5.11. Obróbki erozyjne

5.11.1. Obróbka elektroerozyjna iskrowa i impulsowa

Ogólną klasyfikację sposobów obróbek erozyjnych przedstawiono na **rys. 5.84.**

Obróbka elektroerozyjna EDM polega na wykorzystaniu wyładowań elektrycznych w cieczy dielektrycznej między narzędziem a przedmiotem obrabianym w celu usuwania naddatku. Narzędzie będące **elektrodą roboczą** (erodą) jest katodą, przedmiot obrabiany – anodą (**rys. 5.85**). Proces ubywania materiału wskutek wyładowań elektrycznych nazwano erozją elektryczną. Elektroda i materiał obrabiany muszą być przewodnikami prądu elektrycznego. Ze względu na sposób wytwarzania impulsów prądowych prowadzących do wyładowań elektrycznych wyróżnia się dwie odmiany obróbki elektroerozyjnej:

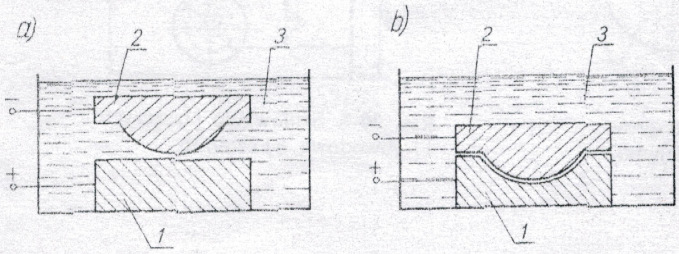
- **obróbkę elektroiskrową**, nazywaną również iskrową,
- **obróbkę elektroimpulsową**, zwaną również impulsową.

Podstawy fizyczne obu odmian obróbki są wspólne. W wyniku erozji elektrycznej następuje usuwanie naddatku materiału, które w tym rodzaju obróbki jest nazywane drążeniem. Podczas procesu drążenia materiału następuje również erozja narzędzia, która w trakcie obróbki powoduje zmiany

Najczęściej stosowanymi **dielektrykami** są:

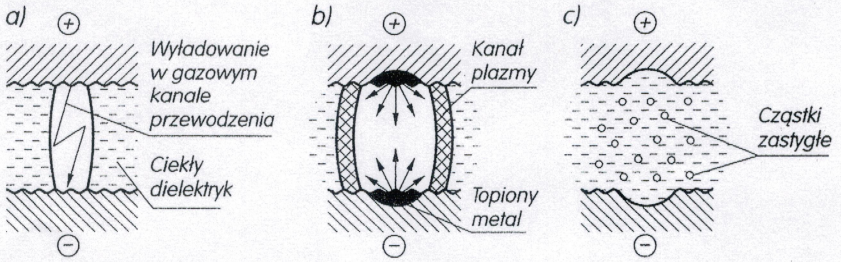
- nafta — w przypadku obróbki elektroiskrowej,
- olej transformatorowy lub wrzecionowy — w przypadku obróbki elektroimpulsowej.

Erody są wykonywane z mosiądzu, miedzi, stopów aluminium, żeliwa szarego i grafitu.

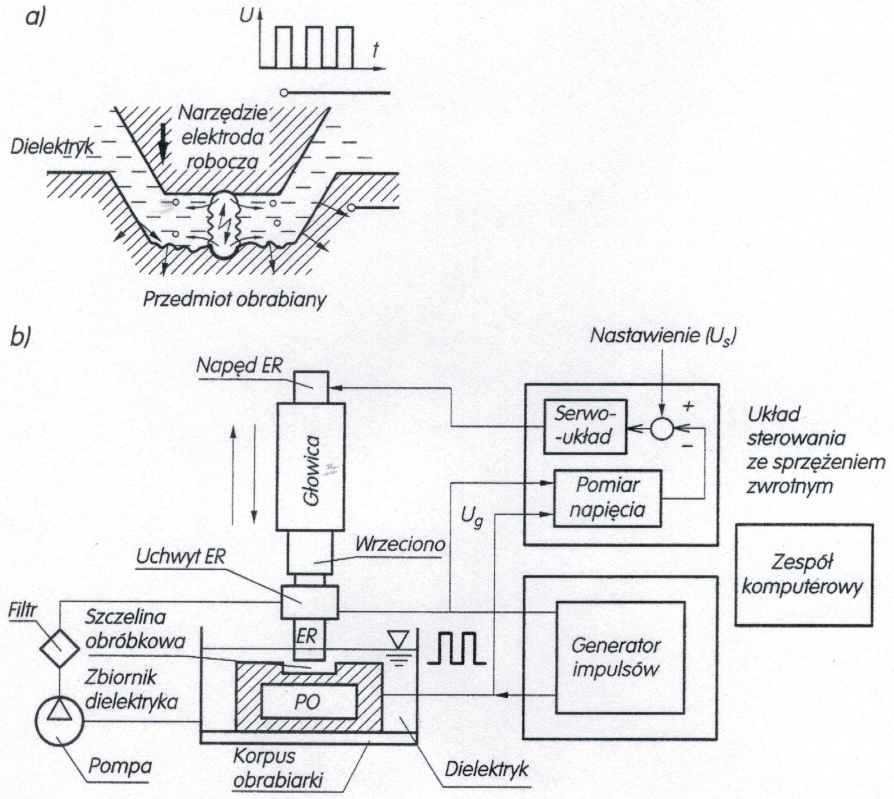


Rys. 10-5. Schemat elektrolitycznej obróbki zewnętrznej powierzchni kształtowej: *a)* początkowa faza obróbki, *b)* końcowa faza obróbki

