robocza, 2 – część chwytowa

W części roboczej noża występują następujące powierzchnie, ograniczające ostrze:

- powierzchnia natarcia A_γ , po której spływają wióry,
- powierzchnia przyłożenia A_α , zwrócona do powierzchni przejściowej przedmiotu obrabianego (łączącej powierzchnię obrabianą i obrobioną),
- pomocnicza powierzchnia przyłożenia $A_{\alpha'}$, zwrócona do powierzchni obrobionej.

Krawędź przecięcia powierzchni natarcia z powierzchnią przyłożenia nazywana jest główną krawędzią skrawającą, a krawędź przecięcia powierzchni natarcia z pomocniczą powierzchnią przyłożenia nosi nazwę pomocniczej krawędzi skrawającej. Krawędzie te łączą się, tworząc naroże. Naroże może być zaokrąglone (rys. 2.2 a), ścięte (rys. 2.2 b) lub ostre (rys. 2.2 c).



Rys. 2.2. Naroża noży tokarskich: a) zaokrąglone, b) ścięte, c) ostre

Część chwytowa noża służy do jego ustalenia i zamocowania. Noże mogą być mocowane bezpośrednio na obrabiarce lub w gnieździe oprawki.

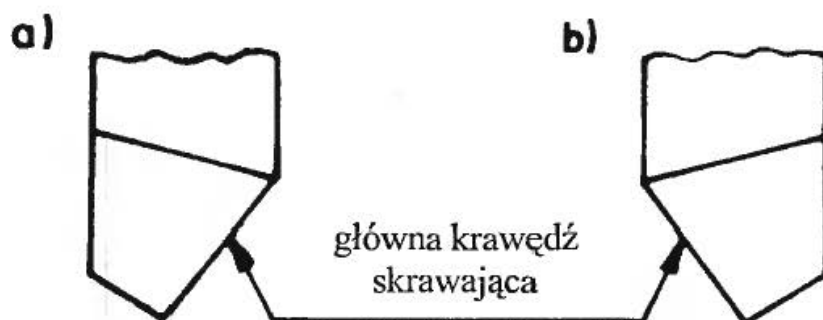
Noże tokarskie, w zależności od położenia głównej krawędzi skrawającej, dzieli się na prawe i lewe. Jeżeli, patrząc od strony naroża na nóż leżący powierzchnią natarcia „do góry”, główną krawędź skrawającą widzimy z prawej strony, to nóż taki nazywamy prawym (rys. 2.3 a), natomiast gdy główna krawędź skrawająca jest z lewej strony – nóż lewy (rys. 2.3 b).

Zależnie od położenia części roboczej względem części chwytowej rozróżnia się noże proste (rys. 2.3), wygięte (rys. 2.4 a), odsadzone (rys. 2.4 b) oraz odgięte (rys. 2.4 c).

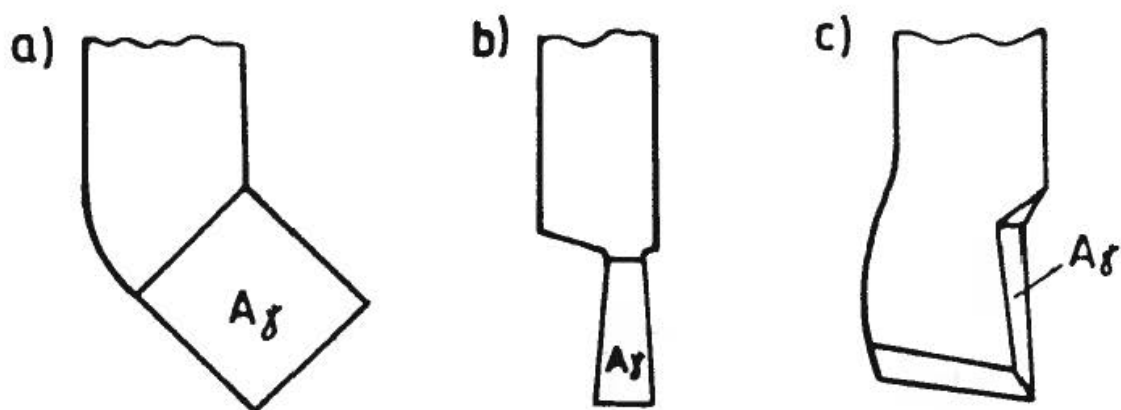
Ze względu na konstrukcję noże można podzielić na:

- jednolite,

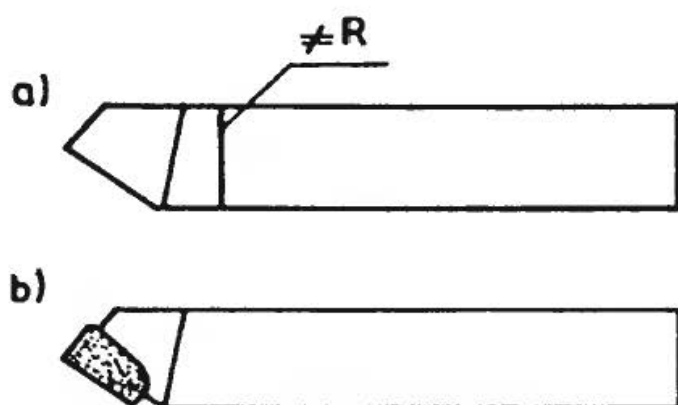
- łączone w sposób trwały,
- składane.



Rys. 2.3. Noże tokarskie proste: a) prawy, b) lewy



Rys. 2.4. Noże: a) wygięty w prawo, b) odsadzony w prawo, c) odgięty do tyłu

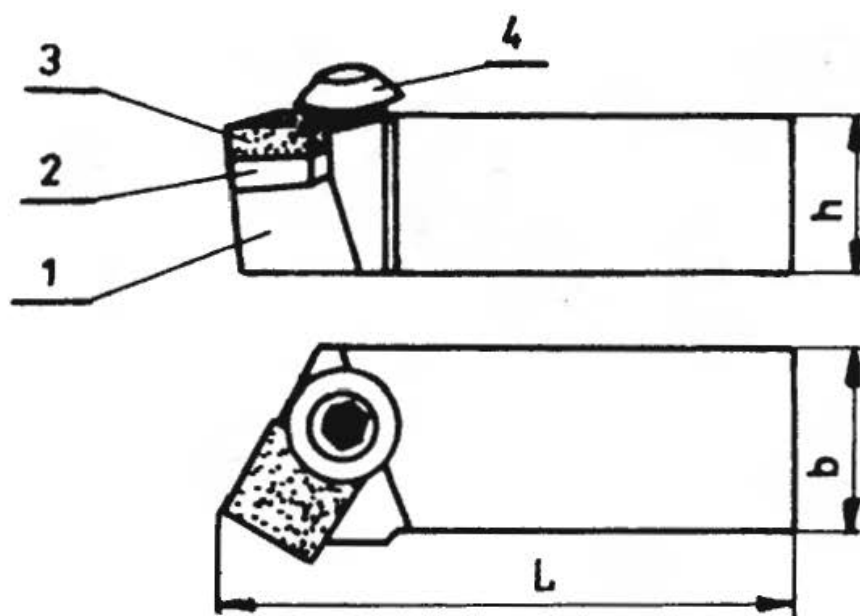


Rys. 2.5. Noże tokarskie łączone w sposób trwały

Noże jednolite wykonywane są najczęściej ze stali szybko tnącej (zarówno część robocza jak chwytowa).

Do noży łączonych w sposób trwały zalicza się:

- a) noże, których część robocza wykonana ze stali szybko tnącej jest zgrzewana lub spawana na spawarce elektronowej z częścią chwytową ze stali konstrukcyjnej (rys. 2.5 a),
- b) noże z płytkami z węglików spiekanych lutowanymi za pomocą lutowni miedzianego z trzonkiem (rys. 2.5 b).



Rys. 2.6. Nóż tokarski składany: 1 – korpus noża, 2 – podkładka oporowa, 3 – płytka skrawająca, 4 – śruba mocująca

Noże składane charakteryzują się tym, że część robocza w postaci płytki wieloostrowej (z węglików spiekanych lub ceramiczna) jest mocowana mechanicznie do części chwytowej (rys. 2.6). Rozwiązanie takie ma tę zaletę, że po stopieniu ostrza zmienia się położenie płytki umożliwiając skrawanie następną krawędzią.

2.1.3. Geometria części roboczej noży tokarskich w układzie narzędzia

Sposób określania geometrii części roboczej narzędzi skrawających podany został w normie PN – ISO 3002 – 1 + A1: 1996.

Poszczególne kąty części roboczej narzędzia określane są w układach odniesienia, stanowiących zespół płaszczyzn przechodzących przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej. Pierwszy układ, zwany układem narzędzia, stosowany jest do określenia geometrii narzędzia niezbędnej do jego wykonania

Płaszczyzna podstawowa P_r definiowana jest jako płaszczyzna przechodząca przez rozpatrywany punkt M krawędzi skrawającej równolegle bądź prostopadle do płaszczyzn lub osi będących elementami bazowymi narzędzia. Zwykle jest ona prostopadła do przewidywanego kierunku ruchu głównego. Dla noży tokarskich imakowych płaszczyzna ta jest równoległa do bazy narzędzia (podstawy noża).

Płaszczyzna przekroju głównego P_0 (ortogonalna) określana jest jako płaszczyzna przechodząca przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej i prostopadła do płaszczyzn: podstawowej P_r oraz krawędzi skrawającej P_s (płaszczyzna P_0 jest prostopadła do rzutu krawędzi skrawającej na płaszczyznę podstawową).

Płaszczyzną normalną P_n nazywana jest płaszczyzna prostopadła do krawędzi skrawającej w rozpatrywanym punkcie.

Płaszczyzna boczna P_f jest to płaszczyzna prostopadła do płaszczyzny podstawowej P_r i równoległa do założonego kierunku ruchu posuwowego. Dla zwykłych noży tokarskich płaszczyzna ta jest prostopadła do osi trzonka noża.

Płaszczyzna tylna P_p jest prostopadła do płaszczyzn: podstawowej P_r i bocznej P_f .

Kąty narzędzia definiuje się następująco:

- kąt przystawienia krawędzi skrawającej κ_r (w płaszczyźnie P_r) zawarty jest między płaszczyzną krawędzi skrawającej P_s a płaszczyzną boczną P_f ;
- kąt naroża ε_r (w płaszczyźnie P_r) zawarty jest między płaszczyzną krawędzi skrawającej P_s a płaszczyzną pomocniczej krawędzi skrawającej P_s' ;
- kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ_s (w płaszczyźnie P_s) zawarty między krawędzią skrawającą a płaszczyzną podstawową P_r ;
- kąt natarcia γ (w płaszczyznach P_o , P_n , P_f , P_p) zawarty jest między powierzchnią natarcia A_γ a płaszczyzną podstawową P_r ;
- kąt ostrza β (w płaszczyznach P_o , P_n , P_f , P_p) zawarty jest między powierzchnią natarcia A_γ a powierzchnią przyłożenia A_α ;
- kąt przyłożenia α (w płaszczyznach P_o , P_n , P_f , P_p) zawarty jest między powierzchnią przyłożenia A_α a płaszczyzną krawędzi skrawającej P_s .

Płaszczyzny i kąty odnoszące się do pomocniczej krawędzi skrawającej oznaczane są znakiem prim, np. κ_r' .

Między kątami zachodzą zależności:

$$\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa_r' = 180^\circ \quad (2.4)$$

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ \quad (2.5)$$

(w płaszczyznach P_n , P_f , P_p również suma kątów natarcia, ostrza i przyłożenia jest równa 90°).

Kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ_s może być:

- dodatni, gdy naroże jest punktem krawędzi skrawającej najbardziej wysuniętym w kierunku zgodnym z wektorem prędkości skrawania,
- ujemny,
- równy zero (krawędź skrawająca jest równoległa do płaszczyzny podstawowej).

Kąt natarcia jest uważany za ujemny wówczas, gdy suma kątów przyłożenia i ostrza (kąt skrawania) jest większa od 90° .

2.1.4. Noże tokarskie z częścią roboczą ze stali szybko tnącej

Noże ze stali szybko tnącej stosowane są do obróbki stali i staliwa o wytrzymałości na rozciąganie R_m do 700 MPa, miękkiego żeliwa oraz metali nieżelaznych o małej twardości. Noże tego rodzaju wykonywane są najczęściej ze stali szybko tnących wolframowo-molibdenowych (np. SW7M) i kobaltowo-wolframowych (np. SK5). Noże ze stali kobaltowo-wolframowych zalecane są do obróbki zgrubnej oraz do toczenia niektórych materiałów trudno obrabialnych (np. stali kwasoodpornych).

Noże tokarskie imakowe z częścią roboczą ze stali szybko tnącej są przedmiotem normy PN – 91/M – 58351. Oznaczenie noża powinno zawierać:

- symbol noża,
- wielkość nominalną,
- numer normy.

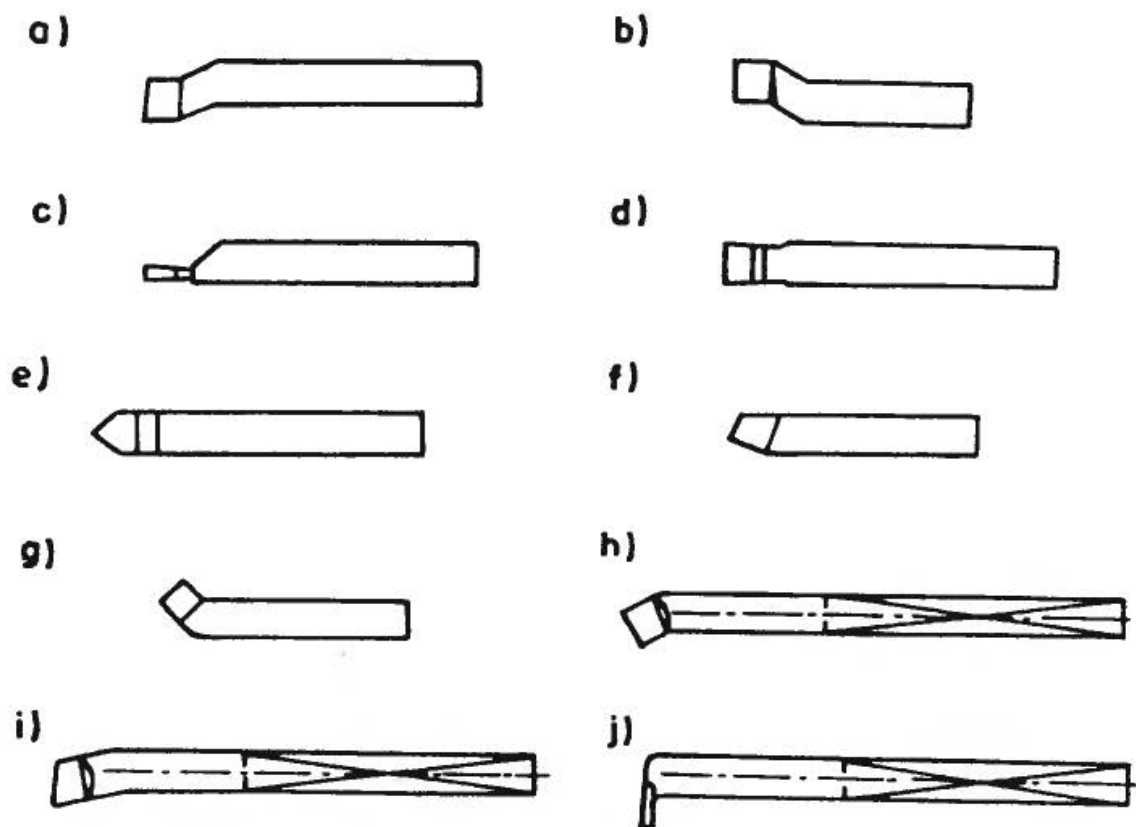
Symbole wybranych noży podano na rys. 2.8. W przypadku noży o przekroju kwadratowym lub prostokątnym dwie pierwsze cyfry oznaczenia wielkości nominalnej podają wysokość chwytu h (wyrażoną w mm), a dwie kolejne – szerokość b . Dla noży z chwytem o przekroju kołowym wielkość nominalna jest średnicą chwytu d . Na nożu powinien też być podany gatunek stali szybko tnącej, z której wykonano część roboczą noża.

2.1.5. Noże tokarskie z lutowanymi płytkami z węglików spiekanych

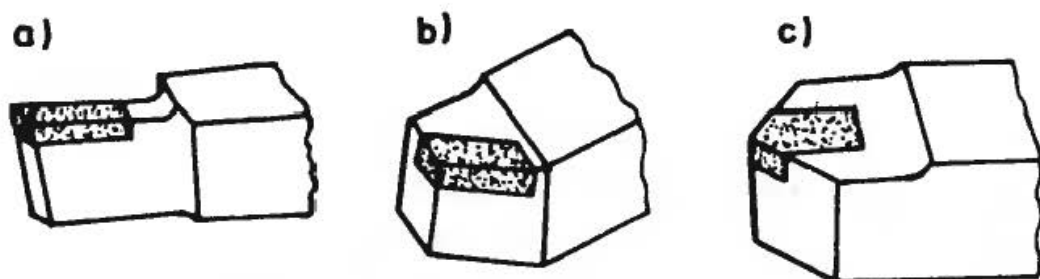
Kształt noży z lutowanymi płytkami z węglików spiekanych jest podobny do noży ze stali szybko tnącej. Płytkę osadza się w gnieździe korpusu narzędzia, a następnie lutuje, stosując w charakterze lutowia miedź elektrolityczną, mosiądz lub brąz. Nagrzewanie korpusu narzędzia oraz płytki może być realizowane indukcyjnie, w stopionym lutowiu, w piecu, za pomocą palnika lub na zgrzewarkach stykowych.

W zależności od budowy noża rozróżnia się następujące odmiany gniazd pod płytki: otwarte, półotwarte i zamknięte. Podział ten związany jest z liczbą powierzchni przylegania płytki do gniazda (rys. 2.9).

Podczas lutowania występuje niebezpieczeństwo pęknięcia płytek, spowodowane tym, że współczynnik rozszerzalności cieplnej węglików spiekanych jest około dwukrotnie mniejszy niż stali stosowanej na korpusy noży. Niebezpieczeństwo to zwiększa się w miarę wzrostu liczby powierzchni przylegania płytki i gniazda. Zatem najmniej narażone na pęknięcie są płytki lutowane w gniazdach otwartych.



Rys.2.8. Wybrane noże tokarskie imakowe z częścią roboczą ze stali szybko tnącej:
 a) boczny wygięty (z kątem $\kappa_r = 95^\circ$) prawy NNBC, b) boczny odsadzony (z kątem $\kappa_r = 90^\circ$) lewy NNBf, c) przecinak prawy NNPa, d) szeroki NNPd, e) spiczasty NNPe, f) prosty prawy NNZa, g) wygięty lewy NNZd, h) wytaczak prosty NNWa, i) wytaczak spiczasty NNWb, j) wytaczak hakowy NNWc.



Rys. 2.9. Odmiany gniazd w korpusach noży z płytkami lutowanymi:
 a) otwarte, b) półotwarte, c) zamknięte [7]

Pękaniu płytek można zapobiegać poprzez wprowadzanie między płytkę a gniazdo korpusu warstwy kompensacyjnej w postaci siatki stalowej lub perforowanej folii miedzianej.

Oznaczenie noży tokarskich z lutowanymi płytkami z węglików spiekanych, zgodnie z normą PN – 93/M – 58355, powinno zawierać:

- znak „ISO”,
- wyróżnik liczbowy typu noża,
- symbol literowy określający kierunek pracy noża (dla noża prawego – R, dla lewego – L),
- symbol liczbowy wyrażający wymiary przekroju chwytu (w milimetrach),
- symbol literowo – cyfrowy oznaczający „grupę zastosowania” gatunku węglika.

Wyróżniki liczbowe dla częściej stosowanych noży z lutowanymi płytkami są następujące: 1 – noże proste, 2 – wygięte, 6 – boczne odsadzone, 7 – przecinaki, 8 – wytaczaki proste, 9 – wytaczaki spiczaste.

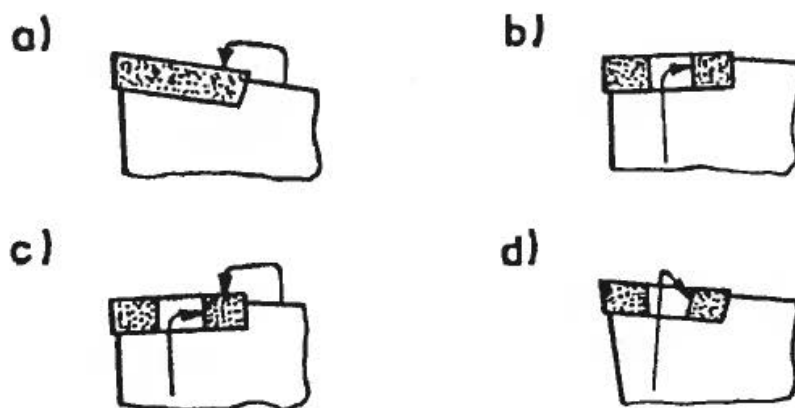
Przykładowe oznaczenie noża wygiętego prawego o przekroju chwytu 16 x 16 mm z ostrzem z węglików spiekanych grupy zastosowania P 20 ma postać: ISO 2R 1616 – P20.

2.1.6. Noże tokarskie składane

Noże składane z mocowanymi mechanicznie płytkami wielostrzowymi znajdują duże zastosowanie dzięki takim zaletom jak:

- lepsze wykorzystanie materiału trzonka (w przypadku noży z płytkami lutowanymi po zużyciu płytki w stopniu uniemożliwiającym dalsze ostrzenie trzonek jest złomowany, natomiast w nożach składanych jeden korpus służy do mocowania wielu płytek),
- wyeliminowanie konieczności ostrzenia noża,
- możliwość szybkiej wymiany stępionego ostrza,
- łatwiejszy dobór właściwego gatunku płytek.

Ze względu na potrzebę zapewnienia dużej sztywności narzędzia ważna jest konstrukcja noża składanego, w tym sposób mocowania płytki (rys. 2.10). System mocowania płytek skrawających związany jest z kształtem płytek, łatwością wymiany płytki, twardością materiału obrabianego, sztywnością układu OUPN, parametrami obróbki.



Rys. 2.10. Systemy mocowania płytki w korpusie noża: a) mocowanie od góry (C), b) mocowanie na otworze (P), c) mocowanie od góry i na otworze (M), d) mocowanie śrubą na otworze (S)

System oznaczania noży składanych obejmuje symbole podstawowe, które zawsze powinny być podane, oraz informację dodatkową. W przypadku noży do toczenia zewnętrznego poszczególne symbole powinny być umieszczane w następującej kolejności:

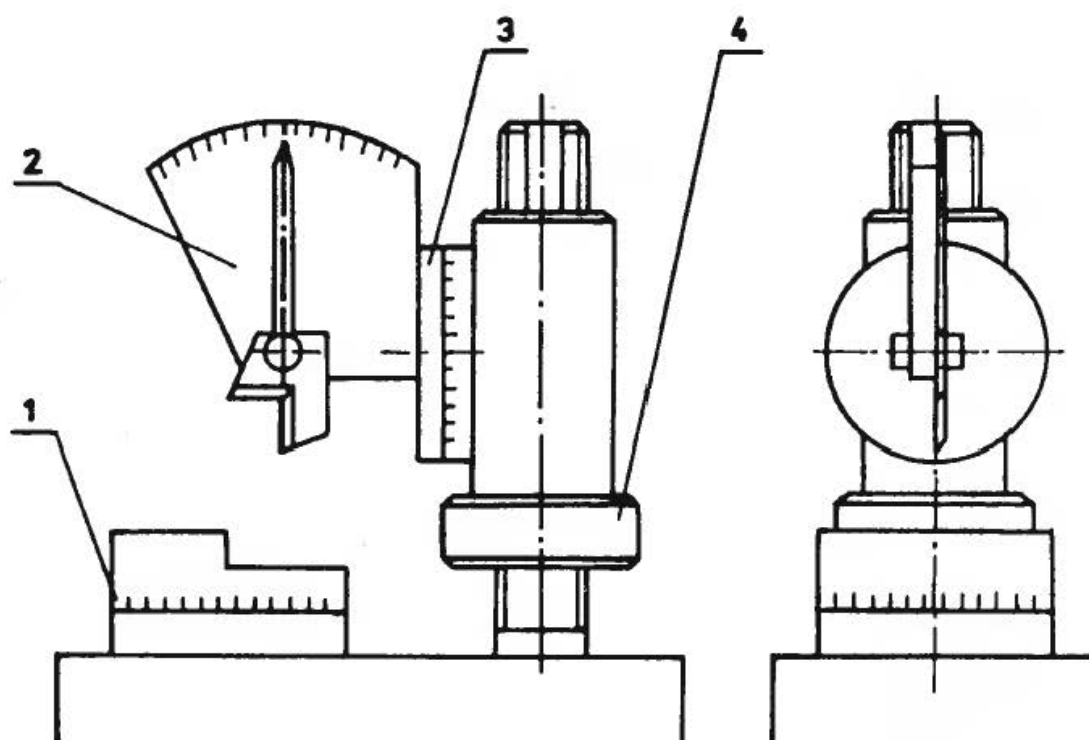
- 1) symbol literowy określający sposób mocowania płytki skrawającej (litery C, P, M, S zgodnie z rys. 2.10);
- 2) symbol literowy określający kształt płytki (np. płytka trójkątna – T, kwadratowa – S, sześciokątna – H);
- 3) symbol literowy określający rodzaj noża (np. nóż prosty o kącie $\kappa_r = 75^\circ$ – B, nóż boczny odsadzony z kątem przystawienia $\kappa_r = 90^\circ$ – G, nóż odsadzony z kątem przystawienia $\kappa_r = 75^\circ$ – R);
- 4) symbol literowy określający kąt przyłożenia głównej płytki (np. $\alpha_{nt} = 3^\circ$ – A, $\alpha_{nt} = 7^\circ$ – C, $\alpha_{nt} = 20^\circ$ – E);
- 5) symbol literowy określający kierunek skrawania: prawy – R, lewy – L, dowolny – N);
- 6) symbol cyfrowy określający wysokość noża podaną w mm;
- 7) symbol cyfrowy określający szerokość noża wyrażoną w mm;
- 8) symbol literowy określający długość noża – jeśli długość noża jest typowa dla danego przekroju trzonka wpisuje się „–”, natomiast gdy długość ta jest nietypowa wpisuje się symbole literowe odpowiadające poszczególnym długościom (np. 32 mm – A, 90 mm – G);
- 9) symbol cyfrowy określający długość boku lub średnicę płytki wyrażoną w mm;
- 10) informacja dodatkowa.

Przykładowo symbolem SSRCR1616-09 oznaczany jest nóż tokarski składany do toczenia zewnętrznego, z płytką kwadratową o boku 9 mm, mocowaną zgodnie z rys. 2.10 d, odsadzony, o kącie przystawienia $\kappa_r = 75^\circ$, prawy, którego kąt przyłożenia główny $\alpha_{nt} = 7^\circ$, wysokość przekroju trzonka $h = 16$ mm oraz szerokość $b = 16$ mm.

2.1.7. Sprawdzanie noży tokarskich

Do sprawdzania geometrii części roboczej noży tokarskich stosuje się kątomierz uniwersalny oraz specjalny kątomierz przedstawiony na rys. 2.11. Wymiary noża sprawdza się za pomocą suwmiarki.

Kątomierza uniwersalnego używa się do pomiarów kątów przystawienia głównej i pomocniczej krawędzi skrawającej. Kąty natarcia, przyłożenia oraz pochylenia krawędzi skrawających mierzy się za pomocą kątomierza specjalnego. Sprawdzany nóż należy położyć na stoliku obrotowym 1 (rys. 2.11), który umożliwia ustawienie noża pod różnymi kątami względem głowicy pomiarowej 2. Głowica ta zamocowana jest w tarczy skrętnej 3, dzięki czemu możliwy jest pomiar kątów w płaszczyźnie normalnej. Pokrętło 4 służy do zmiany położenia głowicy pomiarowej w zależności od wysokości noża.



Rys. 2.11. Przyrząd do sprawdzania geometrii ostrza noży tokarskich

2.1.8. Obliczanie czasu maszynowego

Czas maszynowy t_m oblicza się według zależności:

$$t_m = \frac{l_d + l_p + l_w}{v_f} i, \text{ min}, \quad (2.9)$$

gdzie: l_d – długość drogi dobiegu w mm,

l_p – długość części toczzonej w mm,

l_w – długość drogi wybiegu w mm,

v_f – prędkość ruchu posuwowego w mm/min (zależność (2.3)),

i – liczba przejść.

2.2. Zagadnienia kontrolne

1. Kinematyka toczenia.
2. Głębokość skrawania, posuw i prędkość skrawania.
3. Budowa części roboczej noża tokarskiego.
4. Podział noży tokarskich:
 - a) prawe i lewe,
 - b) proste, wygięte, odsadzone i odgięte,
 - c) jednolite, łączone w sposób trwały, składane.
5. Definicje i oznaczenia płaszczyzn układu narzędzia.
6. Definicje i oznaczenia kątów charakteryzujących część roboczą narzędzia.
7. Geometria części roboczej noża prostego, bocznego odsadzonego, bocznego wygiętego, przecinaka, wytaczaka prostego, wytaczaka spiczastego.
8. Zależności między kątami w płaszczyźnie podstawowej i ortogonalnej.
9. Budowa noży z częścią roboczą ze stali szybkotnącej, z lutowaną płytką z węglików spiekanych oraz składanych.
10. Zastosowanie płytek z węglików spiekanych (konwencjonalnych i z twardymi pokryciami) oraz ceramicznych.
11. Oznaczanie noży tokarskich.
12. Sprawdzanie geometrii części roboczej noży tokarskich.
13. Dobór parametrów technologicznych przy toczeniu.
14. Czas maszynowy toczenia.

Literatura uzupełniająca [2, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 24].

2.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Tokarka uniwersalna.
- b. Zestaw noży tokarskich.
- c. Kątomierz uniwersalny.
- d. Kątomierz specjalny do pomiaru geometrii części roboczej noży tokarskich.
- e. Suwmiarka.

2.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Sprawdzić geometrię ostrza wybranych noży tokarskich:
 - a) zmierzyć za pomocą kątomierza uniwersalnego kąty w płaszczyźnie podstawowej,
 - b) korzystając z kątomierza specjalnego zmierzyć kąty natarcia i przyłożenia (w płaszczyźnie przekroju głównego i normalnej) oraz pochylenia krawędzi skrawającej
 - c) obliczyć kąty ostrza.
2. Przeprowadzić toczenie powierzchni o jednakowej długości za pomocą noży, których część robocza wykonana jest z różnych materiałów (stal szybkozotnąca, węgiel spiekany konwencjonalny, węgiel spiekany pokryty azotkiem tytanu, spiek ceramiczny). Prędkości skrawania podczas toczenia należy dobrać dla poszczególnych materiałów ostrza, korzystając z zaleceń producentów narzędzi (odpowiednie materiały znajdują się w laboratorium). Zmierzyć czas obróbki poszczególnymi nożami.
3. Obliczyć czas maszynowy toczenia poszczególnymi nożami, korzystając z zależności (2.9).
4. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis sprawdzania noży tokarskich,
 - szkice sprawdzanych noży,
 - wyniki pomiarów (wypełnione protokoły),
 - obliczenia czasu maszynowego toczenia,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 2.1. Protokół sprawdzania noży tokarskich.

