

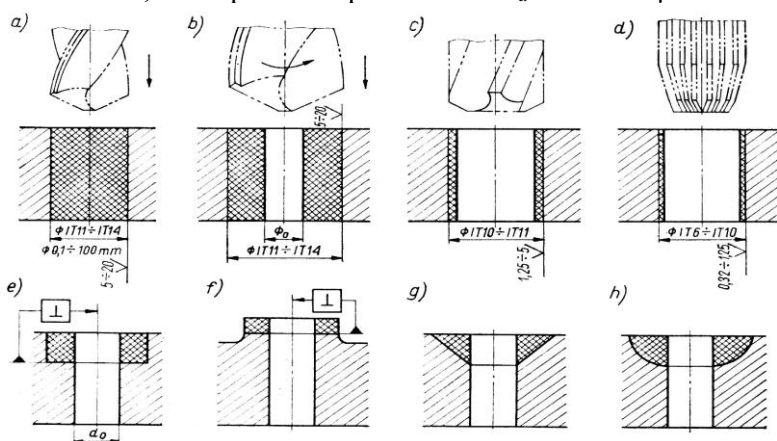
WIERCENIE, ROZWIERCANIE I POGŁĘBIANIE

2.1. CHARAKTERYSTYKA PROCESU WIERCENIA, ROZWIERCANIA I POGŁĘBIANIA

2.1.1. Charakterystyka kinematyczna

Wiercenie, rozwiercanie i pogłębianie są sposobami obróbki otworów kołowych, rys. 2.1. Charakteryzują się one taką samą zasadą kinematyczną (obrotowy ruch główny i prostoliniowy ruch posuwowy), lecz w każdym przypadku różna jest budowa narzędzi skrawających, dokładność wykonania otworu i objętość skrawanego materiału.

Wiercenie stosuje się do kształtowania otworów w pełnym materiale lub do powiększania średnicy wykonanego wstępnie otworu (wiercenie wtórne, tzw. powiercanie). Uzyskiwana dokładność wymiarowo-kształtowa zawiera się w klasach IT11—IT14, a chropowatość powierzchni $R_a = 5—20 \mu\text{m}$.



Rys. 2.1. Odmiany wiercenia, rozwiercania i pogłębiania: a) wiercenie w pełnym materiale, b) powiercanie, c) rozwiercanie zgrubne, d) rozwiercanie wykańczające, e) pogłębianie walcowo - czołowe, f) pogłębianie czołowe, g) pogłębianie stożkowe, h) pogłębianie kształtowe wg [1]

Ze względu na kształt otworu rozróżnia się wiercenie przelotowe i nieprzelotowe. Rozwiercanie stosuje się do obróbki otworów o dużej dokładności wymiarowo-kształtowej i małej chropowatości powierzchni. Ze względu na wymaganą jakość powierzchni rozróżnia się rozwiercanie zgrubne (IT10, IT11, $R_a = 1,25-5\mu\text{m}$) oraz rozwiercanie wykańczające (IT6-IT10, $R_a = 0,32-1,25\mu\text{m}$). W przypadku otworów bardzo dokładnych stosuje się zazwyczaj trzy przejścia obróbkowe: rozwiercanie zgrubne, półwykańczające i wykańczające.

Pogłębianie ma na celu zmianę kształtu i wymiarów części otworu lub obróbkę powierzchni czołowej związanej z tym otworem.

Prędkość ruchu głównego v_c , prędkość ruchu posuwowego v_f oraz wymiary i kształt warstwy skrawanej stanowią tzw. parametry skrawania. Prędkość ruchu głównego v_c w dowolnym punkcie „ M ” krawędzi skrawającej jest prędkością obwodową tego punktu względem osi obrotu (2.1). Prędkość ta rośnie od osi narzędzia skrawającego do jego obwodu i na średnicy zewnętrznej d jest nazywana prędkością skrawania. Prędkość ruchu posuwowego v_f jest prędkością liniową określoną z zależności (2.2)

$$v_c = \frac{\pi d_M n}{1000} \text{ [m/min]} \quad \text{lub} \quad v_c = \frac{\pi d_M n}{60 \cdot 1000} \text{ [m/s]} \quad (2.1)$$

$$v_f = f n \text{ [mm/min]} \quad \text{lub} \quad v_f = \frac{f n}{60 \cdot 1000} \text{ [m/s]} \quad (2.2)$$

gdzie: n - prędkość obrotowa w [obr/min], d_M - średnica dla punktu „ M ” na krawędzi skrawającej w [mm], f — posuw w [mm/obr].