1 — obrabiany przedmiot, *2* — eroda, *3* — elektrolit

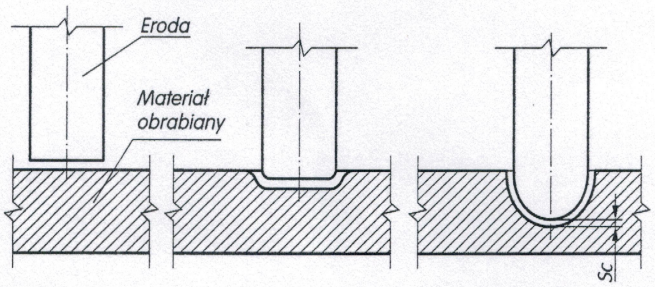


Rys. 5.87. Uproszczony schemat procesu obróbki elektroerozyjnej: *a)* początek wyładowania elektrycznego i tworzenie kanału plazmy, *b)* erozja materiału – topnienie i wyrzucanie cząstek materiału, *c)* przejście wyrzuconych cząstek do elektrolitu [21]



Rys. 5.85. Obróbka elektroerozyjna EDM: a) przestrzeń robocza, *b)* schemat drążarki EDM; *ER* – elektroda robocza, *PO* – przedmiot obrabiany [22]

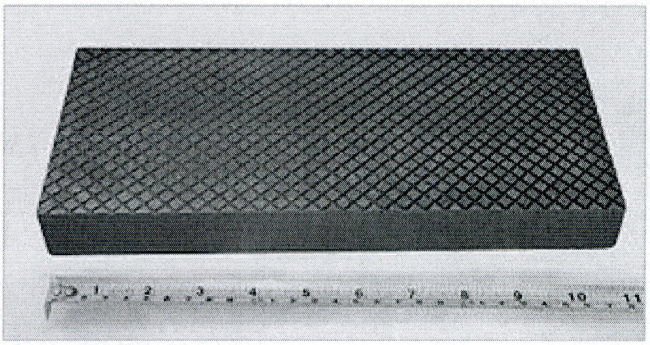
jego pierwotnego kształtu geometrycznego (**rys. 5.86**). Ubytek materiału elektrod jest znacznie wolniejszy od ubytku materiału obrabianego i zależy od rodzaju materiału oraz parametrów obróbki. Wynika stąd konieczność stosowania elektrod do obróbki zgrubnej i wykańczającej. Obróbkę elektroerozyjną stosuje się do kształtowania części o złożonych kształtach; drążony element jest geometrycznym odwzorowaniem kształtu elektrody roboczej.



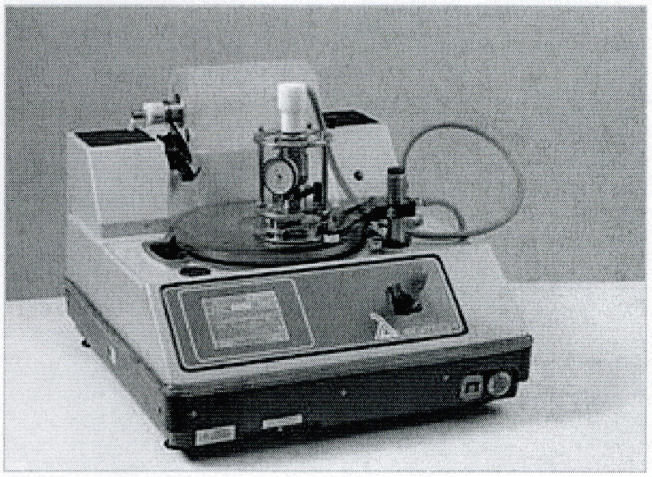
Rys. 5.86. Przebieg drążenia elektroerozyjnego i zużycie elektrody roboczej [22]

Docieranie – rodzaj obróbki ściernej wykonywanejdocierakiem w obecności pasty ściernej będącejzawiesiną ziaren.

Docierak porusza się względem przedmiotu obrabianego oraz jest dociskany do jego powierzchni, co powoduje powstawanie tarcia. Ziarna są wciskane w docierak wykonany ze stosunkowo miękkiego materiału np. żeliwa i przeciągane po obrabianej powierzchni. Ich właściwości takie jak rozmiar i twardość mają zasadnicze znaczenie dla uzyskanego efektu. W ten sposób możliwe jest osiągnięcie chropowatości Ra od 0,16 do 0,08 i Rz od 0,8 do 0,4 (dawniej klasa 10 lub 11). Ze względu na wysoką twardość ziarenścierniwa możliwa jest obróbka bardzo twardych materiałów jak hartowana stal, węgliki spiekane czyceramika.

