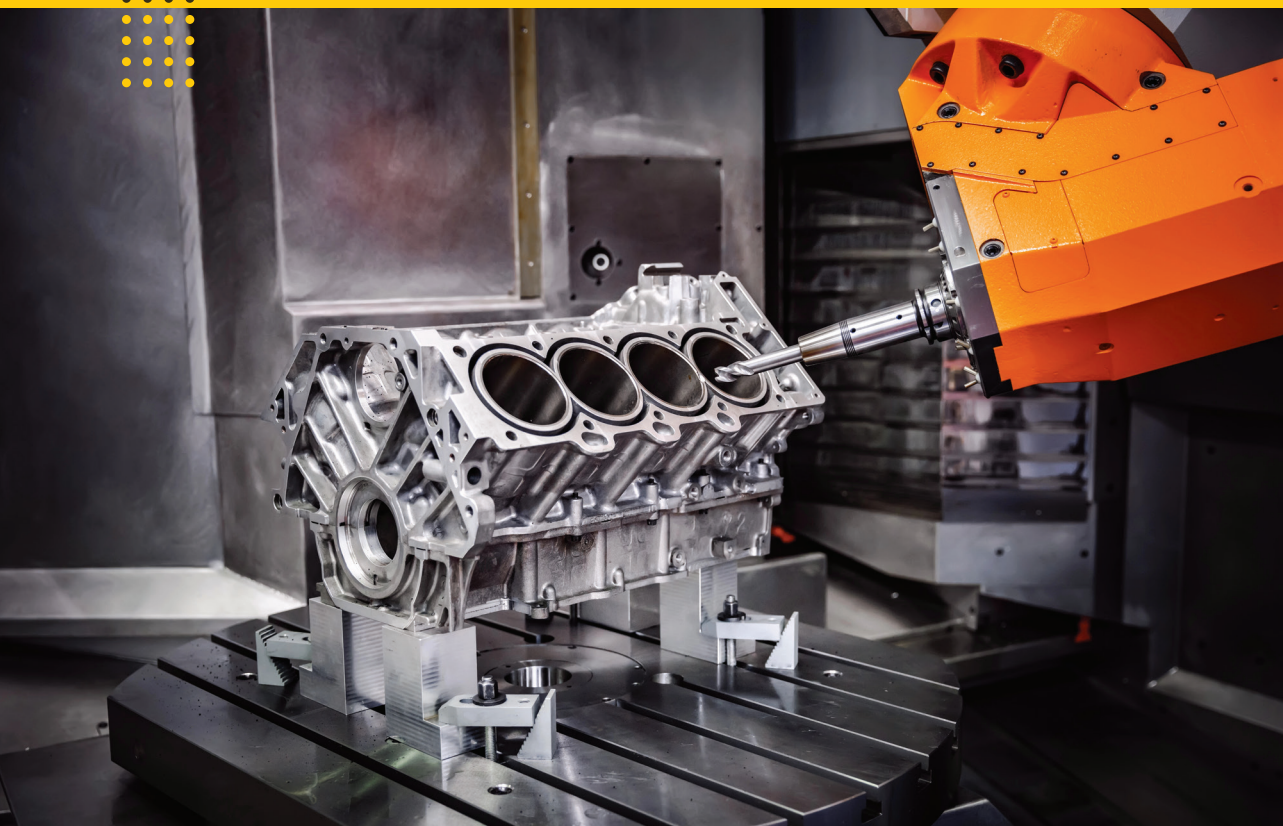


Eugene Feldshtein
Kamil Leksycki

Wybrane zagadnienia wysokowydajnej obróbki mechanicznej

PODRĘCZNIK



Eugene Feldshtein, Kamil Leksycki

**WYBRANE ZAGADNIENIA
WYSOKOWYDAJNEJ
OBRÓBKI MECHANICZNEJ**

Podręcznik

Zielona Góra 2024

RADA WYDAWNICZA

Andrzej Pieczyński (*przewodniczący*), Andrzej Bisztyga, Bogumiła Burda,
Eugene Feldshtein, Beata Gabrys, Magdalena Gibas-Dorna, Jacek Korentz,
Tatiana Rongińska, Franciszek Runiec (*sekretarz*)



RECENZENCI

Anna D. Dobrzańska-Danikiewicz
Szymon Wojciechowski

REDAKCJA

Aldona Reich

KOREKTA

Ewa Popiłka

REDAKCJA TECHNICZNA

Arkadiusz Sroka

PROJEKT OKŁADKI

Marta Surudo

© Copyright by Uniwersytet Zielonogórski
Zielona Góra 2024

ISBN 978-83-7842-543-4

DOI https://doi.org/10.59444/2024MONaFel_Lek

OFICyna WYDAWNICZA UNIWERSYTETU ZIELONOGÓRSKIEGO

65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel. (68) 328 78 64
www.ow.uz.zgora.pl, sekretariat@ow.uz.zgora.pl

SPIS TREŚCI

Wstęp	5
ROZDZIAŁ 1. WYDAJNOŚĆ PRACY I CZYNNIKI NA NIĄ WPLYWAJĄCE.	9
1.1. Składowe normy czasu jednostkowego	9
1.2. Ogólne możliwości skrócenia czasów głównych	11
1.3. Ogólne możliwości skrócenia czasów pomocniczych	13
1.4. Ogólne możliwości skrócenia czasów uzupełniających	14
ROZDZIAŁ 2. ROZWÓJ MASZYN CNC DO OBRÓBK I ŚCIERNEJ.	15
2.1. Informacje ogólne	15
2.2. Obrabiarki CNC	18
2.3. Centra obróbkowe	22
2.4. Autonomiczne stacje i gniazda obróbkowe	31
2.5. Elastyczne systemy produkcyjne	44
ROZDZIAŁ 3. WYSOKOWYDAJNE NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE.	49
3.1. Płytki wymienne	49
3.2. Konstrukcje noży tokarskich	51
3.3. Wkładki nożowe	54
3.4. Współczesne konstrukcje narzędzi do obróbki otworów	56
3.5. Współczesne konstrukcje frezów	66
3.6. Współczesne konstrukcje niekonwencjonalnych wielostrzowych narzędzi skrawających	71
3.7. Rozwój konstrukcji narzędzi ściernych	80
ROZDZIAŁ 4. EFEKTYWNE OPRZYRZĄDOWANIE TECHNOLOGICZNE.	87
4.1. Współczesne konstrukcje uchwytów obróbkowych	87
4.2. Systemy mocowania narzędzi	101
ROZDZIAŁ 5. AUTOMATYZACJA POMIARÓW.	105
Podsumowanie	113
Literatura	115

WSTĘP

Znalezienie sposobów na poprawę produktywności i wydajności pracy maszyn jest jednym z najważniejszych zadań, z którymi mierzą się inżynierowie w każdym przedsiębiorstwie. Ponieważ produktywność przedsiębiorstwa decyduje o jego efektywności, należy ją dokładnie analizować, prognozować i starać się na bieżąco monitorować. Natomiast wydajność pracy jest podstawową cechą efektywności pracy przedsiębiorstwa, ponieważ pokazuje ilość produkcji lub pracy wykonanej w jednostce czasu. Można ją obliczyć dla poszczególnych działów, oddziałów i całej firmy w celu porównania ze wskaźnikami innych firm lub branż.

