

Zawód: Operator obrabiarek skrawających

Przedmiot: Technologia obróbki skrawaniem (27.01.2022 r.) – Marek Krukowski

Temat: Wiercenie i pogłębianie

Proszę o zapoznanie się z poniższą literaturą.

W razie pytań pozostaję do dyspozycji pod nr tel. 794 306 917; adres mail
marek.ckz@interia.pl

10.1. Charakterystyka procesów wiercenia, pogłębiania i rozwiercania

10.1.1. Charakterystyka procesu wiercenia

Wierceniem nazywamy wykonywanie otworu o kołowym przekroju poprzecznym za pomocą narzędzia skrawającego — wiertła. Może to być wiercenie otworów w pełnym materiale lub powiększanie już istniejących.

Wiercenie można wykonywać za pomocą wiertarek, tokarek (w produkcji jednostkowej), rewolwerówek, automatów i półautomatów tokarskich, wytaczarek, obrabiarek zespołowych i innych.

W procesie wiercenia zachodzą (zależnie od rodzaju stosowanej obrabiarki) następujące przypadki **ruchu głównego**:

- część obrabiana jest nieruchoma, a wiertło obraca się dookoła swojej osi,
- wiertło jest nieruchome, a część obrabiana obraca się dookoła osi wrzeciona obrabiarki, na której jest zamocowana,
- wiertło oraz część obrabiana obracają się dookoła wspólnej osi, przy czym ich prędkości mogą być sumowane lub odejmowane w celu uzyskania żądanej prędkości skrawania.

Ruch posuwowy w obróbce wierceniem może stanowić:

- posuwowy ruch obracającego się wiertła,
- posuwowy ruch nie obracającego się wiertła,
- ruch części obrabianej w kierunku równoległym do osi wiertła.

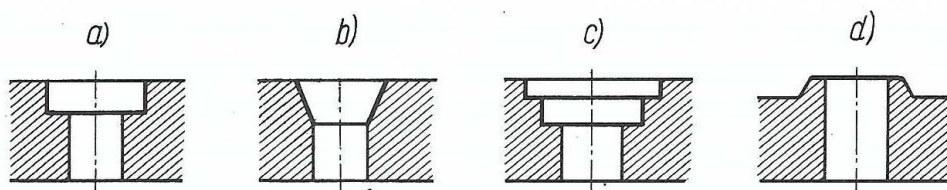
Do wiercenia używamy wiertel piórkowych, wiertel krętych oraz wiertel do głębokich otworów przelotowych i nieprzelotowych.

10.1.2. Charakterystyka procesu pogłębiania

Pogłębianiem otworów nazywamy zabieg polegający na wykonywaniu w istniejącym otworze pogłębiania walcowego (rys. 10-1a), stożkowego (rys. 10-1b) lub o innym kształcie, np. stopniowanego (rys. 10-1c) albo na obróbce powierzchni czołowej otworu (rys. 10-1d).

Pogłębianie wykonuje się za pomocą narzędzi wieloostrzowych, zwanych **pogłębiaczami**.

Ruch główny i posuwowy odbywa się tu w taki sposób, jak przy wierceniu.



Rys. 10-1. Przykłady pogłębień

10.1.3. Charakterystyka procesu rozwiercania

Rozwiercaniem nazywa się skrawanie (usuwanie) niewielkich naddatków z otworów za pomocą narzędzia wieloostrowego — rozwiertaka — w celu poprawienia dokładności wymiaru, kształtu oraz zmniejszenia chropowatości powierzchni.