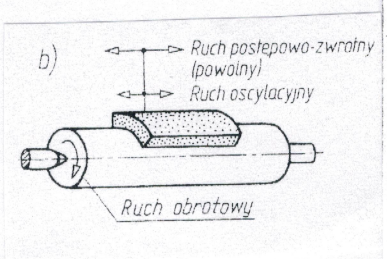


Płyta żeliwna do docierania



Maszyna do docierania mechanicznego

Docieranie pozwala na uzyskanie dużej dokładności kształtu (płaskości, okrągłości czy walcowości), dokładności wymiarów (płytki wzorcowe) oraz powierzchni o dużo mniejszej chropowatości niż bezpośrednio po obróbce wiórowej, czy szlifowaniu. Większa gładkość może zostać osiągnięta tylko przez obróbkę wygładzającą lub polerowanie.

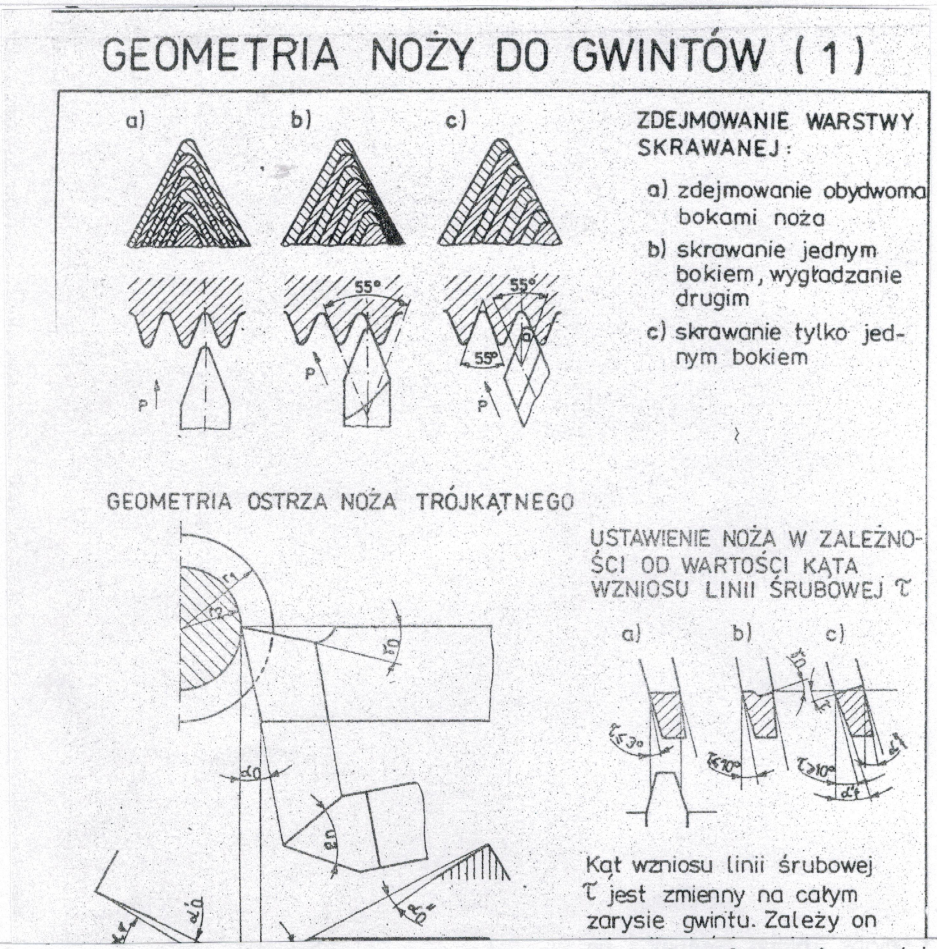


MATERIAŁY ŚCIERNE DO DOCIERANIA

Materiał ścierny	Wielkość ziarna µm	Materiał docierany	Uzyskiwana chropowatość Rz
ELEKTROKORUND	10÷18	stal (twarda)	0,1÷0,25
	5÷10	mosiądz	0,1÷0,3
KARBORUND (węglik krzemu)	90÷130	stal	1 ÷ 4
		węgliki spiekane	0,3÷0,6
	40÷50	mosiądz	1,5÷6
	20÷40	stal	0,8÷1,6
		węgliki spiekane	0,15÷0,3
WĘGLIK BORU	10÷15	mosiądz	0,2÷0,5
PYŁ DIAMENTOWY	50÷60	węgliki spiekane	0,1 – 1
	0,5÷1	stal (twarda)	0,15 i mniej
	2 ÷ 4	węgliki spiekane	0,1 i mniej

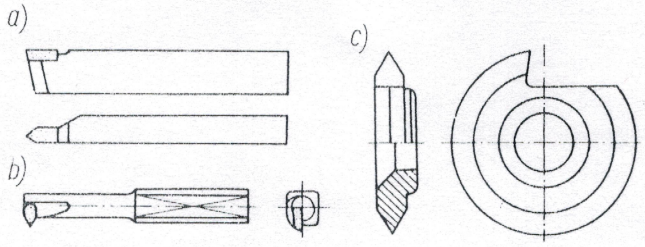
29.3. Nacinanie gwintów na tokarkach

Gwinty dokładne nacina się za pomocą noża na tokarce pociągowej. Noże do gwintów mogą być jednolite lub z płytkami z węglików spiekanych. Przed gwintowaniem nóż ustawia się w ten sposób, aby jego wierzchołek znajdował się na wysokości kłów, a oś zarysu noża była prostopadła do osi powierzchni gwintowanej.