Podstawowymi wskaźnikami wydajności pracy w przedsiębiorstwie są wydajność produkcji i nakład pracy. Są one współzależne. Wydajność to ilość produkcji (pracy lub usług) wytworzonych w jednostce czasu. Nakład pracy to czas potrzebny do wytworzenia jednostki produkcji. Jeśli wydajność produkcji wzrasta, nakład pracy maleje. I odwrotnie, jeśli nakład pracy wzrasta, wydajność spada.

Obliczanie wskaźników wydajności pracy pomaga zidentyfikować słabe punkty procesów lub pracowników i zrozumieć, w jakim kierunku należy podążać, aby zapewnić wzrost produktywności, który prowadzi do wyższej rentowności. Rentowna firma zapewnia wiele korzyści, a mianowicie:

- jest konkurencyjna na rynku,
- pomyślnie się rozwija,
- generuje stabilne zyski.

Natomiast wydajność pracy jest bezpośrednio zależna od wielu czynników, do których należą:

- stan środków trwałych (maszyn, urządzeń itp.);
- technologie stosowane do produkcji lub procesów,
- standardy jakości zarządzania,
- atmosfera panująca w zespole,
- warunki pracy i wynagrodzenia pracowników.

Główne czynniki wzrostu wydajności pracy ogólnie można podzielić na dwie grupy: techniczno-technologiczne i organizacyjno-menedżerskie. Techniczno-technologiczne

czynniki wzrostu wydajności to wprowadzenie nowych technologii, wzrost poziomu zastosowanych maszyn i urządzeń. Techniczna i technologiczna poprawa procesów pozwala na zmniejszenie pracochłonności i zwiększenie produkcji. Ta grupa czynników jest zwykle uważana za wiodącą i determinującą pozostałe czynniki.

Produkcja przemysłowa rozwija się obecnie bardzo dynamicznie. We współczesnym świecie bardzo ważna jest właściwa jego adaptacja do aktualnie rozwijanej tzw. inteligentnej technologii. Dzięki temu producenci mogą analizować trendy zmian na podstawie gromadzonych danych, by zidentyfikować składowe procesów, które spowalniają produkcję lub w których materiały są wykorzystywane nieefektywnie, zwiększając odpady. Do przykładów inteligentnych systemów produkcyjnych można zaliczyć produkcję zintegrowaną z komputerem, wysoki poziom adaptacyjności i szybkie aktualizacje projektów, cyfrowe technologie informacyjne oraz technologie bardziej dostosowane do potrzeb szkolenia pracowników. Podstawowy schemat ogniw inteligentnej produkcji pokazano na rysunku 1.

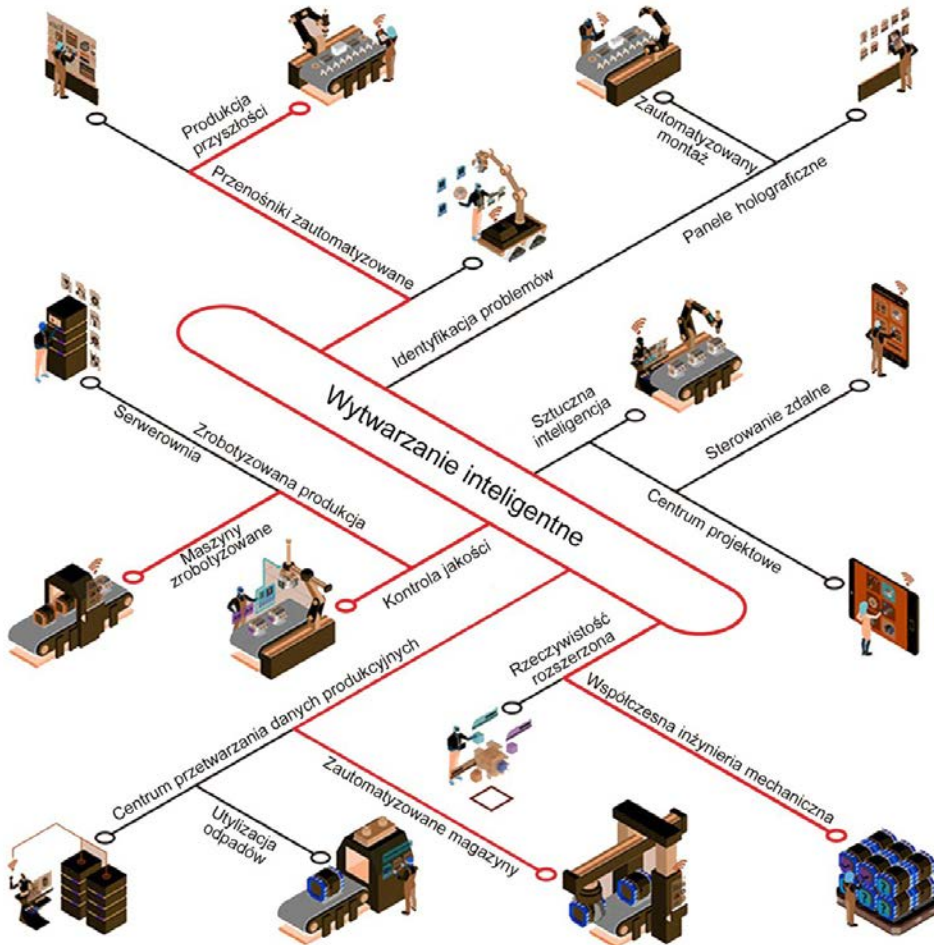
Wykorzystanie możliwości współczesnych technologii przez producentów cechuje się wieloma zaletami, a są nimi m.in. [1]:

- zwiększenie wydajności produkcji poprzez poszerzenie mocy produkcyjnych,
- eliminacja błędów ludzkich poprzez rozwój automatyzacji produkcji,
- inwestowanie w sztuczną inteligencję, która może ułatwić prognozowanie i planowanie konserwacji maszyn i urządzeń produkcyjnych,
- poprawa produktywności i oszczędzanie na utrzymaniu maszyn w ruchu, wskutek skrócenia czasu potrzebnego na naprawę lub wymianę sprzętu,
- monitorowanie użytkownika produktu końcowego i dopasowywanie go do wymagań klientów.