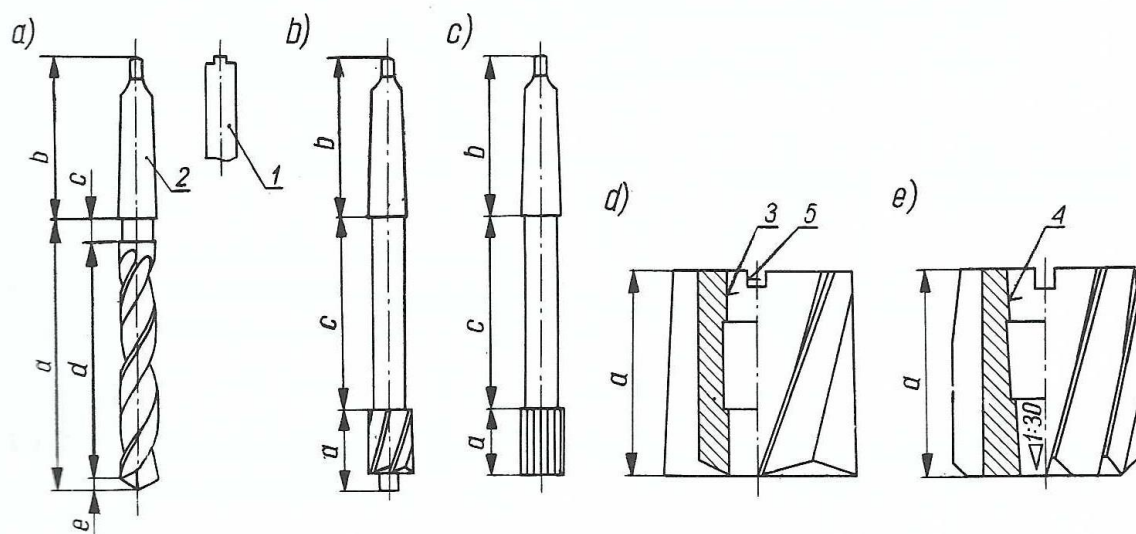
Ruch główny oraz posuwowy są takie same, jak przy wierceniu.

Liczba użytych rozwiertaków i ich rodzaj (rozwiertaki zdzieraki oraz wykańczaki) zależą od średnicy otworu i dokładności wykonania. Rozwiertaki zdzieraki mają 3 lub 4 ostrza, a rozwiertaki wykańczaki — więcej niż 4 ostrza.

10.2. Ostrza wiertel, pogłębiaczy i rozwiertaków

10.2.1. Budowa narzędzi wieloostrowych do otworów

Narzędzia wieloostrowe do otworów (rys. 10-2) składają się z trzech zasadniczych części: roboczej *a* i chwytu *b* oraz części przejściowej *c*, nazywanej szyjką. Szyjka jest miejscem zgrzewania części roboczej (wykonywanej ze



Rys. 10-2. Budowa narzędzi wieloostrowych do otworów: a) wiertło, b) pogłębiacz z uchwytem stożkowym, c) rozwiertak z uchwytem stożkowym, d) pogłębiacz nasadzany, e) rozwiertak nasadzany

stali narzędziowej lub szybko tnącej) z chwytem (wykonywanym ze stali nie-stopowej jakościowej lub narzędziowej).

Chwyt wiertła może być: walcowy 1 (z zabierakiem lub bez zabieraka) lub stożkowy 2 z płetwą (rys. 10-2a).

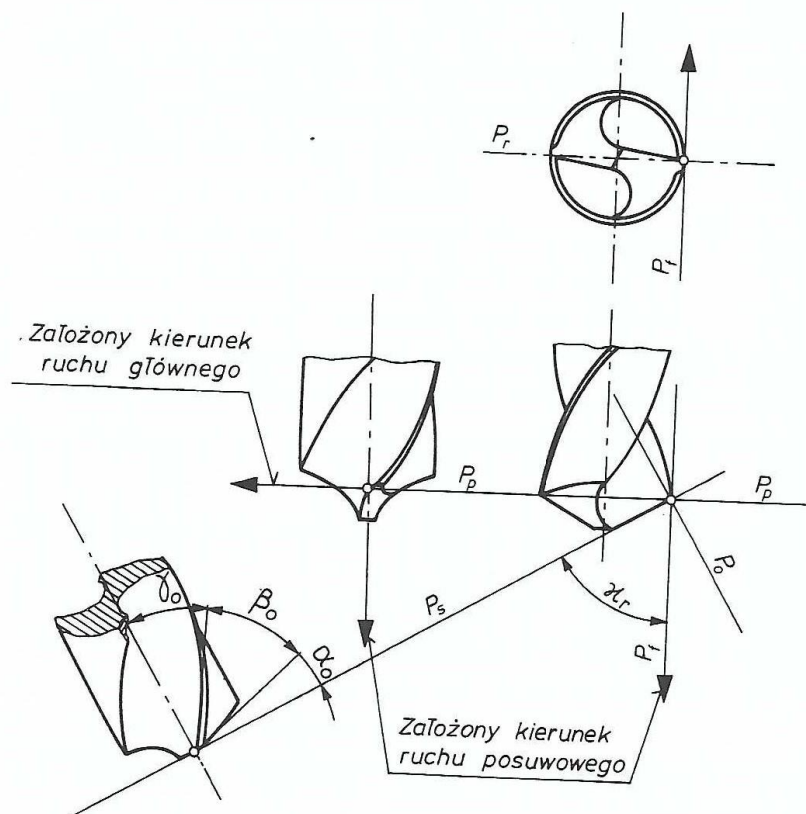
Pogłębiacze i rozwiertaki mają (zależnie od średnicy) chwyt walcowy lub stożkowy albo otwór do osadzania na trzpieniu. Pogłębiacze mają otwory cylindryczne 3 z rowkiem 5 na zabierak, a rozwiertaki — otwory stożkowe 4 o zbieżności 1:30.