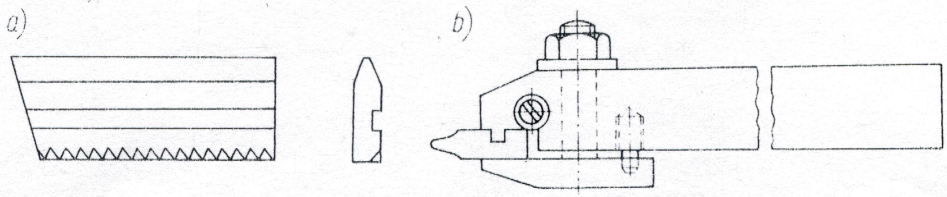


Toczenie gwintów może być wykonywane **nożami kształtowymi**, o części skrawającej dostosowanej do zarysu gwintu. Dzieli się je na pojedyncze i wielokrotne.

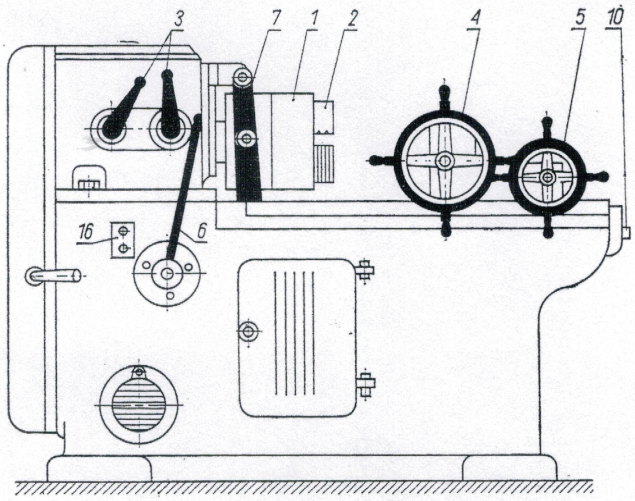
Noże do gwintów **pojedyncze** są wykonywane jako imakowe (rys. 6–89*a* i *b*), oprawkowe krążkowe (rys. 6–89*c*) oraz oprawkowe słupkowe (rys. 6–90).



Rys. 6–89. Noże pojedyncze do gwintów: *a*) imakowy do gwintu zewnętrznego, *b*) imakowy do gwintu wewnętrznego, *c*) oprawkowy krążkowy (do gwintów zewnętrznych i wewnętrznych)

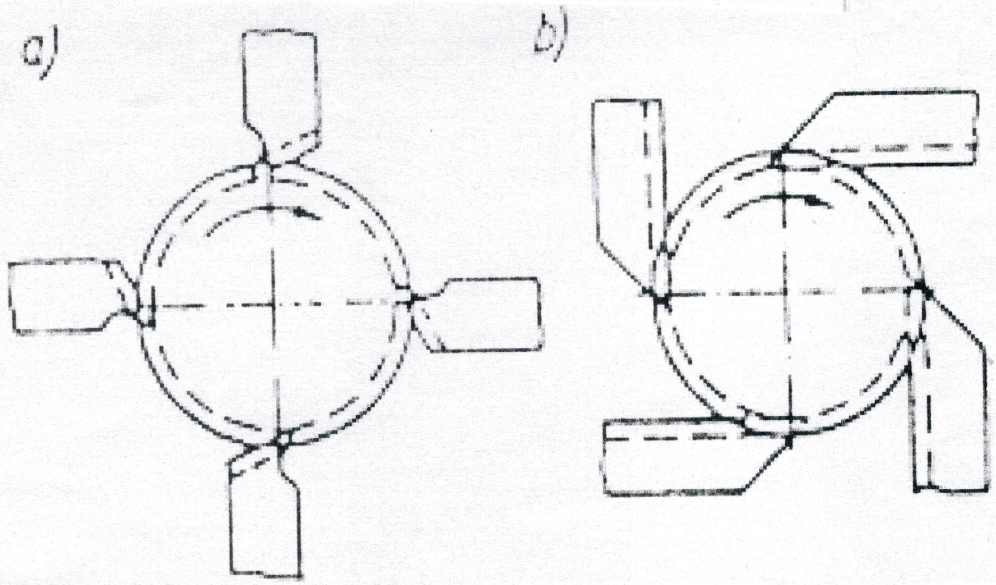


Szkic wyjaśniający budowę gwinciarki zamieszczony jest na rys. 100. Głowica gwinciarska *1* z nożami stycznymi *2* zamocowana jest na wrzecionie obrabiarki. Do zmiany prędkości obrotowej wrzeciona przez zmianę położeń przesuwnych kół zębatych