Jak można zauważyć, zarówno zwiększenie wydajności produkcji, jak i rozwój jej automatyzacji są kluczowymi elementami nowoczesnej produkcji przemysłowej. Wiele zadań, które wcześniej wymagało udziału człowieka, obecnie może być zautomatyzowanych dzięki nowoczesnym programom komputerowym i robotom przemysłowym. Mniejsze zaangażowanie człowieka w powtarzalne czy niebezpieczne operacje sprawia, że linia produkcyjna jest bezpieczniejsza i korzystniejsza dla przedsiębiorstwa.

Współczesne maszyny muszą gwarantować szybszą, bardziej elastyczną i wydajną pracę. Dlatego projektanci i producenci maszyn ciągle poszukują innowacyjnych sposobów na optymalizację efektywności energetycznej, ograniczenie kosztów prac projektowych oraz szybsze wprowadzanie maszyn na rynek.

Świadczą o tym aktualne wymagania stawiane obróbce mechanicznej, m.in. większa szybkość usuwania materiału, zwiększona produktywność, minimalizacja kosztów produkcji, dobre wykończenie powierzchni wyrobów, obróbka przyjazna środowisku, wysoka dokładność wymiarowo-kształtowa i wiele innych. Można wyodrębnić kierunki



Rysunek 1. Schemat zasadniczy produkcji inteligentnej (na podstawie [1])

rozwoju obróbki mechanicznej pod względem jej wydajności, produktywności i efektywności. Znanе są definicje tych cech procesu produkcyjnego, gdzie:

- wydajność jest stosunkiem ilości wytworzonego dobra do czasu potrzebnego na jego wytworzenie,
- produktywność jest stosunkiem wytworzonej ilości dobra do użytych zasobów lub stosunkiem ilości wytworzonej oraz sprzedanej produkcji w określonym i rozpatrywanym okresie do ilości wykorzystywanych lub zużytych zasobów wejściowych,
- efektywność jest rezultatem podjętych działań, czyli relacją osiągniętych efektów do poniesionych nakładów, przy czym efekt odnosi się nie tylko do ilości, ale również do jakości produkcji.

Wymienione wyżej aspekty produkcji w pewnych warunkach nie są w stanie spełnić oczekiwania przemysłu XXI wieku, do których należą efektywna obróbka komponentów lub części samolotów i pocisków raketowych, samochodów, statków nadwodnych i podwodnych, mikro- i nanowyróbów, które są produkowane ze stopów lekkich, tytanu i jego stopów, stali hartowanych, stopów chromowo-niklowych itp.

W niniejszym opracowaniu Autorzy przedstawili aktualne trendy rozwoju obróbki skrawaniem i obróbki ściernej, wskazując na konieczność rozpatrzenia w przyszłości zastosowania nowoczesnych technologii, do których zalicza się przede wszystkim obróbkę z dużymi prędkościami, obróbkę wysokowydajną, obróbkę ekologiczną, obróbkę kompletną i inne.

WYDAJNOŚĆ PRACY I CZYNNIKI NA NIĄ WPŁYWAJĄCE

Przez wydajność pracy rozumie się efektywność pracy robotnika, tj. wielkość produkcji na jedną zatrudnioną osobę lub na ustaloną jednostkę czasu (np. roboczogodzinę). W przemyśle do obliczenia wydajności pracy często bierze się pod uwagę także produkcję sprzedaną, która uwzględnia zużyte surowce, materiały itp. Poziom wydajności pracy zależy od technicznego uzbrojenia stanowiska pracy, kwalifikacji pracowników i ich motywacji, warunków naturalnych, organizacji i warunków pracy, warunków bytowych, stosunków społecznych w przedsiębiorstwie. Czynniki te są ściśle ze sobą powiązane i pozytywne efekty uzyskane dzięki jednemu mogą być zmniejszone, a nawet zniwelowane przez niewłaściwe wykorzystanie innych.

Wyróżnia się następujące czynniki wpływające na wydajność pracy:

- kapitał fizyczny – inwestycje w zakup nowego wyposażenia, sprzętu, nieruchomości, a także postępowania w celu poprawy warunków pracy,
- postęp techniczny, tj. lepszy, nowy sprzęt czy oprogramowanie pozwalające na zwiększanie wydajności pracy,
- kapitał ludzki – szkolenia, kursy zawodowe, system premiowy.

Wydajność pracy określa się najczęściej stosunkiem wytworzonego produktu (sztuki, jednostki waluty) do kosztów pracy (jednostki waluty). Można zatem obliczyć indywidualny wskaźnik wydajności pracy przypadającej na jednego zatrudnionego pracownika lub na zespół pracowników. Uzyskane wyniki jasno wskażą, co należałoby poprawić. Zwiększenie wydajności pracy pracownika oraz przedsiębiorstwa może wymagać nowych inwestycji, zmiany zatrudnienia, a nawet bardziej szczegółowej kontroli pracy zespołu. Od stałego wzrostu wydajności pracy, czyli wysokości produkcji określonych dóbr w jednostce czasu zależy pozycja firmy na rynku, jej konkurencyjność i sukces. Oznacza to, że każda inwestycja prowadząca do podniesienia tego wskaźnika ma sens, jeśli tylko zostanie starannie przemyślana i wdrożona.

1.1. Składowe normy czasu jednostkowego

Z powyższych rozważań wynika, że, pomijając kwestię inwestycji, wydajność zależy od poziomu technicznego sprzętu oraz kapitału ludzkiego. Wydajność można określić

na podstawie normy czasu. Jest to czas niezbędny do realizacji określonego zakresu prac w danych warunkach techniczno-organizacyjnych z uwzględnieniem określonej liczby wykonawców o odpowiednich kwalifikacjach. Normę czasu jednostkowego, tj. przypadającego na jeden wyrób, można wyrazić wzorem:

$$t = \frac{t_{p.-z.}}{N} + t_j \quad (1.1)$$

gdzie $t_{p.-z.}$ – czas przygotowawczo-zakończeniowy, N – liczba przedmiotów w serii, wykonywanych przy jednym nastawieniu obrabiarki, t_j – czas jednostkowy wykonania.