Nr noża			
Nazwa noża			
Symbol noża			
Materiał części roboczej			
Wymiary noża b x h x L			
Kąt przystawienia κ_r			
Kąt przystawienia κ_r'			
Kąt naroża ϵ_r			
Kąt pochylenia kraw. skraw. λ_s			
Kąt przyłożenia α_o			
Kąt natarcia γ_o			
Kąt ostrza β_o			
Kąt przyłożenia α_n			
Kąt natarcia γ_n			
Kąt ostrza β_n			

Tablica 2.2. Protokół toczenia nożami o ostrzach z różnych materiałów.

Nr próby toczenia				
Symbol noża				
Materiał części roboczej noża				
Materiał obrabiany				
Długość części toczonej l_p , mm,				
Głębokość skrawania a_p , mm,				
Posuw f , mm/obr.,				
Prędkość obrotowa n , obr/min.,				
Prędkość skrawania v_c , m/min.,				
Czas skrawania, min,				
Czas maszynowy, min,				

Ćwiczenie 3

WIERCENIE I ROZWIERCANIE

3.1. Wiadomości ogólne

Wiercenie jest sposobem wykonywania otworów w pełnym materiale. Narzędzia stosowane do wiercenia nazywane są wiertłami. Powiększenie średnicy istniejącego otworu za pomocą wiertła o większej średnicy nazywane jest wierceniem wtórnym lub powiercaniem (zmiana kształtu i wymiarów otworu na części jego długości nazywa się pogłębianiem).

Rozwiercanie jest sposobem obróbki otworów o dużej dokładności wymiarowo – kształtowej i małej chropowatości powierzchni, wstępnie wykonanych w inny sposób (najczęściej poprzez wiercenie). Narzędzia do rozwiercania noszą nazwę rozwiertaków. Rozróżnia się rozwiercanie zgrubne i wykańczające.

3.1.1. Parametry skrawania

Ruchem głównym w procesie wiercenia i rozwiercania jest ruch obrotowy narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Prędkość skrawania (prędkość ruchu głównego na średnicy zewnętrznej) oblicza się z zależności:

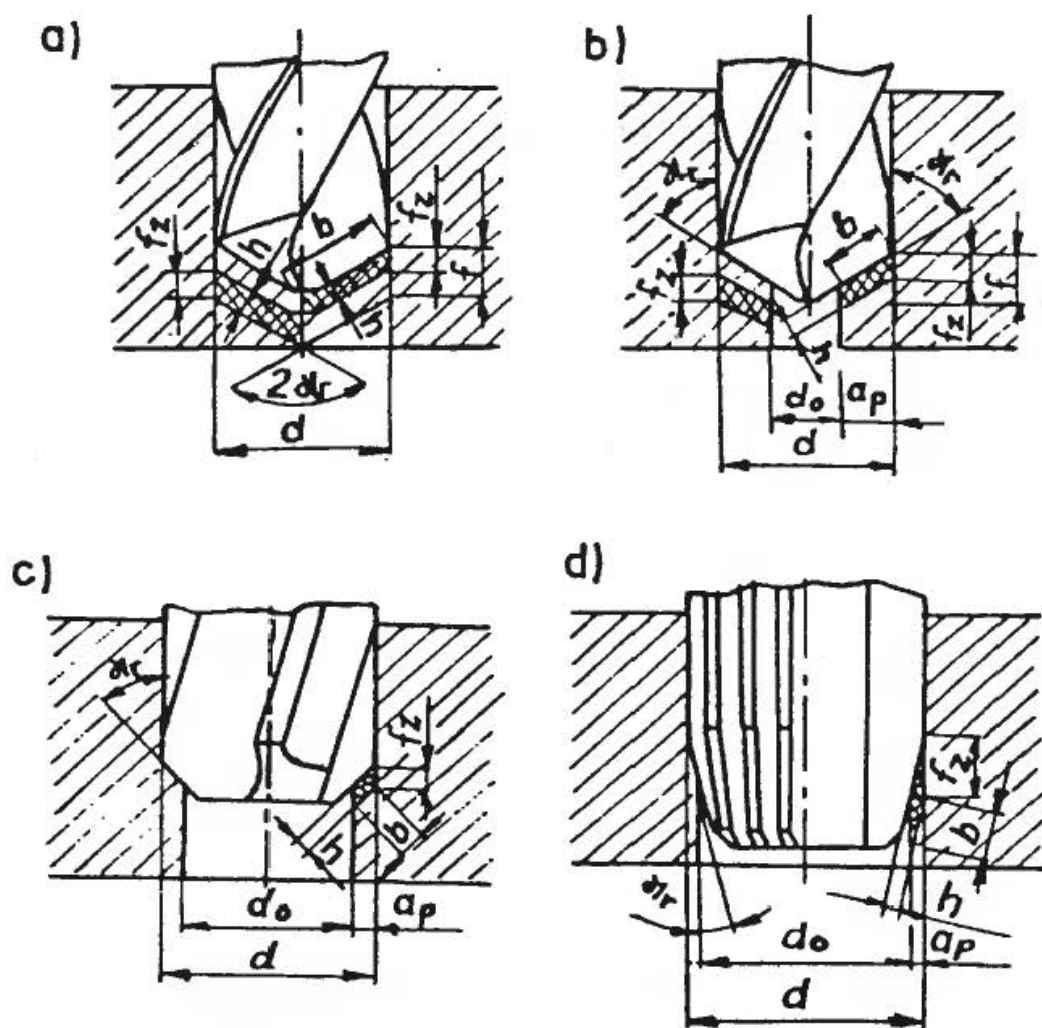
$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}, \text{ m/min,} \quad (3.1)$$

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

Ruchem posuwowym jest ruch narzędzia względem przedmiotu obrabianego wzdłuż osi otworu. Wielkość posuwu f (przy rozwiercaniu), odpowiadająca jednemu obrotowi, jest iloczynem wielkości posuwu f_z , odpowiadającego obrotowi o kąt równy podziałce międzyostrzowej, zwanego posuwem na ostrze, i liczby ostrzy z :

$$f = f_z z, \text{ mm/obr.}, \quad (3.2)$$

Prędkość ruchu posuwowego należy obliczać tak, jak przy toczeniu (wzór (2.3)).



Rys. 3.1. Kinematyka i geometria warstwy skrawanej przy: a) wierceniu w pełnym materiale, b) wierceniu wtórnym, c) rozwiercaniu zgrubnym, d) rozwiercaniu wykańczającym

Głębokość skrawania określa się według zależności:

- przy wierceniu w pełnym materiale:

$$a_p = \frac{d}{2}, \text{ mm}, \quad (3.3)$$

- przy wierceniu wtórnym i rozwiercaniu:

$$a_p = \frac{d - d_0}{2}, \text{ mm} \quad (3.4)$$

gdzie: d – średnica obrabianego otworu w mm,

d_0 – średnica otworu wstępnego w mm.

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

$$h = f_z \sin \kappa_r, \text{ mm}, \quad (3.5)$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}, \text{ mm}, \quad (3.6)$$

gdzie: κ_r – kąt przystawienia krawędzi skrawającej.

Całkowite pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej można wyznaczyć z zależności:

$$A = hbz, \text{ mm}^2, \quad (3.7)$$

Po przekształceniach wzór (3.7) przyjmuje postać:

- dla wiercenia w pełnym materiale

$$A = f \frac{d}{2}, \text{ mm}^2, \quad (3.8)$$

- dla wiercenia wtórnego i rozwiercania

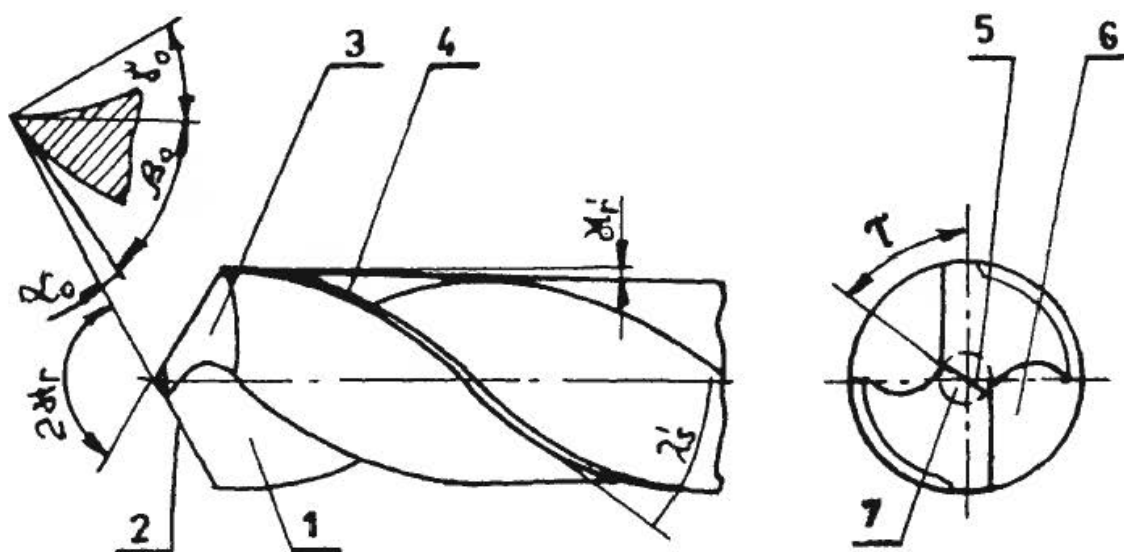
$$A = f \frac{d - d_0}{2}, \text{ mm}^2, \quad (3.9)$$

3.1.2. Wiertła

Ze względu na przeznaczenie wiertła dzieli się na:

- ogólnego przeznaczenia (najczęściej kręte),
- specjalnego przeznaczenia (np. do wiercenia głębokich otworów, rdzeniowe, stożkowe).

Do najczęściej stosowanych należą wiertła kręte. Podstawowe elementy oraz geometrię ostrza wiertła krętego pokazano na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Budowa i geometria ostrza wiertła krętego: 1 – powierzchnia natarcia, 2 – główna krawędź skrawająca, 3 – powierzchnia przyłożenia, 4 – pomocnicza powierzchnia przyłożenia, 5 – krawędź poprzeczna (ścin), 6 – rowek wiórowy, 7 – rdzeń

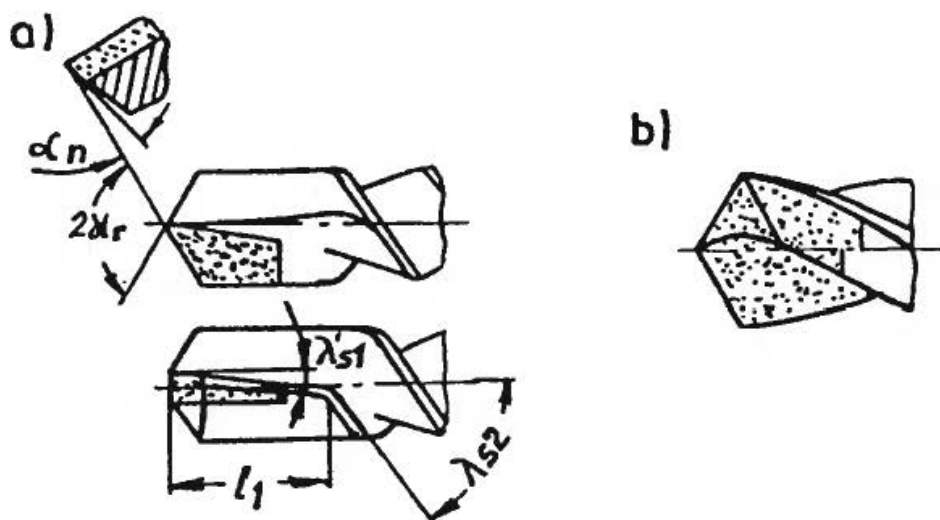
Wiertła kręte wykonywane są jako:

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

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 wiertła łączonych w sposób trwały zalicza się:

- wiertła, których część robocza wykonana ze stali szybko tnącej jest zgrzewana z częścią chwytową ze stali konstrukcyjnej wyższej jakości,
- wiertła, których ostrze w postaci płytki z węglików spiekanych jest wlutowane w przecięcie korpusu wiertła (rys. 3.3 a),
- wiertła, których cała końcówka wykonana jest z węglików spiekanych i połączona z korpusem (rys. 3.3 b).



Rys. 3.3. Wiertła kręte z częścią roboczą z węglików spiekanych łączone w sposób trwały [7]

Interesującym rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch gatunków węglików spiekanych do wytwarzania wiertła. W ten sposób otrzymuje się wiertło, którego rdzeń wykonany jest z węglika o mniejszej twardości ale większej ciągliwości, natomiast w części zewnętrznej wiertła występuje węglik bardziej kruchy, ale jednocześnie charakteryzujący się większą twardością i większą odpornością na zużycie ścierne.

Do wykonywania otworów o większych średnicach stosowane są coraz częściej wiertła składane, zbudowane w taki sposób, że wieloostrowe płytki skrawające z węglików spiekanych mocowane są mechanicznie w korpusie narzędzia.

Podczas wiercenia otworów utrudnione jest doprowadzenie cieczy obróbkowej do strefy skrawania (problem ten jest szczególnie widoczny, gdy wiercony jest otwór o dużej głębokości). Dlatego też wykonywane są wiertła z wewnętrznymi otworami, przez które ciecz obróbkowa doprowadzana jest bezpośrednio do

miejsca skrawania (zwykle pod ciśnieniem przekraczającym 3 MPa). Wiertła takie wykonywane są zarówno ze stali szybko tnącej jak i z węglików spiekanych.

Kolejny podział wiertel związany jest z kierunkiem ruchu obrotowego wiertła podczas skrawania. Jeżeli kierunek ten, dla obserwatora patrzącego od strony części chwytowej, jest zgodny z ruchem wskazówek zegara, to wiertło takie nazywane jest prawym, gdy przeciwny – lewym.

W zależności od średnicy oraz przewidywanego momentu obrotowego skrawania część chwytowa wiertła może być:

- 1) walcowa gładka – dla małych średnic,
- 2) walcowa z zabierakiem – gdy przewiduje się zwiększony moment skrawania,
- 3) stożkowa (chwyt stożkowy Morse'a) – zakres średnic 5 – 100 mm.

Wiertła piórkowe charakteryzują się prostszą budową w porównaniu z wiertłami krętymi, ale wykazują też gorsze właściwości w czasie wiercenia. Znajdują one zastosowanie do wykonywania podcięć wewnętrznych, obróbki wewnętrznych powierzchni kształtowych, niekiedy do wiercenia otworów o małej średnicy.

Spośród wiertel specjalnego przeznaczenia na uwagę zasługują wiertła do głębokich otworów. Otworami głębokimi nazywane są otwory, których długość jest 5 – 10 razy większa od ich średnicy. Konstrukcja wiertel do głębokich otworów umożliwia doprowadzenie do dna wierconego otworu cieczy obróbkowej pod znacznym ciśnieniem, tak aby wypływająca ciecz wypłukiwała wióry na zewnątrz otworu.

Głębokie otwory mogą być wykonywane metodą:

- 1) wiercenia pełnego, charakteryzującego się tym, że materiał całej objętości otworu zostaje usunięty w postaci wiórów,
- 2) wiercenia rdzeniowego (trepanacyjnego), podczas którego w postaci wiórów usuwany jest tylko materiał pierścienia o średnicy zewnętrznej równej średnicy obrabianego otworu a pozostawiany jest rdzeń „wewnątrz” tego pierścienia.

Zaletą wiercenia rdzeniowego jest zmniejszenie pracy skrawania oraz możliwość wykorzystania rdzenia.

Wiercenie głębokich otworów ma zastosowanie głównie w przemyśle zbrojeniowym (wiercenie przewodów lufowych). Ponadto technologia ta stosowana jest do wykonywania otworów we wrzecionach obrabiarek, otworów w cylindrach hydraulicznych i pneumatycznych itp.

3.1.3. Ostrzenie wiertel krętych

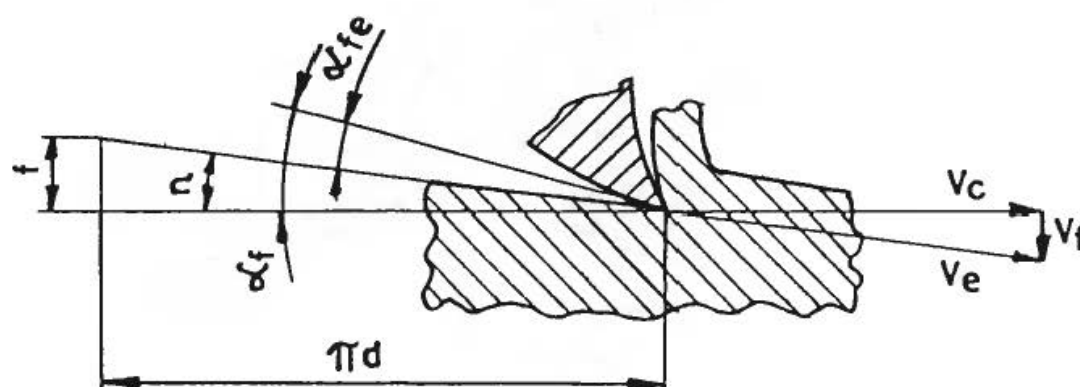
Część skrawająca wiertła krętego powinna być ukształtowana w taki sposób aby:

- główne krawędzie skrawające były prostoliniowe,
- kąt utworzony przez obie krawędzie skrawające z osią wiertła był jednako-
wy (równy κ_r),
- długość obu głównych krawędzi skrawających była jednakowa,
- kąt przyłożenia wzrastał dla punktów krawędzi skrawającej położonych
bliżej osi wiertła.

W celu zachowania prostoliniowości głównych krawędzi skrawających mu-
szą być zachowane określone relacje między kątem pochylenia pomocniczej
krawędzi skrawającej λ_s a podwójnym kątem przystawienia $2\kappa_r$ (rys. 3.2). Jeżeli
główne krawędzie skrawające nie są prostoliniowe, to wiór nie ma możliwości
swobodnego zwijania się i na skutek pękania wióra mogą wystąpić drgania pod-
czas wiercenia.

Jeśli kąty κ_r dla obydwu głównych krawędzi skrawających oraz długości
tych krawędzi nie są równe, to podczas wiercenia na wiertło działać będzie siła
poprzeczna powodująca wyginanie wiertła, co prowadzić będzie do powiększe-
nia średnicy wierconego otworu oraz nierównomiernego zużycia wiertła.

Potrzeba takiego ukształtowania powierzchni przyłożenia, aby kąt przyłoże-
nia zmieniał się w zależności od odległości od osi wiertła, związana jest ze
zmniejszaniem się kąta przyłożenia w układzie roboczym w stosunku do wielko-
ści tego kąta w układzie narzędzia (rys. 3.4).



Rys. 3.4. Kąt przyłożenia wiertła w układzie narzędzia α_f i w układzie roboczym α_{fe} .

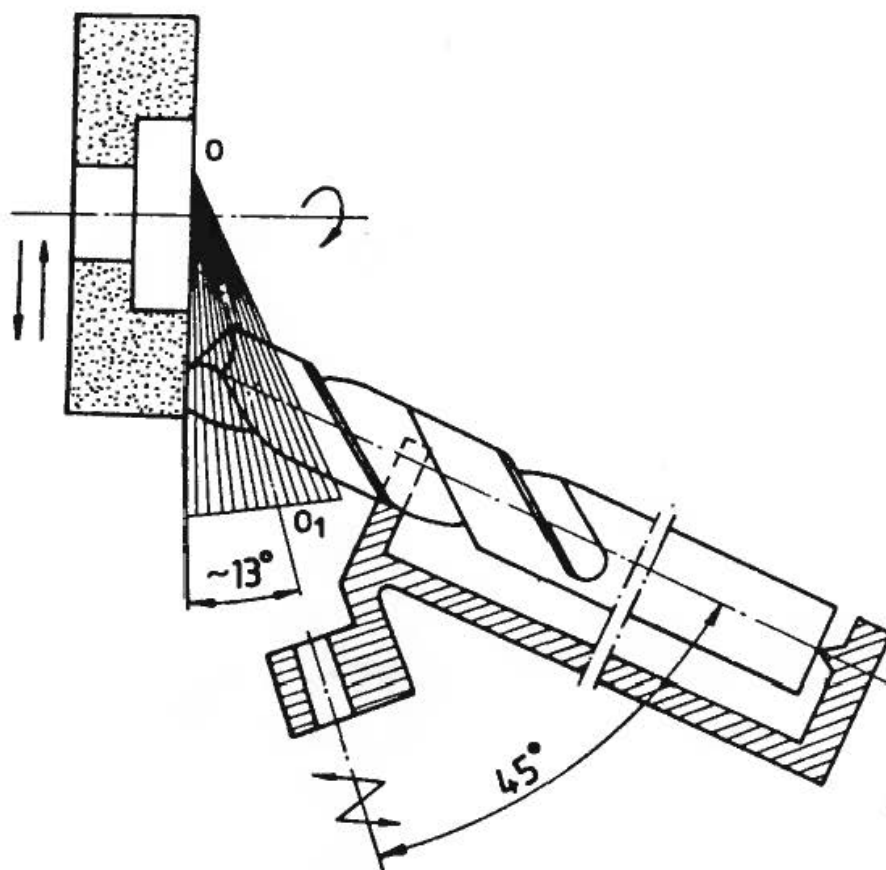
W czasie pracy wiertła poszczególne punkty głównej krawędzi skrawającej
poruszają się po torze odpowiadającym linii śrubowej walcowej o średnicy d ,

równej podwojonej odległości danego punktu od osi wiertła i skoku równym posuwowi f . Kąt nachylenia tego toru, będący różnicą między kątem przyłożenia w układzie narzędzia α_f i w układzie roboczym α_{fe} można wyznaczyć z zależności:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{f}{\pi d} \quad (3.10)$$

Z powyższego wzoru widać, że w miarę zbliżania się do osi wiertła (d maleje) rośnie kąt η . Zatem aby utrzymany był stały kąt α_{fe} (w przypadku $\alpha_{fe} = 0$ powierzchnia przyłożenia wiertła tarłaby o powierzchnię skrawania) wiertło powinno być naostrzone w taki sposób, aby kąt α_f zwiększał się wraz ze zmniejszaniem się średnicy d .

Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że w miarę oddalania się od osi wiertła rośnie kąt natarcia γ_f . Zatem zmniejszanie się kąta α_f wraz ze wzrostem odległości od osi zapobiega nadmiernemu osłabieniu naroża wiertła.



Rys. 3.5. Schemat ostrzenia wiertła metodą Washburne'a

Wiertła kręte ostrzy się szlifując powierzchnie przyłożenia. Prawidłową geometrię części roboczej wiertła zapewnia ostrzenie metodą Washburne'a

(stożka prostego). Powierzchnia przyłożenia wiertła stanowi fragment powierzchni bocznej wyobraźnego stożka o wierzchołku O (rys. 3.5). Podczas ostrzenia wiertło wykonuje ruch wahadłowy dookoła osi stożka OO_1 . Ściernica wykonuje ruch obrotowy wokół własnej osi oraz ruch postępowo – zwrotny w kierunku równoległym do jej powierzchni czołowej, co zapewnia jej równomierne zużywanie się.

3.1.4. Sprawdzanie wiertel krętych

Kąt przystawienia κ_r może być mierzony za pomocą kątomierza uniwersalnego lub sprawdzany za pomocą szablonów.

W celu wyznaczenia kąta pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej (kąta pochylenia linii śrubowej) 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:

$$\operatorname{tg} \lambda_s' = \frac{\pi d}{s} \quad (3.11)$$

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:

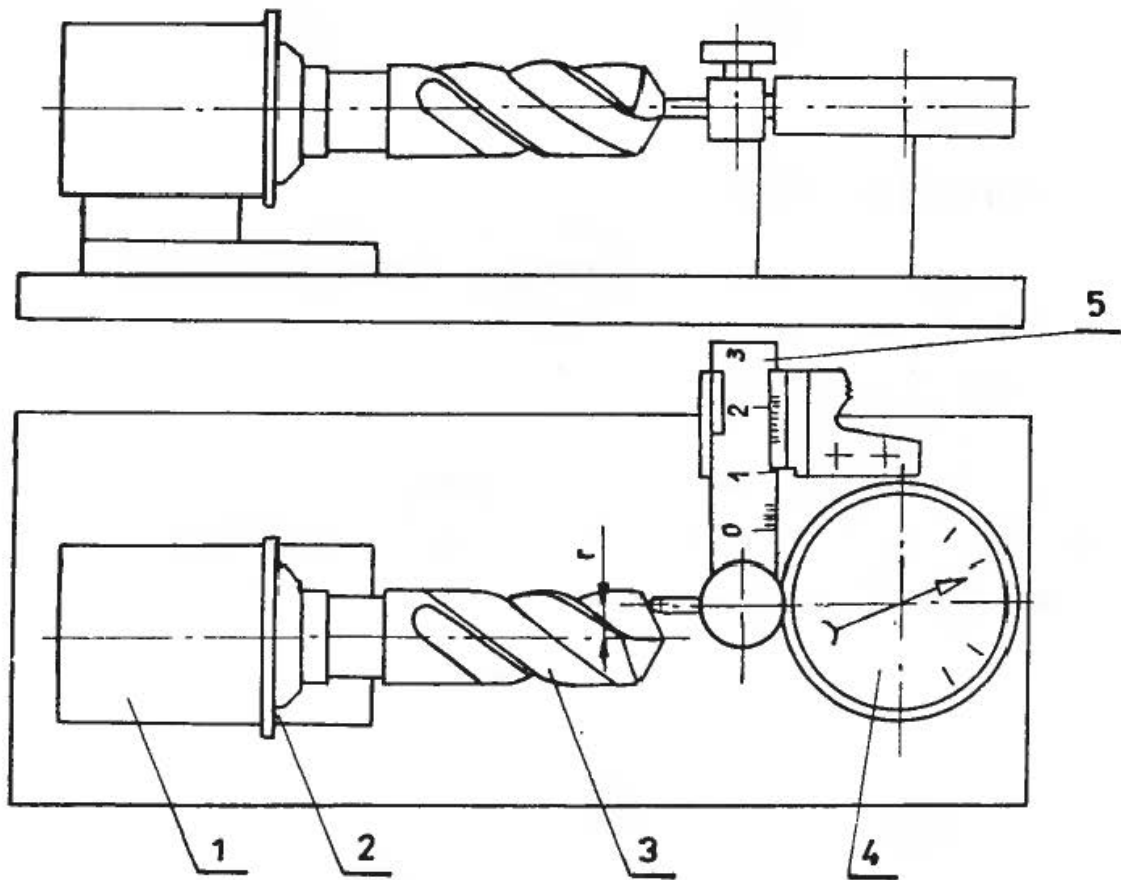
$$\operatorname{tg} \gamma_{fM} = \frac{d_M}{d} \operatorname{tg} \lambda_s' \quad (3.12)$$

gdzie: d_M – średnica wiertła w punkcie M .

Kąt przyłożenia można wyznaczyć metodą pośrednią, korzystając z przyrządu pokazanego na rys. 3.6. Wiertło 3 należy osadzić w tulejce 1, po czym tulejkę wraz z wiertłem przemieszcza się w taki sposób, aby końcówka czujnika 4, służącego do pomiaru przesuwu osiowego, oparła się o powierzchnię przyłożenia wiertła.

Skala przesuwu poprzecznego 5 umożliwia ustawienie osi czujnika w żądanej odległości r od osi wiertła. Obracając wiertło o określony kąt ϕ (odczytywany na skali 2) rejestrujemy wielkość przesunięcia osiowego końcówki pomiarowej czujnika h . Kąt przyłożenia w płaszczyźnie bocznej wyznaczyć można z zależności:

$$\operatorname{tg} \alpha_f = \frac{h}{l} \quad (3.13)$$



Rys. 3.6. Przyrząd do pomiaru kąta przyłożenia metodą pośrednią

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

$$l = \varphi \frac{\pi r}{180}, \text{ mm}, \quad (3.14)$$

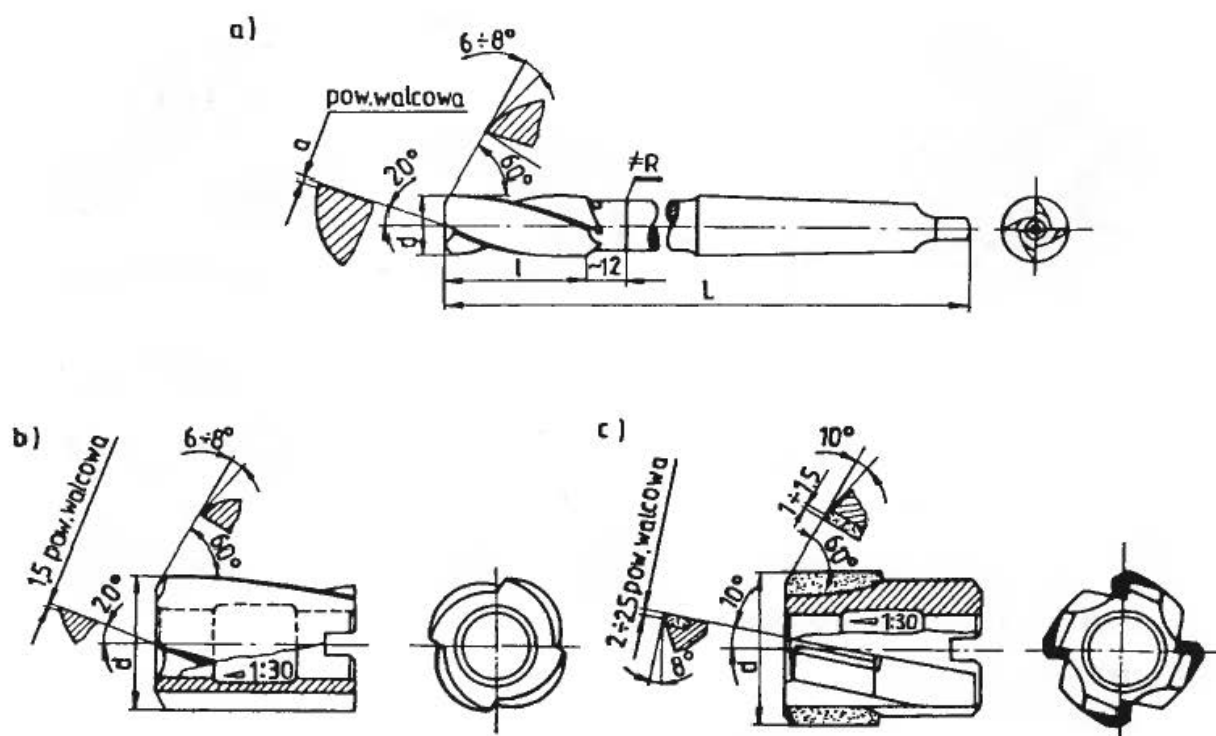
3.1.5. Rozwiertaki

Rozwiertaki są narzędziami stosowanymi do dokładnej obróbki otworów (5–10 klasa dokładności wg ISO). Ponadto rozwiercanie umożliwia uzyskanie dużej dokładności kształtu oraz małej chropowatości powierzchni ($R_a = 0,32 - 1,25 \mu\text{m}$),

Rozwiertaki, podobnie jak wiertła, mogą być wykonane w całości ze stali szybko tnącej lub węglików spiekanych, z ostrzami w postaci płytek z węglików spiekanych (łączonymi z korpusem narzędzia w sposób trwały lub mocowanymi mechanicznie), a także z ostrzami z polikrystalicznego diamentu.