Warstwa skrawana jest ograniczona dwiema śrubowymi powierzchniami skrawania wynikającymi ze śrubowego ruchu krawędzi skrawających i charakteryzującymi się stałym skokiem równym posuwowi. Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej jest określane w płaszczyźnie równoległej do osi narzędzia i przechodzącej przez krawędź skrawającą, rys. 2.2. Wymiary pola przekroju poprzecznego warstwy skrawanej przez każde ostrze narzędzia charakteryzują:

- głębokość skrawania a_p przy wierceniu w pełnym materiale, wzór (2.3) a w pozostałych przypadkach wzór (2.4):

$$a_p = \frac{d}{2} \quad (2.3)$$

$$a_p = \frac{d - d_0}{2} \quad (2.4)$$

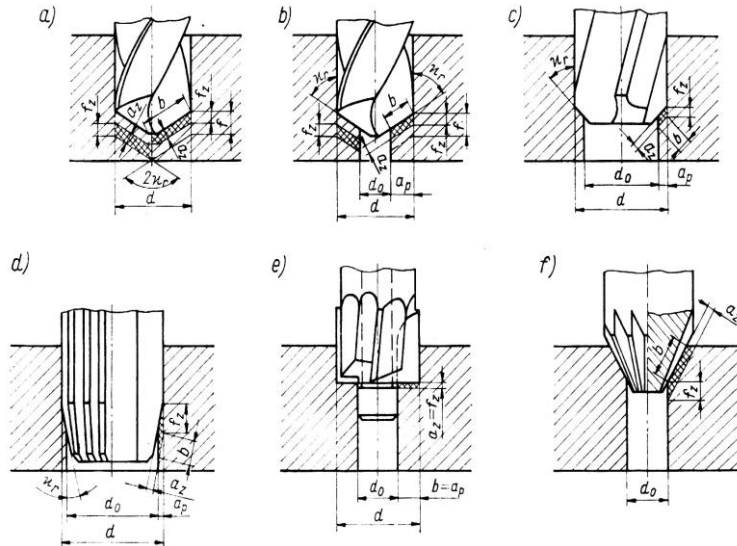
gdzie d_0 - średnica otworu wstępnego.

- posuw na ostrze f_z - jest to odległość, o jaką przesunie się każdy punkt krawędzi skrawającej wzdłuż osi otworu w czasie odpowiadającym obrotowi o kąt równy podziałce międzyostrzowej; jeżeli narzędzie ma z ostrzy, a podziałka międzyostrzowa jest stała, wówczas $f = f_z z$ [mm/obr] (2.5)
- posuw na obrót f , w [mm/obr] jest to odległość, o jaką przesunie się każdy punkt krawędzi skrawającej przy jednym pełnym obrocie.

Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej można również charakteryzować grubością a_z warstwy skrawanej i szerokością b tej warstwy, zgodnie z (2.6):

$$a_z = f_z \sin \kappa_r, b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (2.6)$$

gdzie: κ_r - kąt przystawienia krawędzi skrawającej.