Czas przygotowawczo-zakończeniowy związany jest z przygotowaniem do wykonania operacji technologicznej oraz z jej zakończeniem i występuje tylko jeden raz na całą serię produkowanych wyrobów. W jego zakres wchodzi takie czynności, jak zapoznanie się z rysunkiem i dokumentacją technologiczną niezbędną do wykonania danej operacji, pobranie oprzyrządowania normalnego i specjalnego, zgodnie z wykazem w dokumentacji technologicznej oraz uzbrojenie obrabiarki. Po zrealizowaniu określonej liczby wyrobów w zakres tego czasu wchodzi: rozbrojenie obrabiarki, zwrot oprzyrządowania oraz przekazanie wyprodukowanych wyrobów. Czas przygotowawczo-zakończeniowy jest zależny od konstrukcji obrabiarki. Im bardziej skomplikowana jest obrabiarka, tym jest on dłuższy.

W normie czasu, jak to wynika ze wzoru (1.1), czas przygotowawczo-zakończeniowy dzieli się przez liczbę przedmiotów wykonywanych w danej serii. Im jest ona większa, tym mniejszą rolę odgrywa ten czas w ogólnej normie czasu.

Czas jednostkowy t_j jest czasem niezbędnym do wykonania jednej sztuki wyrobu i stanowi sumę czasu wykonania t_w oraz czasu uzupełniającego t_u . Czas wykonania t_w jest to czas realizacji czynności bezpośrednio związanych z daną operacją, tj. suma czasu głównego t_g i czasu pomocniczego t_p .

Czas główny jest to czas, w którym następują zmiany kształtu, wymiaru oraz właściwości przedmiotu obrabianego, w przypadku zaś montażu jest to czas wzajemnego usytuowania i połączenia części wyrobu. Zmiana kształtu i wymiaru może nastąpić w wyniku obróbki: skrawaniem, ściernej, plastycznej itd. Zmiana właściwości wykonywanego elementu zachodzi np. w wyniku obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej.

Czas pomocniczy jest czasem umożliwiającym wykonanie pracy podstawowej stanowiącej cel operacji. Do najważniejszych czynności wchodzących w jego zakres wchodzi: mocowanie i zwolnienie przedmiotu obrabianego, jego przemieszczenia, włączenie i wyłączenie maszyny technologicznej, przemieszczenia narzędzi, włączenie posuwu, czasy szybkich ruchów, czasy realizacji pomiarów itd.

Czas uzupełniający jest sumą czasu potrzebnego na obsługę stanowiska roboczego i czasu na potrzeby fizjologiczne pracownika. Czas obsługi jest związany z organizacją

i utrzymaniem zdolności stanowiska roboczego do ciągłej pracy. Czas ten obejmuje czas obsługi technicznej i czas obsługi organizacyjnej.

Czas obsługi technicznej jest czasem przeznaczonym na utrzymanie pełnej sprawności wyposażenia technologicznego: wymiana narzędzi, usuwanie wiórów itp. Natomiast **czas obsługi organizacyjnej** jest przeznaczony na czynności związane z organizacją pracy na stanowisku, utrzymaniem czystości i trwałej zdolności roboczej stanowiska. Jest to czas zazwyczaj wykorzystywany na początku i końcu każdej zmiany.

Czas na potrzeby fizjologiczne pracownika składa się z czasu odpoczynku i czasu na potrzeby naturalne. W warunkach elastycznej skomputeryzowanej produkcji czasy te z wielu powodów nie są uwzględniane. Tak więc wzrost wydajności produkcji można zapewnić poprzez skrócenie czasu głównego, czasów pomocniczych oraz czasów obsługi technicznej i obsługi organizacyjnej.

1.2. Ogólne możliwości skrócenia czasów głównych

Jak ukazano wyżej, w obróbce mechanicznej czas główny jest to czas, w którym następują zmiany kształtu, wymiarów, właściwości przedmiotu obrabianego. Dla pojedynczego przejścia czas ten można określić na podstawie wzoru:

$$t_g = \frac{l_{r,r} + l_d + l_w}{f_o n_c}, \quad (1.2)$$

gdzie $l_{r,r}$ – długość ruchu roboczego, l_d – czas dobiegu narzędzia do przedmiotu, l_w – czas wybiegu narzędzia poza powierzchnię obrobioną, f_o – posuw na obrót, n_c – liczba obrotów wrzeciona.

W przypadku usunięcia właściwego naddatku za kilka przejść niezbędny do obróbki całkowity czas główny t_g^{Σ} wynosi:

$$t_g^{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{l_{r,r} + l_d + l_w}{f_o n_c} \right) \frac{\Delta}{\delta} \quad (1.3)$$

gdzie m – liczba przejść, Δ – naddatek całkowity, δ – naddatek na przejście.

Wzór (1.3) jeszcze bardziej się komplikuje, jeśli uwzględnimy podział naddatku całkowitego na część zgrubną i wykończeniową, ponieważ np. przy obróbce powierzchni kształtowej wartości $l_{r,r}$ dla każdego przejścia mogą być inne.

Stąd można wytypować następujące kierunki zmniejszenia wartości czasu głównego (przyjmując, że długość ruchu roboczego jest wartością stałą):

- starać się o minimalny naddatek całkowity, stosując właściwe technologie produkcji półfabrykatów (odlewanie kokilowe, odlewanie pod ciśnieniem itp.; precyzyjne kucie na zimno lub na gorąco; technologie metalurgii proszków, ewentualnie technologie przyrostowe),
- usuwać naddatek całkowity, stosując minimalną liczbę przejść, najlepiej jedno zgrubne i jedno wykończeniowe przy właściwym doborze narzędzi skrawających i zapewnieniu niezbędnej mocy maszyny technologicznej,
- zmniejszać wartości dobiegu l_d i wybiegu l_w . Jest to możliwe przy wyborze właściwej konstrukcji narzędzi. Na przykład przy frezowaniu powierzchni płaskich wartość:

$$(l_d + l_w) = D_f + \frac{\delta}{\operatorname{tg}\kappa_r} + (0,5 \div 1) \text{mm} \quad (1.4)$$

gdzie D_f – średnica frezu, δ – wartość naddatku, κ_r – główny kąt przystawienia.