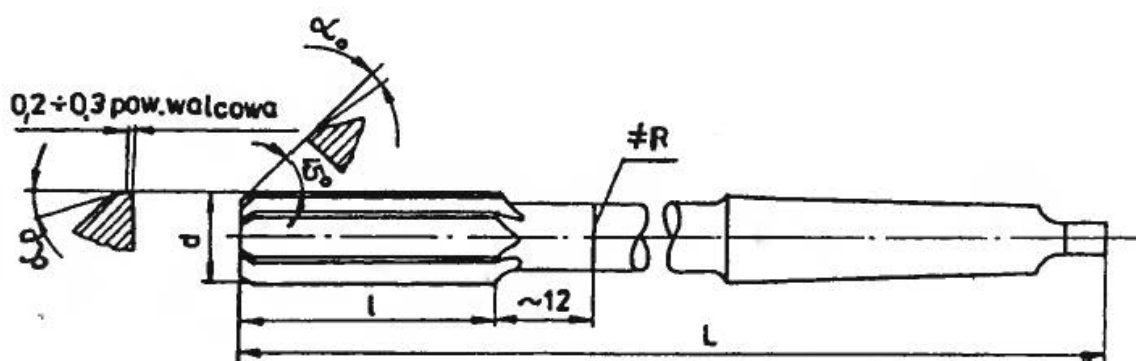
Ze względu na dokładność obróbki rozróżnia się rozwiertaki zdzieraki i wykańczaki, a w zależności od sposobu mocowania – trzpieniowe i nasadzane. Stosowane są rozwiertaki do otworów walcowych oraz rozwiertaki do otworów stożkowych.

Budowę przykładowych rozwiertaków pokazano na rys. 3.7 – 3.9. Rozwiertaki na ogół są narzędziami wieloostrzowymi (zdzieraki 3 – 4 ostrza, wykańczaki 4 – 18 ostrzy).

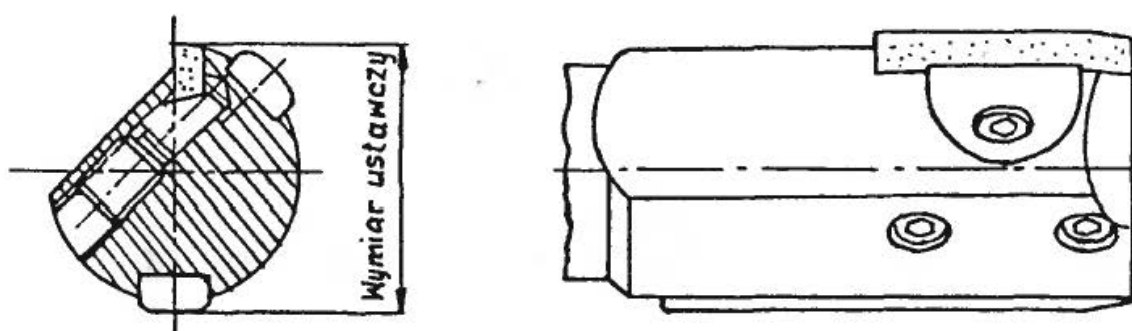


Rys. 3.7. Rozwiertaki zdzieraki: a) trzpieniowy z częścią roboczą ze stali szybko tnącej zgrzewaną z częścią chwytową, b) nasadzany ze stali szybko tnącej, c) nasadzany z ostrzami z węglików spiekanych łączonymi w sposób trwały z korpusem [20]

Budowę rozwiertaka jednoostrzowego przedstawiono na rys. 3.9 [14]. Są to rozwiertaki składane z mechanicznie mocowaną płytką skrawającą (z węglika spiekane, cermetu lub polikrystalicznego diamentu). Konstrukcja rozwiertaka składanego umożliwia zmianę ustawiania jego średnicy. Prowadzenie rozwiertaka w otworze odbywa się za pomocą co najmniej dwóch listew prowadzących.



Rys. 3.8. Rozwiertak wykańczak trzpieniowy z częścią roboczą ze stali szybkotnącej zgrzewaną z częścią chwytową [20]



Rys. 3.9. Rozwiertak jednoostrzowy z nastawną, wymienną płytką skrawającą

3.1.6. Czynniki wpływające na dokładność wymiarowo-kształtową otworu

Do ważniejszych przyczyn powstawania błędów wymiarów (średnicy) oraz kształtu (np. owalność, stożkowość, baryłkowość) wierconego otworu należy zaliczyć:

- 1) błędy wymiarowe narzędzi,
- 2) zużycie narzędzia,
- 3) bicie wrzeciona obrabiarki,
- 4) zginanie narzędzia siłą działającą w kierunku prostopadłym do osi, powstałą na skutek nieprawidłowego naostrzenia,
- 5) przesunięcie osi części roboczej narzędzia względem części chwytowej,
- 6) błędy wykonania części chwytowej narzędzia,
- 7) nierównoległość kierunku ruchu posuwowego i osi narzędzia,
- 8) błędy ustawienia przedmiotu obrabianego względem narzędzia,
- 9) sztywność obrabiarki,
- 10) odkształcenia sprężyste i cieplne narzędzia,
- 11) odkształcenia sprężyste i cieplne przedmiotu obrabianego,
- 12) powstawanie narostu.

3.1.7. Dobór średnic wiertel i rozwiertaków

Otwory walcowe o dokładności 12 – 14 klasy wg ISO wykonywane są wierceniem. Otwory w klasie 11 wg ISO otrzymuje się po rozwiercaniu zgrubnym, a w klasach 6 – 10 (a nawet 5) – po rozwiercaniu wykańczającym. Zalecane wartości średnic wiertel i rozwiertaków w zależności od średnicy wykonywanego otworu podano w tablicy 3.1 (dla stosowanego w ćwiczeniu zakresu średnic otworów 10 – 40 mm).

Tablica 3.1. Średnice wiertel i rozwiertaków (w mm) stosowanych do obróbki otworów walcowych wykonywanych w 6 – 10 klasie dokładności wg ISO w stalach i żeliwach (zgodnie z PN – 74/M – 57025).

Średnica otworu	Wiertło 1	Wiertło 2	Rozwiertak zdzierak	Rozwiertak wykańczak
10	9		9,8	10
11	10		10,75	11
12	11		11,75	12
13	12		12,75	13
14	13		13,75	14
15	13,75		14,75	15
16	14,75		15,75	16
17	15,75		16,75	17
18	16,75		17,75	18
19	17,5		18,7	19
20	18,5		19,7	20
21	19,5		20,7	21
22	20,5		21,7	22
23	21,5		22,7	23
24	22,5		23,7	24
25	12	23,5	24,7	25
26	12	24,5	25,7	26
27	12	25,5	26,7	27
28	12	26,5	27,7	28
30	12	28,5	29,7	30
32	16	30,5	31,6	32
34	16	32	33,6	34
35	16	33	34,6	35
36	16	34	35,6	36
38	16	36	37,6	38
40	16	38	39,6	40

3.2. Zagadnienia kontrolne

1. Wiercenie wstępne i powiercanie.
 2. Kinematyka wiercenia.
 3. Parametry technologiczne wiercenia.
 4. Geometria warstwy skrawanej przy wierceniu i rozwiercaniu.
 5. Klasyfikacja wiertel i rozwiertaków.
 6. Budowa wiertel i rozwiertaków.
 7. Geometria części roboczej wiertel i rozwiertaków.
 8. Materiały stosowane do wytwarzania części roboczej wiertel i rozwiertaków.
 9. Budowa części chwytowej wiertel i rozwiertaków.
 10. Sposoby wykonywania głębokich otworów.
 11. Warunki, jakie powinno spełniać prawidłowo naostrzone wiertło.
 12. Kąt przyłożenia wiertła w układzie roboczym.
 13. Ostrzenie wiertel metodą stożka prostego.
 14. Wyznaczanie kąta pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej.
 15. Obliczanie kąta natarcia dla dowolnej średnicy.
 16. Wyznaczanie kąta przyłożenia.
 17. Analiza przyczyn powstawania błędów wymiarów i kształtu wykonywanego otworu.
 18. Klasy dokładności otworów oraz chropowatość powierzchni po wierceniu, rozwiercaniu zgrubnym i rozwiercaniu wykańczającym.
- Literatura uzupełniająca: [4, 5, 8, 11, 12, 24].

3.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Wiertarka kadłubowa.
- b. Komplet wiertel i rozwiertaków.
- c. Ostrzarka Washburne'a.
- d. Przyrząd do pomiaru kąta przyłożenia metodą pośrednią.
- e. Podstawka do wiertła.
- f. Kątomierz uniwersalny.
- g. Suwmiarka.
- h. Mikrometr.
- i. Średnicówka czujnikowa.
- j. Wysokościomierz suwmiarkowy.
- k. Próbką do wiercenia i rozwiercania.

3.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Naostrzyć wiertło kręte (parametry technologiczne poda prowadzący ćwiczenia).
2. Zmierzyć za pomocą kątomierza uniwersalnego kąty przystawienia głównych krawędzi skrawających κ_{r1} i κ_{r2} ($2\kappa_r = \kappa_{r1} + \kappa_{r2}$) oraz, korzystając z suwmiarki, długość głównych krawędzi skrawających l_{k1} i l_{k2} .
3. Zmierzyć za pomocą wysokościomierza (wiertło należy umieścić w odpowiedniej podstawce) długość skoku linii śrubowej s oraz (korzystając z suwmiarki) średnicę wiertła d . Obliczyć wg zależności (3.11) kąt pochylenia pomocniczej krawędzi skrawającej λ_s' .
4. W oparciu o wzór (3.12) obliczyć kąty natarcia γ_{fA} i γ_{fB} w płaszczyźnie bocznej przechodzącej przez wybrane punkty A i B głównej krawędzi skrawającej (punkt A – w pobliżu ścina, punkt B – w pobliżu naroża), położone odpowiednio w odległości r_A i r_B od osi wiertła.
5. Zamontować wiertło w przyrządzie do pomiaru kąta przyłożenia, ustawić przyrząd w taki sposób, aby oś czujnika przechodziła przez punkt A na głównej krawędzi skrawającej (w odległości r_A od osi wiertła), następnie (obracając wiertło) zmierzyć wartości przesunięcia końcówki pomiarowej czujnika h_A oraz kąta obrotu wiertła φ_A . W oparciu o wzory (3.13) i (3.14) obliczyć kąt przyłożenia α_{fA} . Pomiar i obliczenia powtórzyć dla punktu B.
6. Opracować plan obróbki otworu o zadanej średnicy i klasie dokładności. Na podstawie tablicy 3.1 dobrać wiertła i rozwiertaki do obróbki tego otworu.
7. Wykonać dany otwór według planu opracowanego w punkcie 6 (parametry technologiczne poda prowadzący ćwiczenia). Za pomocą mikrometru zmierzyć średnice poszczególnych wiertel i rozwiertaków, a za pomocą średnicówki czujnikowej mierzyć średnicę otworu po poszczególnych etapach obróbki (wiercenie wstępne, powiercanie, rozwiercanie zgrubne i rozwiercanie wykańczające).
8. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - szkic sposobu ostrzenia wiertła krętego,
 - opis sprawdzania wiertła krętego,
 - wyniki pomiarów i obliczeń geometrii części roboczej wiertła (wypełniony protokół),
 - szkic sprawdzanego wiertła,
 - plan obróbki otworu,
 - wyniki pomiarów średnic narzędzi i otworów (wypełniony protokół),
 - uwagi i wnioski.

Tablica 3.2. 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	
Kąty natarcia γ_{fA} , γ_{fB}	
Przesunięcia końcówki pomiarowej czujnika h_A , h_B	
Kąty obrotu wiertła φ_A , φ_B	
Kąty przyłożenia α_{fA} , α_{fB}	

Tablica 3.3. Protokół wiercenia i rozwiercania otworu.

Średnica wiertła do wiercenia wstępnego d_{w1}	
Średnica otworu po wierceniu wstępnym d_{o1}	
Różnica $d_{o1} - d_{w1}$	
Średnica wiertła po powiercaniu d_{w2}	
Średnica otworu po powiercaniu d_{o2}	
Różnica $d_{o2} - d_{w2}$	
Średnica rozwiertaka zdzieraka d_{rz}	
Średnica otworu po rozwiercaniu zgrubnym d_{oz}	
Różnica $d_{oz} - d_{rz}$	
Średnica rozwiertaka wykańczaka d_{rw}	
Średnica otworu po rozwiercaniu wykańczającym d_{ow}	
Różnica $d_{ow} - d_{rw}$	

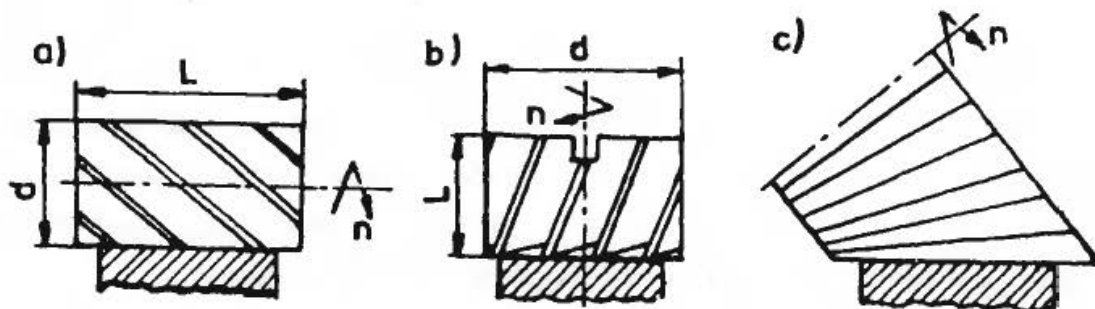
Ćwiczenie 4

POMIAR MOCY SKRAWANIA PODCZAS FREZOWANIA

4.1. Wiadomości ogólne

Frezowanie jest sposobem obróbki wiórowej charakteryzującym się tym, że ruchem głównym jest ruch obrotowy narzędzia, zwanego frezem, natomiast ruch posuwowy w kierunku prostopadłym do osi obrotu narzędzia wykonuje zwykle przedmiot obrabiany. Rozróżnia się (rys. 4.1):

- 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. 4.1. Odmiany frezowania: a) walcowe, b) czołowe, c) skośne

Oprócz płaszczyzn mogą być frezowane powierzchnie kształtowe. Wówczas kąt między osią frezu a stycznymi do krzywej będącej linią przecięcia powierzchni obrobionej z płaszczyzną przechodzącą przez oś frezu i prostopadłą do kierunku ruchu posuwowego jest różny dla poszczególnych punktów tej krzywej.

Kierunek ruchu posuwowego może być zgodny z kierunkiem ruchu ostrza narzędzia (frezowanie współbieżne) lub przeciwny do kierunku ruchu ostrza (frezowanie przeciwbieżne).

4.1.1. Budowa i geometria ostrza frezów

Ze względu na budowę rozróżnia się frezy:

- jednolite (ze stali szybko tnącej lub z węglików spiekanych),
- łączone w sposób trwały (np. część robocza ze stali szybko tnącej zgrzewana z chwytem ze stali konstrukcyjnej),
- składane (płytki z węglików spiekanych mocowane mechanicznie w korpusie frezu).

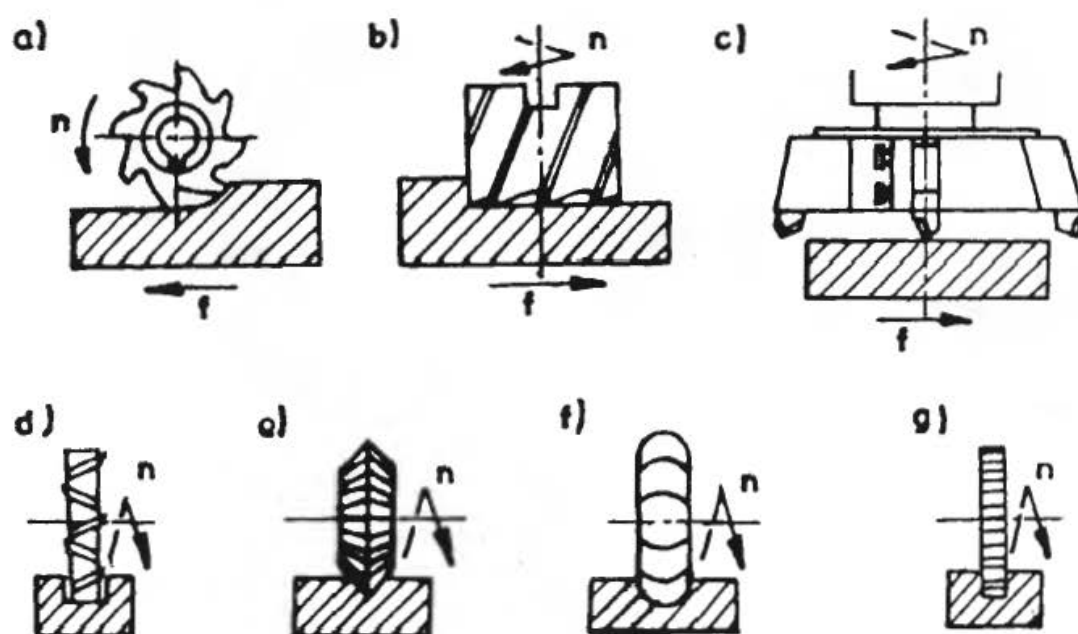
Stosowanie frezów o ostrzach z węglików spiekanych umożliwia istotne zwiększenie prędkości skrawania (a tym samym wydajności) w porównaniu z frezami ze stali szybko tnącej. Ponadto frezy jednolite z węglików spiekanych charakteryzuje znacznie większa sztywność w porównaniu ze stalowymi, co zapewnia większą precyzję obróbki. Wzrost prędkości skrawania można uzyskać poprzez pokrywanie części roboczej frezów, zarówno z węglików spiekanych jak i ze stali szybko tnącej, twardymi powłokami wierzchnimi (np. TiAlN).

W zależności od budowy rozróżnia się frezy: walcowe, walcowo-czołowe, czołowe, kątowe, tarczowe, piłkowe, kształtowe, ślimakowe (frezy ślimakowe stosowane są do obróbki uzębień i omówione będą w ćwiczeniu 9). Przykłady zastosowania różnych frezów pokazano na rys. 4.2.

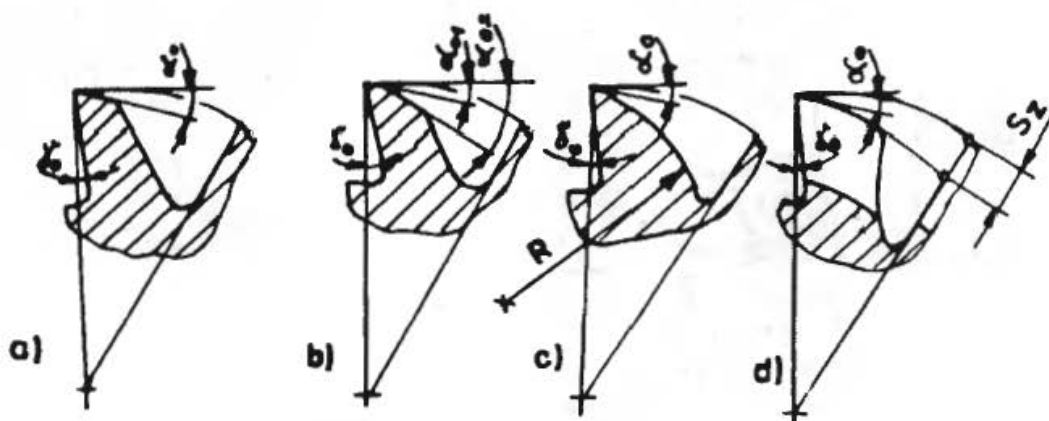
Różne kształty ostrzy frezów przedstawiono na rys. 4.3. Najprostszy kształt ma ostrze jednościnowe. Ostrze dwuścinowe charakteryzuje większa wytrzymałość w porównaniu z jednościnowym, a najkorzystniejszy kształt pod względem wytrzymałości mają ostrza z grzbietem krzywoliniowym. Ostrzenie frezów z ostrzami ścinowymi dokonywane jest poprzez szlifowanie powierzchni przyłożenia. Żądaną wartość kąta przyłożenia można uzyskać poprzez przemieszczenie krawędzi skrawającej względem osi frezu o odcinek wynikający z odpowiednich zależności geometrycznych lub skrócenie osi ściernicy o dany kąt.

Powierzchnia przyłożenia ostrzy zataczanych ukształtowana jest według spirali Archimedesesa. Frezy z ostrzami zataczanymi stosowane są najczęściej do

obróbki powierzchni o złożonym kształcie. Frezy takie ostrzy się poprzez szlifowanie powierzchni natarcia. Powierzchnia przyłożenia powinna być ukształtowana w taki sposób, aby zachowany był stały kąt przyłożenia mimo zeszlifowywania kolejnych warstw materiału ostrza podczas ostrzenia. Warunek taki spełnia spirala logarytmiczna. Jednak ukształtowanie powierzchni przyłożenia według spirali logarytmicznej nastęrczałoby znaczne trudności. Dlatego w praktyce stosuje się zataczanie ostrzy według spirali Archimedesasa jako łatwiejsze ze względów technologicznych (licząc się z niewielkimi zmianami kąta przyłożenia).



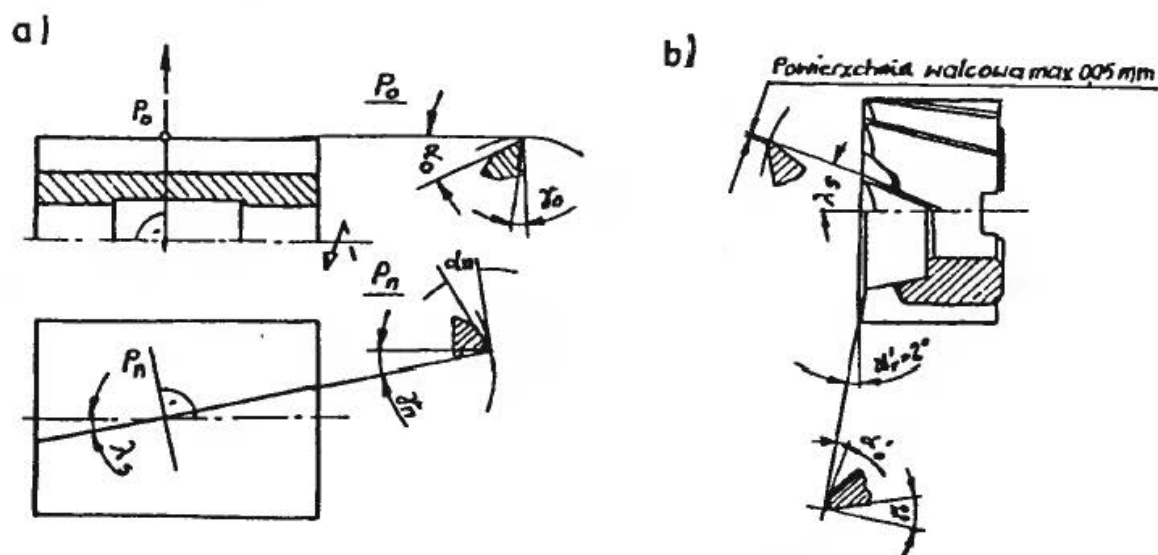
Rys. 4.2. Przykłady frezowania: a) frezem walcowym, b) frezem walcowo-czołowym, c) frezem czołowym (głowicą frezową), d) frezem tarczowym, e) frezem kątowym, f) frezem kształtowym, g) frezem piłkowym



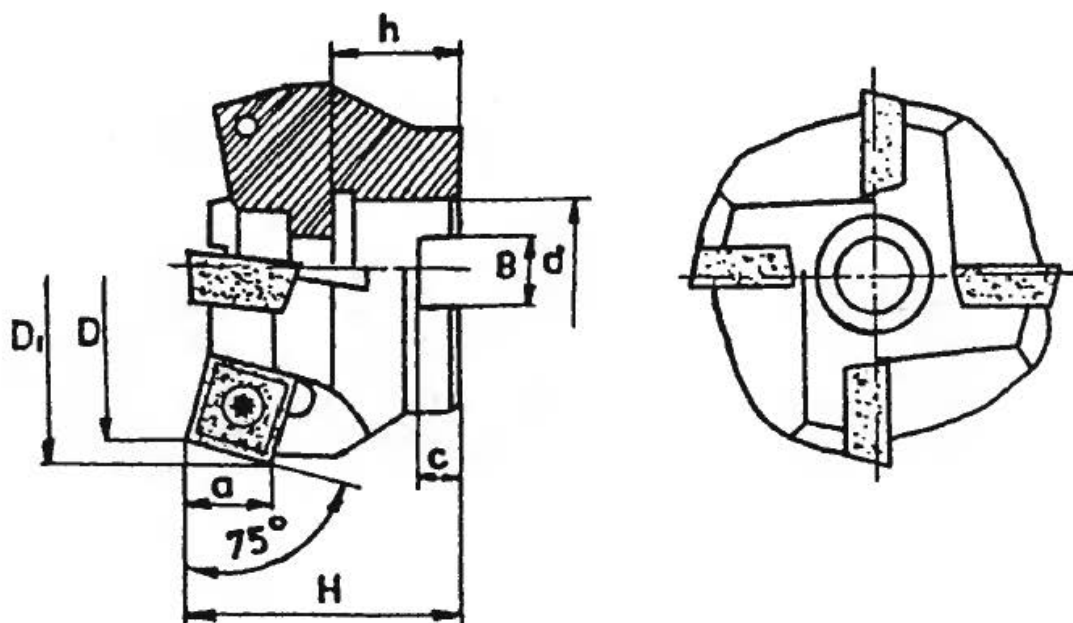
Rys. 4.3. Kształt ostrzy frezów: a) jednościnowe, b) dwuścinowe, c) z grzbietem krzywoliniowym, d) zataczane

W zależności od sposobu mocowania rozróżnia się frezy trzpieniowe oraz nasadzone. Frezy trzpieniowe wykonywane są z chwytem walcowym (o mniejszych średnicach) lub stożkowym. Frezy nasadzone mocowane są na trzpieniach (średnice otworów w tych frezach są znormalizowane).

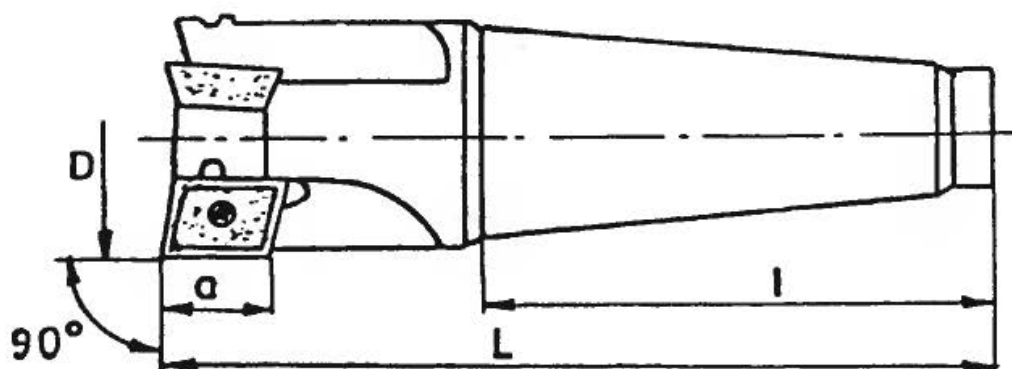
Budowę i geometrię ostrza frezów jednolitych pokazano na rys. 4.4, a frezów składanych na rys. 4.5 i 4.6.



Rys. 4.4. Budowa i geometria ostrza: a) frezu walcowego, b) frezu walcowo-czołowego



Rys. 4.5. Składany frez nasadzany czołowy



Rys. 4.6. Składany frez do rowków (trzępieniowy)

Oznaczenie frezów jednolitych lub łączonych w sposób trwały powinno zawierać następujące dane:

- a) symbol frezu, np. frezy nasadzone walcowe prawozwojne – NFWa, frezy trzępieniowe walcowo – czołowe z chwytem walcowym prawotnące – NFPa, frezy kątowe krążkowe symetryczne – NFKe;
- b) wielkość nominalną, np. średnicę d i długość części roboczej l ;
- c) w przypadku frezów trzępieniowych – wielkość chwytu stożkowego Morse’a, np. 3;
- d) w przypadku frezów nasadzanych – symbol odmiany, np. frezy z ostrzami grubymi – „B”;
- e) numer normy, np. frezy kątowe – PN – 85/M – 57510.

Sposób oznaczania frezów nasadzanych z płytkami wieloostrowymi (wymennymi) podany jest w normie PN – 91/M – 57340. Pełne oznaczenie obejmuje 11 symboli (dopuszcza się dodatkowy, dwunasty symbol):

1. Średnica części roboczej frezu wyrażona w mm (liczba dwu- lub trzycyfrowa).
2. Typ frezu oraz sposób mocowania – symbol literowy, np. „E” oznacza frez tarczowy trzystronnie na przemian skośny lub dwustronny o średnicy otworu 22 mm.
3. Liczba ostrzy, np. „08”.
4. Kierunek skrawania – symbol literowy, np. „R” – prawy.
5. Sposób mocowania płytki – symbol literowy, np. „C” – mocowanie od góry.
6. Kąt przystawienia płytki wyrażony w stopniach, np. „75”.
7. Kształt płytki – symbol literowy, np. „S” oznacza płytkę kwadratową.
8. Kąt przyłożenia normalny – symbol literowy, np. „B” oznacza, że kąt przyłożenia normalny jest równy 5° .

9. Wielkość płytki – symbol cyfrowy wyrażający długość boku w mm.
10. Kąt przyłożenia normalny ścinu krawędzi skrawającej pomocniczej – symbol literowy, np. „N” oznacza, że kąt ten jest równy 0° .
11. Szerokość frezów tarczowych trzystronnych (do rowków), frezów walcowych z zabierakiem czołowym i frezów walcowych wyrażona w mm, np. 20.
12. Symbol dodatkowy, umożliwiający dokładniejsze określenie wyrobu (wg uznania wytwórcy).