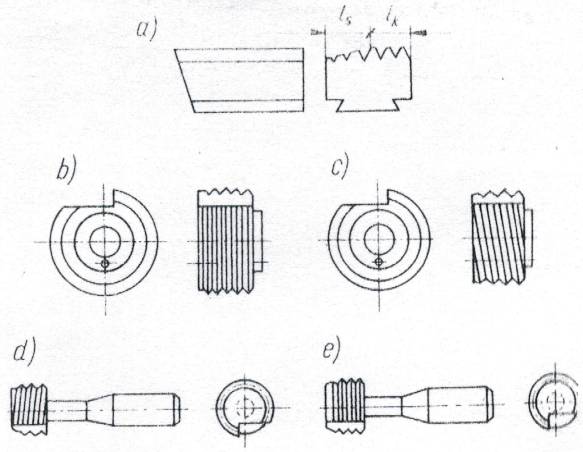
Rys. 100. Obrabiarka do gwintowania śrub — gwinciarka

w skrzynce prędkości służą dzwignie *3*. Przedmiot obrabiany, jako kawałek pręta z którego ma być wykonana śruba mocowany jest na suporcie między dwiema szczękami. Do mocowania przedmiotu służy kółko ręczne *4*, a do przesuwania suportu — kółko ręczne *5*.



a) noże promieniowe,

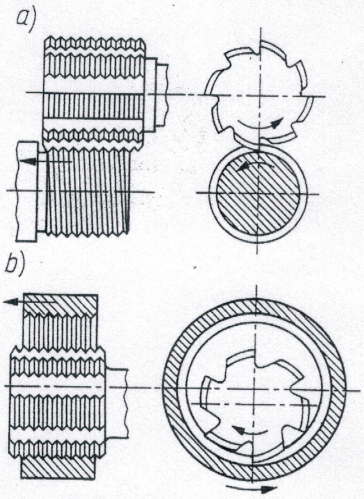
b) noże styczne,



Rys. 6–91. Noże wielokrotne do gwintów: *a*) słupkowy, *b*) krążkowy nasadzany pierścieniowy, *c*) krążkowy nasadzany śrubowy, *d*) krążkowy trzpieniowy śrubowy, *e*) krążkowy trzpieniowy pierścieniowy

Frezarki do gwintów są znacznie wydajniejsze niż gwinciarki. Rozróżnia się frezarki do gwintów krótkich (śrub, wkrętów, nakrętek) oraz do zewnętrznych gwintów długich (śrub pociągowych, ślimaków).

Frezarki do gwintów krótkich są przeznaczone do obróbki gwintów zewnętrznych i wewnętrznych, których długość jest mniejsza od długości części roboczej freza. Zasadę frezowania gwintów krótkich przedstawia **rys. 29-3**. Oś freza jest równoległa do osi nacinanego gwintu i w związku z tym wszystkie bruzdy gwintu są nacinane jednocześnie. Frez wykonuje tylko ruch obrotowy, a przedmiot obrobiony wykonuje dwa ruchy: obrotowy i wzdłużny. Podczas jednego obrotu przedmiotu obrobionego musi nastąpić jego wzdłużne przesunięcie równe skokowi nacinanego gwintu.



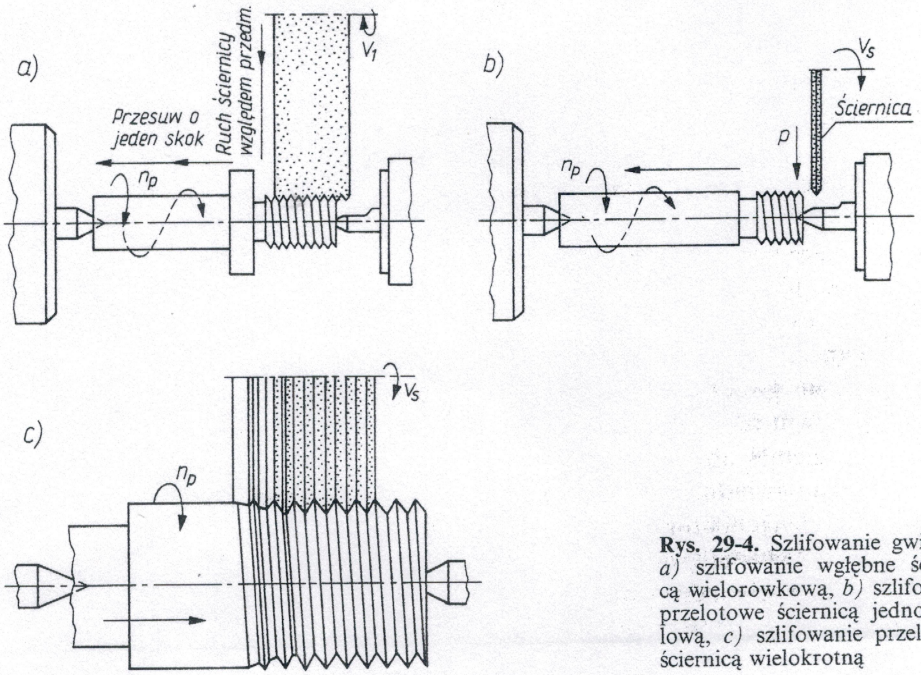
Rys. 29-3. Zasada frezowania gwintów krótkich: *a)* zewnętrznego, *b)* wewnętrznego

Frezarka pracuje w cyklu automatycznym, który obejmuje:

- dosunięcie przedmiotu obrabianego do freza,
- nacięcie gwintu podczas jednego obrotu przedmiotu,
- odsunięcie obrobionego przedmiotu od freza po zakończeniu obróbki.