Dobierając niewielką średnicę frezu, stosując frez palcowy zamiast czołowego i kąt przystawienia $\sim 90^\circ$, można znacząco wpływać na wartość $(l_d + l_w)$. Inną możliwością zapewnioną wdrożeniem maszyn CNC jest zastąpienie frezowania struganiem; w tym przypadku $(l_d + l_w) = (1 - 2) \text{ mm}$, charakterystyczne zaś w struganiu jałowe ruchy zwrotne są wyeliminowane (rys. 1.1 i 1.2). Oprócz tego można:

- wykorzystać maksymalnie możliwą prędkość skrawania, a co za tym idzie, prędkość obrotową n_c . Można to osiągnąć, dobierając właściwy materiał ostrza, konstrukcję narzędzia i kąty ostrza, powłokę przeciwzużyciową narzędzia, warunki chłodzenie strefy skrawania itd.,
- zastosować maksymalnie możliwy posuw, dobierając narzędzia o dużej sztywności i wytrzymałości przy zapewnieniu niezbędnej mocy maszyny technologicznej.



Rysunek 1.1. Struganie dwukierunkowe szyn kolejowych na maszynie CNC – ruch do przodu



Rysunek 1.2. Struganie dwukierunkowe szyn kolejowych na maszynie CNC – ruch zwrotny

1.3. Ogólne możliwości skrócenia czasów pomocniczych

Czasy pomocnicze umożliwiają obróbkę każdego przedmiotu wskutek cyklicznie realizowanych czynności. Najważniejsze z nich wraz z możliwościami skrócenia wartości przedstawiono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Składowe czasów pomocniczych oraz możliwości ich skrócenia

Składowe czasów pomocniczych	Możliwości ich skrócenia
Czasy włączenia i wyłączenia maszyny technologicznej	W warunkach stosowania maszyn ze sterowaniem ręcznym – mechanizacja i automatyzacja właściwych układów maszyny. W przypadku maszyn CNC – zadane przez producenta maszyny
Czasy niezbędne do mocowania i zwolnienia przedmiotu	W warunkach maszyn ze sterowaniem ręcznym – mechanizacja i automatyzacja uchwytów technologicznych. W przypadku maszyn CNC – zadane przez producenta maszyny; skrócenie jest możliwe na drodze zamiany konstrukcji uchwytu, wykorzystania robota przyobrobarkowego; wykorzystania palet ze wstępnie zamocowanym wyrobem
Szybkie przemieszczenia półfabrykatu lub zespołów maszyny	Przy sterowaniu ręcznym zależy od konstrukcji maszyny. W przypadku maszyn CNC – wykorzystanie silników liniowych i liniowo-obrotowych
Cykliczne wymiany narzędzi	Przy sterowaniu ręcznym zależy od konstrukcji maszyny. W przypadku maszyn CNC skrócenie czasu następuje wskutek zwiększania prędkości wymiany, czemu służy zastosowanie nowych konstrukcji magazynów narzędziowych, zmniejszenie masy narzędzia itp.
Czasy realizacji pomiarów	W przypadku maszyn ze sterowaniem ręcznym zastosowanie specjalnych narzędzi pomiarowych. W przypadku maszyn CNC bieżąca kontrola podczas pracy przy zastosowaniu czujników stykowych i bezstykowych, zastosowanie robotów pomiarowych, ramion pomiarowych, centrów pomiarowych; przeniesienie pomiarów do obszaru kontroli jakości z zastosowaniem współrzędnościowych maszyn pomiarowych

1.4. Ogólne możliwości skrócenia czasów uzupełniających

Czasy uzupełniające są nazywane także: jako tzw. pozacyklowe straty czasu. Te składowe czasu jednostkowego można podzielić na pięć rodzajów:

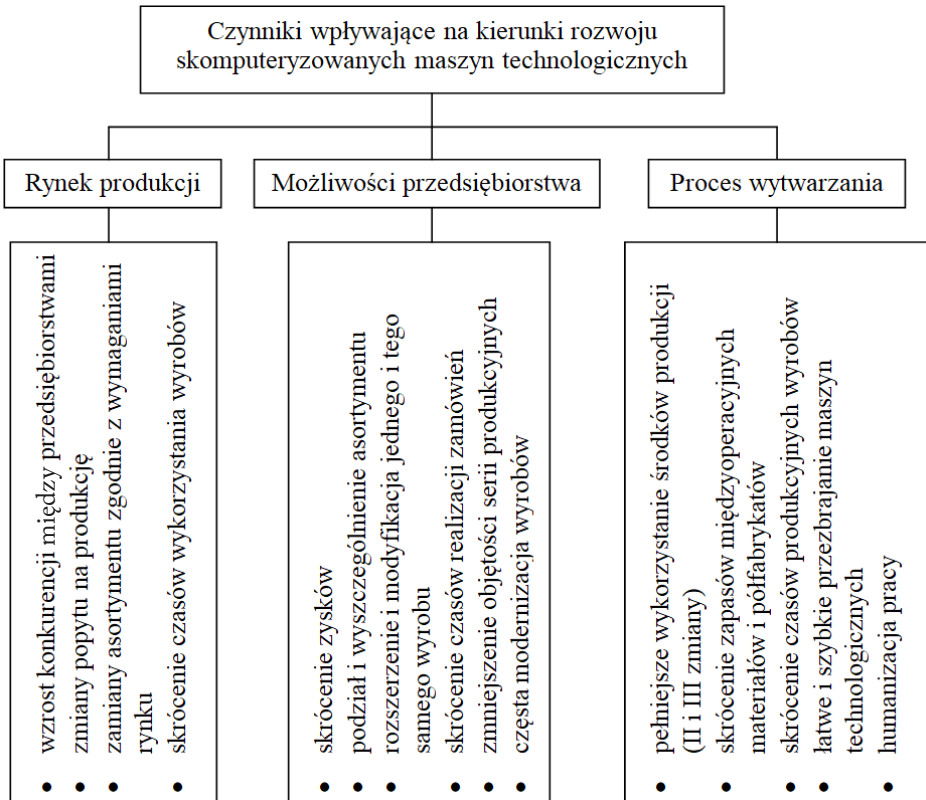
1. Straty czasu spowodowane przestojami w pracy narzędzi. Do tych przestojów zalicza się czas bezczynności maszyny technologicznej z powodu niesprawności narzędzi; czasy na wymiany i regulacje narzędzi, czasy na pobieranie narzędzi z magazynu, czas oczekiwania na pracownika nastawiającego narzędzia itp.
2. Straty czasu spowodowane przestojami w pracy maszyny technologicznej. Maszyna będzie nieczynna, ponieważ niektóre jej mechanizmy i urządzenia są niesprawne z powodu awarii, złego funkcjonowania, straty nastawienia, zanieczyszczenia cieczy chodząco-smarującej itp. Czas przestoju maszyn obejmuje czasy na naprawę i regulację urządzeń, na wymianę zużytych części i zespołów, uzyskanie części zamiennych, oczekiwanie na pracowników działu utrzymania ruchu itp.
3. Przestoje podczas przezbrajania maszyny na obróbkę nowych części, gdy wymieniane jest oprogramowanie, narzędzia, uchwyty, urządzenia kontrolne itp. Są to czasy przygotowawczo-zakończeniowe.
4. Przestoje z przyczyn organizacyjnych. Powstają one, gdy maszyna technologiczna wyposażona we właściwe mechanizmy i narzędzia jest sprawna, ale nie zostały zapewnione zewnętrzne warunki do jej skutecznego działania: brak półfabrykatów, brak energii elektrycznej, niepunktualne przyjscie i odejscie personelu, czasy sprzątania maszyn itp.
5. Przestoje z powodu wadliwej produkcji występują w sytuacji, gdy narzędzia i maszyny są sprawne, ale wynik pracy nie spełnia wymagań jakościowych. Dlatego czas ten musi być zaliczany do czasów przestojów.