4.1.2. Sprawdzanie frezów

Sprawdzanie frezów obejmuje:

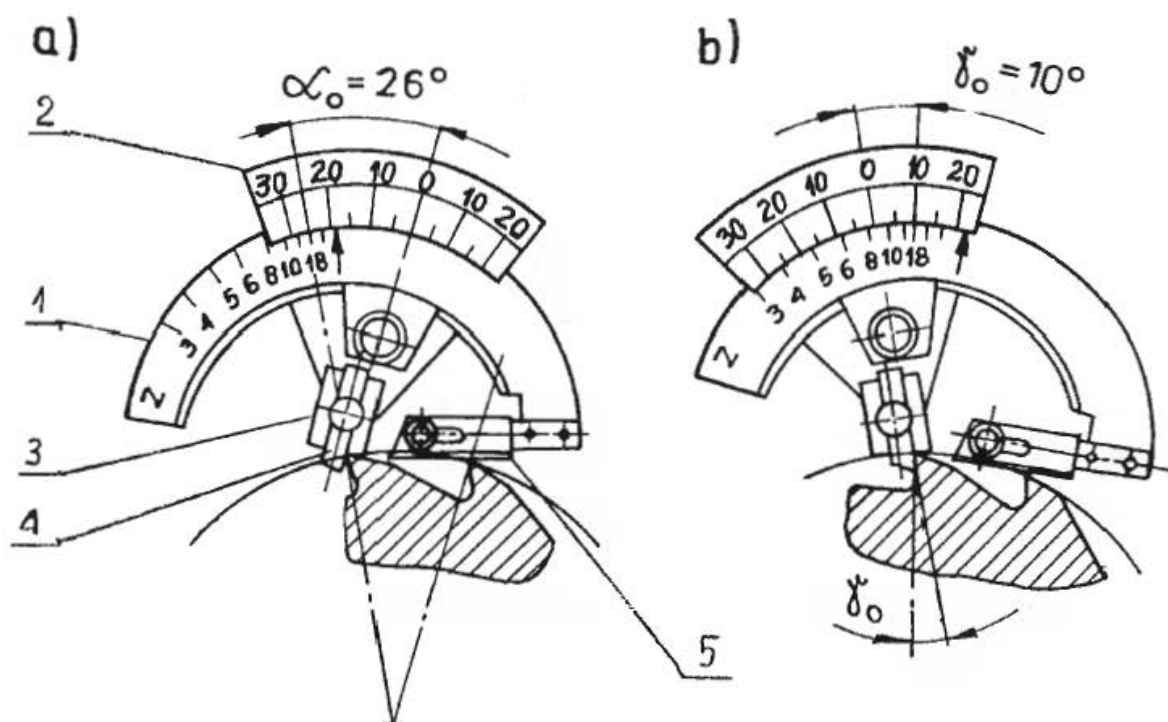
- pomiar wymiarów charakterystycznych frezu (np. średnica i długość części roboczej, średnica otworu),
- pomiar geometrii ostrza,
- pomiar bicia ostrzy.

Geometrię ostrza frezu można sprawdzać za pomocą kątomierza Babczynicera, kątomierza stolikowego lub metodą pośrednią.

Kątomierz Babczynicera służy do pomiaru kąta natarcia oraz kąta przyłożenia. Kątomierz ten (rys. 4.7) składa się z korpusu 1 w kształcie półpierścienia i przesuwającego się po nim elementu pomiarowego 2. Do elementu 2 przymocowana jest płytka 3 wraz z wkładką pomiarową 4. Do korpusu przytwierdzona jest listwa 5. Na korpusie nacięte są kreski opisane liczbami odpowiadającymi liczbie ostrzy sprawdzanego frezu. Na elemencie pomiarowym 2 naniesione są dwie podziałki, służące do odczytywania wartości kąta natarcia (podziałka N) i przyłożenia (podziałka P).

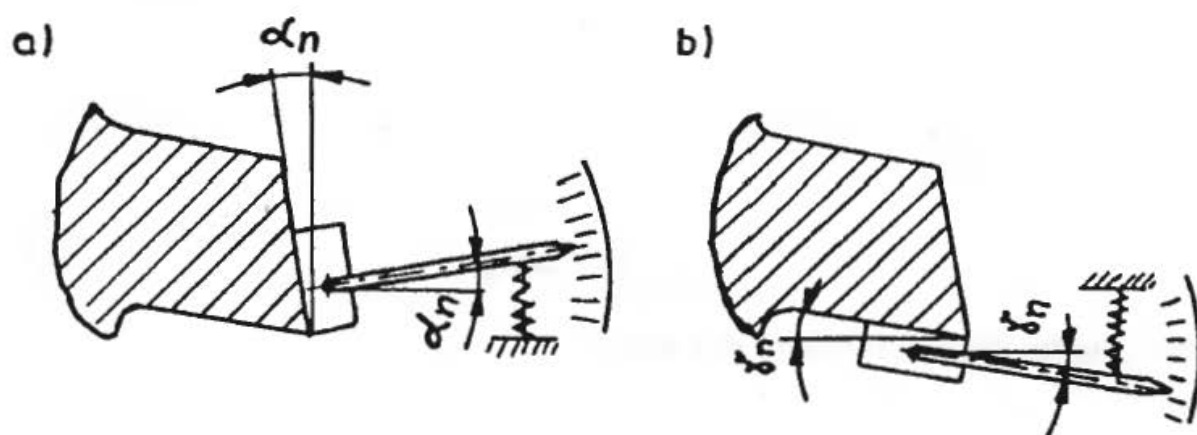
Przystępując do pomiaru kąta przyłożenia należy ustawić kątomierz w taki sposób (rys. 4.7 a), aby krawędź czołowa płytki 3 przylegała do powierzchni przyłożenia mierzonego ostrza a listwa 5 opierała się na krawędzi skrawającej ostrza sąsiedniego. Na podziałce 2 odczytuje się wartość kąta przyłożenia mierzonego ostrza ($\alpha_0 = 26^\circ$) naprzeciw kreski na korpusie 1 oznaczonej liczbą równą liczbie ostrzy mierzonego frezu ($z = 18$).

Pomiar kąta natarcia różni się tym od pomiaru kąta przyłożenia, że element pomiarowy 2 ustawia się w taki sposób (rys. 4.7 b), aby wkładka pomiarowa 4 przylegała do powierzchni natarcia mierzonego ostrza, a wartość kąta natarcia ($\gamma_0 = 10^\circ$) odczytuje się na podziałce 2.



Rys. 4.7. Pomiar kątów frezu kątomierzem Babczynicera:
a) kąta przyłożenia, b) kąta natarcia

Kątomierz stolikowy jest przyrządem umożliwiającym pomiar geometrii ostrza różnych narzędzi. Sprawdzany frez należy założyć na trzpień i zamocować w kłach przyrządu. Głowicę pomiarową należy ustawić w taki sposób, aby płytka pomiarowa przylegała do powierzchni natarcia (w czasie pomiaru kąta γ) lub przyłożenia (w czasie pomiaru kąta α). Zasadę pomiarów kątów przyłożenia i natarcia za pomocą kątomierza stolikowego pokazano na rys. 4.8.



Rys. 4.8. Zasada pomiaru kąta przyłożenia (a) i natarcia (b)
frezu za pomocą kątomierza stolikowego

Kąty natarcia i przyłożenia mogą być mierzone w płaszczyźnie głównego przekroju P_o bądź w płaszczyźnie normalnej P_n . Kąty te powiązane są następującymi zależnościami:

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_o \cos \lambda_s \quad (4.1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{\operatorname{tg} \alpha_o}{\cos \lambda_s} \quad (4.2)$$

gdzie: λ_s – kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej.

Bicie ostrzy frezu mierzy się za pomocą czujnika po zamocowaniu frezu (osadzonego na trzpieniu) w kłach specjalnego przyrządu.

4.1.3. Parametry technologiczne i geometria warstwy skrawanej przy frezowaniu

Głębokość skrawania a_p jest równa odległości między powierzchnią obrabianą a obrobioną (rys. 4.9). Zależność między prędkością skrawania v_c a prędkością obrotową frezu n jest taka sama jak przy wierceniu (wzór (3.1)). Przy frezowaniu rozróżnia się posuw na jedno ostrze f_z (w mm/ostrze), posuw na jeden obrót frezu f (w mm/obr.) oraz prędkość ruchu posuwowego v_f (w mm/min.). Istnieją zależności:

$$v_f = fn = f_z zn \quad (4.3)$$

Frezowanie charakteryzuje się tym, iż grubość warstwy skrawanej, a tym samym przekrój warstwy skrawanej, zmienia się w czasie skrawania poszczególnymi ostrzami. Przekrój warstwy skrawanej przez jedno ostrze przy frezowaniu walcowym i czołowym pokazano na rys. 4.9.

Grubość warstwy skrawanej h_x (rys. 4.9 a) w położeniu ostrza określonym kątem φ_x jest równa:

$$h_x = f_z \sin \varphi_x \quad (4.4)$$

Maksymalna grubość warstwy skrawanej:

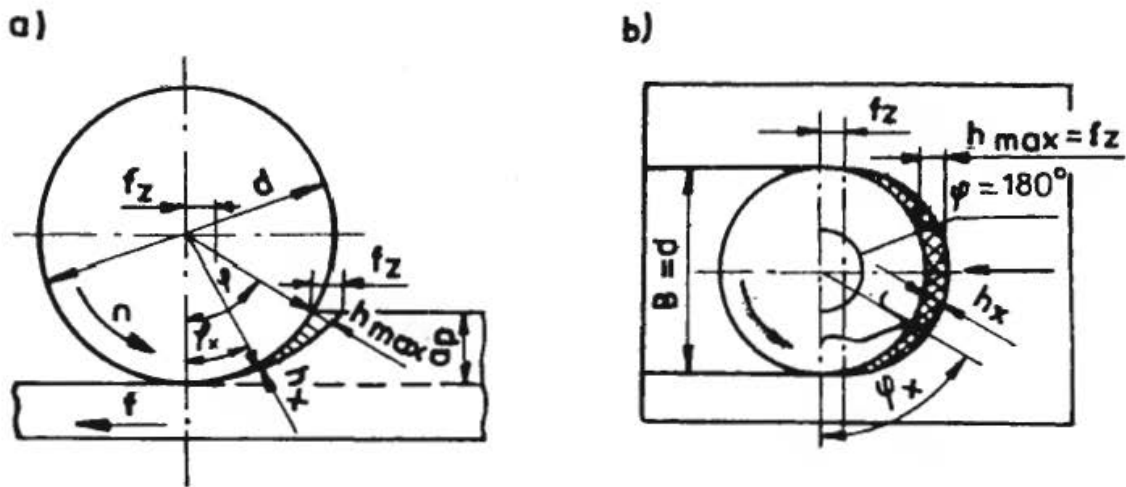
$$h_{\max} = f_z \sin \varphi \quad (4.5)$$

Z zależności geometrycznych (rys. 4.9 a) można obliczyć, że:

$$\sin \varphi = 2\sqrt{\frac{a_p}{d} - \left(\frac{a_p}{d}\right)^2}$$

Ponieważ głębokość skrawania a_p jest dużo mniejsza od średnicy frezu d , więc w przybliżeniu:

$$\sin \varphi = 2\sqrt{\frac{a_p}{d}} \quad (4.6)$$



Rys. 4.9. Geometria warstwy skrawanej przy frezowaniu:
a) walcowym, b) czołowym pełnym

Po podstawieniu (4.6) do (4.5):

$$h_{\max} = 2f_z\sqrt{\frac{a_p}{d}} \quad (4.7)$$

Natomiast średnią grubość warstwy skrawanej przyjmuje się:

$$h_{sr} = \frac{h_{\max}}{2} = f_z\sqrt{\frac{a_p}{d}} \quad (4.8)$$

Oznaczając przez B szerokość frezowania można napisać, że średnia wartość pola poprzecznego przekroju warstwy skrawanej jest równa:

$$A_{sr} = Bh_{sr} = Bf_z\sqrt{\frac{a_p}{d}} \quad (4.9)$$

Podczas frezowania jednocześnie skrawa zwykle więcej niż jedno ostrze. Oznaczając przez $A_{\Sigma sr}$ (w mm^2) łączne średnie pole poprzecznych przekrojów warstw skrawanych przez wszystkie czynne ostrza można napisać zależność na objętościową wydajność frezowania walcowego:

$$Q = 1000 v_c A_{\Sigma sr}, \text{ mm}^3/\text{min.}, \quad (4.10)$$

Współczynnik 1000 w powyższym wzorze występuje dlatego, że prędkość skrawania v_c wyrażona jest w m/min .

Wydajność objętościową można też obliczyć z zależności:

$$Q = B a_p v_f, \text{ mm}^3/\text{min.}, \quad (4.11)$$

Porównując wzory (4.10) i (4.11) oraz uwzględniając (3.1) i (4.3) można napisać:

$$A_{\Sigma sr} = \frac{B a_p f_z z}{\pi d}, \text{ mm}^2, \quad (4.12)$$

Geometrię warstwy skrawanej przy frezowaniu czołowym pełnym, które charakteryzuje się tym, że szerokość frezowania B jest równa średnicy frezu d , pokazano na rys. 4.9 b. Zakreskowane pole oznacza wzdłużny przekrój warstwy skrawanej przez jedno ostrze frezu.

4.1.4. Wyznaczanie mocy i siły skrawania na podstawie pomiaru mocy pobieranej przez silnik frezarki

Mierząc za pomocą watomierza moc pobieraną przez silnik frezarki P można obliczyć moc skrawania ze wzoru:

$$P_c = P \eta, \text{ kW}, \quad (4.13)$$

gdzie: η – współczynnik sprawności układu napędowego frezarki.

Znając prędkość skrawania v_c (w m/min .) można obliczyć siłę skrawania (główną, obwodową) według zależności:

$$F_c = \frac{60000 P_c}{v_c}, \text{ N}, \quad (4.14)$$

W powyższych wzorach nie uwzględniono mocy związanej z ruchem posuwowym stołu frezarki.

4.2. Zagadnienia kontrolne

1. Kinematyka frezowania.
2. Odmiany frezowania.
3. Rodzaje frezów.
4. Budowa frezów jednolitych, łączonych w sposób trwały oraz składanych.
5. Geometria części roboczej frezów.
6. Ostrzenie frezów ścinowych i zataczanych.
7. Pomiar kątów natarcia i przyłożenia.
8. Parametry technologiczne frezowania.
9. Geometria warstwy skrawanej przy frezowaniu walcowym i czołowym.
10. Oznaczanie frezów jednolitych i składanych
11. Obliczanie średniej wartości pola poprzecznego przekroju warstwy skrawanej.
12. Obliczanie mocy skrawania oraz siły skrawania.

Literatura uzupełniająca: [4, 5, 8, 10, 11, 12, 24].

4.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Ostrzarka narzędziowa.
- b. Zestaw frezów.
- c. Kątomierz Babczynicera, stolikowy i uniwersalny
- d. Suwmiarka.
- e. Przyrząd do sprawdzania bicia ostrzy frezów.
- f. Frezarka wyposażona w układ do pomiaru mocy pobieranej przez silnik.

4.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Naostrzyć frez o ostrzach ścinowych (parametry technologiczne poda prowadzący ćwiczenie).
2. Zmierzyć kąty α_0 i γ_0 (kątomierzem Babczynicera) oraz kąty α_n i γ_n (za pomocą kątomierza stolikowego).
3. Korzystając z przyrządu kłowego zmierzyć bicie ostrzy frezu.
4. Zmierzyć moc pobieraną przez silnik frezarki podczas frezowania, zmieniając głębokość skrawania, prędkość ruchu posuwowego oraz prędkość skrawania (wartości parametrów oraz sprawność obrabiarki poda prowadzący ćwiczenie).

5. Obliczyć moc skrawania P_c oraz siłę skrawania F_c bazując na wynikach pomiarów przeprowadzonych w punkcie 4.
6. Sporządzić sprawozdanie, które powinno zawierać:
 - szkic sposobu ostrzenia frezu,
 - opis sprawdzania frezu,
 - wyniki pomiarów geometrii części roboczej i bicia frezu (wypełniony protokół 4.1),
 - szkic sprawdzanego frezu z zaznaczeniem geometrii jego części roboczej,
 - opis pomiarów mocy pobieranej przez silnik frezarki,
 - obliczenia mocy skrawania i siły skrawania,
 - wyniki pomiarów i obliczeń (wypełniony protokół 4.2),
 - wykresy mocy skrawania P_c i siły skrawania F_c w funkcji głębokości skrawania a_p , posuwu na ostrze f_z oraz prędkości skrawania v_c ,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 4.1. Protokół sprawdzania frezu.

Symbol frezu	
Materiał części roboczej	
Wymiary części roboczej	
Liczba ostrzy	
Opis części chwytowej	
Kąt przystawienia κ_r	
Kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ_s	
Kąty przyłożenia α_o , α_n	
Kąty natarcia γ_o , γ_n	
Bicie ostrzy frezu	

Tablica 4.2. Protokół pomiaru mocy.

Nr próby								
Głębokość skrawania a_p , mm,								
Prędkość skrawania v_c , m/min.,								
Prędkość obrotowa wrzeciona n , obr/min.,								
Posuw f_z , mm/ostrze,								
Posuw f , mm/obr.,								
Prędkość ruchu posuwowego v_f , mm/min.,								
Moc pobierana przez silnik P , kW,								
Sprawność obrabiarki								
Moc skrawania P_c , kW,								
Siła skrawania F_c , N,								

Ćwiczenie 5

POMIAR SIŁ SKRAWANIA PODCZAS SZLIFOWANIA PŁASZCZYZN

5.1. Wiadomości ogólne

Proces szlifowania charakteryzuje się znacznie większą złożonością w porównaniu z obróbką wiórową. Ściernica zbudowana jest z dużej liczby ziarn ściernych o nieregularnych kształtach (nieoznaczonej geometrii), połączonych spoiwem. Ziarna ściernie burzą spójność materiału obrabianego wskutek mikroskrawania, bruzdowania i tarcia ślizgowego. Kontakt ziarn ściernych z obrabianym materiałem ma charakter dynamiczny (np. podczas szlifowania obwodowego z prędkością 30 – 50 m/s czas trwania tego kontaktu ocenia się na 30 – 50 μ s [3]).

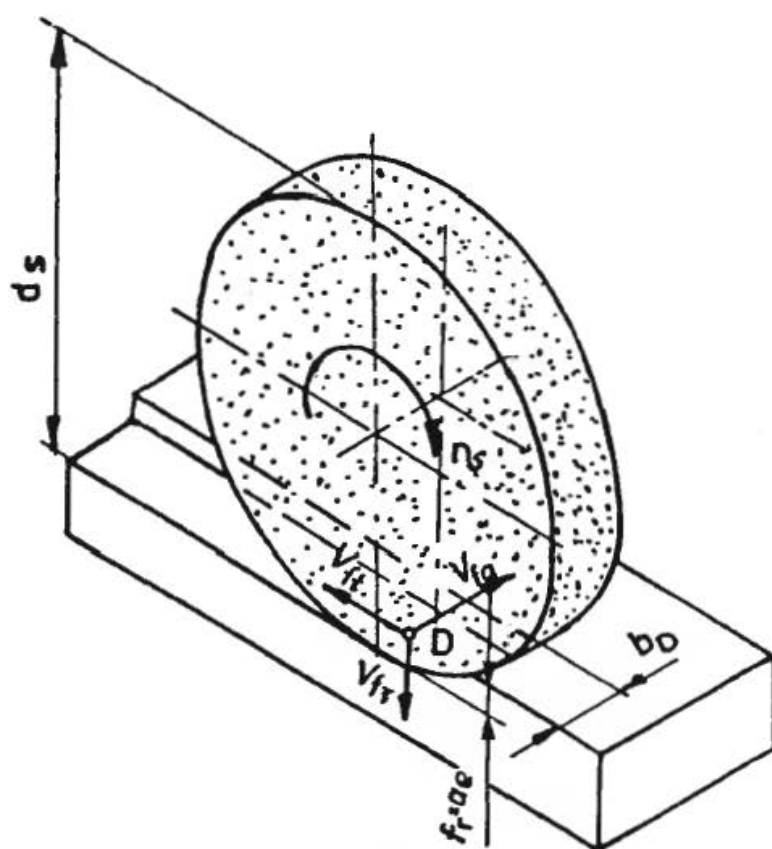
Mimo, że amplituda zmian sił skrawania w czasie szlifowania (składowa dynamiczna) jest znacznie mniejsza od wartości średniej tej siły (składowa quasi-statyczna), to jej wpływ na przebieg i efekty procesu szlifowania jest wyraźny. Przy czym wraz z upływem czasu szlifowania zarówno składowa quasi-statyczna jak i dynamiczna ulegają zmianom, co związane jest głównie ze zużyciem się ściernicy oraz powstawaniem drgań samowzbudnych.

5.1.1. Szlifowanie płaszczyzn

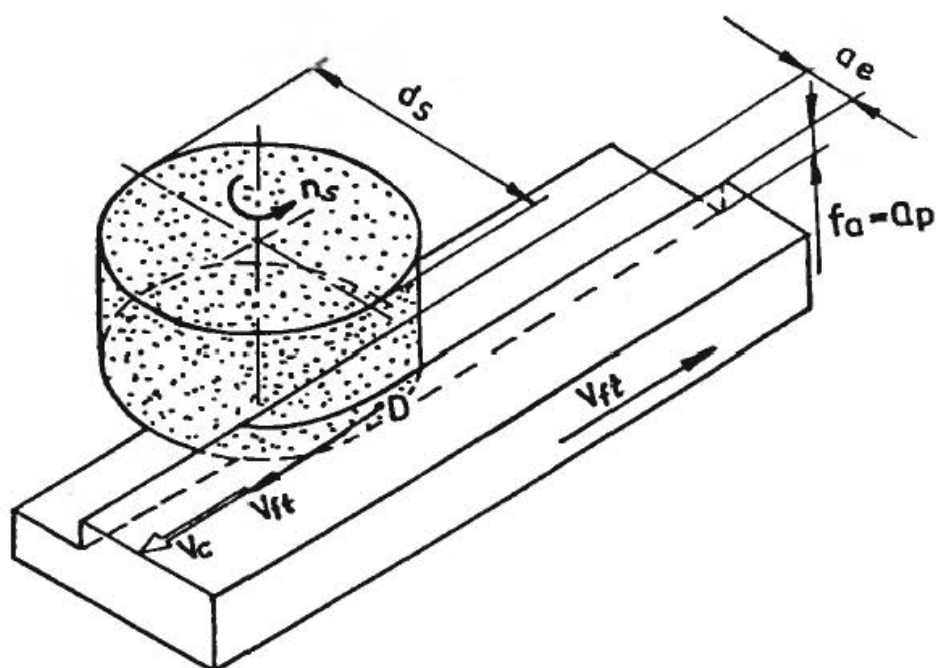
Płaszczyzny mogą być szlifowane powierzchnią obwodową lub czołową ściernicy (szlifowanie obwodowe i czołowe). Ruchem głównym jest ruch obrotowy ściernicy. Ruch posuwowy może wykonywać zarówno przedmiot obrabiany jak i obracająca się ściernica. Ruch ten może mieć kilka składowych, a jego celem jest zapewnienie ciągłości usuwania materiału z przedmiotu obrabianego (podstawowa terminologia w procesach szlifowania ściernicami jest przedmiotem normy PN – 92/M – 01002/05).

Prędkość szlifowania v_c określana jest jako prędkość styczna ściernicy, w wybranym punkcie powierzchni styku, określona względem podstawy wrzeciennika ściernicy. Zaznaczona na rys. 5.1 i 5.2 prędkość obrotowa n_s jest liczbą obrotów ściernicy w jednostce czasu.

Ruch posuwowy może być prostoliniowy lub obrotowy (w zależności od tego czy stół, na którym zamocowany jest przedmiot obrabiany, wykonuje ruchy prostoliniowe czy obrotowe). W przypadku ruchu posuwowego prostoliniowego rozróżnia się ruch styczny, osiowy i promieniowy.



Rys. 5.1. Obwodowe szlifowanie powierzchni płaskich



Rys. 5.2. Czołowe szlifowanie powierzchni płaskich

Posuw styczny f_t jest to przemieszczenie stołu względem podstawy obrabiarki w kierunku równoległym do prędkości obwodowej ściernicy; prędkość posuwu stycznego oznaczana jest przez v_{ft} .

Posuw osiowy f_a jest to przemieszczenie stołu względem podstawy obrabiarki w kierunku równoległym do osi ściernicy; prędkość posuwu osiowego oznacza się przez v_{fa} .

Posuw promieniowy f_r jest to przemieszczenie stołu względem podstawy obrabiarki, rozpatrywane w wybranym punkcie, w kierunku prostopadłym do osi ściernicy; prędkość ruchu posuwowego jest oznaczana przez v_{fr} .

Podczas szlifowania powierzchni płaskich ruchy posuwowe osiowy oraz promieniowy są przeważnie ruchami nieciągłymi. Ruch osiowy odbywa się na końcu każdego skoku i jest podawany w mm /skok. Natomiast ruch promieniowy występuje przed szlifowaniem kolejnej warstwy materiału i jest wyrażany w mm/przejście.

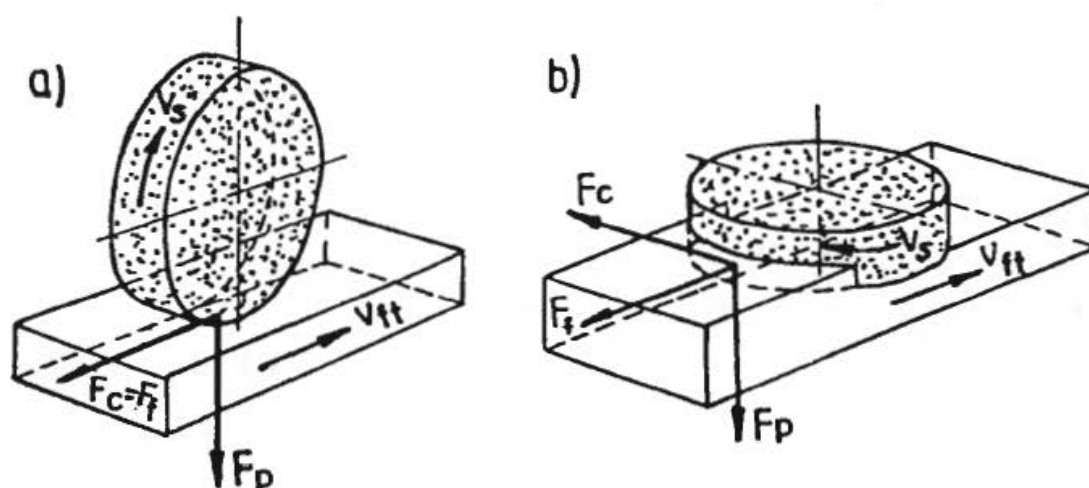
5.1.2. Siły skrawania przy szlifowaniu płaszczyzn

Szlifowanie ściernicowe charakteryzuje się tym, że jednocześnie skrawa duża liczba ziarn ściernych. Suma składowych sił skrawania pojedynczych ziarn ściernych decyduje o wartości siły całkowitej wywieranej przez ściernicę na przedmiot obrabiany.

Siła całkowita F może być rozłożona na trzy siły składowe (zgodnie z PN – 92/M – 01002/04):

- siłę skrawania F_c , uzyskaną przez rzutowanie prostokątne siły na kierunek ruchu głównego (w literaturze siła ta występuje też jako siła szlifowania F_s oraz siła styczna F_t);
- siłę posuwową F_f , uzyskaną przez rzutowanie prostokątne siły F na kierunek ruchu posuwowego;
- siłę odporową F_p , uzyskaną przez rzutowanie prostokątne siły F na prostą prostopadłą do kierunku ruchu głównego i kierunku ruchu posuwowego.

Rozkład siły całkowitej na składowe w procesie obwodowego i czołowego szlifowania płaszczyzn pokazano na rys. 5.3.



Rys. 5.3. Siły w procesie szlifowania płaszczyzn: a) obwodowego, b) czołowego

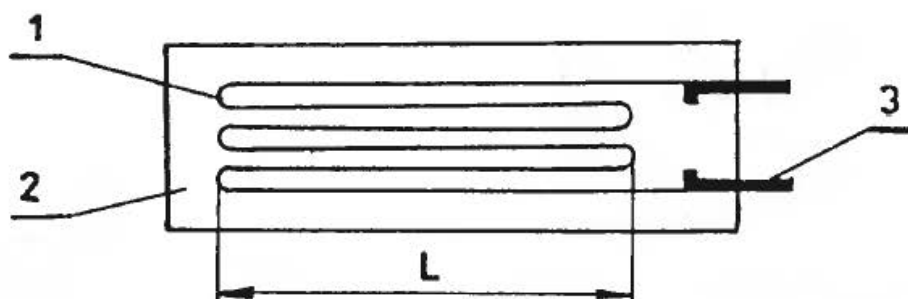
5.1.3. Pomiar składowych całkowitej siły skrawania

Poszczególne składowe całkowitej siły skrawania mierzone są za pomocą siłomierzy. Podstawowym elementem każdego siłomierza jest przetwornik pomiarowy, który służy do zamiany wartości mierzonej siły na wartość innej wielkości fizycznej. Najczęściej stosuje się siłomierze z przetwornikami indukcyjnościovymi, piezoelektrycznymi i tensometrycznymi.

Przetworniki indukcyjnościowe (nazywane też indukcyjnymi) działają w oparciu o zasadę zmian indukcyjności własnej lub wzajemnej ich obwodów elektrycznych pod wpływem przetwarzanej wielkości [1]. Przetwarzaną wielkością jest najczęściej zmiana geometrii obwodu magnetycznego na skutek wzajemnego przemieszczenia się elementów przetwornika spowodowana oddziaływaniem siły skrawania.

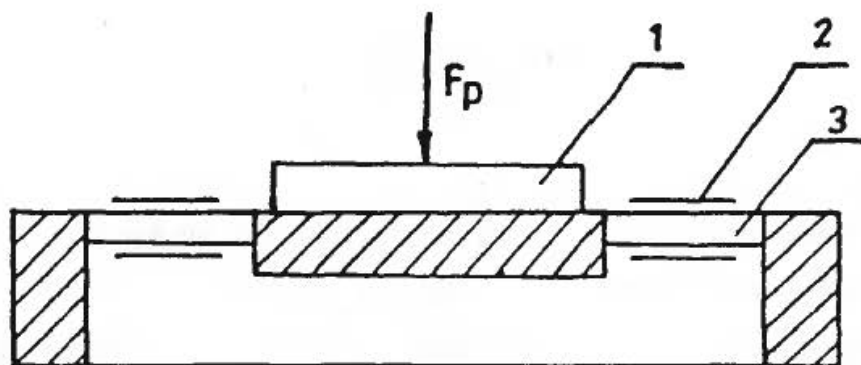
W przetwornikach piezoelektrycznych wykorzystano właściwości niektórych kryształów, polegające na tym, że odkształceniom tych kryształów (w granicach sprężystości) towarzyszy pojawianie się ładunków elektrycznych na ich odpowiednich ściankach. Najczęściej w przetwornikach piezoelektrycznych stosowane są kryształy kwarcu. W celu zwiększenia czułości przetwornika płytki kwarcowe łączone są w stosy. Powstający ładunek elektryczny jest proporcjonalny do działającej siły oraz do liczby płytek w stosie. Wytworzony ładunek jest niewielki, dlatego też urządzenie pomiarowe musi być wyposażone w odpowiedni wzmacniacz.