Dokładne nacięcie gwintu wymaga, ażeby przedmiot obrobiony dokonał $1\frac{1}{6}$ obrotu, ponieważ podczas wcinania się freza w materiał przedmiot się obraca i dla zapewnienia pełnego nacięcia gwintu potrzebna jest jeszcze dodatkowa część obrotu. Między innymi również dlatego długość robocza freza musi być większa od długości nacinanego gwintu przynajmniej o dwa skoki.

W podobny sposób jak na frezarce wykonuje się gwinty na **szlifierce** (**rys. 29-4***a*). Tą metodą szlifujemy krótkie gwinty w materiale hartowanym (gwintowniki, śruby mikrometryczne, sprawdziany). Gwint wykonuje się podczas jednego przejścia, a droga szlifowanego przedmiotu równa jest jednemu skokowi gwintu. Szerokość ściernicy wielorowkowej musi być o jeden skok większa niż



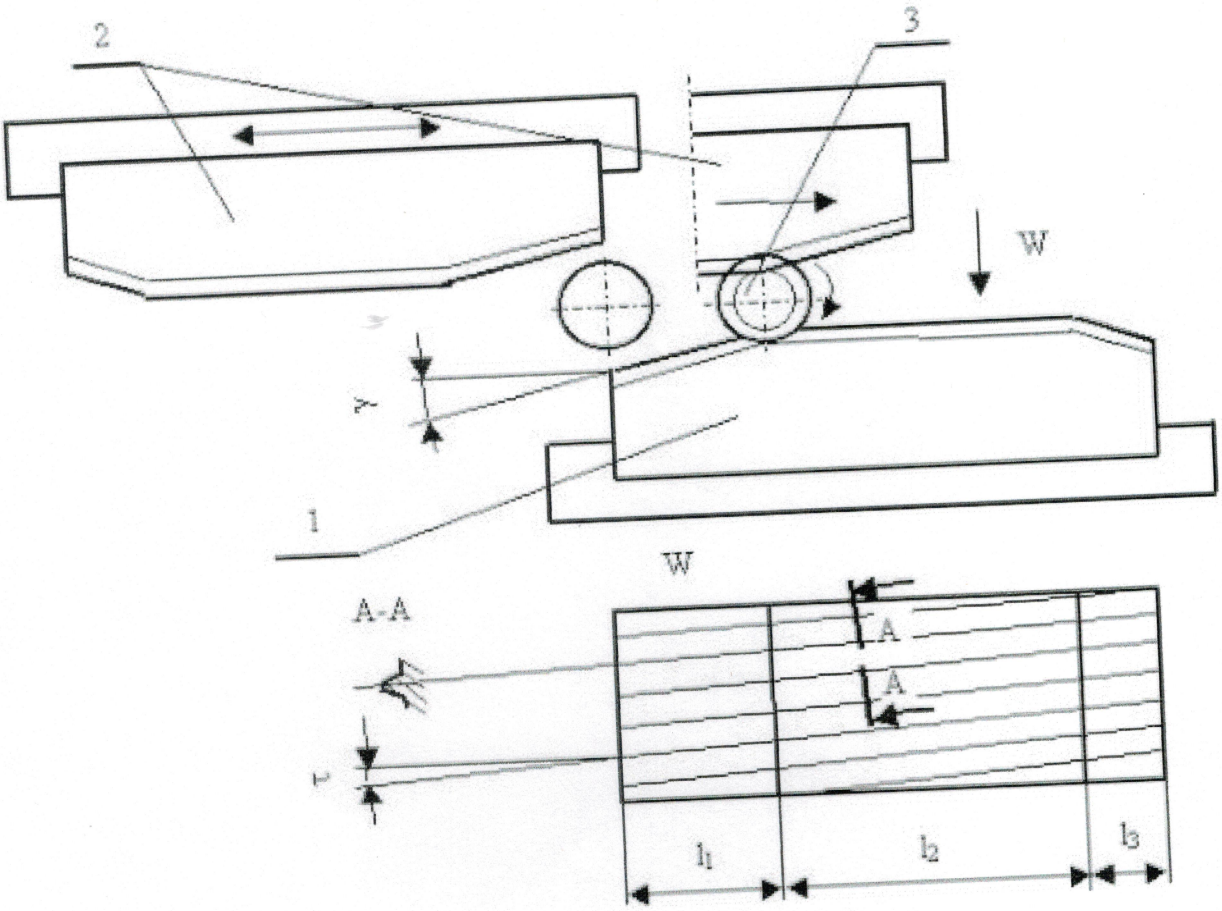
Rys. 29-4. Szlifowanie gwintów: *a)* szlifowanie wgłębne ściernicą wielorowkową, *b)* szlifowanie przelotowe ściernicą jednoprofilową, *c)* szlifowanie przelotowe ściernicą wielokrotną

długość szlifowanego gwintu. Ściernica stopniowo wgłębia się w materiał osiągając pełną głębokość po $\frac{1}{4}$ obrotu przedmiotu i w czasie następnego obrotu szlifuje gwint na gotowo.