10.2.2. Układ odniesienia narzędzi wieloostrzowych do otworów

Elementem bazowym narzędzi o ruchu obrotowym (wierteł, pogłębiaczy, rozwiertaków) jest ich oś, a więc układem odniesienia tych narzędzi będzie płaszczyzna przechodząca przez tę oś oraz płaszczyzny zorientowane według kierunków ruchów tych narzędzi i według ich krawędzi skrawającej.

W wyznaczaniu geometrii ostrza narzędzi wieloostrzowych do otworów najszerze zastosowanie znalazły następujące płaszczyzny układu odniesienia:

- płaszczyzna podstawowa P_r (rys. 10-3), tj. płaszczyzna przechodząca przez oś narzędzia i prostopadła do kierunku ruchu głównego,
- płaszczyzna boczna P_f wyznaczona przez kierunek ruchu posuwowego i prostopadła do płaszczyzny podstawowej P_r ,
- płaszczyzna tylna P_p prostopadła do płaszczyzny P_f i do płaszczyzny podstawowej P_r ,



Rys. 10-3. Układ odniesienia narzędzi do otworów

- płaszczyzna krawędzi skrawającej P_s , tj. styczna do krawędzi skrawającej w jej rozpatrywanym punkcie, prostopadła do płaszczyzny P_r ,
- płaszczyzna przekroju głównego P_o , tj. płaszczyzna przechodząca przez rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej prostopadle do płaszczyzn P_r i P_s .

10.2.3. Układ roboczy narzędzi wieloostrzowych do otworów

Podczas pracy narzędzi wieloostrzowych do otworów odbywają się jednocześnie następujące ruchy: ruch względny obrotowy dookoła ich osi oraz ruch względny posuwowy w kierunku poosiowym (zagłębianie się w materiał). Poszczególne punkty krawędzi skrawającej tych narzędzi opisują linie śrubowe, jako wypadkowe ich ruchów obrotowego i posuwowego.

Powierzchnia skrawania podczas obróbki tymi narzędziami jest powierzchnią śrubową o skoku równym posuwowi na jeden ich obrót.

Robocze kąty ostrza tych narzędzi różnią się od kątów podanych na rysunku w układzie wymiarowania. Na skutek jednoczesnego wykonywania dwóch ruchów — obrotowego i posuwowego — kierunek skrawania (rys. 10-4) jest pochylony pod kątem η .

Kąt η dla poszczególnych punktów krawędzi skrawającej określa zależność

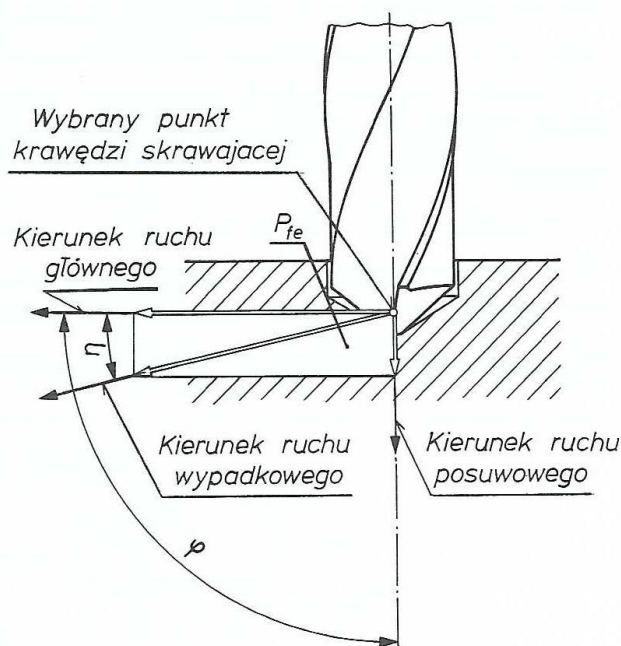
$$\operatorname{tg} \eta = \frac{f}{\pi \cdot d}$$

w której:

f — posuw,

d — średnica, na której leży rozpatrywany punkt krawędzi skrawającej.