Rys. 2.2. Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej przy: a) wierceniu w pełnym materiale, b) powiercaniu, c) rozwiercaniu zgrubnym, d) powiercaniu wykańczającym, e) pogłębianiu walcowo-czołowym, f) pogłębianiu stożkowym wg [1]

Pole przekroju poprzecznego warstwy skrawanej przez jedno ostrze A_z oraz pole całkowite A można określić z zależności (2.7-10):

- dla wiercenia w pełnym materiale

$$A_z = f_z a_p = f_z \frac{d}{2} = a_z b = \frac{fd}{2z} \quad (2.7)$$

$$A = f_z z a_p = f \frac{d}{2} = a_z z b = ab \quad (2.8)$$

- dla pozostałych przypadków

$$A_z = f_z \frac{d - d_0}{2} = \frac{f(d - d_0)}{2z} \quad (2.9)$$

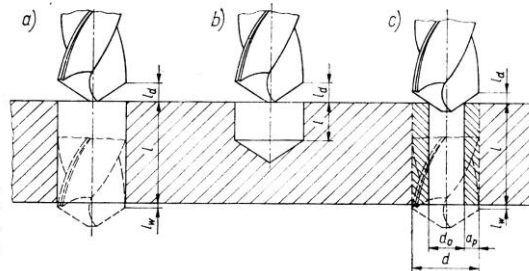
$$A = \frac{f(d - d_0)}{2} \quad (2.10)$$

Czas *maszynowy* t_m obróbki otworu określa się z zależności (2.11) oraz rys. 2.3:

$$t_m = \frac{l_d + l + l_w}{f_n} \quad (2.11)$$

gdzie: l_d - długość dobiegu, $l_{d \min} = a_p \cotg \kappa_r$, l - długość wierzonego otworu, l_w - długość wybiegu (przy wierceniu i rozwiercaniu zgrubnym $l_w = 1-3$ mm,

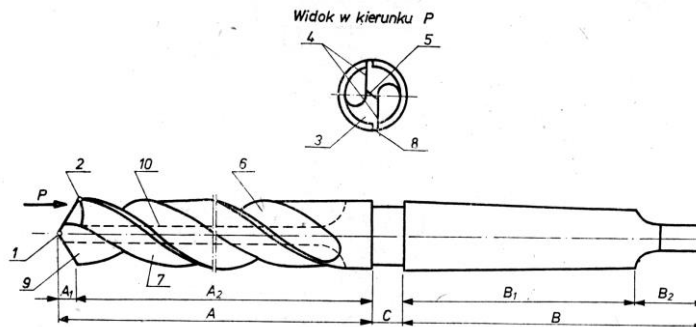
przy rozwiercaniu wykańczającym $l_w = 4-15$ mm, przy obróbce otworu nieprzelotowego ($l_w = 0$).



Rys. 2.3. Długość drogi narzędzia przy włączonym posuwie mechanicznym: a) wiercenie przelotowe w pełnym materiale, b) wiercenie nieprzelotowe, c) powiercanie wg [1]

2.1.2. Budowa i geometria wiertła krętego

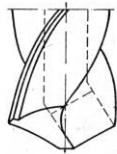
Wiertła przeznaczone są do wykonywania otworów w materiale pełnym oraz do powiększania średnicy otworów otrzymanych innymi sposobami skrawania, a także wierceniem. W tej grupie narzędzi najbardziej rozpowszechnione jest wiertło kręte. W wiertle krętym wyróżniamy: część roboczą A , część chwytową B oraz część łączącą (szyję) C , rys. 2.4 wg [3].



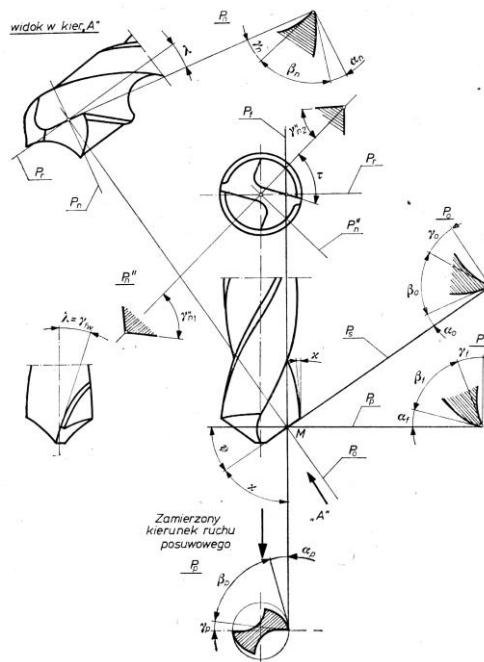
Rys. 2.4. Budowa wiertła krętego: A - część robocza, B - część chwyтова, C - część łącząca, A₁ - część skrawająca, A₂ - część prowadząca, B₁ - część stożkowa, B₂ - pletwa, 1 - wierzchołek, 2 - naroże, 3 - powierzchnia przyłożenia, 4 - krawędzie główne, 5 - krawędź poprzeczna (ścian), 6 - rowek wiórowy, 7 - powierzchnia boczna, 8 - łysinka prowadząca, 9 - powierzchnia natarcia, 10 - rdzeń