Analizując aktualny stan rzeczy, można stwierdzić, że w warunkach produkcji skomputeryzowanej większość czasów uzupełniających może zostać wyeliminowana lub znacząco skrócona. Na przykład współczesna gospodarka narzędziowa przewiduje dostarczanie gotowych do użytku zestawów „narzędzie-uchwyt narzędziowy” bezpośrednio do magazynów narzędzi równoległe z trwającym cyklem obróbki. Stan maszyny technologicznej może być kontrolowany na bieżąco przez czujniki systemu monitoringu z przekazaniem informacji zarówno do operatora maszyny, jak i działu utrzymania ruchu. Brakowi półfabrykatów można zapobiec poprzez zastosowanie magazynów przyobrobarkowych. Problemy pracowników od dawna są zminimalizowane poprzez kompletną automatyzację wytwarzania.

ROZWÓJ MASZYN CNC DO OBRÓBK WIÓROWEJ I ŚCIERNEJ

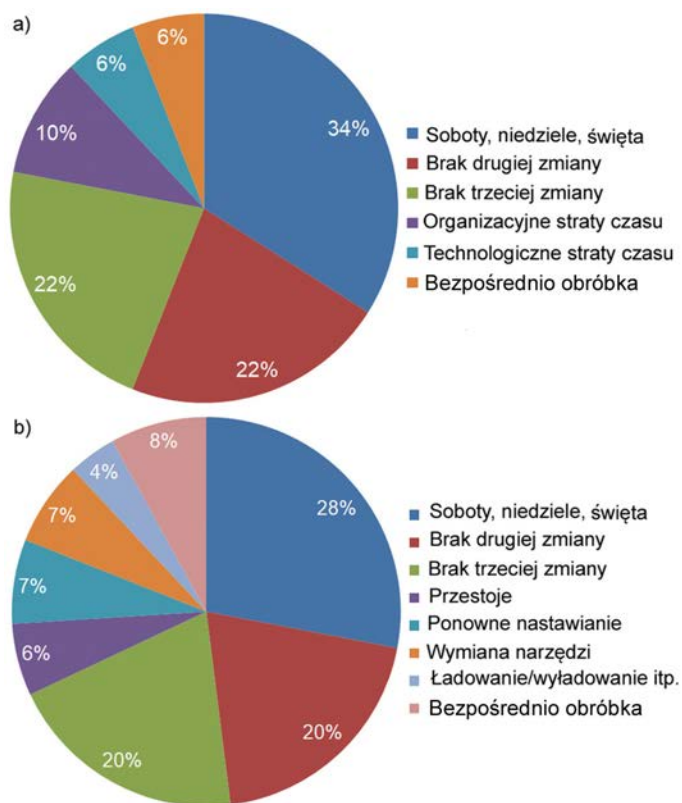
2.1. Informacje ogólne

Rozwój maszyn technologicznych uzależniony jest od trzech zasadniczych czynników: technicznych, ekonomicznych i społecznych. Dwa ostatnie są powiązane z sytuacją polityczną i stanem gospodarki kraju, zachodzącymi zmianami socjalno-ekonomicznymi, podczas gdy pierwsza grupa związana jest z poziomem wykorzystywanych środków produkcyjnych, technologii i organizacji produkcji. Bardziej szczegółowo czynniki wpływające na kierunki rozwoju skomputeryzowanych maszyn technologicznych przedstawia rysunek 2.1.



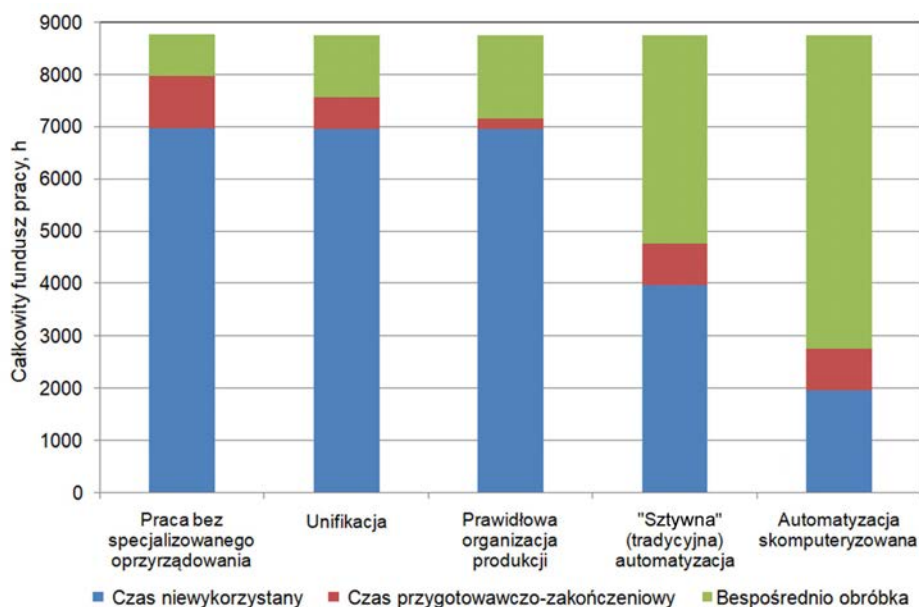
Rysunek 2.1. Czynniki wpływające na rozwój skomputeryzowanych maszyn technologicznych

W jednostkowym czasie całkowitym obróbki elementów maszyn z zastosowaniem tradycyjnych technologii udział czasu głównego wynosi ok. 30%, natomiast pozostała część to czasy pomocnicze, przygotowawczo-zakończeniowe i inne. Jeszcze bardziej zauważalne są udziały poszczególnych składników w ciągu dłuższego czasu, np. roku (rys. 2.2).