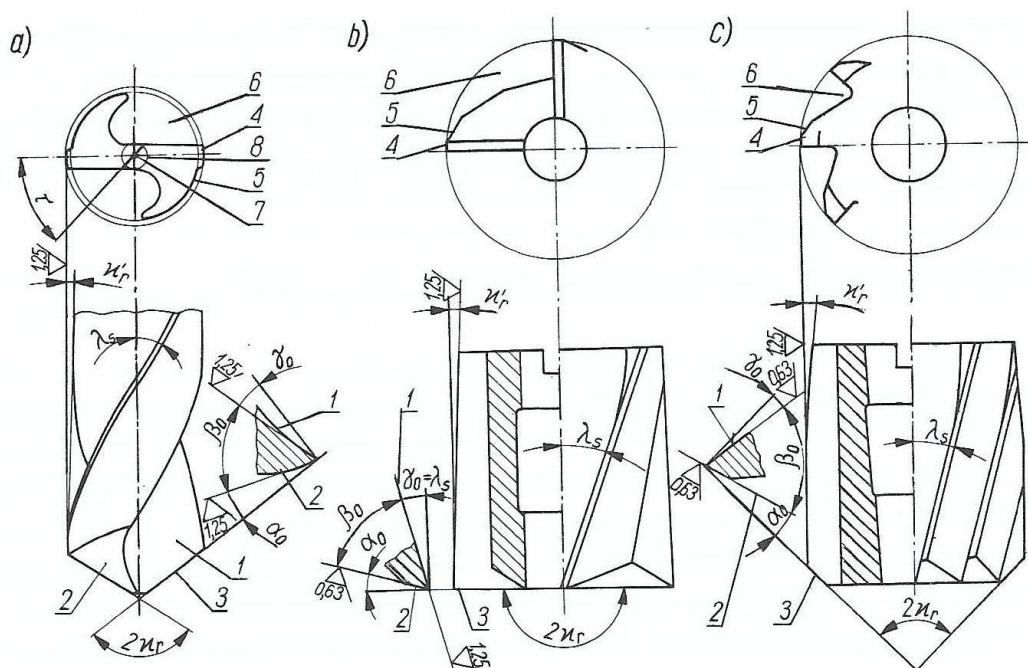
Kąt η jest bardzo mały i na ogół nie przekracza 50'.



Rys. 10-4. Układ odniesienia roboczy narzędzi do otworów

10.2.4. Parametry geometryczne narzędzi wieloostrzowych do otworów

Część skrawająca narzędzia wieloostrzowego wyglądem swym znacznie różni się od noża tokarskiego, ma ona jednak podobne elementy skrawające. W części skrawającej rozróżniamy (rys. 10-5): powierzchnię natarcia 1, powie-



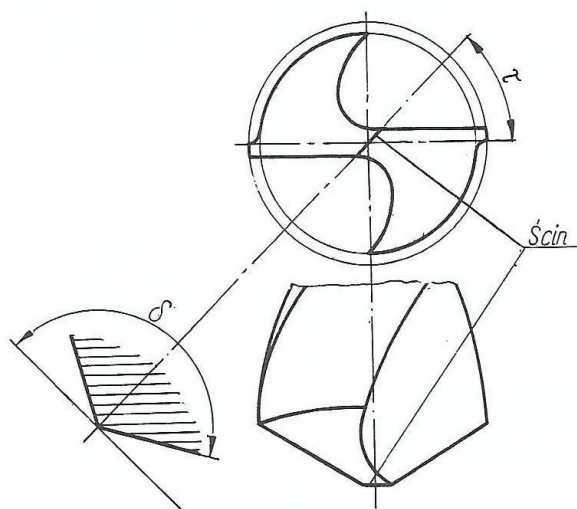
Rys. 10-5. Geometria części roboczej narzędzi wieloostrowych do otworów: a) wiertła, b) pogłębiacza, c) rozwiertaka

rzchnię przyłożenia 2, krawędzie skrawające 3 (linie przecięcia się powierzchni natarcia z powierzchniami przyłożenia), pomocniczą powierzchnią przyłożenia 4 (łysinę), powierzchnią bocznego odsadzenia 5, rowek wiórowy 6. Wiertło ma ponadto poprzeczną krawędź skrawającą (ścin) 7 oraz wyobraźalny rdzeń 8.

Podobnie jak w nożu tokarskim, rozróżniamy następujące kąty ostrza (rys. 10-5): kąt natarcia γ_o ; kąt przyłożenia α_o , kąt ostrza β_o , kąt skrawania δ , kąt wierzchołkowy $2\kappa_r$, (podwójny kąt przystawienia); pomocniczy kąt przystawienia κ'_r . W narzędziach do otworów wyróżnia się ponadto następujące kąty

mające wpływ na obróbkę: λ_s — kąt pochylenia linii rowka śrubowego, τ — kąt pochylenia ścinu.