Rozpatrując pracę ostrza wiertła krętego można dopatrzeć się podobieństwa do pracy noży tokarskiego wytaczaka do otworów przelotowych, rys. 2.5. Płaszczyzna podstawowa P_r przechodzi przez rozpatrywany punkt M krawędzi i oś wiertła, jest prostopadła do wektora prędkości obwodowej punktu M . Gdy płaszczyzna podstawowa przechodzi przez naroże W wiertła, oznaczamy ją P_{rW} , a gdy przez oś wiertła równoległe do krawędzi - przez P_{rN} . W rozpatrywanym punkcie krawędzi

wyróżniamy ponadto: płaszczyznę styczną do krawędzi P_s i prostopadłą do płaszczyzny podstawowej, płaszczyznę przekroju głównego P_0 -prostopadłą do P_r i P_s , płaszczyznę boczną P_f równoległą do zamierzonego kierunku posuwu i prostopadłą do P_r , płaszczyznę tylną P_p prostopadłą do osi wiertła. Geometrię ostrza wiertła krętego przedstawiono na rys.2.6.



Rys. 2.5. Analogia wiertła do noża wytaczaka wg [3].



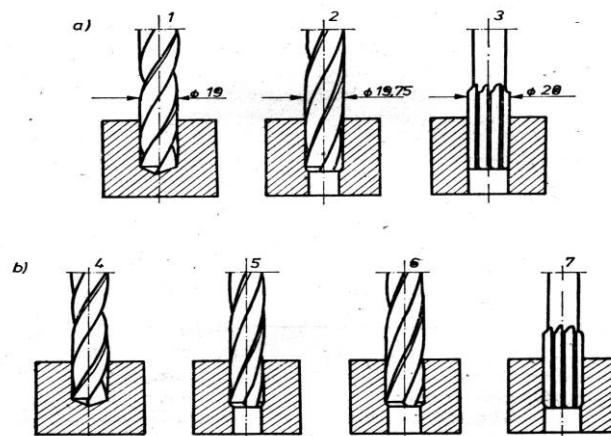
Rys. 2.6. Geometria ostrza wg [3].

Kąt wierzchołkowy 2κ (w płaszczyźnie P_{iw}), równy podwojonemu kątowi przystawienia, zależy głównie od własności materiału obrabianego. Najczęściej stosowane wartości kątów wynoszą ok. 118° . Pomocniczy kąt przystawienia κ' wynika ze zbieżności wiertła w kierunku chwytu.

2.1.3. Budowa i geometria rozwiertaków

Wykonanie otworów o podwyższonych wymaganiach dotyczących dokładności obróbki i gładkości powierzchni wymaga stosowania kilkustopniowej obróbki otworu, np. wiercenia, rozwiertania zgrubnego i rozwiertania wykańczającego, rys. 2.7. Wiercenie w materiale pełnym lub powiększanie średnicy otworu wiertłem są z reguły operacjami obróbki zgrubnej nie dającej dużej dokładności i gładkości powierzchni otworu. Rozwiertanie zgrubne