Rysunek 2.2. Wykorzystanie rocznego czasu pracy obrabiarek ze sterowaniem ręcznym: (a) tokarek, (b) frezarek (wg [2])

Tak więc efektywny czas obróbki z czynnym udziałem operatora wynosi mniej niż 6-10% rocznego czasu pracy. Właśnie tak duże liczby spowodowały w swoim czasie szerokie rozpowszechnienie stanowisk zautomatyzowanych, co potwierdza rysunek 2.3.

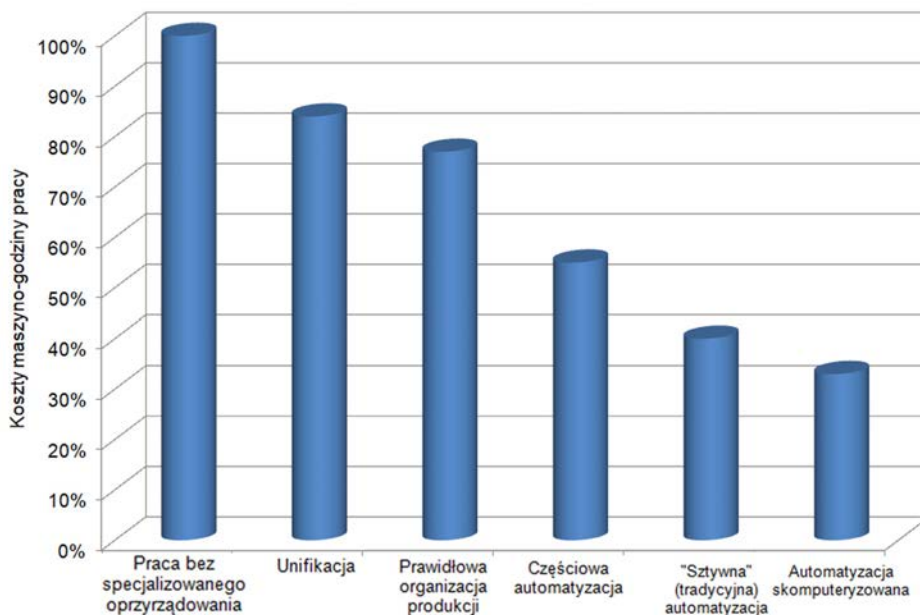


Rysunek 2.3. Całkowity roczny fundusz pracy obrabiarek CNC o różnych zasadach automatyzacji (wg [3])

Rysunek 2.3. przedstawia 5 różnych możliwości automatyzacji pozwalających na skrócenie czasu obróbki, tj. zwiększenie wydajności pracy maszyn:

- bez wykorzystania dodatkowego oprzyrządowania – obrabiarki CNC obsługiwane przez operatorów bez połączenia systemem transportowym, zasobnikami przedmiotów i z wykorzystaniem różnych systemów mocowania przedmiotów,
- unifikacja, tj. wykorzystanie tego samego sposobu mocowania przedmiotów na wszystkich obrabiarkach w ciągu cyklu obróbki (stosowanie uniwersalnych uchwytów, zastosowanie palet itp.),
- mocowanie przedmiotów w uchwytach poza obrabiarką z wykorzystaniem właściwego układu współrzędnych i wprowadzanie na bieżąco korekt w programie obróbkowym; sposób mocowania przedmiotów na paletach i ich transportowanie zapewnia prawie bezbłędne usytuowanie przedmiotu w trakcie obróbki,
- automatyzacja „klasyczna”, tj. automatyczna wymiana narzędzi skrawających i wymiana palet przez operatora lub automatyczna wymiana narzędzi skrawających i wymiana palet manipulatorem,
- automatyzacja elastyczna (skomputeryzowana), tj. wymiana narzędzi skrawających i palet robotem przemysłowym.

Zwiększeniu czasu efektywnego wykorzystania maszyn towarzyszy zmniejszenie kosztów tzw. maszynogodziny ich pracy, co przedstawia rysunek 2.4.



Rysunek 2.4. Koszty maszynogodziny pracy w zależności od poziomu automatyzacji (wg [3])

Jak można zauważyć, automatyzacja elastyczna zapewnia znaczące zmniejszenie kosztów maszynogodziny pracy.

2.2. Obrabiarki CNC

Obrabiarki CNC (ang. *Computerized Numerical Control*) to urządzenia do wykonywania przedmiotów z różnych materiałów. Obecnie odgrywają bardzo ważną rolę w rozwoju przemysłu. Wyróżniamy 4 etapy rozwoju maszyn CNC. Pierwszy etap dotyczy wykorzystania maszyn pojedynczych. Do ich podstawowych cech należą przede wszystkim samodzielność pracy, ręczna wymiana przedmiotów, intensywne prace operatora. Obszar zastosowania tego typu maszyn to produkcja jednostkowa i małoseryjna. Zazwyczaj do obróbki dostępna jest ograniczona liczba narzędzi, która w obróbce wiórowej wynosi maksymalnie 8-12 szt.

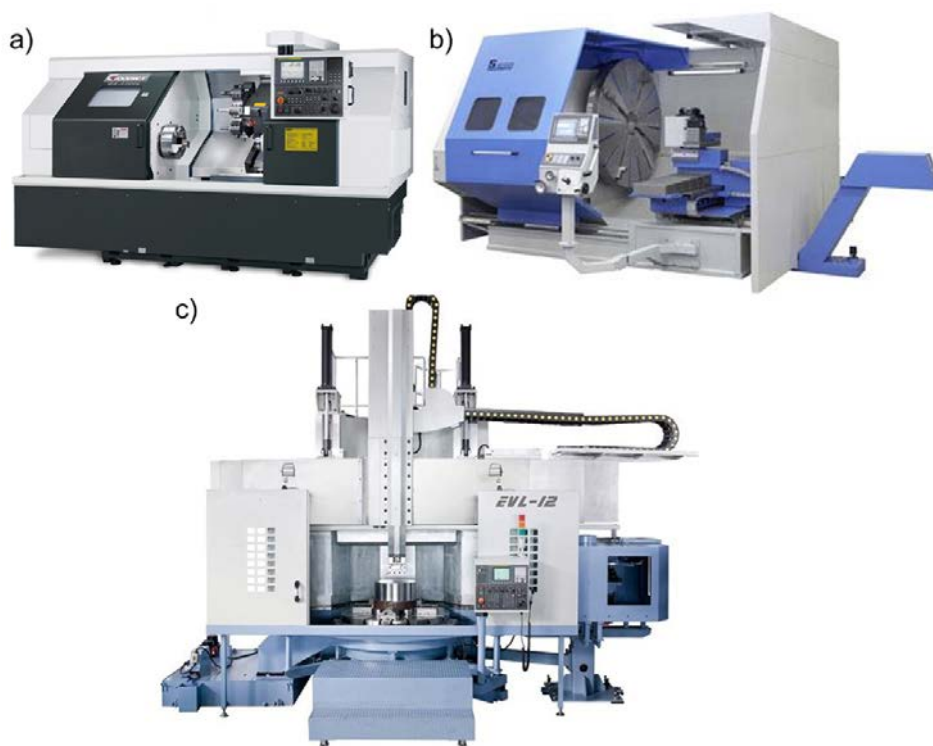
W tej grupie maszyn CNC można wyróżnić kilka podgrup, przede wszystkim tokarki, frezarki, frezarko-wytaczarki lub szlifierki. Tokarki CNC służą głównie do obróbki