Na szlifierkach nie tylko wykonuje się gwinty, ale przede wszystkim szlifuje gwinty już wykonane wstępnie inną metodą. Dotyczy to głównie śrub pociągowych obrabiarek, ślimaków, frezów ślimakowych, śrub przyrządów pomiarowych itd.

Rys. 29-4*b* przedstawia szlifowanie przelotowe gwintu **ściernicą jednoprofilową**. Jest to najdokładniejsza metoda obróbki wykańczającej gwintu, stosowana przy szlifowaniu gwintów bardzo dokładnych śrub, jak np. śrub mikrometrycznych i pociągowych. Ściernica wykonuje ruchy główny i wgłębny, a obrobiony przedmiot ruchy obrotowy i posuwowy. Bardziej wydajne, ale mniej dokładne, jest **szlifowanie przelotowe** gwintu ściernicą wielokrotną (**rys. 29-4***c*). Metoda ta jest stosowana przede wszystkim do szlifowania gwintów o dużym skoku oraz do szlifowania zgrubnego gwintów dokładnych, które są wykończane następnie ściernicą jednoprzelotową.

WALCOWANIE SZCZĘKAMI PŁASKIMI

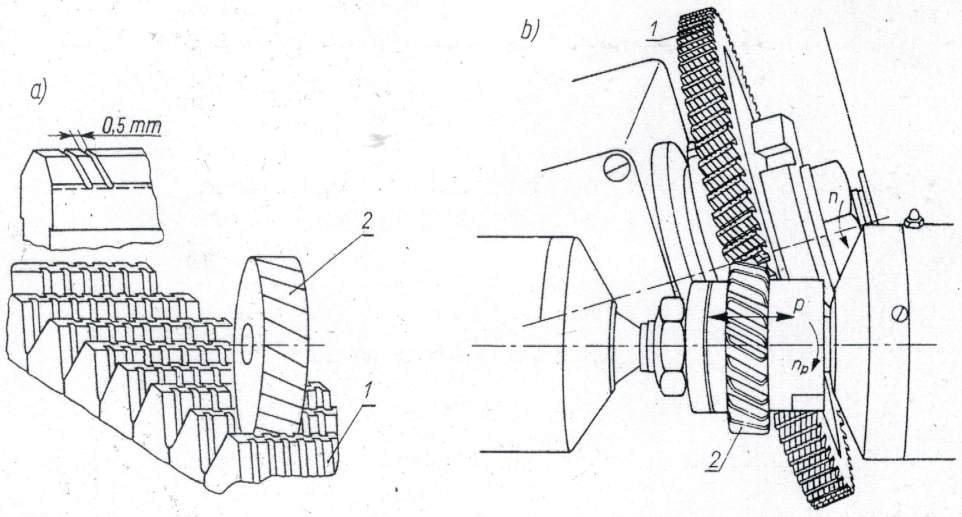


Schemat walcowania szczękami płaskimi;

1 – szczęka stała,
2 – szczęka ruchoma,
3 – przedmiot obrabiany,
l_1 – część wejściowa,
l_2 – część kalibrująca,
l_3 – część wyjściowa.

6.12.5. Wiórkowanie uzębień

Wiórkowanie stosuje się jako obróbkę wykańczającą walcowych kół zębatych miękkich, o twardości nie przekraczającej 36 HRC. Polega ono na skrawaniu z powierzchni zębów drobnych wiórków narzędziami o kształcie zębatki (rys. 6-117*a*) lub koła zębatego (rys. 6-117*b*). Na powierzchniach bocznych zębów narzędzi do wiórkowania są nacięte rowki — o głębokości 0,5 ÷ 1,5 mm i szerokości 0,8 ÷ 1 mm — tworzące krawędzie skrawające.



Rys. 6-117. Wiórkowanie kół zębatych: *a*) narzędziem o kształcie zębatki, *b*) narzędziem o kształcie koła zębatego

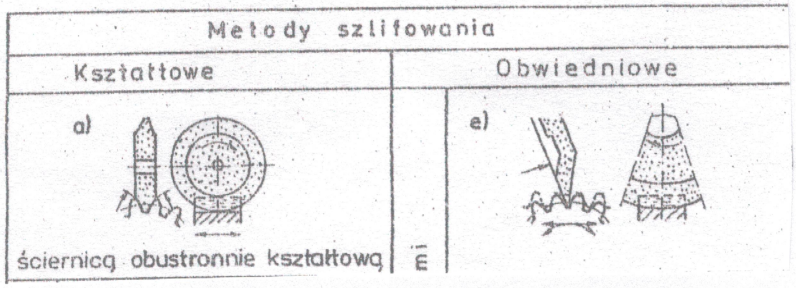
1 — narzędzie do wiórkowania, *2* — obrabiane koło zębate, *n* — kierunek ruchu obrotowego wiórkownika, n_p — kierunek ruchu obrotowego obrabianego koła, *p* — kierunek posuwu wzdłużnego