narzędziami o konstrukcji zbliżonej do wiertel krętych pozwala uzyskać otwory w 11, a w szczególnych przypadkach 10 klasie dokładności wg PN. Chropowatość powierzchni obrobionej rozwiercaniem zgrubnym jest lepsza niż wierceniem i odpowiada w przybliżeniu wysokości chropowatości $R_z = 7-20 \mu\text{m}$. W rozwiercaniu wykańczającym można uzyskać dokładność odpowiadającą 9, 8, 7, a w szczególnych przypadkach starannej obróbki, nawet 6 klasie dokładności wg PN. Chropowatość powierzchni obrobionej otworu może być doprowadzona do stanu odpowiadającego wartościom wysokości chropowatości $R_z = 1,7-4 \mu\text{m}$.



Rys. 2.7. Obróbka otworów: a) trzystopniowa, 1 — wiercenie, 2 — rozwiercanie zgrubne, 3 — rozwiercanie wykańczające; b) czterostopniowa (przy wysokich wymaganiach dotyczących gładkości i kształtu), 4 — wiercenie, 5 — rozwiercanie zgrubne wstępne, 6 — rozwiercanie zgrubne (drugie), 7 — rozwiercanie wykańczające wg [3].

Stopniowanie operacji w obróbce otworu zależy od średnicy otworu i wymagań stawianych dokładności obróbki. Rozwiertaki przeznaczone do obróbki zgrubnej otworów noszą nazwę *zdzieraków*, a do obróbki dokładnej — *wykańczaków*. Rozwiertaki przeznaczone do obróbki ręcznej nazywamy *rozwiertakami ręcznymi*, a do pracy na obrabiarkach — *maszynowymi*. Rozwiertaki przeznaczone do obróbki otworów walcowych nazywamy *rozwiertakami walcowymi*, a do otworów stożkowych — *stożkowymi*. Rozpatrzmy niektóre typy rozwiertaków zdzieraków i wykańczaków.

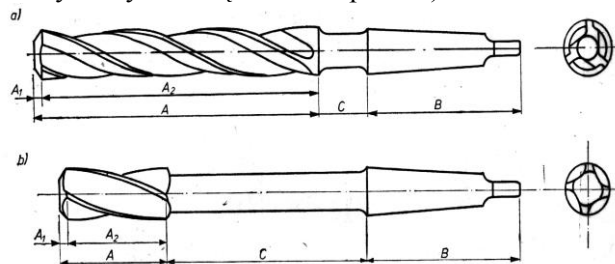
2.1.3.1. Rozwiertaki zdzieraki

W obróbce otworów o średnicy do 32 mm używane są najczęściej rozwiertaki trzpieniowe przypominające budową wiertła kręte, rys.2.8. Część robocza rozwiertaka trzpieniowego składa się z części skrawającej A_1 (stożka skrawającego) oraz części prowadzącej A_2 lekko zbieżnej w kierunku chwytu. Zbieżność nie przewyższa 1 : 1000 i wpływa korzystnie na zmniejszenie rozbijania otworu w czasie obróbki. W części roboczej, podobnie jak w wiertle są łysinki

prowadzące o szerokości 1-2,5 mm zależnej od średnicy rozwiertaka. Rowki wiórowe są dużo płytsze niż w wiertłach krętych, dzięki temu średnica rdzenia jest większa, a rozwiertak sztywniejszy. Średnica rdzenia odpowiada w przybliżeniu połowie średnicy rozwiertaka. Pozostałe elementy rozwiertaka są podobne jak w wiertłach krętych, a więc część chwytowa *B* zaopatrzona w płetwę i część łącząca *C*. Rozwiertarki trzpieniowe są trójstrzowe lub czterostrzowe. Rozwiertaki zdzieraki trójstrzowe mają długą część roboczą i przeznaczone są do pracy z tzw. tuleją prowadzącą narzędzie w czasie obróbki otworu.