Ścin wiertła (rys. 10-6) jest utworzony przez powierzchnie przyłożenia przecinające się wzdłuż linii przechodzącej przez środek wiertła. Kąt skrawania ścinu wynosi ponad 90° , co stwarza bardzo ciężkie warunki pracy. Zamiast skrawać, ścin skrobie materiał.



Rys. 10-6. Ścin wiertła krętego

Jak ustalono doświadczalnie, 65% poosiowej siły skrawania przypada na ścin. Kąt skrawania ścinu jest tym mniejszy, im większy jest kąt przyłożenia α_o . Od wartości kąta α_o zależy również położenie ścinu względem krawędzi skrawających. Ze zwiększeniem się kąta α_o zmniejsza się kąt τ (rys. 10-6). Najkorzystniejsze warunki skrawania stali osiąga się przy kącie $\tau = 55^\circ$.

10.3. Parametry skrawania przy wierceniu, rozwiercaniu i pogłębianiu

10.3.1. Technologiczne parametry skrawania

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

Prędkość skrawania v_c przy obróbce narzędziem wieloostrzowym jest to prędkość obwodowa punktu krawędzi skrawającej położonego na maksymalnej odległości od osi obrotu. Prędkość skrawania jest zależna od średnicy narzędzia d oraz jego prędkości obrotowej n

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad \text{m/min}$$

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

$$f_z = \frac{f}{z} \quad \text{mm/ostrze}$$

Podczas obróbki materiał jest skrawany jednocześnie przez wszystkie krawędzie skrawające narzędzia. Głębokość skrawania podczas wiercenia w pełnym materiale (rys. 10-7a) wynosi

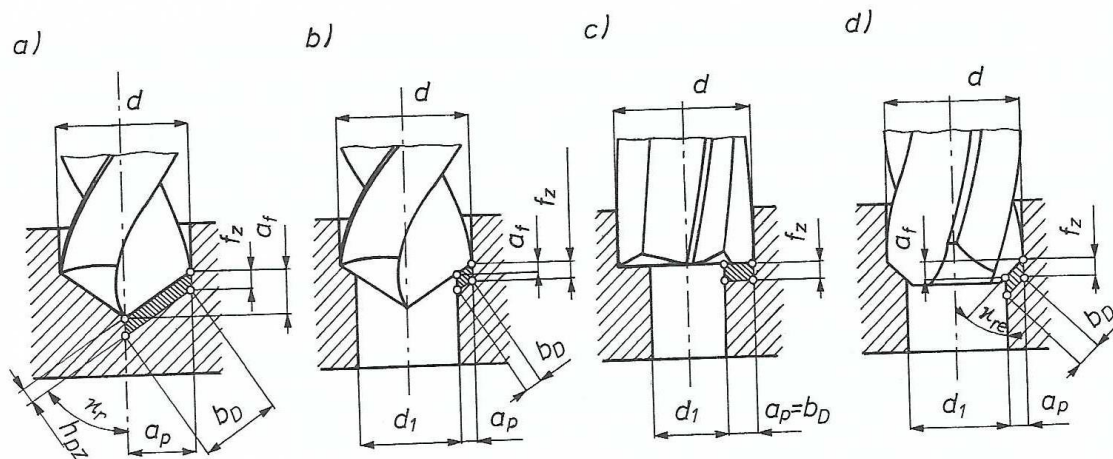
$$a_p = \frac{d}{2}$$

gdzie d — średnica otworu (rys. 10-7).

Przy wierceniu wtórnym otworów (rys. 10-7b), pogłębianiu czołowym (rys. 10-7c), pogłębianiu stożkowym i rozwiercaniu (rys. 10-7d)

$$a_p = \frac{d - d_1}{2}$$

gdzie: d — końcowa średnica otworu,
 d_1 — początkowa średnica otworu.



Rys. 10-7. Elementy warstwy skrawanej: a) podczas wiercenia w pełnym materiale, b) podczas wiercenia wtórnego, c) podczas pogłębiania, d) podczas rozwiercania

10.3.2. Geometryczne parametry skrawania

Grubość h_{Dz} warstwy skrawanej jednym ostrzem wynosi (rys. 10-7a)

$$h_{Dz} = f_z \cdot \sin \kappa_r \quad \text{mm} \quad (10-1)$$

gdzie: κ_r — połowa kąta wierzchołkowego narzędzia wieloostrowego,
 f_z — posuw na jedno ostrze.