Podstawowymi elementami przetworników tensometrycznych są tensometry. Są to elementy rezystancyjne z metalu lub półprzewodnika, w postaci cienkich drutów lub folii. Budowę tensometru wężykowego pokazano na rys. 5.4.



Rys. 5.4. Tensometr wężykowy: 1 – przewodnik, 2 – podkładka nośna, 3 – lutowana końcówka, L – długość bazy tensometru

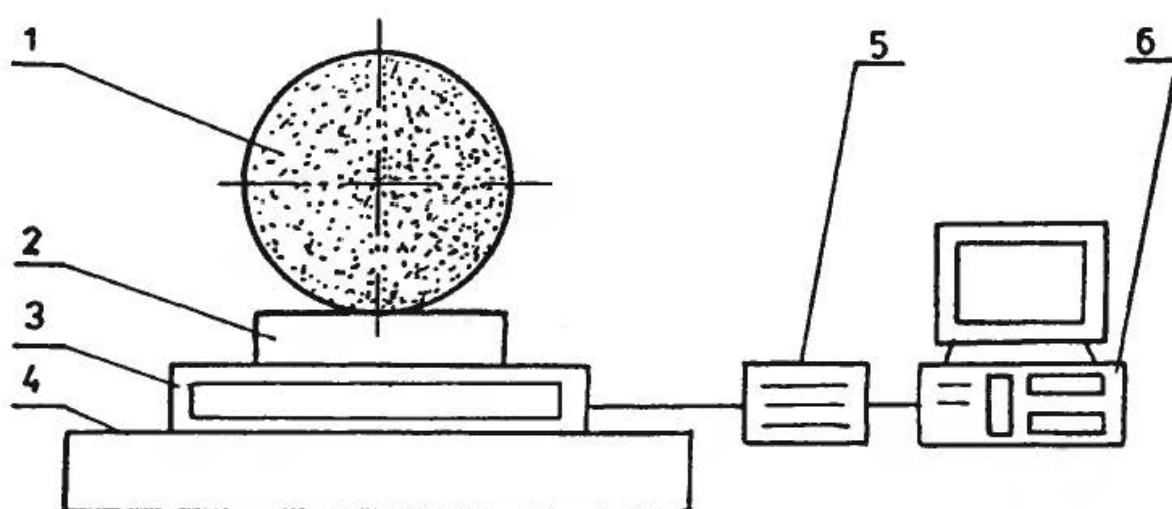
Tensometry nakleja się na belki siłomierza (rys. 5.5). Działająca na przedmiot obrabiany siła F_p powoduje zginanie belek 3, a tym samym wydłużenie lub skrócenie naklejonych tensometrów 2 (łącznie z przewodem), co prowadzi do zmiany ich rezystancji. Zmiany rezystancji są mierzone za pomocą układów tensometrów połączonych w mostki [1, 25, 27].



Rys. 5.5. Zasada pomiaru siły odporowej za pomocą tensometrycznego siłomierza szlifierskiego: 1 – przedmiot obrabiany, 2 – tensometr, 3 – belka

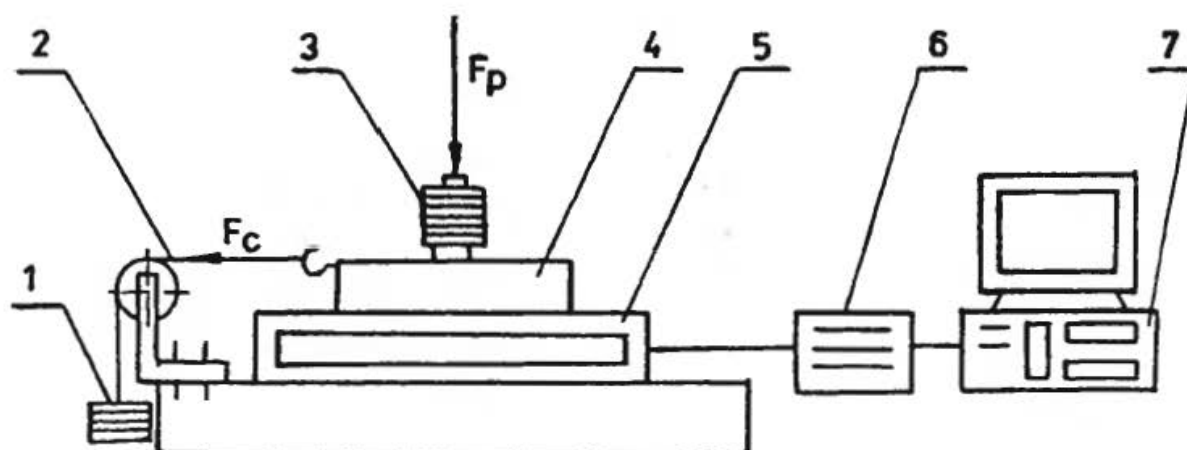
W podobny sposób mierzy się pozostałe składowe siły skrawania (tensometry naklejone są w taki sposób, aby można było mierzyć odkształcenia pochodzące od tych sił składowych).

Zestaw pomiarowy do zapisu sił składowych podczas szlifowania płaszczyzn obwodem ściernicy pokazano na rys. 5.6. Badana próbka 2 zamocowana jest do płyty górnej siłomierza tensometrycznego 3, który z kolei mocowany jest na stole szlifierki 4. Sygnał z siłomierza przechodzi przez wzmacniacz tensometryczny 5 i jest zapisywany w komputerze 6.



Rys. 5.6. Stanowisko do pomiaru sił podczas szlifowania: 1 – ściernica, 2 – próbka, 3 – siłomierz, 4 – stół szlifierki, 5 – wzmacniacz tensometryczny, 6 – komputer

Przed przystąpieniem do pomiarów należy przeprowadzić wzorcowanie siłomierza, polegające na wyznaczeniu zależności między wartością sił działających zgodnie z kierunkiem działania poszczególnych składowych całkowitej siły skrawania a wartością sygnału rejestrowanego przez komputer. Sposób wzorcowania siłomierza do pomiaru sił podczas szlifowania płaszczyzn obwodem ściernicy przedstawiono na rys. 5.7. Siła wywierana na siłomierz 5 za pośrednictwem próbki 4 przez obciążniki 3 odpowiada sile odporowej F_p podczas szlifowania, natomiast siła wywierana przez obciążniki 1 poprzez linkę 2 działa w kierunku zgodnym z siłą skrawania F_c . Sygnały odpowiadające określonym wartościom sił składowych są wzmacniane a następnie rejestrowane w komputerze 7.



Rys. 5.7. Wzorcowanie siłomierza: 1 – obciążniki (F_c), 2 – linka, 3 – obciążniki (F_p), 4 – próbka, 5 – siłomierz, 6 – wzmacniacz tensometryczny, 7 – komputer

5.2. Zagadnienia kontrolne

1. Charakterystyka szlifowania.
2. Budowa narzędzi ściernych spojonych.
3. Kinematyka szlifowania płaszczyzn.
4. Parametry technologiczne szlifowania.
5. Siły występujące w procesie szlifowania płaszczyzn.
6. Metody pomiaru sił skrawania w procesie szlifowania.
7. Budowa siłomierza szlifierskiego tensometrycznego.
8. Wzorcowanie siłomierza.

Literatura uzupełniająca: [1, 4, 11, 18, 24, 25, 27].

5.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Szlifierka do płaszczyzn.
- b. Ściernica tarczowa.
- c. Siłomierz szlifierski.
- d. Wzmacniacz tensometryczny.
- e. Komputer.
- f. Oprzyrządowanie do wzorcowania siłomierza.
- g. Komplet obciążników.

5.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Zmontować układ do wzorcowania siłomierza ze względu na siłę skrawania F_c (zgodnie z rys. 5.7) i przeprowadzić wzorcowanie.
2. Przeprowadzić wzorcowanie siłomierza ze względu na siłę odporową F_p , obciążając siłomierz zgodnie z kierunkiem działania tej siły (rys. 5.7).
3. Przeprowadzić pomiary siły skrawania F_c oraz siły odporowej F_p podczas szlifowania obwodowego powierzchni płaskiej, zmieniając prędkość posuwu stycznego v_{ft} oraz okresowego posuwu promieniowego wgłębnego f_r .
4. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis stanowiska pomiarowego,
 - opis wzorcowania układu i przeprowadzenia pomiarów,
 - wyniki pomiarów (wypełnione protokoły),
 - wykresy siły skrawania i odporowej w funkcji prędkości posuwu stycznego i posuwu promieniowego,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 5.1. Protokół pomiarów sił skrawania przy szlifowaniu.

a) wielkości stałe:

Typ szlifierki do płaszczyzn	
Charakterystyka ściernicy	
Ciecz obróbkowa	
Prędkość obrotowa wrzeciona n w obr /min.	
Prędkość szlifowania v_c w m /s	

b) wyniki pomiarów:

Prędkość v_{ft} w mm /min							
Posuw f_r w mm /przejście							
Siła F_c w N							
Siła F_p w N							

Ćwiczenie 6

POLEROWANIE ELEKTROLITYCZNE

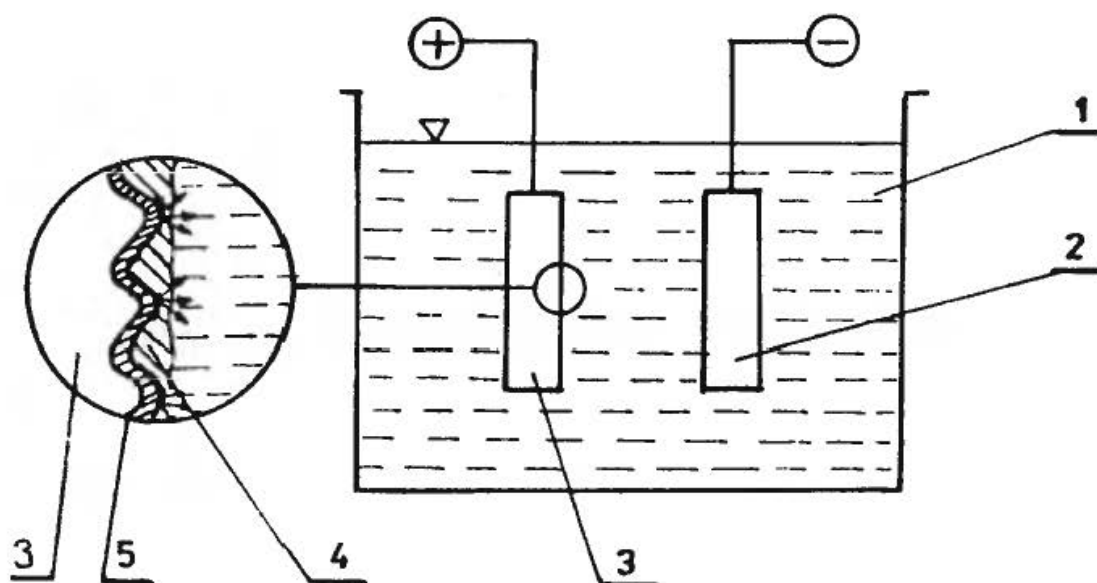
6.1. Wiadomości ogólne

Polerowanie elektrolityczne, nazywane też elektropolerowaniem, jest stosowane jako jedna z końcowych operacji w procesie wytwarzania elementów maszyn. Głównym celem tej obróbki jest zmniejszenie chropowatości powierzchni oraz nadanie połysku obrabianym elementom. Proces ten może też być stosowany w celu niewielkiej zmiany wymiarów i kształtu obrabianych przedmiotów, usuwania zadziorów, zaokrąglania ostrych krawędzi po obróbce poprzedzającej, czy kalibrowania cienkich drutów i folii.

W wyniku polerowania elektrolitycznego uzyskuje się zmniejszenie wysokości mikronierówności powierzchni, zmniejszenie kątów pochylenia oraz znaczne zwiększenie promienia zaokrąglenia wierzchołków tych nierówności. Dzięki tej obróbce uzyskuje się wzrost odporności na korozję, zmniejszenie współczynnika tarcia, zwiększenie odporności na zużycie ściernie, wzrost wytrzymałości zmęczeniowej od obciążeń kontaktowych, polepszenie właściwości aero- i hydrodynamicznych powierzchni (następuje obniżenie oporów przepływu cieczy i gazów), poprawę stykowej rezystancji elektrycznej. Obróbka elektropolerowaniem znajduje zastosowanie w produkcji elementów maszyn spożywczych, elementów instalacji chemicznych, narzędzi chirurgicznych, armatury, kół zębatych itp.

6.1.1. Podstawy polerowania elektrolitycznego

W procesie polerowania elektrolitycznego następuje elektrochemiczne roztrawianie zewnętrznych warstw przedmiotu obrabianego. Proces ten prowadzony jest w elektrolicie, którym najczęściej są wodne roztwory kwasów. W elektrolicie zanurzony jest obrabiany przedmiot, jako anoda, oraz elektroda robocza – katoda (rys. 6.1).



Rys. 6.1. Schemat procesu elektropolerowania: 1 – elektrolit, 2 – katoda, 3 – przedmiot obrabiany (anoda), 4 – warstwa lepka, 5 – błonka powierzchniowa

Następuje dysocjacja elektrolitu, w wyniku której powstają dodatnio i ujemnie naładowane swobodne jony. Wytworzone jony sprawiają, że elektrolit może przewodzić prąd elektryczny.

Po połączeniu elektrod ze źródłem napięcia wytwarza się pole elektryczne i następuje ruch zdysocjowanych cząstek elektrolitu. Atomy metalu stanowiącego anodę wychodzą z sieci krystalicznej i dyfundują przez warstwę przyelektrodową do elektrolitu. Jony metali mogą, po połączeniu z jonami OH^- , tworzyć wodorotlenki albo rozładowywać się po dojściu do katody i osadzać na jej powierzchniach (jako obojętne atomy).

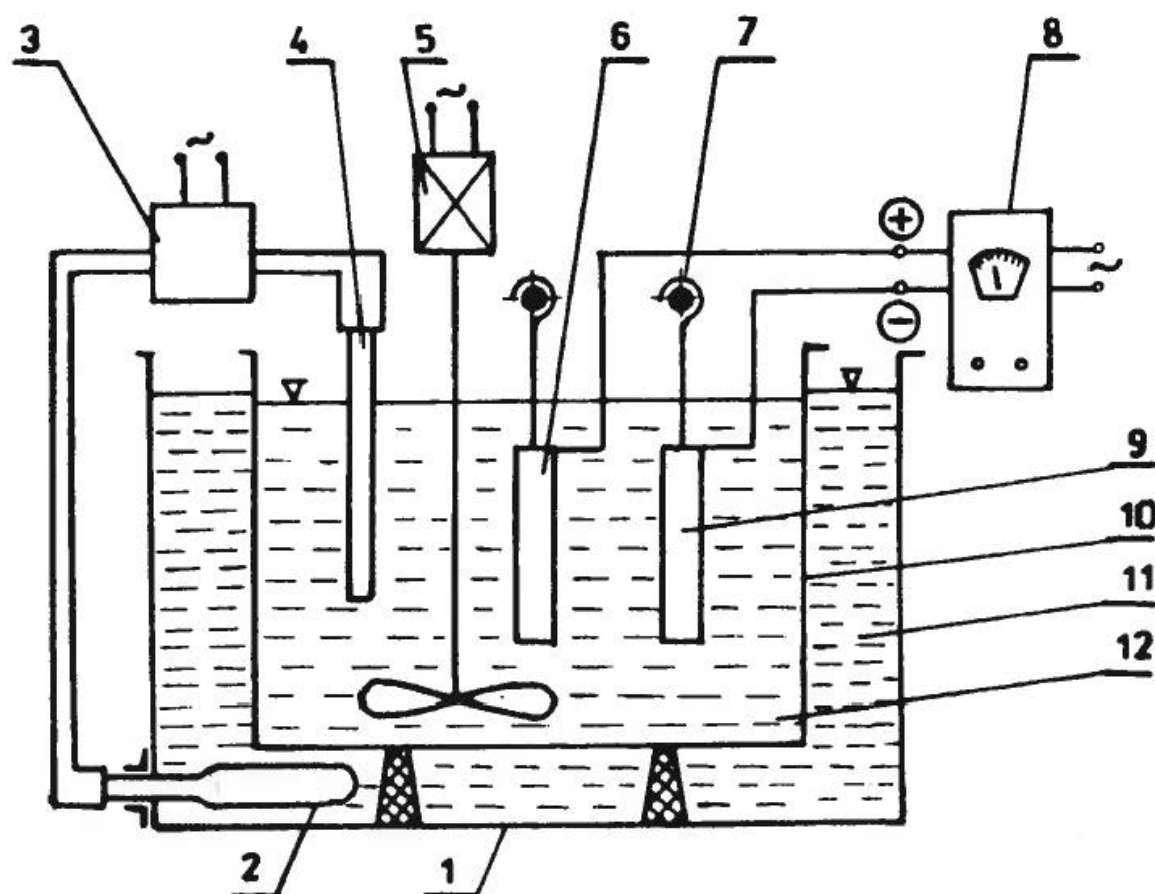
Zmniejszenie mikronierówności powierzchni przedmiotu obrabianego tłumaczone jest występowaniem tak zwanej warstwy lepkiej (rys. 6.1). Warstwa ta charakteryzuje się dużym oporem elektrycznym. Ponieważ grubość warstwy lepkiej jest mniejsza nad wierzchołkami mikronierówności niż nad wgłębieniami,

to nad wierzchołkami jest większa anodowa gęstość prądu, w wyniku czego następuje szybsze rozpuszczanie tych wierzchołków.

Bezpośrednio na powierzchni anody tworzy się bardzo cienka warstewka, zwana błoną powierzchniową, która składa się najczęściej z tlenków metali anody. Błona ta zapewnia równomierne rozpuszczanie warstwy wierzchniej anody, nie dopuszczając do selektywnego rozpuszczania poszczególnych faz krystalicznych.

6.1.2. Stanowisko do polerowania elektrolitycznego

Stanowisko do polerowania elektrolitycznego składa się z zasilacza oraz zestawu roboczego. Zasilacz służy do przekształcania prądu zmiennego o napięciu 220 V na prąd stały, którego natężenie można zmieniać w zakresie 0 – 25 A (stosunkowo niewielkie maksymalne natężenie prądu sprawia, iż można polerować tylko małe elementy). Stanowisko ćwiczeniowe pokazano schematycznie na rys. 6.2.



Rys. 6.2. Schemat stanowiska do polerowania elektrolitycznego: 1 – wanna zewnętrzna, 2 – grzałka, 3 – termostat, 4 – termometr, 5 – mieszadło, 6 – obrabiany przedmiot (anoda), 7 – szyna, 8 – zasilacz, 9 – katoda, 10 – wanna wewnętrzna, 11 – woda, 12 – elektrolit

Zarówno przedmiot obrabiany (anoda) 6 jak i elektroda robocza (katoda) 9 zawieszane są na szynach 7 w taki sposób, aby zanurzone były w elektrolicie 12. Mieszadło 5 powoduje ruch elektrolitu względem przedmiotu obrabianego i elektrody roboczej. Celem tego ruchu jest usuwanie produktów zachodzących reakcji chemicznych, doprowadzenie świeżego elektrolitu do przestrzeni między anodą i katodą, a także wyrównanie temperatury elektrolitu. Zbyt duża intensywność tego ruchu może niekorzystnie odbić się na chropowatości powierzchni obrabianego przedmiotu na skutek uszkodzenia warstwy lepkiej.

Elektrolit wypełnia wannę wewnętrzną 10, która od wanny zewnętrznej 1 oddzielona jest płaszczem wodnym 11. Woda podgrzewana jest za pomocą grzałki elektrycznej 2. Podgrzany płaszcz wodny przekazuje ciepło poprzez ścianki wanny wewnętrznej do elektrolitu. Utrzymanie odpowiedniej temperatury elektrolitu zapewnia termometr 4 i termostat 3. Rozwiązanie takie zabezpiecza grzałkę przed oddziaływaniem żrącym elektrolitu. Elementy mające bezpośredni kontakt z elektrolitem (wanna wewnętrzna, mieszadło, termometr) muszą być wykonane z materiałów odpornych na działanie kwasów (np. stal kwasoodporna, tworzywa sztuczne, szkło).

6.1.3. Czynniki wpływające na proces elektropolerowania

Do podstawowych czynników mających wpływ na wyniki polerowania elektrolitycznego należy zaliczyć:

- rodzaj materiału obrabianego,
- skład chemiczny elektrolitu,
- temperaturę elektrolitu,
- prędkość ruchu elektrolitu w przestrzeni między elektrodami,
- gęstość prądu,
- czas trwania procesu.

Polerowanie elektrolityczne stosowane jest głównie jako wykańczająca obróbka elementów trudno obrabialnych innymi sposobami (zarówno ze względu na kształt jak i rodzaj materiału). Dobre wyniki uzyskuje się podczas polerowania elektrolitycznego skomplikowanych wyrobów ze stali kwasoodpornych, takich jak: elementy linii produkcyjnych przemysłu chemicznego i spożywczego, wyroby użytku kuchennego, narzędzia chirurgiczne, implanty. W przypadku elementów implantowanych w ludzkie ciało ważną zaletą elektropolerowania jest fakt, że po tej obróbce w warstwie wierzchniej obrabianych elementów nie

ma mikroziarn ściernych pozostałych po obróbce ściernej (obecność takich mikroziarn znacznie utrudnia gojenie się ran i często prowadzi do infekcji). Obróbce elektropolerowaniem poddawane są też wyroby z takich materiałów jak: stale węglowe i stopowe (w tym narzędziowe), miedź, aluminium. Warunki technologiczne polerowania elektrolitycznego oraz rezultaty tej obróbki różnią się znacznie dla poszczególnych materiałów [2, 3, 9, 15, 23].

Skład chemiczny elektrolitu dobiera się w zależności od rodzaju materiału obrabianego. Przykładowo do elektropolerowania stali 1H18N9T zalecany jest elektrolit zawierający: 60 % kwasu fosforowego, 30 % kwasu siarkowego, 10 % wody [2]. Przy długotrwałym użytkowaniu danego elektrolitu jego skład ulega zmianie ze względu na [9]:

- wzrost zawartości metalu w roztworze,
- osadzanie metalu na katodzie,
- wydzielanie się soli metali,
- straty elektrolitu podczas wyjmowania przedmiotu obrabianego (elektrolit zwilża ten przedmiot),
- wprowadzenie do wanny wody z płukania przedmiotów.

Polerowanie elektrolityczne prowadzone jest zwykle w podwyższonych temperaturach. Temperatura elektrolitu wpływa na chropowatość powierzchni obrobionej i czas trwania procesu. Temperatura ta zwykle dobierana jest na drodze doświadczalnej dla danego składu chemicznego elektrolitu i materiału obrabianego.

Ruch elektrolitu w przestrzeni między elektrodami może być wymuszony przez mieszanie, przedmuchiwanie sprężonymi gazami lub przez konwekcję.

Gęstość prądu przy elektropolerowaniu danego materiału dobierana jest doświadczalnie w oparciu o tak zwane krzywe polaryzacji anodowej (są to wykresy gęstości prądu w funkcji napięcia). Cechą charakterystyczną tych krzywych jest to, że dla pewnego zakresu wartości napięcia wartość gęstości prądu jest w przybliżeniu stała (mimo wzrostu napięcia), co tłumaczone jest wzrostem oporności na skutek narastania grubości warstwy lepkiej. Stosując określoną w ten sposób gęstość prądu otrzymuje się dobre efekty elektropolerowania. Zalecane wartości gęstości prądu przy polerowaniu różnych materiałów najczęściej mieszczą się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu A/dm².

Ze wzrostem czasu polerowania elektrolitycznego następuje w początkowej fazie procesu zmniejszanie się chropowatości powierzchni obrobionej, po czym

wartość chropowatości ustala się (a nawet może wzrastać). Zalecane wartości czasu elektropolerowania zwykle wynoszą w granicach od kilku do kilkunastu minut.

6.1.4. Bezpieczeństwo pracy podczas polerowania elektrolitycznego

Proces polerowania elektrolitycznego prowadzony jest w roztworach o dużym stężeniu silnie żrących substancji. W podwyższonej temperaturze roztwory te intensywnie parują, co stanowi duże zagrożenie dla organizmu człowieka. Podczas wykonywania niniejszego ćwiczenia należy zwrócić szczególną uwagę na spełnienie następujących warunków (poza ogólnymi zasadami bezpiecznej pracy, z którymi studenci zapoznali się przed przystąpieniem do ćwiczeń):

- sprawne funkcjonowanie wyciągów oraz nawiewów świeżego powietrza,
- stosowanie ubrań ochronnych, okularów i rękawic,
- zabezpieczenie przed oparzeniami na skutek bezpośredniego kontaktu z elektrolitem,
- dostęp do bieżącej wody (możliwość szybkiego zmycia elektrolitu),
- zabezpieczenie przed porażeniem prądem elektrycznym.

6.2. Zagadnienia kontrolne

1. Cel stosowania polerowania elektrolitycznego.
2. Wpływ elektropolerowania na cechy użytkowe obrabianych przedmiotów.
3. Przykłady przedmiotów obrabianych elektropolerowaniem.
4. Wyjaśnić, na czym polega polerowanie elektrolityczne.
5. Budowa stanowiska do elektropolerowania.
6. Skład chemiczny, temperatura i ruch elektrolitu.
7. Zalecane wartości gęstości prądu.
8. Wpływ czasu trwania procesu na chropowatość powierzchni.
9. Podstawowe zasady bezpieczeństwa pracy.

Literatura uzupełniająca: [2, 9, 11, 23].

6.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Zasilacz.
- b. Zestaw roboczy do polerowania elektrolitycznego.

- c. Suwmiarka.
- d. Mikrometr.
- e. Próbką materiału polerowanego elektrolitycznie.
- f. Profilometr.
- g. Mikroskop.

6.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Korzystając z suwmiarki zmierzyć szerokość i wysokość próbki oraz obliczyć pole powierzchni polerowanej elektrolitycznie A.
2. Obliczyć natężenie prądu według zależności:

$$I = jA \quad (6.1)$$

gdzie: j – anodowa gęstość prądu (jej wartość poda prowadzący ćwiczenia).

1. Za pomocą mikrometru zmierzyć grubość próbki g_0 .
2. Korzystając z profilometru zmierzyć wartość parametru chropowatości R_{ao} .
3. Przeprowadzić obserwacje mikroskopowe powierzchni próbki.
4. Odtłuścić, płukać oraz osuszyć próbkę.
5. Zamocować próbkę w wieszaku, po czym zamocować wieszak na szynie.
6. Włączyć grzałkę oraz mieszadło; zaczekać do osiągnięcia odpowiedniej temperatury na termometrze (wartość temperatury poda prowadzący ćwiczenia).
7. Włączyć zasilacz, ustalić wartość natężenia prądu wyliczoną w punkcie 2.
8. Prowadzić polerownie elektrolityczne w czasie t (wartość czasu t poda prowadzący ćwiczenia).
9. Po upływie czasu t wyłączyć zasilanie, grzałkę oraz mieszadło.
10. Wyjąć próbkę z elektrolizera, starannie ją opłukać i osuszyć.
11. Zmierzyć grubość próbki g_1 oraz chropowatość powierzchni R_{a1} .
12. Przeprowadzić obserwację powierzchni próbki na mikroskopie.
13. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis stanowiska do polerowania elektrolitycznego i sposobu przeprowadzenia ćwiczenia,
 - wyniki pomiarów (wypełniony protokół),
 - opis struktury geometrycznej powierzchni (kierunkowość, uszkodzenia itp.),
 - uwagi i wnioski.

Tablica 6.1. Protokół polerowania elektrolitycznego.

Materiał próbki	
Skład elektrolitu	
Temperatura elektrolitu	
Czas trwania procesu	
Gęstość prądu	
Pole powierzchni elektropolerowania	
Natężenie prądu	
Napięcie	
Grubość próbki przed polerowaniem elektrolitycznym g_0	
Grubość próbki po polerowaniu elektrolitycznym g_1	
Grubość warstwy usuniętej $\Delta g = g_0 - g_1$	
Chropowatość powierzchni przed elektropolerowaniem	
Chropowatość powierzchni po elektropolerowaniu	

Ćwiczenie 7

STRUKTURA GEOMETRYCZNA POWIERZCHNI PO OBRÓBCE WIÓROWEJ, ŚCIERNEJ I EROZYJNEJ

7.1. Wiadomości ogólne

Obróbka materiału wiąże się z oddziaływaniem na powierzchnię obrobioną różnych czynników (np. naciski, ciepło). Czynniki te wpływają na strukturę geometryczną powierzchni oraz właściwości fizyczne warstwy wierzchniej.

Struktura geometryczna powierzchni określana jest jako układ elementów geometrycznych powierzchni powstałych w procesie technologicznym wytwarzania wyrobu lub też w procesach jego wytwarzania i użytkowania [6]. Struktura geometryczna powierzchni obejmuje chropowatość, falistość oraz wady powierzchni (niekiedy zalicza się też błędy kształtu).

Warstwa wierzchnia jest to warstwa materiału ograniczona powierzchnią rzeczywistą danego przedmiotu i obejmująca tę część materiału w głąb od powierzchni rzeczywistej, która wykazuje zmienione właściwości fizyczne, a niekiedy również chemiczne, w stosunku do właściwości materiału rdzenia. Te zmiany właściwości dotyczą najczęściej struktury materiału, twardości oraz naprężeń własnych.

7.1.1. Chropowość powierzchni

Chropowość powierzchni charakteryzowana jest za pomocą parametrów. Wyróżnić można ponad trzydzieści parametrów, rozkładów i funkcji opisujących cechy profilu chropowości [16].

Do częściej stosowanych można zaliczyć parametry oznaczane symbolami R_a , R_z , S , które określone są zgodnie z normą PN – 87 /M – 04256 /02.

Średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowości R_a jest wartością średnią bezwzględnych odchylen profilu od linii średniej (to znaczy linii dzielącej profil chropowości w taki sposób, że suma kwadratów odchylen profilu od tej linii jest minimalna) na długości odcinka elementarnego l , co można zapisać:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (7.1)$$

gdzie $y(x)$ jest równaniem profilu chropowości.

Przybliżoną postać wzoru (7.1) można zapisać:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (7.2)$$

gdzie: y_i – odchylenie i -tego punktu profilu;

n – liczba rozpatrywanych punktów na długości odcinka elementarnego.