W rozwiercaniu zgrubnym spotykane są również rozwiertaki z ostrzami wstawianymi w postaci płytek z węglików spiekanych lub stali szybko tnącej. Rozwiertaki zgrubne, ze względu na dosyć duże siły i momenty powstające w czasie skrawania, przeznaczone są wyłącznie do obróbki maszynowej. Najczęściej zalecane wartości kąta przystawienia κ wynoszą 60° , w rozwiercaniu zgrubnym żeliwa stosuje się także $\kappa = 45^\circ$, a w przypadku zastosowania ostrzy z węglików spiekanych przyjmuje się nawet $\kappa = 75^\circ$. Wartości kątów natarcia zależą głównie od własności materiału rozwiercanego i materiału ostrza. W rozwiercaniu zgrubnym rozwiertakami ze stali szybko tnącej najczęściej kąt natarcia $\gamma_0 = 20^\circ$, przy rozwiercaniu metali nieżelaznych i stopów lekkich wartość kąta natarcia zwiększa się niekiedy do ok. 30° , podczas rozwiercania żeliwa o twardości $HB \leq 200$ daje się mniejsze wartości ($\gamma_0 = 6-10^\circ$), a przy zwiększonej twardości żeliwa przyjmuje się $\gamma_0 = 0-5^\circ$. Kąty natarcia w przypadku ostrzy z węglików spiekanych są mniejsze, najczęściej ok. 8° .

Rowki wiórowe są proste lub śrubowe. Rowki proste stosowane są najczęściej w rozwiertakach zaopatrzonych w ostrza z węglików spiekanych przeznaczonych do obróbki bardzo twardych stali. Kąt pochylenia linii śrubowej rowków *A'* wynosi najczęściej $15-20^\circ$. Mniejsze wartości kątów odpowiadają mniejszym średnicom i bardziej twardym materiałom obrabianym. Dla otrzymania dodatnich kątów natarcia, korzystnych ze względu na proces skrawania, kierunki pochylenia rowków przyjmuje się zgodny z kierunkiem skrawania: linia śrubowa prawa, gdy kierunek skrawania prawy (zgodny z kierunkiem obrotu wskazówek zegara dla patrzącego od strony chwytu narzędzia lub oprawki) i odwrotnie.

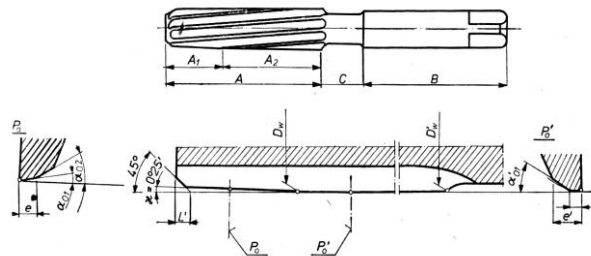


Rys. 2.8. Rozwiertaki zdzieraki trzpieniowe: a) trzystrzowy z długą częścią roboczą; b) czterostrzowy z krótką częścią roboczą: A - część robocza, A₁ - część skrawająca, A₂ - część prowadząca, B - część chwytowa, C - część łącząca wg [3].

2.1.3.2. Rozwiertaki wykańczaki

Rozwiertaki wykańczające pozwalają uzyskać dużą dokładność wymiaru i kształtu otworu, a także dużą gładkość powierzchni. Ogólnymi cechami odróżniającymi rozwiertaki wykańczające od zgrubnych są: większa liczba ostrzy (dla średnic od 3 do 100 mm liczba ostrzy wynosi od 6 do 18 i jest zawsze parzysta), nierównomierność podziałki między-ostrzowej, polepszająca dokładność obróbki i gładkość powierzchni; konieczność bardzo starannego obchodzenia się z narzędziem podczas użytkowania i przechowywania.