Szerokość b_D warstwy skrawanej (rys. 10-7a) wynosi:
 — w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$b_D = \frac{d}{2 \sin \kappa_r} \quad \text{mm} \quad (10-2)$$

— w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania

$$b_D = \frac{d - d_1}{2 \sin \kappa_r} \quad \text{mm} \quad (10-3)$$

Pole powierzchni przekroju warstwy skrawającej jednym ostrzem wynosi:

— w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$A_{Dz} = h_{Dz} \cdot b_D = \frac{d \cdot f}{2z} \quad \text{mm}^2 \quad (10-4)$$

— w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania (rys. 10-7b, c, d)

$$A_{Dz} = \frac{h_{Dz} \cdot b_D}{z} = \frac{(d - d_1) \cdot f}{2z} \quad \text{mm}^2 \quad (10-5)$$

- Całkowita powierzchnia przekroju warstwy skrawanej wynosi:
 — w przypadku wiercenia w pełnym materiale

$$A_D = \frac{d \cdot f}{2} \quad \text{mm}^2 \quad (10-6)$$

- w przypadku wiercenia wtórnego, pogłębiania oraz rozwiercania

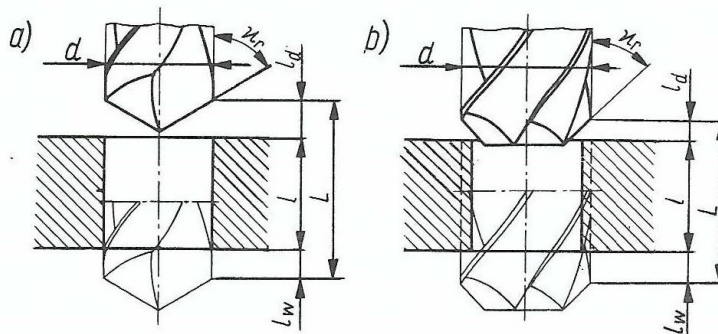
$$A_D = \frac{(d - d_1) \cdot f}{2} \quad \text{mm}^2 \quad (10-7)$$

10.4. Czas maszynowy wiercenia, rozwiercania i pogłębiania

Czas maszynowy t_m w obróbce otworów (rys. 10-8) oblicza się wg wzoru

$$t_m = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{l_d + l + l_w}{f \cdot n} \quad \text{min} \quad (10-8)$$

w którym: L — droga narzędzia,
 l — głębokość obrabianego otworu w mm,
 l_d — dobieg narzędzia w mm,
 l_w — wybieg narzędzia w mm.



Rys. 10-8. Części składowe drogi L narzędzi przy obróbce otworów: a) wiercenie w pełnym materiale, b) wiercenie wtórne oraz rozwiercanie

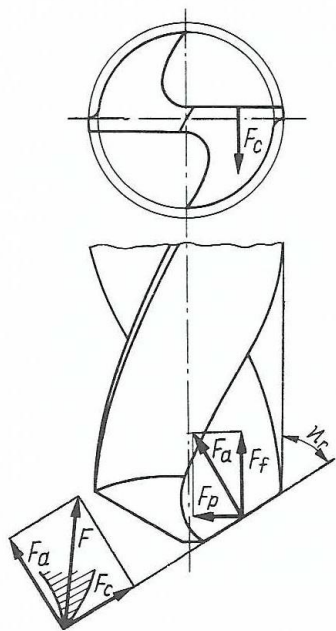
Wartości l_d i l_w dobieramy kierując się następującymi zasadami:

- przy wierceniu otworu w pełnym materiale $l_d = 0,3d$; $l_w = 1 \div 3$ mm;
- przy wierceniu wtórnym $l_d = 0,3(d - d_1)$; $l_w = 1 \div 3$ mm;
- przy rozwiercaniu $l_d = a_p \cdot \text{ctg} \kappa_r$; $l_w = 1 \div 3$ mm;
- przy rozwiercaniu wykańczającym $l_d = a_p \cdot \text{ctg} \kappa_r$; $l_w = 4 \div 15$ mm.

10.5. Siły i moc skrawania

10.5.1. Składowe siły skrawania

Wypadkowa F sił skrawania działających na ostrze wiertła może być rozłożona na dwie składowe (rys. 10-9): poziomą F_c i prostopadłą do krawędzi skrawającej w płaszczyźnie pionowej F_a . Składowa F_a może być rozłożona



Rys. 10-9. Siły skrawania podczas wiercenia

na dwie składowe F_f i F_p . Otrzymamy więc trzy składowe: F_f , F_p i F_c wypadkowej siły skrawania F .