Wysokość chropowości wg 10 punktów R_z jest średnią arytmetyczną wartości bezwzględnych wysokości pięciu najwyższych wzniesień (y_{p1} , y_{p2} , ..., y_{p5}) oraz głębokości pięciu najniższych wgłębień (y_{v1} , y_{v2} , ..., y_{v5}) profilu chropowości na długości odcinka elementarnego l , co można zapisać:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5} \quad (7.3)$$

Średni odstęp miejscowych wzniesień profilu chropowości S obliczany jest wg wzoru:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (7.4)$$

gdzie: S_i – odstęp miejscowych wzniesień profilu, równy długości odcinka linii średniej, którego końcami są rzuty najwyższych punktów położonych obok siebie wzniesień profilu chropowatości;

n – liczba odstępów miejscowych wzniesień profilu na długości odcinka elementarnego.

7.1.2. Falistość powierzchni

Falistość powierzchni określana jest jako zbiór nierówności przypadkowych lub zbliżonych do postaci okresowej, który charakteryzuje się tym, że odstępami między nierównościami są znacznie większe w porównaniu z odstępami chropowatości. Pomiary falistości wiążą się z określeniem wartości parametrów falistości (np. średniej wysokości nierówności profilu falistości W_c , średniego arytmetycznego odchylenia profilu falistości W_a , średniego odstepu profilu falistości S_{wm}). Definicje parametrów falistości podane są w normie PN – 89/M – 04255.

7.1.3. Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni

Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni rozumiana jest jako wzajemny układ mikronierówności, wytworzonych w procesie obróbki bądź w czasie współpracy z innym elementem. Rozróżnia się następujące rodzaje kierunkowości:

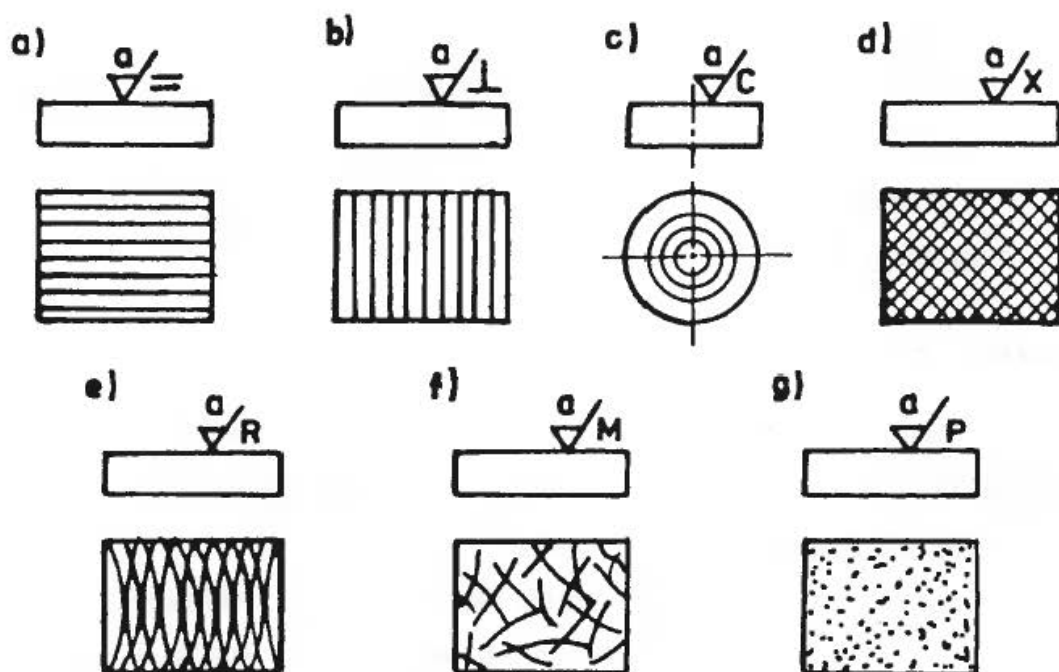
1. Jednokierunkowa:

- a) równoległa (do linii przedstawiającej daną powierzchnię na rysunku), np. po dłutowaniu, przeciąganiu, struganiu (rys. 7.1 a),
- b) prostopadła (do linii przedstawiającej daną powierzchnię na rysunku), np. po toczeniu wzdłużnym, rozwiercaniu, struganiu, dłutowaniu, szlifowaniu (rys. 7.1 b),
- c) współśrodkowa, np. po toczeniu czołowym, pogłębianiu (rys. 7.1 c),

2. Wielokierunkowa:

- a) skrzyżowana, np. po honowaniu, frezowaniu czołowym (rys. 7.1 d),
- b) promieniowa, np. po szlifowaniu czołowym (rys. 7.1 e),
- c) nieuporządkowana, np. po skrobaniu, docieraniu, wygładzaniu wibracyjnym (rys. 7.1 f),

3. Bezkieurunkowa – punktowa, np. po obróbce elektroerozyjnej (rys. 7.1 g).



Rys. 7.1. Odmiany i symbole kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni
(opis w tekście)

7.1.4. Wady powierzchni

Wady powierzchni mają niekorzystny wpływ na trwałość eksploatacyjną elementów maszyn. Dotyczy to zwłaszcza elementów narażonych na obciążenia zmienne, gdyż wady powierzchniowe mogą być miejscem, w którym rozpoczyna się proces pękania zmęczeniowego.

Do wad najczęściej występujących na powierzchniach obrobionych metodami obróbki ubytkowej należy zaliczyć:

- 1) rysy i bruzdy, które powstają na skutek oddziaływania na powierzchnię obrobioną wiórów lub wykruszonych fragmentów ostrza narzędzia albo na skutek nieprawidłowego transportu obrobionych elementów;
- 2) pozostałości wióra (drobne cząstki wióra wgniatane są w powierzchnię obrobioną);
- 3) pęknięcia na skutek występowania dużych naprężeń własnych;
- 4) pęcherze i wtrącenia uwidocznione w wyniku usunięcia warstwy materiału podczas skrawania;
- 5) wżery i plamy korozyjne powstające wskutek braku zabezpieczenia obrobionych elementów przed korozją.

Ocena wad powierzchni dokonywana jest wizualnie albo za pomocą lup i mikroskopów.

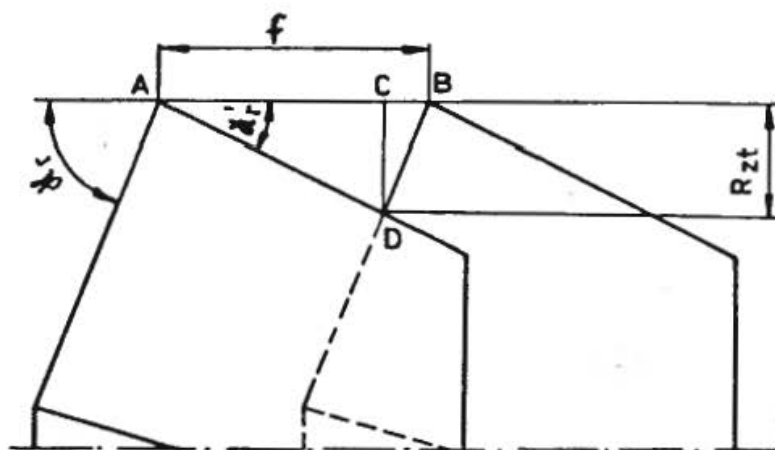
7.1.5. Struktura geometryczna powierzchni po obróbce wiórowej

Mikronierówności powierzchni kształtowane w procesie obróbki wiórowej zależą od szeregu czynników, które podzielić można na dwie grupy:

1. Czynniki związane z geometryczno – kinematycznym odwzorowaniem naroża części roboczej narzędzia (model profilów chropowatości tworzony z uwzględnieniem tych czynników ma charakter zdeterminowany, tzn. istnieją zależności funkcyjne rzędnych profilu od jego długości).
2. Czynniki fizyczne, oddziałujące w sposób losowy na profil chropowatości.

Przy uwzględnieniu tylko geometryczno – kinematycznego odwzorowania naroża w materiale obrabianym można obliczyć teoretyczną wysokość mikronierówności powierzchni jako wysokość resztowych pól przekroju warstwy skrawanej. Obliczenia teoretycznej wysokości mikronierówności kształtowanych w procesie skrawania jednostrzowymi narzędziami punktowymi (np. podczas toczenia) mogą być prowadzone przy założeniu, że promień zaokrąglenia naroża narzędzia $r_e = 0$ lub $r_e > 0$.

A. Obliczenia teoretycznej wysokości mikronierówności powierzchni R_{zt} dla przypadku $r_e = 0$



Rys. 7.2. Odwzorowanie ostrza narzędzia o promieniu naroża $r_e = 0$ w materiale obrabianym

Z rys. 7.2 wynika:

$$f = AC + BC = \frac{R_{zt}}{\tan \kappa'_r} + \frac{R_{zt}}{\tan \kappa_r} = R_{zt} \frac{\tan \kappa_r + \tan \kappa'_r}{\tan \kappa_r \tan \kappa'_r} \quad (7.5)$$

gdzie: f – posuw; κ_r – kąt przystawienia główny; κ'_r – kąt przystawienia pomocniczy.

Po przekształceniach (7.5) otrzymuje się:

$$R_z = f \frac{\operatorname{tg} \kappa_r \operatorname{tg} \kappa_r'}{\operatorname{tg} \kappa_r + \operatorname{tg} \kappa_r'} \quad (7.6)$$

Wzór (7.6) nie może być stosowany gdy $\kappa_r = 90^\circ$.

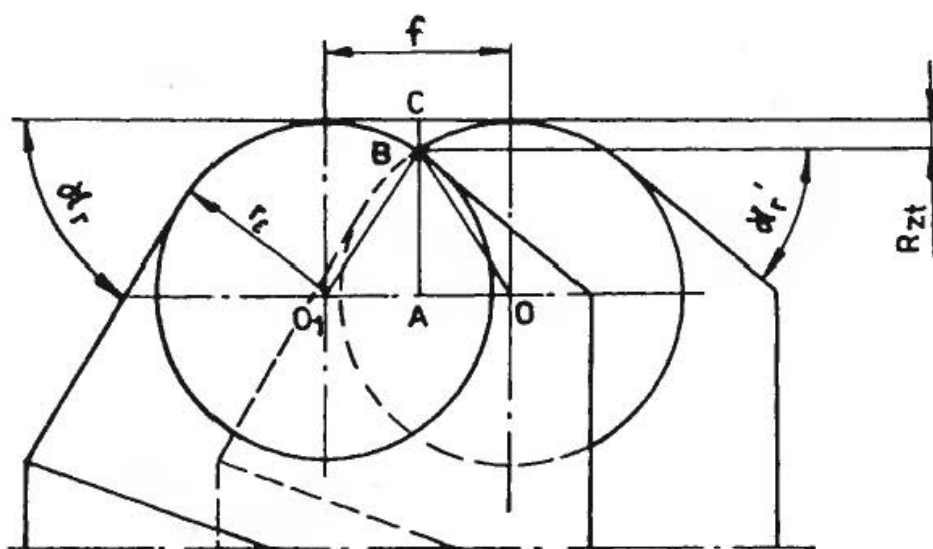
B. Obliczenia teoretycznej wysokości mikronierówności powierzchni R_{zt} dla przypadku $r_e > 0$

Jeżeli uwzględnia się promień zaokrąglenia naroża mogą mieć miejsce trzy przypadki odwzorowania [4, 5, 11]:

- 1) łukowe, gdy na powierzchni obrobionej odwzorowuje się tylko krzywoliniowa część krawędzi skrawającej (rys. 7.3);
- 2) łukowo – liniowe typu I, gdy na powierzchni obrobionej odwzorowuje się część krzywoliniowa oraz część prostoliniowej pomocniczej krawędzi skrawającej (rys. 7.4);
- 3) łukowo – liniowe typu II, gdy odwzorowuje się część krzywoliniowa oraz prostoliniowe części głównej i pomocniczej krawędzi skrawającej (rys. 7.5).

Przypadek odwzorowania łukowego występuje podczas obróbki dokładnej, kiedy stosuje się małe posuwy. Warunkiem występowania tego przypadku jest:

$$f \leq 2r_e \sin \kappa_r' \quad (7.7)$$



Rys. 7.3. Łukowe odwzorowanie ostrza narzędzia ($r_e > 0$) w materiale obrabianym

W oparciu o rys. 7.3 można napisać zależność na teoretyczną wysokość nierówności:

$$R_z = AC - AB = AC - \sqrt{OB^2 - OA^2}$$

Po uwzględnieniu $AC = OB = r_\epsilon$ oraz $OA = 0,5 f$ otrzymuje się:

$$R_z = r_\epsilon - 0,5\sqrt{4r_\epsilon^2 - f^2} \quad (7.8)$$

W praktyce często korzysta się z zależności przybliżonej:

$$R_z \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon}, \quad (7.9)$$

która otrzymywana jest w wyniku odpowiednich przekształceń wzoru (7.8) i pominięcia R_z^2 jako wielkości bardzo małej.

Odwzorowanie łukowo – liniowe typu I zachodzi wówczas, gdy [11]:

$$2r_\epsilon \sin \kappa'_r < f < 2r_\epsilon \frac{\sin^2\left(\frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}\right)}{\sin \kappa'_r} \quad (7.10)$$

Teoretyczną wysokość chropowatości dla tego przypadku wyznacza się według wzoru [11]:

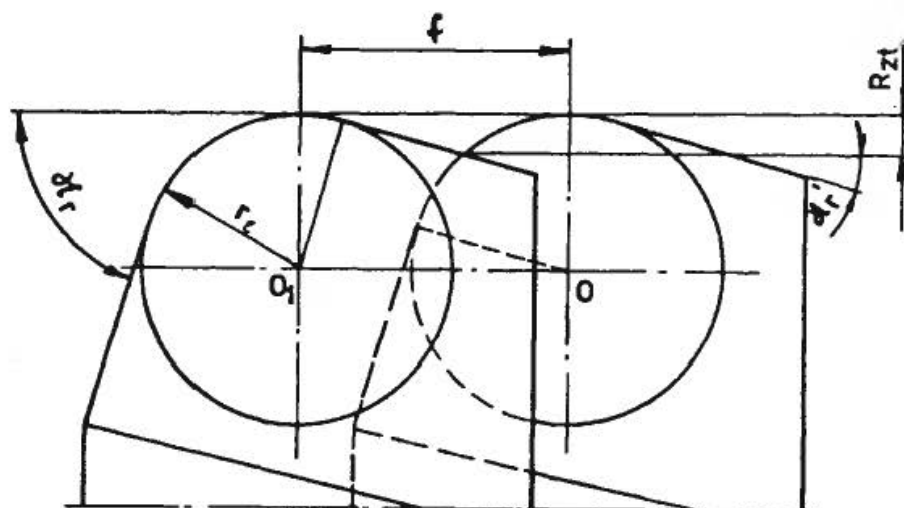
$$R_z = f \left(\frac{\sin 2\kappa'_r}{2} - \sin^2 \kappa'_r \sqrt{\frac{2r_\epsilon}{f \sin \kappa'_r}} - 1 \right) + 2r_\epsilon \sin^2 \left(\frac{\kappa'_r}{2} \right) \quad (7.11)$$

Odwzorowanie łukowo – liniowe typu II ma miejsce, gdy spełniony jest warunek [11]:

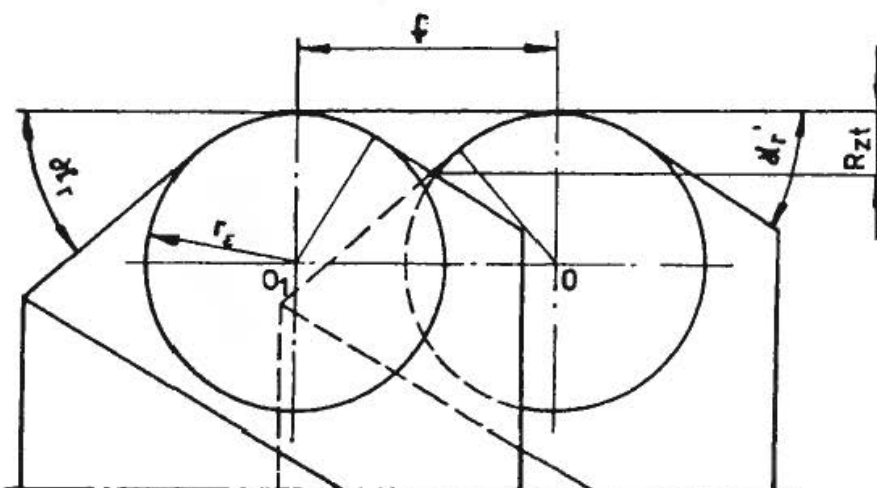
$$f \geq 2r_\epsilon \frac{\sin^2\left(\frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}\right)}{\sin \kappa'_r} \quad (7.12)$$

Wówczas R_z można wyznaczyć z zależności:

$$R_z = f \frac{\sin \kappa_r \sin \kappa'_r}{\sin(\kappa_r + \kappa'_r)} - r_\epsilon \left[\frac{\sin \kappa_r + \sin \kappa'_r}{\sin(\kappa_r + \kappa'_r)} - 1 \right] \quad (7.13)$$



Rys. 7.4. Odwzorowanie ostrza łukowo – liniowe typu I ($r_e > 0$)



Rys. 7.5. Odwzorowanie ostrza łukowo – liniowe typu II ($r_e > 0$)

Powyższe zależności na teoretyczną wysokość nierówności zostały wyznaczone przy założeniu, że zarys krawędzi skrawających składa się z odcinków i łuków. Rzeczywisty zarys krawędzi skrawających odbiega od teoretycznego (błędy wykonania, zużycie ostrza, wyszczerbienia), co ma wpływ na wartość mikronierówności.

Jak już wspomniano, na chropowatość powierzchni wpływają też czynniki fizyczne, takie jak:

- odkształcenia plastyczne i sprężyste,
- tarcie materiału obrabianego o powierzchnie robocze ostrza narzędzia,
- występowanie narostu,
- drgania układu OUPN (obrabiarka – uchwyt – przedmiot obrabiany – narzędzie).

Niekorzystny wpływ czynników fizykalnych na chropowatość powierzchni obrabianej można zmniejszyć poprzez odpowiedni dobór warunków skrawania (np. zastosowanie cieczy obróbkowych umożliwia zmniejszenie tarcia między ostrzem a materiałem obrabianym).

Typowy zakres chropowatości powierzchni dla wybranych sposobów obróbki wiórowej jest następujący [16]:

- toczenie, wytaczanie – $R_a = 0,4 - 6,3 \mu\text{m}$,
- wiercenie – $R_a = 1,6 - 6,3 \mu\text{m}$,
- rozwiercanie – $R_a = 0,8 - 3,2 \mu\text{m}$,
- frezowanie – $R_a = 0,8 - 6,3 \mu\text{m}$.

W przypadku niektórych odmian obróbki wiórowej można osiągnąć chropowatości znacznie mniejsze w porównaniu z podanymi wyżej (np. po toczeniu ostrzami z diamentu nawet do tysięcznych części μm).

Na powierzchniach po obróbce wiórowej często występuje falistość powstająca głównie na skutek drgań samowzbudnych oraz wymuszonych układu OUPN. Wyższa falistość powstaje na ogół w czasie obróbki takimi sposobami, które charakteryzują się tym, że następują uderzenia ostrza narzędzia w obrabiany materiał (np. struganie, dłutowanie).

7.1.6. Struktura geometryczna powierzchni po obróbce ścierniej

Obróbka ścierna stosowana jest zwykle w końcowej fazie wytwarzania elementów maszyn. Umożliwia ona uzyskiwanie dużej dokładności wymiarowo – kształtowej i małej chropowatości powierzchni obrabianej. Obróbce ścierniej mogą być poddawane materiały o dużej twardości.

W procesie obróbki ścierniej na materiał obrabiany oddziałują jednocześnie duża liczba ziarn ściernych. Oddziaływanie to może mieć postać mikroskrawania, bruzdowania lub tarcia.

Do podstawowych czynników wpływających na chropowatość powierzchni po obróbce ścierniej należy zaliczyć:

- właściwości obrabianego materiału,
- rodzaj obróbki ścierniej,
- charakterystykę narzędzia ściernego (materiał i wielkość ziarn ściernych, rodzaj spoiwa, twardość, struktura),
- zużycie i sposób obciążania ściernicy,
- parametry technologiczne obróbki,
- rodzaj płynu obróbkowego.

Dla niektórych sposobów obróbki ścierniej typowe zakresy uzyskiwanej chropowatości są następujące [16]:

- szlifowanie – $R_a = 0,1 - 1,6 \mu\text{m}$,
- gładzenie – $R_a = 0,1 - 0,8 \mu\text{m}$,
- dogładzanie oscylacyjne – $R_a = 0,05 - 0,2 \mu\text{m}$,
- docieranie – $R_a = 0,05 - 0,4 \mu\text{m}$.

Na powierzchni szlifowanej mogą występować wady w postaci przywartych do tej powierzchni mikrowiórów. Powstawanie tych wad związane jest z redystrybucją wiórów „przylepiających” się do ściernicy.

7.1.7. Struktura geometryczna powierzchni po obróbce elektroerozyjnej

W procesie obróbki elektroerozyjnej mikronierówności powierzchni kształtowane są w wyniku wyładowań iskrowych zachodzących między przedmiotem obrabianym a elektrodą roboczą. Uzyskiwana w wyniku obróbki elektroerozyjnej chropowatość powierzchni zależy głównie od następujących czynników:

- właściwości materiału obrabianego,
- natężenia prądu roboczego,
- czasu trwania impulsu,
- chropowatości powierzchni elektrody roboczej.

W zależności od parametrów technologicznych, wysokość chropowatości powierzchni po obróbce elektroerozyjnej może zmieniać się w bardzo szerokich granicach ($R_a = 0,1 - 50 \mu\text{m}$ [16]).

7.2. Zagadnienia kontrolne

1. Pojęcie struktury geometrycznej powierzchni i warstwy wierzchniej.
2. Definicje wybranych parametrów chropowatości powierzchni (R_a , R_z , S).
3. Pojęcie falistości powierzchni.
4. Rodzaje kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni.
5. Wady powierzchniowe po obróbce ubytkowej.
6. Obliczenia teoretycznej wysokości mikronierówności powierzchni po toczeniu.
7. Czynniki wpływające na chropowatość powierzchni po obróbce wiórowej, ścierniej i elektroerozyjnej.

8. Orientacyjne wartości chropowatości powierzchni po różnych sposobach obróbki ubytkowej.

Literatura uzupełniająca [4, 5, 6, 10, 11, 16, 24, 26].

7.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Tokarka kłowa uniwersalna.
- b. Nóż tokarski składany.
- c. Szlifierka do płaszczyzn.
- d. Ściernica.
- e. Drażarka elektroerozyjna.
- f. Elektroda robocza.
- g. Próbki do toczenia, szlifowania i drażenia elektroerozyjnego.
- h. Profilometr.
- i. Lupa.

7.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Przeprowadzić obróbkę następującymi sposobami:
 - a) toczyć wzdłużnie próbkę w kształcie walca, stosując różne posuwy,
 - b) szlifować płaszczyznę,
 - c) drażyć otwór.

Uwaga: Wartości parametrów technologicznych poda prowadzący ćwiczenia.

2. Korzystając z profilometru zmierzyć chropowatość powierzchni toczonej, szlifowanej oraz drażonej elektroerozyjnie.
3. Obserwując przez lupę obrobione powierzchnie określić:
 - a) kierunkowość struktury geometrycznej,
 - b) wady powierzchniowe.
4. Korzystając z zależności (7.7) – (7.13) obliczyć teoretyczną wysokość nierówności powierzchni toczonej.
5. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis przeprowadzenia pomiarów,
 - wyniki pomiarów i obliczeń (wypełnione protokoły),
 - wykresy obrazujące wpływ posuwu przy toczeniu na chropowatość powierzchni obrobionej,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 7.1. Wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni po toczeniu.

a) czynniki stałe:

Materiał obrabiany	
Symbol noża tokarskiego	
Głębokość skrawania a_p , mm,	
Średnica przedmiotu obrabianego d , mm,	
Prędkość obrotowa n , obr./min.,	
Prędkość skrawania v_c , m/min.,	

b)wyniki pomiarów i obliczeń:

Posuw f , mm /obr.,					
R_{zt} , μm ,					
R_z , μm ,					
R_a , μm ,					
S , μm ,					
Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni					
Wady powierzchniowe					

Tablica 7.2. Wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni po szlifowaniu i drążeniu elektroerozyjnym.

Sposób obróbki	Szlifowanie	Drażenie elektroerozyjne
Materiał obrabiany		
Charakterystyka narzędzia		
Parametry technologiczne		
R_z , μm ,		
R_a , μm ,		
S , μm ,		
Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni		
Wady powierzchniowe		

Ćwiczenie 8

UBYTKOWA OBRÓBKA GWINTÓW

8.1. Wiadomości ogólne

Gwinty najczęściej wykonuje się stosując obróbkę ubytkową lub obróbkę plastyczną. Wybór sposobu wykonania gwintu zależy przede wszystkim od jego zarysu, wymiarów, dokładności, rodzaju materiału obrabianego, wielkości produkcji. Wyodrębnia się następujące sposoby ubytkowej obróbki gwintów:

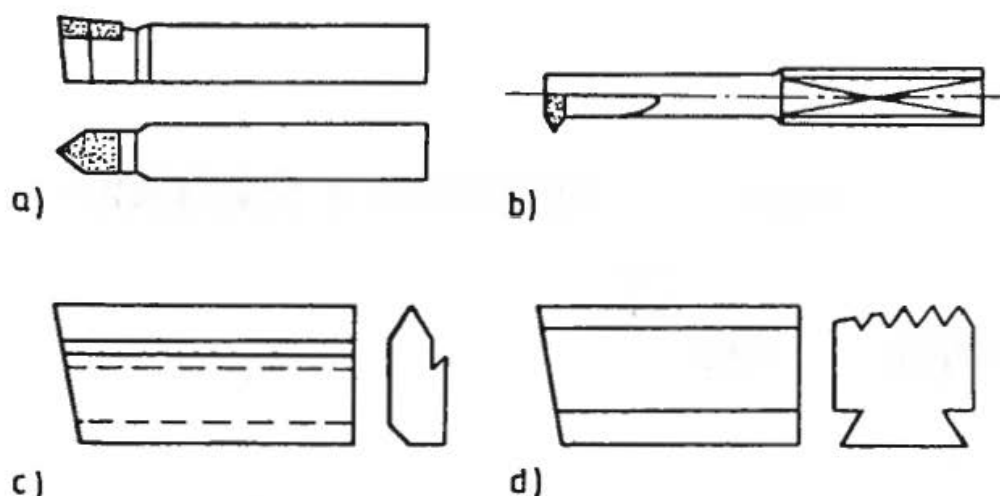
- 1) toczenie,
- 2) nacinanie gwintownikami,
- 3) nacinanie narzynkami,
- 4) frezowanie,
- 5) szlifowanie,
- 6) drążenie elektroerozyjne.

8.1.1. Toczenie gwintów

Podczas toczenia gwintu, podobnie jak przy toczeniu wzdłużnym, ruchem głównym jest ruch obrotowy przedmiotu obrabianego, natomiast narzędzie (w postaci noża kształtowego o krawędzi skrawającej wyznaczonej jako linia przecięcia gwintu z powierzchnią natarcia narzędzia) wykonuje ruch posuwowy w kierunku równoległym do osi przedmiotu. Ruch narzędzia jest powiązany

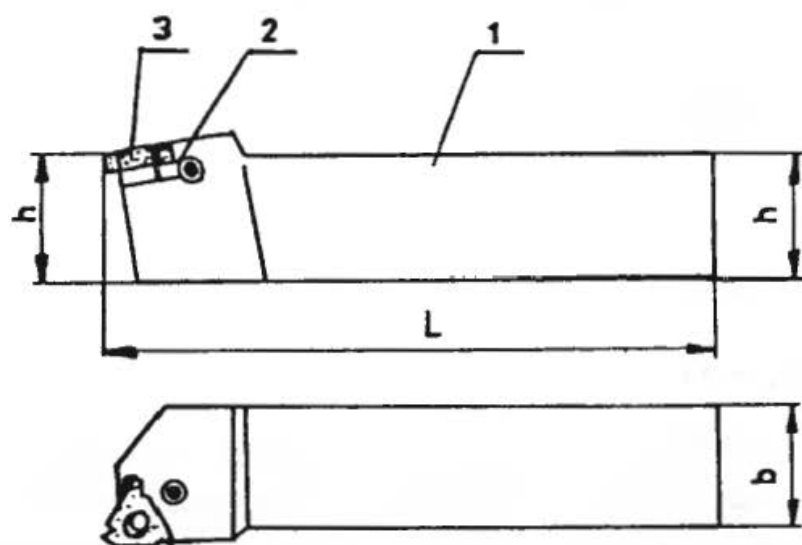
z ruchem przedmiotu obrabianego w taki sposób, że na jeden obrót przedmiotu nóż przesuwają się o odcinek równy skokowi nacinanego gwintu. Nadatek obróbkowy (bruzda gwintu) usuwany jest w kilku lub kilkunastu przejściach, przy czym liczba przejść zależy od rodzaju gwintu, podziałki i materiału obrabianego. Podział nadatku w bruzdzie gwintu może być realizowany według różnych schematów (kierunek dosuwu noża może być prostopadły do osi obrabianego przedmiotu, styczny do jednego z boków zarysu lub według linii łamanej).

Noże do gwintów mogą być jednolite (rys. 8.1 c, d), łączone w sposób trwały (rys. 8.1 a, b) lub składane (rys. 8.2).



Rys. 8.1. Noże do toczenia gwintów (jednolite i łączone w sposób trwały):

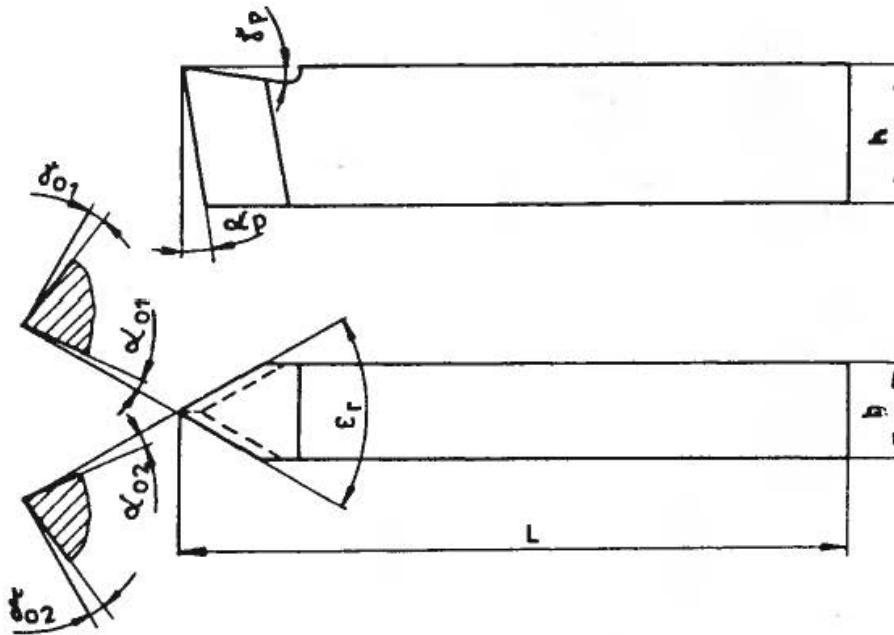
a) i makowy do gwintów zewnętrznych, b) i makowy do gwintów wewnętrznych, c) słupkowy pojedynczy, d) słupkowy wielokrotny.