Rozwiertak ręczny (rys.2.9) składa się z części roboczej *A*, w której można wydzielić ścięcie pod kątem 45° , ułatwiające wprowadzenie rozwiertaka do otworu i zapobiegające uszkodzeniu ostrzy w czasie wcinania części skrawającej (stożka skrawającego) A_1 . Długość stożka skrawającego w rozwiertakach ręcznych jest dosyć duża, wynosi około 1/3 długości części roboczej *A*. Część prowadząca A_2 na pewnym odcinku jest walcowa, a na pozostałym lekko zbieżna w kierunku chwytu. Na ostrzach części prowadzącej znajduje się wąska łysinka walcowa, o szerokości ok. 0,15-0,18 mm, ułatwiająca prowadzenie narzędzia i wygładzająca powierzchnię otworu. Część roboczą wiąże z częścią chwytową *B* szyjka *C*. Chwyt zakończony jest kwadratem przeznaczonym do zamocowania rozwiertaka w specjalnej oprawce (pokrętle).

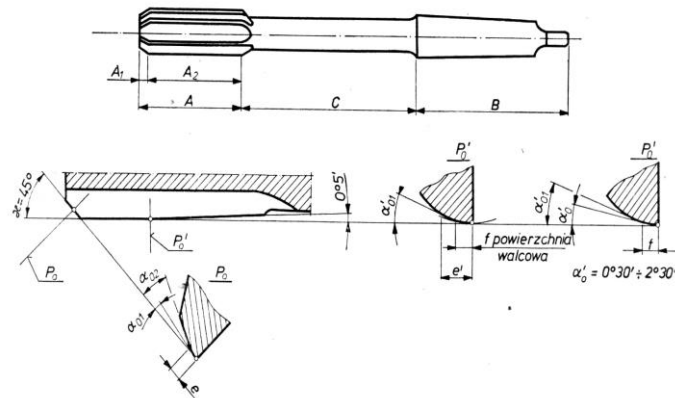


Rys. 2.9. Rozwiertak ręczny wg [3].

Z porównania rozwiertaka ręcznego i maszynowego wynikają pewne zasadnicze różnice budowy. Rozwiertak maszynowy (rys.2.10) ma znacznie krótszą część roboczą. Mniejsza jest również długość stożka skrawającego. Część chwytowa rozwiertaka maszynowego jest wykonana w postaci stożka zakończonego płetwą lub walcowa (dla średnic do 10-12 mm).

Rozwiertaki wykańczaki nasadzane wykonane są w zakresie większych średnic (30-75 mm). Składają się tylko z części roboczej *A* i krótkiej części łączącej *C*. Otwór stożkowy zbieżny w kierunku części skrawającej i poprzeczny rowek zabierakowy, przeznaczone są do mocowania narzędzia na specjalnej oprawce.

Kąty przystawienia rozwiertaków ręcznych są bardzo małe ($\kappa=0^{\circ}25'$), dzięki czemu siła nacisku osiowego podczas rozwiercania jest niewielka, a wcinanie i wybieg ostrzy bardziej łagodne.



Rys. 2.10. Budowa i geometria rozwiertaka wykańczacza trzpieniowego, maszynowego wg [3].

2.1.3.3. Obliczanie średnicy rozwiertaka

Średnicę rozwiertaka zdzieraka d_{rz} do wykonania otworu zgrubnego obliczamy ze wzoru (2.12) a średnicę rozwiertaka d_{rw} wykańczacza ze wzoru (2.13).

$$d_{rz} = (d_{nom} - U)_{-T_r} \quad (2.12)$$

$$d_{rw} = (d_{max} - B)_{-T_r} \quad (2.13)$$

gdzie: d_{max} – górny wymiar graniczny otworu
 d_{nom} – średnica nominalna gotowego otworu
 B – zapas na rozbieg: $B = 0,15T$
 T – Tolerancja wykonania otworu
 T_r – tolerancja wykonania rozwiertaka
 U – zapas na wykończenie otworu

Literatura:

- [1] Poradnik Inżyniera „Obróbka skrawaniem” t.I, WNT, W-wa 1991.
- [2] Jan Kaczmarek „Podstawy obróbki wiórowej, ściernej i erozyjnej”, WNT, W-wa 1970.
- [3] Jerzy Dmochowski „Podstawy obróbki skrawaniem”, PWN, W-wa 1978.
- [4] Wit Grzesik „Podstawy skrawania materiałów metalowych”, WNT, W-wa 1998.