Siła skrawania F_c jest to siła oporu materiału przeciwdziałająca obracaniu się wiertła dookoła swej osi. Siła ta daje moment skrawania.

Siła F_f jest to **siła oporu** materiału przeciwdziałająca wgłębianiu się weń wiertła. Działa ona wzdłuż osi wiertła. Jeżeli wartość siły dla jednego ostrza wynosi F_f , to dla obu ostrzy wyniesie $2F_f$.

Siła promieniowej F_p działającej na jedną krawędź odpowiada równa co do wartości, ale odwrotnie zwrócona siła F_p działająca na drugą krawędź. Siły te równoważą się.

Z rysunku 10-9 wynika, że

$$F_f = F_a \cdot \sin \kappa_r$$

Ze wzrostem kąta wierzchołkowego wiertła wzrasta więc siła poosiowa F_f . Siły: $2F_f$ (działająca na główne krawędzie skrawające) oraz F_{scin} (działająca na ścin) tworzą wypadkową F_{pos} , nazywaną siłą posuwową lub siłą osiową. Siła ta jest przenoszona przez mechanizm posuwowy wiertarki.

Siła F_c daje moment skrawania

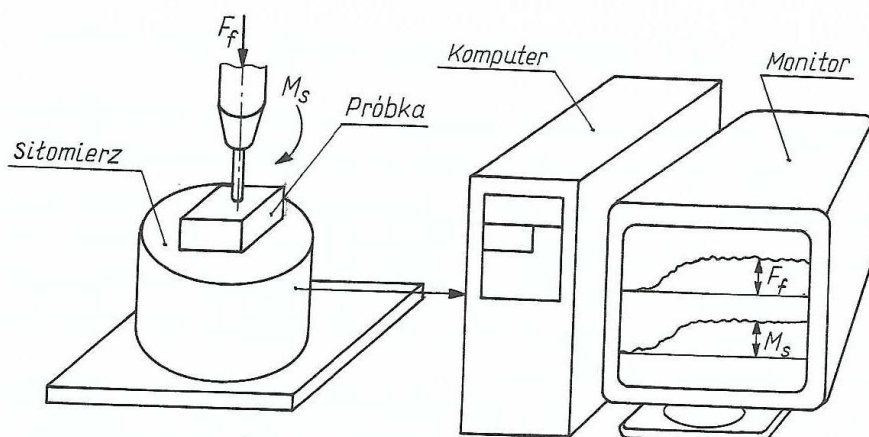
$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{2 \cdot 1000} \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (10-9)$$

Moment skrawania jest pokonywany przez moment przenoszony od silnika na wrzeciono obrabiarki.

10.5.2. Pomiar siły i momentu skrawania

Do pomiaru sił występujących podczas wiercenia używa się siłomierzy piezoelektrycznych i elektrooporowych (tensometrycznych), działających na tych samych zasadach co przyrządy stosowane do pomiaru sił skrawania podczas toczenia (obecnie najczęściej sprzężonych z komputerem).

Siłomierz połączony z komputerem stanowi układ pomiarowy, zwany również **torem pomiarowym** (rys. 10-10). Zainstalowana w komputerze specjalna karta pomiarowa umożliwia próbkowanie wg zadanego programu, np. co 0,01 lub 0,001 sekundy (w zależności od wymaganej dokładności pomiarów), które polega na zarejestrowaniu wartości siły i momentu w zadanych bardzo krótkich odstępach czasu przez określony czas trwania procesu skrawania i zapisie zbioru tych wartości w pamięci komputera. Wyniki pomiarów — zawarte w zbiorze danych — mogą być przetworzone przez specjalny



Rys. 10-10. Schemat pomiaru siły F_f i momentu M_s przy wierceniu za pomocą skomputeryzowanego systemu pomiarowego

program obliczeniowy, a wyniki obliczeń, takie jak: wartości średnie siły i momentu amplitudy, wartości maksymalne i minimalne, współczynniki zmienności itp. są zapisywane w postaci zbiorów wyjściowych na dysku komputera. Przetworzone wyniki pomiarów mogą być wyprowadzane na ekranie monitora lub na drukarkę w postaci tabel lub wykresów.

10.5.3. Czynniki wpływające na wartość oporu skrawania

Moment skrawania i siła osiowa przy wierceniu zależą od własności materiału obrabianego, głębokości skrawania a_p , posuwu f , długości poprzecznej krawędzi skrawającej (ścienu), kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$, kąta λ_s pochylenia linii śrubowej rowków wiórowych oraz rodzaju cieczy smarująco-chłodzącej.