Rys. 8.2. Nóż do gwintów składany: 1 – korpus noża, 2 – płytka podporowa, 3 – płytka skrawająca [28]

Ze względu na zarys krawędzi skrawającej noże do gwintów dzieli się na pojedyncze (rys. 8.1 a, b, c) i wielokrotne (rys. 8.1 d), a ze względu na sposób mocowania rozróżnia się noże imakowe (rys. 8.1 a, b, 8.2) i oprawkowe (rys. 8.1 c, d). Stosowane są noże do gwintów zewnętrznych (rys. 8.1 a, 8.2) jak i wewnętrznych (rys. 8.1 b). Ze względu na rodzaj gwintu rozróżnia się noże do gwintów metrycznych, calowych, trapezowych i innych.

Geometrię ostrza noża do gwintów w układzie narzędzia przedstawiono na rys. 8.3, natomiast zmiany kątów przyłożenia w układzie roboczym pokazano na rys. 8.4.



Rys. 8.3. Geometria ostrza noża do gwintów

Wartości kątów przyłożenia i natarcia w układzie roboczym różnią się od wartości tych kątów w układzie narzędzia o wartość kąta wzniosu obrabianego gwintu ζ , przy czym:

$$\zeta = \arctg \frac{P_h}{\pi d_2} \quad (8.1)$$

gdzie: P_h – skok gwintu,

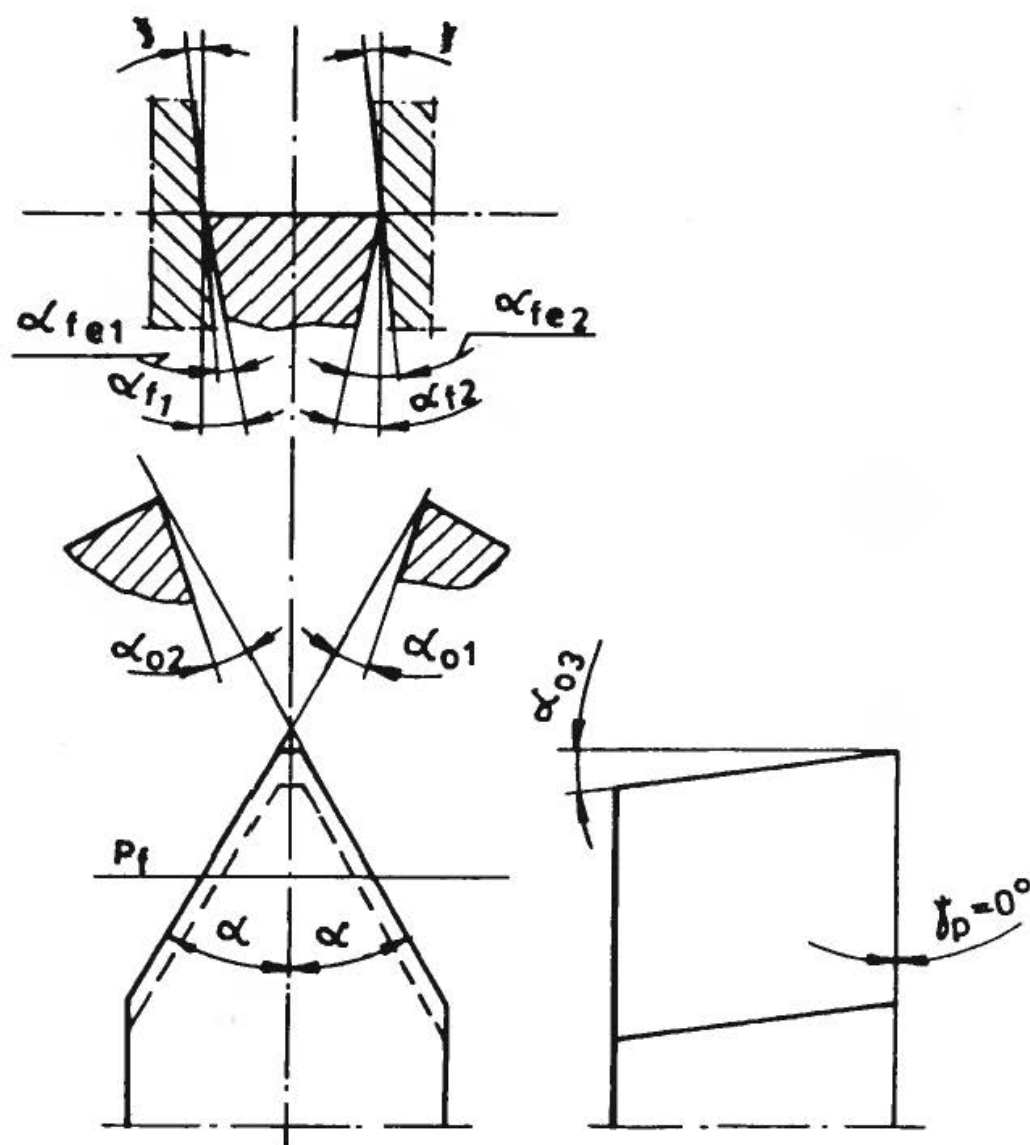
d_2 – średnica podziałowa gwintu.

Zgodnie z rys. 8.4:

$$\alpha_{f1} = \alpha_{fe1} + \zeta \quad (8.2)$$

$$\alpha_{f2} = \alpha_{fe2} - \zeta \quad (8.3)$$

Zależności (8.2) i (8.3) winny być uwzględniane, gdy kąt wzniosu $\zeta > 4^\circ$. Wówczas zaleca się, aby kąty α_{fe1} i α_{fe2} były w granicach od 2° do 3° przy gwintach zwykłych oraz od 6° do 8° przy gwintach wielokrotnych. Natomiast dla małych kątów wzniosu ($\zeta < 4^\circ$) kąty α_{f1} i α_{f2} przyjmuje się jednakowe.



Rys. 8.4. Kąty przyłożenia noża do gwintów w układzie roboczym

Kąty przyłożenia w płaszczyźnie bocznej i płaszczyźnie przekroju głównego powiązane są zależnością:

$$\operatorname{ctg} \alpha_f = \operatorname{ctg} \alpha_o \cos \frac{\varepsilon_r}{2} - \operatorname{tg} \lambda_s \sin \frac{\varepsilon_r}{2} \quad (8.4)$$

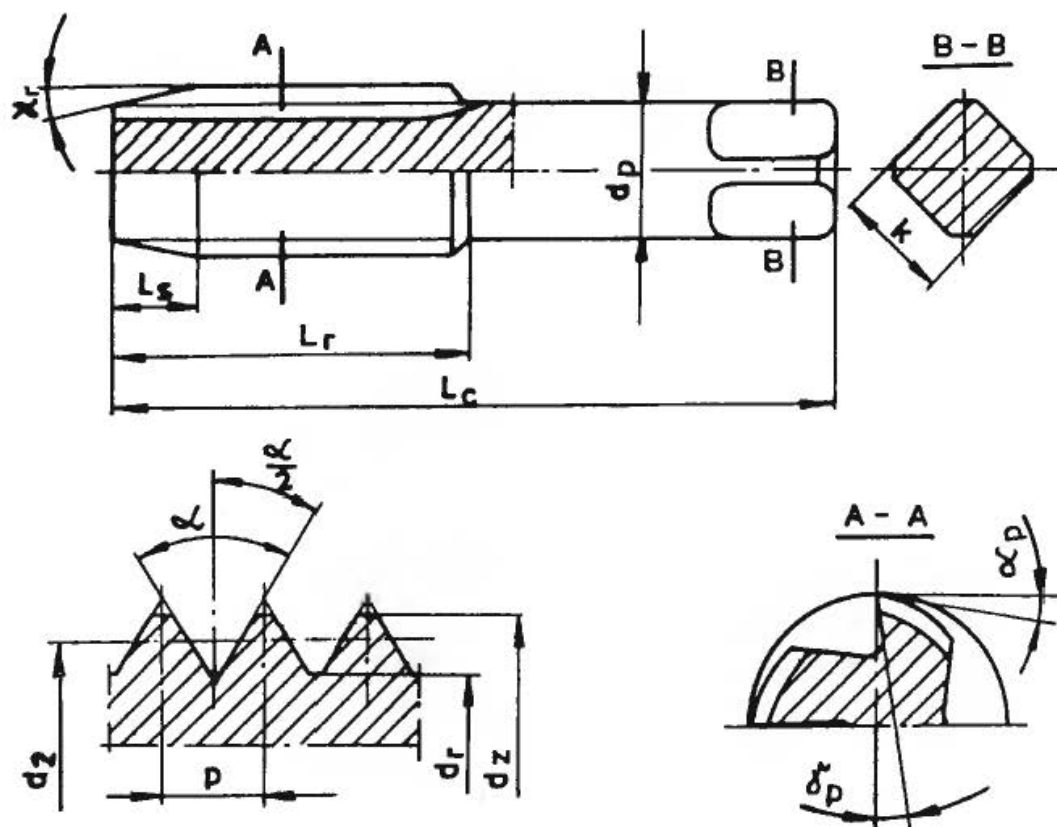
Jeżeli kąt natarcia $\gamma_f = 0$, to kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej λ_s można obliczyć z zależności:

$$\operatorname{tg} \lambda_s = \cos \frac{\varepsilon_r}{2} \operatorname{tg} \gamma_p \quad (8.5)$$

Toczenie uważane jest za najdokładniejszy sposób wiórowej obróbki gwintów. Ponadto metodą toczenia można wykonywać gwinty o różnym zarysie, a zatem można uznać tę metodę wykonywania gwintów za najbardziej uniwersalną.

8.1.2. Nacinanie gwintów gwintownikami

Za pomocą gwintowników nacinane są gwinty wewnętrzne o małych i średnich średnicach. Gwintowniki są wieloostrowymi narzędziami kształtowymi, składającymi się z części roboczej i części chwytowej. Część robocza gwintownika o długości L_r (rys. 8.5) ma kształt śruby z wyfrezowanymi rowkami wzdłużnymi, służącymi do odprowadzania wiórów. Krawędzie przecięcia zwojów z powierzchniami rowków wiórowych są krawędziami skrawającymi. Na długości L_s część robocza jest zaszlifowana pod kątem przystawienia κ_r , tworząc część skrawającą. Rowki wiórowe, których liczba waha się od dwóch do sześciu, mogą być proste lub śrubowe.



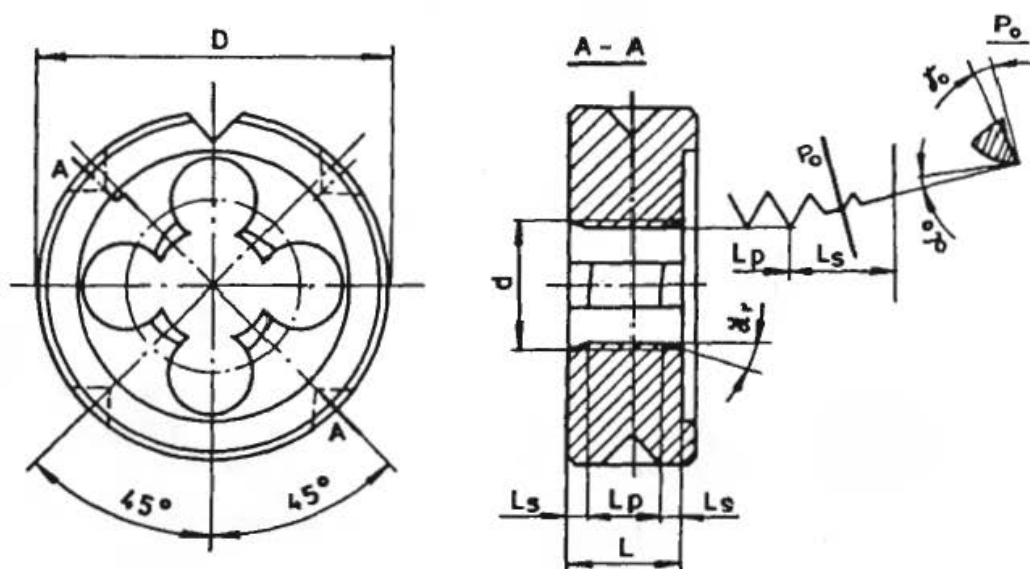
Rys. 8.5. Gwintownik do gwintów metrycznych

Powierzchnia natarcia gwintownika może być płaska lub wklęsła. Wartość kąta natarcia γ_p jest stała na całej długości części roboczej. Kąty przyłożenia określa się oddzielnie dla części skrawającej i prowadzącej (wykańczającej). W części skrawającej powierzchnia przyłożenia gwintownika jest zatoczona (kąty α_p mają wartość dodatnią). W części prowadzącej zataczane są gwintowniki z zarysem szlifowanym ($\alpha_p > 0$), natomiast gwintowniki z zarysem toczonym i walcowanym mają kąt przyłożenia $\alpha_p = 0$.

. Wykonuje się gwintowniki do gwintów walcowych i stożkowych. W zależności od rodzaju nacinanego gwintu stosuje się gwintowniki do gwintów metrycznych, calowych, trapezowych, rurowych itp. Rozróżnia się gwintowniki ręczne i maszynowe. Ręczne nacinanie gwintów prowadzone jest zwykle za pomocą trzech, a w przypadku gwintów drobnoszwojnych dwóch, gwintowników (wstępny, zdzierak, wykańczak). Maszynowo gwinty nacina się za pomocą jednego gwintownika.

8.1.3. Nacinanie gwintów narzynkami

Narzynki (rys. 8.6) są wieloostrzowymi narzędziami kształtowymi, przeznaczonymi do obróbki gwintów zewnętrznych. Praca narzynki jest podobna do nakręcania nakrętki na śrubę. Krawędzie skrawające powstają w wyniku przecięcia wewnętrznej powierzchni gwintowej z otworami wiórowymi.



Rys. 8.6. Budowa i geometria ostrza narzynki okrągłej

Początkowe zwoje gwintu są zaszlifowane pod kątem przystawienia κ_r na długości L_s . Jest to część skrawająca, która usuwa materiał z bruzd nacinanego gwintu. Zwykle część skrawająca występuje po obydwu stronach narzynki. Część środkowa o długości L_p nazywana jest prowadzącą.

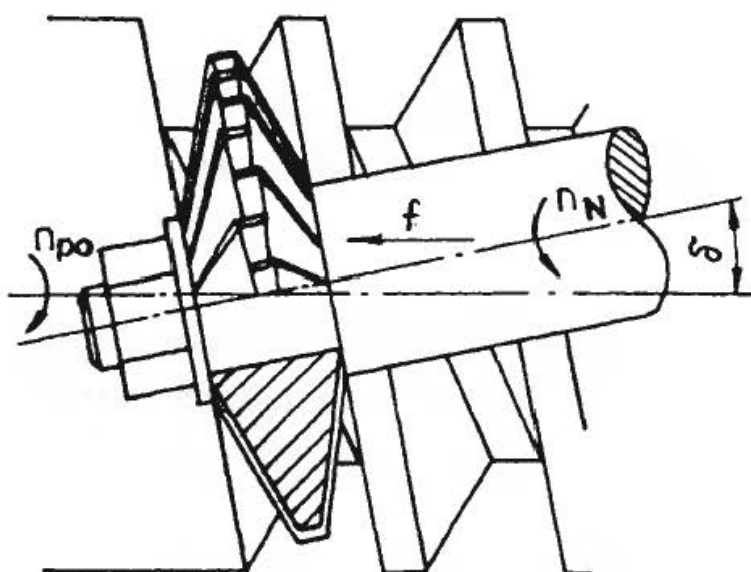
Ze względu na konieczność stosowania oprawki, narzynki dzieli się na oprawkowe i bezoprawkowe, a ze względu na budowę rozróżnia się narzynki jednolite i dzielone. Narzynki mogą być stosowane do obróbki ręcznej jak i maszynowej. Gwinty nacinane narzynkami nie odznaczają się wysoką dokładnością.

8.1.4. Frezowanie gwintów

Frezowaniem wykonuje się gwinty zewnętrzne oraz wewnętrzne o większych średnicach. Główne odmiany frezowania gwintów to:

- frezowanie frezem pojedynczym,
- frezowanie frezem wielokrotnym,
- frezowanie głowicami frezowymi.

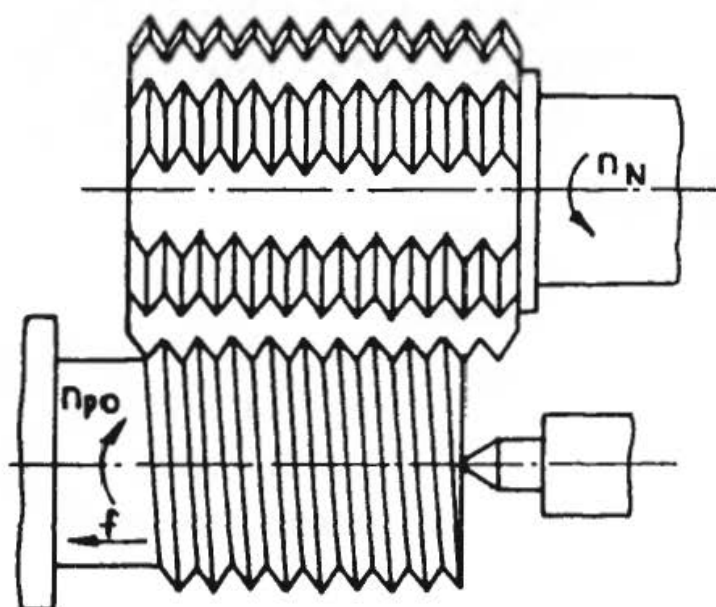
Frezowanie gwintu frezem pojedynczym (rys. 8.7) charakteryzuje się tym, że przedmiot obrabiany wykonuje powolny ruch obrotowy n_{po} , natomiast narzędzie – ruch główny obrotowy n_N oraz ruch wzdłużny f . Kąt δ zawarty między osią narzędzia a osią przedmiotu obrabianego jest równy kątowi wzniosu linii śrubowej gwintu.



Rys. 8.7. Frezowanie gwintu frezem pojedynczym

Frezami pojedynczymi nacinane są gwinty długie, najczęściej o zarysie trapezowym, o dużych kątach pochylenia lub dużych średnicach. Ze względu na skażenie zarysu metodą tą mogą być obrabiane gwinty mało dokładne.

Frezem wielokrotnym gwint nacinany jest na całej długości jednocześnie (rys. 8.8). Frez wykonuje ruch obrotowy n_N (jest to ruch główny), a przedmiot obrabiany – powolny ruch obrotowy n_{PO} oraz ruch wzdłużny f . Ponadto przedmiot obrabiany wykonuje ruch poprzeczny do momentu wcięcia frezu na pełną wysokość gwintu (oś frezu jest równoległa do osi przedmiotu obrabianego).

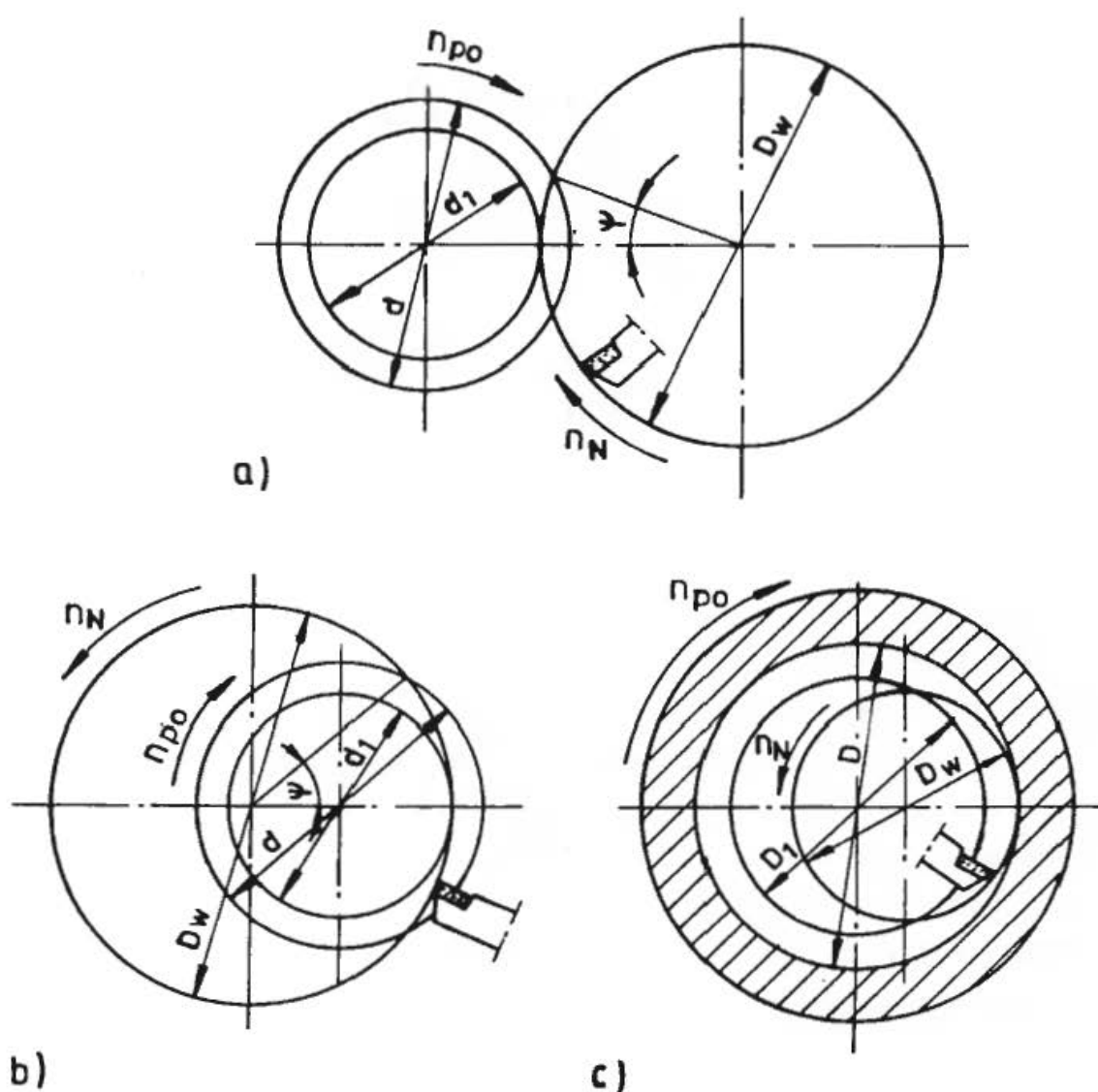


Rys. 8.8. Frezowanie gwintu frezem wielokrotnym

Długość części roboczej frezu powinna być większa o co najmniej 1 – 2 podziałki od długości nacinanego gwintu (dlatego frezy te nazywane są frezami do gwintów krótkich). Wcinanie frezem odbywa się zwykle na łuku równym $\frac{1}{6} - \frac{1}{4}$ obwodu przedmiotu.

Frezowanie gwintu głowicami frezowymi charakteryzuje się tym, że narzędzie wykonuje ruch obrotowy i posuwowy, a przedmiot obrabiany – ruch obrotowy (rys. 8.9). W głowicach stosowane są noże płaskie promieniowe, styczne oraz krążkowe.

Za pomocą głowic obrabia się głównie gwinty grube. Sposób ten cechuje duża wydajność oraz stosunkowo wysoka dokładność obróbki.



Rys. 8.9. Schemat frezowania głowicami: a) gwintów zewnętrznych długich, b) gwintów zewnętrznych krótkich, c) gwintów wewnętrznych

8.1.5. Szlifowanie gwintów

Szlifowanie jest bardzo dokładnym sposobem wykonywania gwintów. Szlifuje się dokładne gwinty elementów maszyn, narzędzia do wykonywania gwintów oraz sprawdziany do gwintów. Szlifowanie stosuje się również wówczas, gdy twardość materiału uniemożliwia obróbkę innymi metodami. Szlifowane mogą być gwinty wykonane wstępnie inną metodą (np. frezowaniem) albo w pełnym materiale (gwinty drobne).

Gwinty mogą być szlifowane ściernicami o zarysie pojedynczym lub wielokrotnym (z posuwem wzdłużnym lub poprzecznym). Szlifowanie ściernicami wielokrotnymi jest bardziej wydajne ale mniej dokładne.

8.1.6. Gwintowanie elektroerozyjne

Do gwintowania elektroerozyjnego stosowane są elektrody robocze w kształcie śruby. Wymiary elektrody w stosunku do wymiarów wykonywanego gwintu muszą być pomniejszone o wielkość szczeliny iskrowej. W czasie pracy elektroda robocza wykonuje ruch obrotowy i skorelowany z nim ruch posuwowy (podobnie jak gwintownik w czasie nacinania gwintu).

Gwintowanie elektroerozyjne znajduje zastosowanie do wykonywania gwintów w materiałach bardzo twardych (gdy niemożliwa jest obróbka wiórowa gwintu).

8.2. Zagadnienia kontrolne

1. Rodzaje gwintów.
 2. Wymiary zarysu gwintu metrycznego.
 3. Sposoby wykonywania gwintów.
 4. Kinematyka toczenia gwintu i podział naddatku obróbkowego.
 5. Budowa i geometria ostrza noży do gwintów.
 6. Rodzaje noży do gwintów.
 7. Geometria ostrza w układzie roboczym.
 8. Budowa i geometria części roboczej gwintowników oraz narzynek.
 9. Rodzaje gwintowników i narzynek.
 10. Frezowanie gwintów frezami pojedynczymi, wielokrotnymi i głowicami frezowymi.
 11. Metody szlifowania gwintów.
 12. Elektroerozyjne wykonywanie gwintów.
 13. Zakres stosowania poszczególnych sposobów wykonywania gwintów.
- Literatura uzupełniająca: [4, 7, 8, 11, 12, 21, 24, 26].

8.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Noże tokarskie do gwintu.
- b. Suwmiarka.
- c. Mikrometr.
- d. Kątomierz uniwersalny.
- e. Kątomierz specjalny do pomiaru geometrii części roboczej noży tokarskich.
- f. Komplet gwintowników.
- g. Kątomierz stolikowy do pomiaru kąta natarcia gwintowników.

- h. Przyrząd do pomiaru kąta przyłożenia gwintowników.
- i. Mikroskop warsztatowy.
- j. Tokarka kłowa uniwersalna.
- k. Próbka gwintowanego materiału.
- l. Sprawdziany do gwintu.

8.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Przeanalizować rysunek przedmiotu, w którym będzie nacinany gwint. Dobrać nóż do toczenia gwintu.
2. Sprawdzić nóż do gwintu:
 - a) zmierzyć suwmiarką wymiary liniowe noża,
 - b) za pomocą kątomierza uniwersalnego zmierzyć kąt ϵ_r ,
 - c) korzystając z kątomierza do pomiaru geometrii części roboczej noży tokarskich zmierzyć kąty: γ_p , α_{o1} , α_{o2} .
3. Sprawdzić gwintownik o parzystej liczbie ostrzy:
 - a) zmierzyć suwmiarką długość całkowitą oraz długość części roboczej gwintownika,
 - b) zmierzyć mikrometrem średnicę zewnętrzną części roboczej (gwintu) oraz średnicę części chwytowej,
 - c) zmierzyć na mikroskopie warsztatowym średnicę podziałową, średnicę rdzeniową, skok, połowy kąta zarysu i kąt przystawienia,
 - d) za pomocą kątomierza stolikowego zmierzyć kąt natarcia.
4. Wykonać gwint poprzez toczenie (wymiały gwintu oraz parametry technologiczne poda prowadzący ćwiczenia):
 - a) obliczyć kąt wzniosu obrabianego gwintu ζ ,
 - b) obliczyć kąty α_{fe1} i α_{fe2} ,
 - c) obliczyć liczbę przejść,
 - d) wykonać gwint,
 - e) sprawdzić gwint za pomocą sprawdzianów.
5. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis sposobu pomiarów noża do gwintu i gwintownika,
 - szkice sprawdzanych narzędzi,
 - wyniki pomiarów (wypełnione protokoły),
 - obliczenia (punkt 4 a, b, c),
 - uwagi i wnioski.

Tablica 8.1. Protokół sprawdzania noża do gwintów.

Symbol noża	
Materiał części roboczej	
Wymiary noża b x h x L	
Kąty części roboczej	$\epsilon_r =$ α_{o1} $\gamma_p =$ $\alpha_{o2} =$

Tablica 8.2. Protokół sprawdzania gwintownika.

Symbol gwintownika	
Wymiary gwintownika	$L_c =$ $L_r =$ $P =$ $d_p =$ $d_z =$ $d_2 =$
Kąty części roboczej	$\alpha_1/2 =$ $\kappa_r =$ $\alpha_2/2 =$ $\gamma_p =$

Tablica 8.3. Parametry technologiczne toczenia gwintu.

Średnica gwintu	
Głębokość zarysu	
Skok gwintu	
Głębokość skrawania	
Liczba przejść	
Prędkość skrawania	
Prędkość obrotowa	

Ćwiczenie 9

OBWIEDNIOWE METODY NACINANIA UZĘBIEŃ KÓŁ ZĘBATYCH WALCOWYCH

9.1. Wiadomości ogólne

Uzębienia kół zębatach walcowych najczęściej obrabiane są metodami kształtowymi lub obwiedniowymi (wymieniane niekiedy metody kopiowe stosowane są bardzo rzadko).

Metody kształtowe charakteryzują się tym, że w czasie obróbki następuje odwzorowanie w obrabianym przedmiocie zarysu krawędzi skrawających narzędzia. Obróbka kształtowa uzębień może być realizowana jako dłutowanie metodą podziałową (zab po zębie), dłutowanie jednoczesne wszystkich zębów, frezowanie kształtowymi frezami krążkowymi i trzpieniowymi, przeciąganie i przepychanie [24]. Jako wykańczająca obróbka kół zębatach stosowane jest szlifowanie ściernicami kształtowymi.