Najbardziej rozpowszechnione jest wiórkowanie narzędziami o kształcie koła zębatego, nazywanymi **wiórkownikami.** Obrabiane koło mocuje się w kłach na stole obrabiarki (wiórkarki) i dociska do zazębionego z nim wiórkownika. Wiórkownik wykonuje ruch obrotowy wokół własnej osi (ruch główny). Obrabiany przedmiot obraca się wokół własnej osi (posuw obwodowy) oraz wykonuje ruch prostoliniowo-zwrotny wraz ze stołem wiórkarki (posuw wzdłużny). Osie wiórkownika i obrabianego koła tworzą kąt 5 ÷ 20°, na skutek czego między zębami koła i wiórkownika występuje poślizg umożliwiający skrawanie drobnych wiórków. Po zakończeniu każdego skoku posuwu wzdłużnego obrabiany przedmiot wykonuje przesuw promieniowy (dosuw wiórkownika do obrabianego koła) o 0,02 ÷ 0,6 mm.

Wiórkowanie zapewnia dużą dokładność kształtu oraz małą chropowatość powierzchni obrobionych uzębień; cechuje je również duża wydajność obróbki.

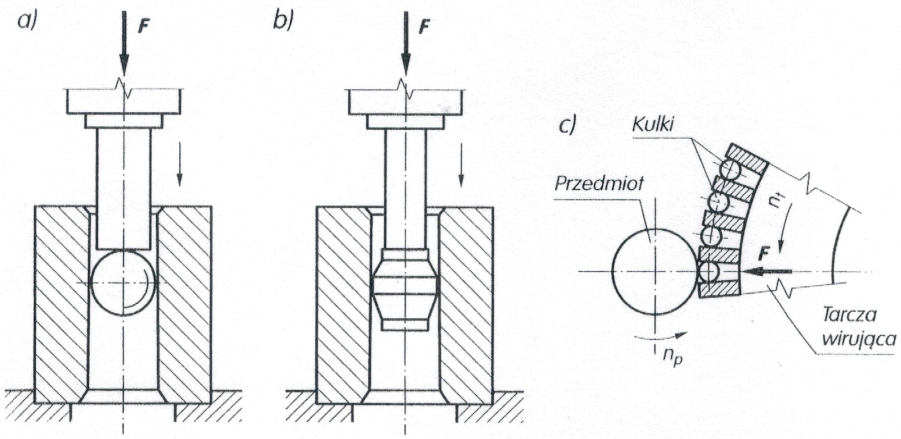
Naddatki na wiórkowanie uzębień wynoszą 0,1 ÷ 0,25 mm.

METODY SZLIFOWANIA KÓŁ ZĘBATYCH



5.10.6. Nagniatanie powierzchni

Nagniatanie jest jedną z metod obróbki powierzchniowej wykańczającej. Polega na wytworzeniu w warstwie wierzchniej materiału odkształceń plastycznych na zimno przez zgniot. Zgniot jest wynikiem działania obciążeń zewnętrznych. Obciążenia zewnętrzne mogą być wywierane w sposób dynamiczny lub statyczny (**rys. 5.79**). Do metod dynamicznych należy: kulowanie, śrutowanie i młotkowanie. Do metod statycznych należy nagniatanie za pomocą kulek lub rolek, a także kalibrowanie (przepychanie) otworów za pomocą kulek.



Rys. 5.79. Schematy nagniatania: *a)* i *b)* statycznego ślizgowego kulką i przepychaczem trzpieniowym, *c)* dynamicznego – metodą kulowania;
F – siła nacisku kulki, n_t – prędkość obrotowa tarczy, n_p – prędkość obrotowa przedmiotu

Najistotniejszym zjawiskiem towarzyszącym odkształceniom w zakresie plastycznym jest umocnienie materiału. Umocnienie powoduje zmianę własności mechanicznych materiału, podwyższenie granicy plastyczności, wzrost twardości oraz wytrzymałości, szczególnie zmęczeniowej. Celem obróbki nagniataniem jest umocnienie warstwy wierzchniej lub zmniejszenie chropowatości, a także uzyskanie obu efektów jednocześnie. Do obróbki gładkościowej stosuje się nagniatanie statyczne, do obróbki umacniającej – nagniatanie statyczne i dynamiczne. Nagniatanie statyczne można stosować do przedmiotów sztywnych, natomiast dynamiczne jest możliwe do obróbki przedmiotów wiotkich i cienkościennych. **Dogniatanie** stosuje się w celu podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej elementów części maszyn, np. w przypadkach promieniowego przejścia czopów wałów korbowych silników wysokoprężnych, szpilek łączących kadłub silnika z głowicą, dna wrębów wielowypustów