Wpływ własności materiału obrabianego. Największy wpływ na wartość momentu skrawania i siły osiowej wywierają wytrzymałość na rozciąganie i twardość obrabianego materiału. Wpływ ten uwzględnia się stosując odpowiednie współczynniki poprawkowe.

Wpływ głębokości skrawania i posuwu. Zwiększenie średnicy wiertła oraz zwiększenie posuwu powoduje wzrost przekroju warstwy skrawanej, a tym samym wzrost siły osiowej i momentu. Wzrost momentu jest większy niż siły osiowej, ponieważ ze zmianą średnicy wiertła zmienia się również ramię pary sił F_c .

Wpływ długości poprzecznej krawędzi skrawającej (ścienu). Na poprzecznej krawędzi skrawającej (ścienie) kąt natarcia jest ujemny i wynosi do -60° . Wskutek tego poprzeczna krawędź skrawająca (scin) nie skrawa, lecz skrobie, a w części środkowej — gniecie materiał obrabiany, ponieważ prędkość skrawania maleje do zera. Powoduje to znaczny wzrost siły skrawania.

Wpływ kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$. Przy wierceniu, podobnie jak przy toczeniu, wartość kąta κ_r wpływa na wartości składowych F_c oraz F_f .

Przy zmniejszaniu kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$, siła osiowa maleje, a moment wzrasta.

Wpływ kąta λ_s pochylenia linii śrubowej rowków wiórowych. Przy rozpatrywaniu parametrów geometrycznych części roboczej wiertła została ustalona zależność między kątem natarcia a kątem λ_s pochylenia linii śrubowej rowków wiórowych. Wzrost kąta λ_s powoduje wzrost kąta natarcia i odwrotnie. Większe wartości kąta natarcia ułatwiają proces przekształcania warstwy skrawanej w wiór. Wzrost kąta λ_s powoduje zmniejszenie siły osiowej i momentu skrawania.

Wpływ cieczy smarująco-chłodzącej. Jak wykazały badania, największy wpływ na zmniejszenie momentu i siły osiowej mają ciecze odznaczające się dobrymi własnościami smarowymi. Użycie olejów mineralnych aktywowanych związkami siarki powoduje zmniejszenie siły osiowej oraz momentu o $30 \div 35\%$.

10.5.4. Obliczanie sił i momentu skrawania

W obróbce otworów narzędziami wieloostrzowymi największe znaczenie ma moment skrawania wywołany przez siłę F_c . Wartość tego momentu nie powinna przekraczać wartości odpowiadającej mocy obrabiarki oraz wartości dopuszczalnych ze względu na wytrzymałość mechanizmów obrabiarki i wytrzymałość narzędzia.

Wartość siły osiowej również nie powinna przekraczać wartości dopuszczalnych ze względu na wytrzymałość mechanizmu posuwowego wiertarki i wytrzymałość wiertła.

Do obliczenia sił osiowych, momentów skrawania oraz mocy skrawania przy wierceniu w pełnym materiale, wierceniu wtórnym i rozwiercaniu stosujemy wzory empiryczne.

- Siła osiowa i moment skrawania przy wierceniu w materiale pełnym

$$F_f = C_f \cdot d^{z_f} \cdot f^{u_f} \cdot K_m \quad \text{N} \quad (10-10)$$

$$M_c = C_m \cdot d^{z_m} \cdot f^{u_m} \cdot K_m \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (10-11)$$

gdzie: C_f, C_m — stałe zależne od warunków obróbki (tabl. 10-1),

d — średnica wiertła w mm,

f — posuw w mm/obr,

z_f, u_f, z_m, u_m — wykładniki potęgowe zależne od warunków obróbki (tabl. 10-1).

K_m — współczynnik poprawkowy uwzględniający wpływ własności mechanicznych materiału obrabianego (tabl. 10-2).

- Siła osiowa i moment skrawania przy wierceniu wtórnym i rozwiercaniu

$$F_f = C_f \cdot d^{z_f} \cdot a_p^{x_f} \cdot f^{u_f} \cdot K_m \quad \text{N} \quad (10-12)$$

$$M_c = C_m \cdot d^{z_m} \cdot a_p^{x_m} \cdot f^{u_m} \cdot K_m \quad \text{N} \cdot \text{mm} \quad (10-13)$$

gdzie a_p — głębokość skrawania w mm (pozostałe parametry jak wyżej).

- Moc skrawania

$$P_c = \frac{M_c \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{M_c \cdot n}{9555} \quad \text{kW} \quad (10-14)$$