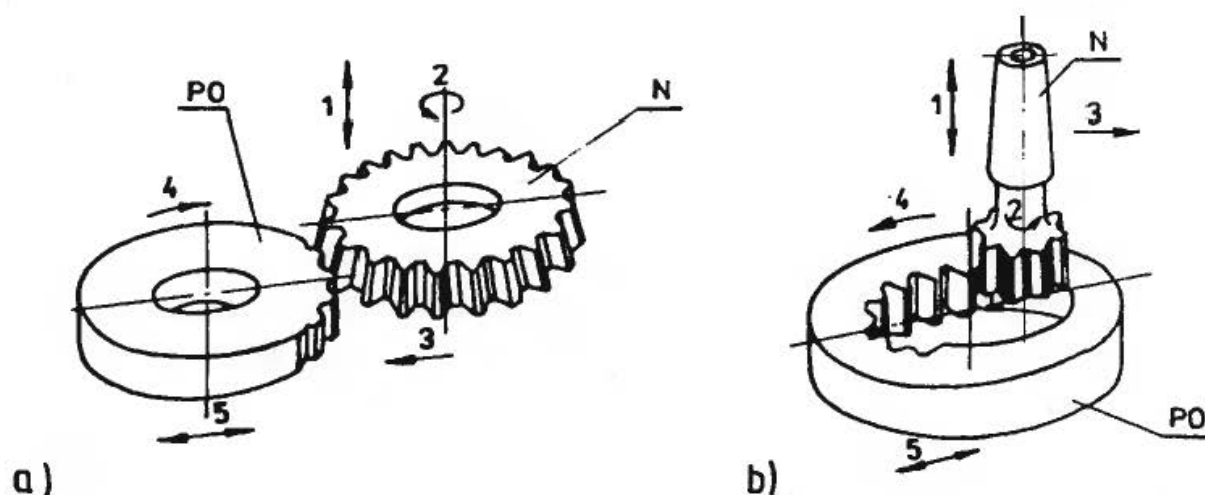
Podczas obróbki metodami obwiedniowymi kształt zębów uzyskiwany jest w wyniku kolejnych położeń krawędzi skrawających narzędzia, które wraz z obrabianym przedmiotem symuluje pracę przekładni zębatej (dwóch kół zębatach lub koła zębatach i zębatki). Obwiedniowa obróbka uzębień może być realizowana jako dłutowanie bądź struganie, frezowanie oraz przeciąganie. Metodami

obwiedniowymi może być prowadzona również obróbka wykańczająca kół zębatach (wiórkowanie, szlifowanie, gładzenie, docieranie, nagniatanie).

9.1.1. Obwiedniowe dłutowanie uzębień

Dłutowanie (lub struganie) uzębień kół zębatach walcowych może być wykonywane metodami: Fellowsa, Maaga oraz Sunderlanda.

Metoda Fellowsa jest jedną z częściej stosowanych metod obróbki kół walcowych, zarówno o zębach prostych jak i śrubowych. Metoda ta umożliwia nacinanie uzębień zewnętrznych oraz wewnętrznych (rys. 9.1). Narzędzie N, nazywane dłutakiem Fellowsa, wykonuje ruch posuwisto – zwrotny 1 (roboczy i jałowy), ruch obrotowy 2 oraz, w początkowej fazie pracy, ruch promieniowy 3, w celu wcięcia się ostrzy narzędzia w materiał obrabiany na pełną głębokość wrębu. Przedmiot obrabiany PO wykonuje ruch obrotowy 4, przy czym prędkość tego ruchu jest taka jak gdyby obrabiane koło współpracowało z „kołem zębatym” – narzędziem, oraz ruch poprzeczny 5, którego celem jest wyeliminowanie tarcia między obrabianym kołem a narzędziem w czasie wykonywania przez narzędzie ruchu jałowego.



Rys. 9.1. Nacinanie uzębień metodą Fellowsa: a) zewnętrznych, b) wewnętrznych

Średnią prędkość skrawania przy dłutowaniu obwiedniowym uzębień (prędkość ruchu roboczego narzędzia) oblicza się z zależności:

$$v_{cs} = \frac{nL}{500}, \text{ m/min.}, \quad (9.1)$$

gdzie: n – liczba podwójnych skoków narzędzia w ciągu minuty;

L – długość skoku narzędzia w mm.

Czas maszynowy dłutowania uzębień metodą Fellowsa można obliczyć ze wzoru:

$$t_m = \frac{h_z}{f_w n} + \frac{\pi m z_p}{f n} + t_p, \text{ min.}, \quad (9.2)$$

gdzie: h_z – wysokość zęba w mm (przyjmuje się h_z równe ok. 2,2 modułu);

f_w – posuw wgłębny narzędzia w mm / podwójny skok;

n – liczba podwójnych skoków narzędzia w ciągu minuty;

m – moduł w mm;

z_p – liczba zębów nacinanego koła;

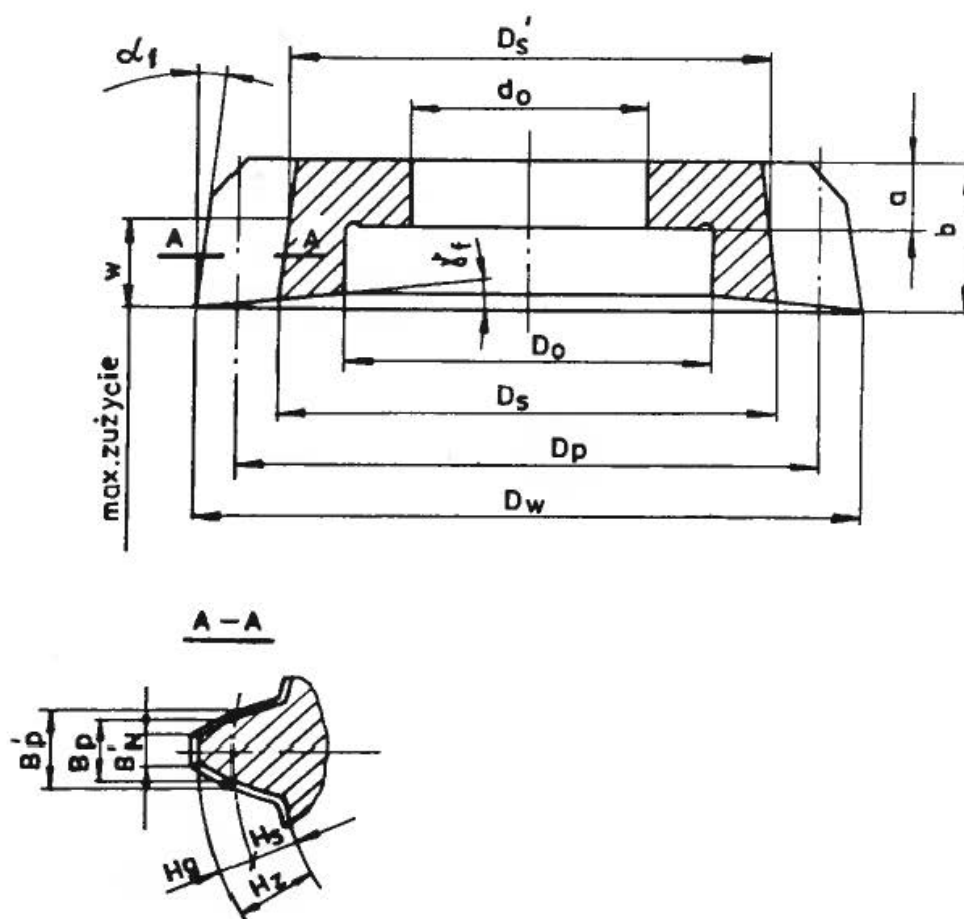
f – posuw obwodowy narzędzia w mm / podwójny skok;

t_p – czas wycofania narzędzia w minutach.

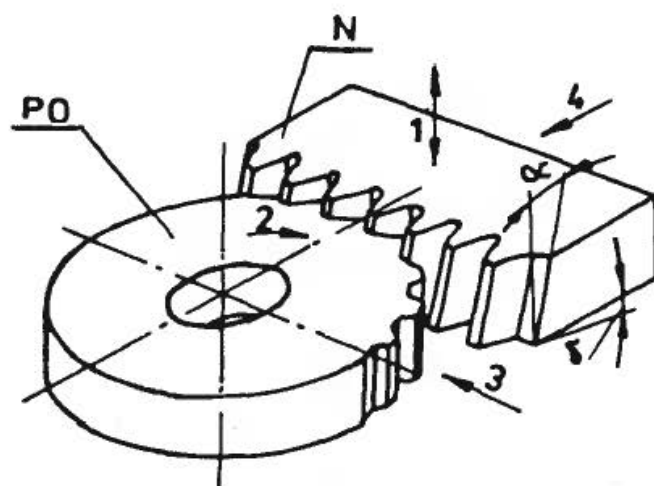
Dłutaki Fellowsa dzielą się na zdzieraki, półwykańczaki i wykańczaki. Ze względu na sposób mocowania rozróżnia się dłutaki trzpieniowe i nasadzane. Dłutaki nasadzane mogą być płaskie garnkowe i z gwintem. Budowę i geometrię ostrza dłutaka płaskiego pokazano na rys. 9.2. Dłutak Fellowsa ma kształt koła zębatego, którego zęby zostały zmodyfikowane w taki sposób, aby spełniały wymagania stawiane ostrzom narzędzi skrawających (powierzchnie natarcia i przyłożenia zaszlifowuje się odpowiednio pod kątami γ_f i α_f).

Podczas obróbki uzębień metodami Maaga oraz Sunderlanda wykorzystuje się symulację współpracy koła zębatego (przedmiot obrabiany) z zębatką (narzędzie). Metodami tymi można nacinąć uzębienia zewnętrzne o zębach prostych i śrubowych.

Sposób nacinania uzębień metodą Maaga przedstawiono na rys. 9.3. Nóż dłutowniczy N wykonuje ruchy posuwisto – zwrotne 1 (w kierunku pionowym), natomiast przedmiot obrabiany PO – ruch obrotowy wokół własnej osi 2 i przesuwny wzdłuż narzędzia 3. W początkowej fazie pracy narzędzie „zagłębia się” w obrabiany materiał, co zostało zaznaczone strzałką 4. Długość narzędzia (zębatki) jest mniejsza od obwodu nacinanego koła. Zatem po nacięciu jednego lub kilku wrębów musi nastąpić przerwa w procesie obróbki i przesunięcie obrabianego przedmiotu, w kierunku przeciwnym do zwrotu strzałki 3, do położenia wyjściowego osi przedmiotu.



Rys. 9.2. Dłutak Fellowsa (nasadzany, płaski)



Rys. 9.3. Nacinanie uzębień metodą Maaga

Metoda Sunderlanda tym się różni od metody Maaga, że ruch główny narzędzie wykonuje w płaszczyźnie poziomej (a zatem jest to struganie a nie dłutowanie) i również narzędzie wykonuje ruch „przesuwny”. Występują też różnice w budowie części roboczej narzędzia. Noże dłutownicze Maaga wykonywane są najczęściej z płaską powierzchnią natarcia i kątem natarcia γ_f w ukła-

dzie narzędzia równym zeru (dodatnią wartość kąta natarcia w układzie ustawienia uzyskuje się na skutek pochylenia noża w suporcie obrabiarki), natomiast noże Sunderlanda mają dodatni kąt natarcia w układzie narzędzia. Metoda Sunderlanda nie jest już obecnie stosowana.

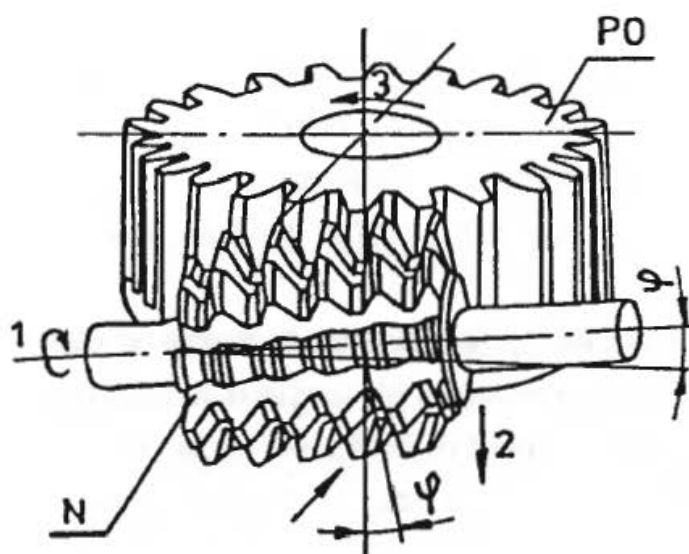
9.1.2. Frezowanie i przeciąganie obwiedniowe uzębień

Frezowanie obwiedniowe należy do najbardziej rozpowszechnionych sposobów obróbki uzębień. Obróbka ta posiada szereg zalet, do których można zaliczyć dużą stabilność dynamiczną, dużą dokładność wykonania uzębienia, dobrą współosiowość uzębienia z otworem osadczym, możliwość obróbki jednym narzędziem zębów prostych i śrubowych.

W zależności od kierunku ruchu posuwowego rozróżnia się dwie metody frezowania obwiedniowego uzębień [17, 24]:

- 1) konwencjonalna – ruch posuwowy odbywa się wzdłuż osi koła obrabianego lub wzdłuż linii zęba,
- 2) diagonalna – posuw jest wypadkową posuwu wzdłuż osi obrabianego koła i posuwu wzdłuż osi narzędzia.

Sposób frezowania obwiedniowego uzębień kół walcowych (metodą konwencjonalną) przedstawiono na rys. 9.4. Frez ślimakowy modułowy N wykonuje ruch obrotowy 1 (ruch główny) oraz ruch posuwowy 2 w kierunku równoległym do osi obrabianego przedmiotu. Obrabiane koło PO wykonuje ruch obrotowy 3. Prędkości obrotowe frezu i obrabianego przedmiotu powiązane są w taki sposób, że na jeden obrót frezu przypada k/z obrotu przedmiotu obrabianego (k – krotność frezu, z – liczba zębów nacinanego koła).



Rys. 9.4. Nacinanie uzębień metodą frezowania obwiedniowego

Podczas obróbki kół o zębach prostych oś frezu jest pochylona względem płaszczyzny czołowej obrabianego koła pod kątem φ , równym kątowi wzniosu linii śrubowej zwojów frezu ζ . Natomiast w czasie nacinania zębów śrubowych wartość kąta φ uzależniona jest od kąta wzniosu linii śrubowej zwojów frezu ζ oraz kąta pochylenia linii śrubowej obrabianych zębów β . Jeżeli kierunek zwojowości frezu i zębów koła jest jednakowy, to $\varphi = \beta - \zeta$, a gdy kierunki te są przeciwnie, to $\varphi = \beta + \zeta$. Przy nacinaniu zębów śrubowych obrabiane koło musi wykonać dodatkowy ruch obrotowy.

Inne rozwiązania kinematyczne frezowania obwiedniowego kół zębatych walcowych (np. z dobiegiem promieniowym, diagonalne, przy zastosowaniu skokowego przesuwu frezu) opisane są w literaturze [17, 24].

Czas maszynowy frezowania obwiedniowego uzębienia koła walcowego oblicza się według wzoru:

$$t_m = \frac{z(l_d + l_p + l_w)}{kfn_N}, \text{ min.}, \quad (9.3)$$

gdzie: z – liczba zębów nacinanego koła; l

l_d – długość drogi dobiegu w mm;

l_p – szerokość wieńca koła zębatego w mm;

l_w – długość drogi wybiegu w mm;

k – krotność (liczba zwojów) frezu;

f – posuw na jeden obrót nacinanego koła w mm/ obr.;

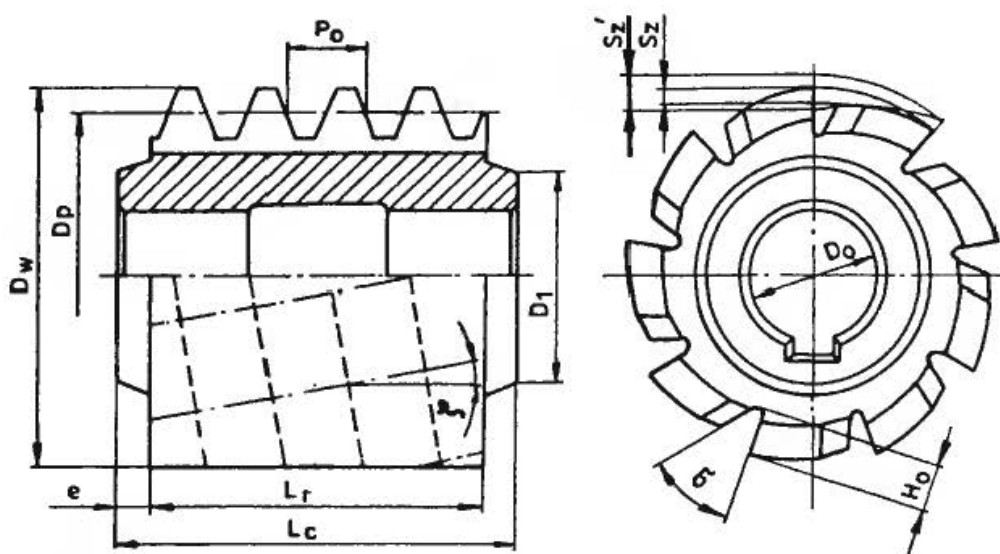
n_N – prędkość obrotowa frezu w obr /min.

Budowę frezu modułowego ślimakowego pokazano na rys. 9.5. Ostrza frezu, które powstają w wyniku przecięcia zwojów ślimaka rowkami wiórowymi, są zataczane w kierunku promieniowym (S_z – skok zatoczenia). Rozróżnia się frezy do kół zębatych i do ślimacznic. W zależności od dokładności wykonania frezy ślimakowe do kół zębatych dzieli się na: zdzieraki, półwykańczaki i wykańczaki.

Frezy ślimakowe mogą być jednolite lub składane. Jako składane wykonuje się frezy o większych modułach.

Trwałość ostrza oraz wydajność obróbki w dużym stopniu zależy od materiału, z którego wykonana jest część robocza narzędzia. Na przykład zastosowanie frezów wykonanych z cermetu pozwala na znaczne skrócenie czasu nacinania uzębienia w stosunku do frezów z węglików spiekanych, czy (w większym stopniu) ze stali szybko tnącej.

Znaczny wzrost wydajności w porównaniu z frezowaniem obwiedniowym można osiągnąć poprzez zastosowanie przeciągania obwiedniowego. Obrabiarki do przeciągania obwiedniowego uzębień pracują jak przeciągarki łańcuchowe, przy czym musi występować sprzężenie kinematyczne ruchu obrotowego obrabianego koła zębatego z ruchem kształtującym segmentów uzębionych umieszczonych na łańcuchu. Cykl obróbki obejmuje dosuw promieniowy na głębokość zębów oraz jeden pełny obrót obrabianego koła [24].



Rys. 9.5. Frez modułowy ślimakowy

9.1.3. Metody obwiedniowe obróbki wykańczającej kół zębatych

Jak wspomniano na wstępie, obróbka wykańczająca kół zębatych walcowych może być prowadzona przy zastosowaniu następujących metod obwiedniowych: wiórkowanie, szlifowanie, gładzenie, docieranie.

Wiórkowanie jest metodą obróbki wykańczającej kół zębatych w stanie miękkim. W procesie wiórkowania narzędzie, zwane wiórkownikiem, tworzy z obrabianym kołem przekładnię zębatą o wchrowatych osiach. Wiórkownik może mieć kształt zębatki albo koła zębatego. Na bocznych powierzchniach wiórkownika nacina się szereg rowków, które w przecięciu z powierzchniami zębów tworzą krawędzie skrawające. W wyniku poślizgu, charakterystycznego dla współpracy kół zębatych o wchrowatych osiach, ostrza wiórkownika usuwają niewielki naddatek z powierzchni bocznych obrabianego koła, zmniejszając ich chropowatość.

Obróbka wykańczająca szlifowaniem, gładzeniem i docieraniem może mieć zastosowanie do kół w stanie utwardzonym.

Szlifowanie obwiedniowe uzębienia kół walcowych oparte jest na symulacji współpracy obrabianego koła z zębatką, przy czym powierzchnie boczne zębów zębatki stanowią obracające się ściernice. Szlifowanie to może być realizowane jako podziałowe lub ciągłe. Metody podziałowe charakteryzują się tym, że po zakończeniu szlifowania powierzchni bocznych jednego zęba (lub przeciwnych boków różnych zębów) następuje wycofanie ściernicy i obrót obrabianego koła o kąt umożliwiający szlifowanie powierzchni bocznych następnego zęba (lub zębów). Kinematyka szlifowania ciągłego jest podobna do frezowania obwiedniowego (zamiast frezu ślimakowego stosowana jest ściernica ślimakowa).

Gładzenie kół zębatych walcowych odbywa się poprzez współpracę obrabianego koła z kołem zębatym – narzędziem. Koła te tworzą przekładnię wchrowatą, dzięki czemu występuje poślizg na powierzchniach bocznych zębów. Jako narzędzia stosowane są koła zębate wykonane z mieszaniny ścierniwa karborundowego i żywicy syntetycznej lub koła stalowe z naniesioną warstwą proszku karborundowego [24].

Docieranie uzębienia może być realizowane w wyniku współpracy docieranego koła z kołem – docierakiem żeliwnym lub na skutek wzajemnego docierania się kół zębatych. Docieranie odbywa się przy użyciu past ściernych.

Jako sposób wykańczającej obróbki kół zębatych stosowane jest też nagniatanie, które polega na współpracy obrabianego koła z trzema zahartowanymi i szlifowanymi kołami zębatymi, występującymi w charakterze narzędzi.

9.1.4. Sprawdzanie dłutaków Fellowsa i ślimakowych frezów modułowych

Dokładność wykonania dłutaków Fellowsa oraz frezów modułowych ślimakowych wpływa na dokładność obrabianych kół zębatych. Toteż narzędzia do obróbki uzębienia powinny być sprawdzane na urządzeniach zapewniających dużą dokładność pomiaru (specjalne urządzenia do pomiaru kół zębatych i frezów ślimakowych, współrzędnościowe maszyny pomiarowe). Niektóre wymiary dłutaków Fellowsa oraz frezów ślimakowych modułowych można sprawdzić na uniwersalnym mikroskopie warsztatowym. Jednakże pomiary na mikroskopie trwają znacznie dłużej niż na specjalnych urządzeniach pomiarowych, a ich dokładność nie zawsze jest wystarczająca. Wymiary mniej dokładne można sprawdzić za pomocą mikrometru lub suwmiarki.

9.2. Zagadnienia kontrolne

1. Różnice między obróbką kształtową a obwiedniową uzębień.
 2. Metody dłutowania obwiedniowego uzębień kół walcowych.
 3. Obliczanie średniej prędkości skrawania przy dłutowaniu obwiedniowym uzębień.
 4. Obliczanie czasu maszynowego dłutowania uzębień metodą Fellowsa.
 5. Frezowanie obwiedniowe uzębień metodą konwencjonalną i diagonalną.
 6. Obliczanie czasu maszynowego obwiedniowego frezowania koła walcowego.
 7. Wady i zalety poszczególnych metod nacinania uzębień.
 8. Budowa i geometria ostrza dłutaków Fellowsa i frezów modułowych ślimakowych.
 9. Wiórkowanie, szlifowanie, gładzenie i docieranie uzębień kół walcowych.
- Literatura uzupełniająca: [4, 7, 8, 11, 12, 17, 21, 24].

9.3. Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego

- a. Dłutak Fellowsa.
- b. Frez modułowy ślimakowy.
- c. Mikroskop warsztatowy.
- d. Optimetr.
- e. Czujnik zegarowy.
- f. Płyta pomiarowa.
- g. Głębokościomierz mikrometryczny.
- h. Mikrometr.
- i. Suwmiarka.
- j. Kątomierz stolikowy.
- k. Przyrząd czujnikowy do pomiaru kąta natarcia dłutaków Fellowsa.
- l. Przyrząd kłowy do pomiaru bicia narzędzi.
- m. Dłutownica Fellowsa.
- n. Frezarka obwiedniowa.

9.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

1. Sprawdzić następujące wymiary dłutaka Fellowsa (oznaczenia wg rys. 9.2):
 - a) średnicę wierzchołków D_w – mikrometrem, gdy dłutak ma parzystą liczbę zębów lub na mikroskopie, gdy liczba zębów dłutaka jest nieparzysta;

- b) średnicę otworu osadczego d_0 – optimetrem;
 - c) grubość dłutaka b – głębokościomierzem mikrometrycznym;
 - d) średnicę wytoczenia pod nakrętkę D_0 i długość otworu osadczego a – suwmiarką;
 - e) kąt natarcia γ_f – za pomocą specjalnego przyrządu czujnikowego;
 - f) kąt przyłożenia α_f – na mikroskopie warsztatowym;
 - g) bicie średnicy wierzchołków y_A , powierzchni natarcia y_B , oraz powierzchni oporowej y_C względem otworu osadczego – za pomocą czujnika zegarowego (po osadzeniu dłutaka na trzpieniu i zamocowaniu w przyrządzie kłowym).
2. Sprawdzić następujące wymiary frezu modułowego ślimakowego (oznaczenia wg rys. 9.5):
 - a) średnicę zewnętrzną D_w , średnicę stóp D_s i wysokość zarysu H_z – na mikroskopie warsztatowym;
 - b) średnicę otworu osadczego – optimetrem;
 - c) długość części roboczej frezu L_r i długość całkowitą L_c – suwmiarką;
 - d) kąt natarcia γ_f – kątomierzem stolikowym.
 3. Naciąć uzębienie koła walcowego metodą Fellowsa, mierząc czas trwania obróbki (parametry poda prowadzący ćwiczenia).
 4. Obliczyć średnią prędkość skrawania przy dłutowaniu obwiedniowym oraz czas maszynowy dłutowania.
 5. Naciąć uzębienie koła walcowego metodą frezowania obwiedniowego, mierząc czas trwania obróbki.
 6. Obliczyć prędkość skrawania (wg wzoru 3.1) oraz czas maszynowy frezowania obwiedniowego.
 7. Opracować sprawozdanie, które winno zawierać:
 - opis sprawdzania dłutaka Fellowsa i frezu modułowego ślimakowego,
 - wypełnione protokoły pomiarów narzędzi,
 - szkice sprawdzanych narzędzi,
 - opis warunków technologicznych dłutowania metodą Fellowsa oraz frezowania obwiedniowego uzębień (protokoły),
 - obliczenia prędkości skrawania i czasów maszynowych,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 9.1. Protokół sprawdzania dłutaka Fellowsa.

Symbol dłutaka	
Materiał części roboczej	
Moduł	
Wymiary dłutaka	$D_w =$ $d_0 =$ $b =$ $a =$ $D_0 =$
Geometria ostrza	$\gamma_f =$ $\alpha_f =$
Bicie	$y_A =$ $y_B =$ $y_C =$

Tablica 9.2. Protokół sprawdzania frezu modułowego ślimakowego.

Symbol frezu	
Materiał części roboczej	
Moduł	
Wymiary frezu	$D_w =$ $D_s =$ $H_z =$ $D_0 =$ $L_r =$ $L_c =$
Kąt natarcia	$\gamma_f =$

Tablica 9.3. Parametry technologiczne i czas maszynowy dłutowania uzębienia metodą Fellowsa.

Moduł	$m =$
Wysokość zęba nacinanego koła	$h_z =$
Liczba zębów nacinanego koła	$z_P =$
Liczba zębów dłutaka	$z_N =$
Długość skoku narzędzia	$L =$
Liczba podwójnych skoków narzędzia w ciągu minuty	$n =$
Posuw wgłębny narzędzia	$f_w =$
Posuw obwodowy narzędzia	$f =$
Średnia prędkość skrawania	$v_{cśr} =$
Czas dłutowania (zmierzony)	$t_{zm} =$
Czas maszynowy (obliczony)	$t_m =$

Tablica 9.4. Parametry technologiczne i czas maszynowy frezowania obwie-
dniowego.

Moduł	$m =$
Liczba zębów nacinanego koła	$z =$
Szerokość wieńca nacinanego koła	$l_p =$
Średnica zewnętrzna frezu	$D_w =$
Krotność frezu	$k =$
Prędkość obrotowa frezu	$n_N =$
Posuw na jeden obrót przedmiotu obra- bianego	$f =$
Prędkość skrawania	$v_c =$
Czas nacinania uzębienia (zmierzony)	$t_{zm} =$
Czas maszynowy (obliczony)	$t_m =$



LITERATURA

1. Chwaleba A., Czajewski J.: Przetworniki pomiarowe wielkości fizycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
2. Cichosz M., Nowicki B., Szkopek T.: Elektrolityczne polerowanie wyrobów walcowanych i odlewanych ze stali i staliw kwasoodpornych. *Mechanik*, 1988, Z. 9.
3. Dąbrowski L., Marciniak M., Nowicki B. (red.): Obróbka skrawaniem, ścierna i erozyjna. Laboratorium. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
4. Dmochowski J.: Podstawy obróbki skrawaniem. PWN, Warszawa 1978.
5. Grzesik W.: Podstawy skrawania materiałów metalowych. WNT, Warszawa 1998.
6. Górecka R., Polański Z.: Metrologia warstwy wierzchniej. WNT, Warszawa 1983.
7. Górski E.: Poradnik narzędziowca. WNT, Warszawa 1989.
8. Górski E., Harasymowicz J.: Podstawy projektowania narzędzi skrawających wraz z zagadnieniami technologicznymi. WNT, Warszawa 1976.
9. Hryniewicz T.: Warunki polerowania elektrolitycznego stali węglowych i niskostopowych. *Mechanik*, 1990, Z. 11 – 12.
10. Jemieliński K.: Obróbka skrawaniem. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
11. Kaczmarek J.: Podstawy obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej. WNT, Warszawa 1970.
12. Kiepuszewski B., Legutko S., Wieczorowski K.: Skrawanie metali. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1980.

13. Matuszek J., Wojtyła J.: Stanowisko do badań skrawalności stali automatycznych przez powiercanie ze stałą siłą posuwową. *Mechanik*, 1977, Z. 5.
14. Mazurowicz R., Raczyk R.: Rozwiertaki jednoostrzowe firmy MAPAL. *Mechanik*, 1997, Z. 3.
15. Musiałik J., Zaborski A., Tubielewicz K.: Obróbka elektropolerowaniem narzędzi i elementów chirurgicznych. *ZN Politechniki Rzeszowskiej* 133, *Mechanika*, z. 44, Rzeszów 1995.
16. Nowicki B.: Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni. WNT, Warszawa 1991.
17. Ochęduszek K.: Koła zębate. WNT, Warszawa 1971.
18. Oczko K., Porzycki J.: Szlifowanie. Podstawy i technika. WNT, Warszawa 1986.
19. Pająk E., Wieczorowski K.: Podstawy optymalizacji operacji technologicznych w przykładach. PWN, Warszawa – Poznań 1982.
20. Parol A., Zaleski K.: Laboratorium obróbki skrawaniem i obrabiarek. Cz. 1. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 1990.
21. Parol A., Zaleski K.: Dobór parametrów technologicznych wybranych metod obróbki. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 1982.
22. Polański Z.: Metodyka badań doświadczalnych. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984.
23. Popiłow Ł. Ja.: Elektrofizyczna i elektrochemiczna obróbka materiałów. WNT, Warszawa 1971.
24. Poradnik inżyniera. Obróbka skrawaniem. Tom 1. WNT, Warszawa 1991.
25. Roliński Z.: Tensometria oporowa. WNT, Warszawa 1981.
26. Siwczyk M.: Obróbka elektroerozyjna. Technologia i zastosowanie. WNT, Warszawa 1981.
27. Szumielewicz B., Słomski B., Styburski W.: Pomiarzy elektroniczne w technice. WNT, Warszawa 1982.
28. Materiały reklamowe firmy PAFANA.