przedmiotów obrotowo-symetrycznych, gdy oprócz różnych operacji toczenia wykonuje się również wiercenie, rozwiercanie, gwintowanie powierzchni położonych na osi przedmiotu. Układy i budowa tych maszyn są podobne do tradycyjnych tokarek, gdzie przedmiot obrabiany jest zamocowany w obracającym się uchwycie, a posuwy wykonują narzędzia skrawające zamocowane w imaku narzędziowym lub w głowicy rewolwerowej.

Do podstawowych cech nowoczesnych tokarek CNC należą:

- szybkie przezbrajanie i nastawianie maszyny na obróbkę nowych części. Ten wymóg jest osiągnięty przez łatwą dostępność dla pracownika i łatwą obsługę techniczną. W przypadku ręcznej wymiany przedmiotów i narzędzi zapewnia się także łatwy dostęp do nich. Nastawianie i obsługa techniczna nie wymagają długiego szkolenia,
- zwiększona produktywność obróbki wynikająca ze znacznie wyższych prędkości roboczych i nastawczych, zastosowania napędów o dużej mocy, a w konsekwencji krótszych czasów cyklu.

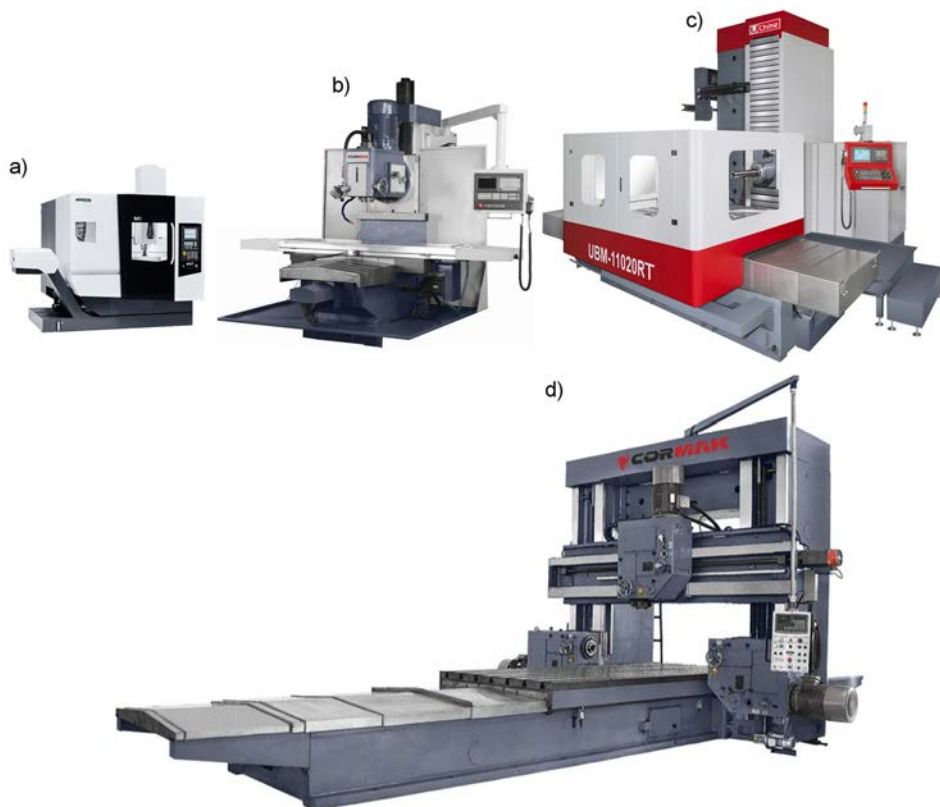
Najbardziej rozpowszechnione tokarki CNC pokazano na rysunku 2.5.



Rysunek 2.5. Typowe konstrukcje tokarek CNC: (a) tokarka kłowa, (b) tokarka uchwytna (tarczowa), (c) tokarka karuzelowa

Dostępność na tokarkach CNC tylko dwóch osi sterowania (X i Z) znacząco obniża ich efektywność, ponieważ większość wyrobów oprócz różnych operacji tokarskich wymaga również wiercenia, rozwiercania, gwintowania, frezowania powierzchni wzajemnie prostopadłych, nachylonych, mimośrodowych do osi przedmiotu obrabianego, itp. Z tego powodu opracowano centra tokarskie CNC z kilkoma osiami sterowania.

Z wielu konstrukcji frezarek CNC najczęściej są stosowane frezarki wspornikowe, bezwspornikowe, frezarko-wytaczarki oraz frezarki wzdłużne różnych typów (rys. 2.6). Obszary ich zastosowania obejmują obróbkę m.in. korpusów, płyt, trójwymiarowych brył o skomplikowanych kształtach itp. Maszyny te posiadają tylko 3 osie sterowania (X, Y, Z) i wyposażone są w niewielki magazyn narzędziowy liczący parędziesiąt sztuk. Te cechy negatywnie wpływają na wydajność obróbki i spowodowały znaczący rozwój konstrukcji maszyn, co skutkowało pojawieniem się centrów obróbkowych CNC.



Rysunek 2.6. Typowe konstrukcje frezarek CNC: a) frezarka wspornikowa, b) frezarka bezwspornikowa, c) frezarko-wytaczarka, d) frezarka wzdłużna

Dość szerokie zastosowanie mają także szlifierki CNC wykorzystywane do obróbki powierzchni obrotowych zewnętrznych i wewnętrznych oraz płaskich (rys. 2.7).



Rysunek 2.7. Przykłady wykorzystania szlifierek CNC: (a) szlifowanie wałów, (b) szlifowanie otworów, (c) szlifowanie płaszczyzn, d) szlifowanie długiego wału z zastosowaniem podtrzymki, (e) i (f) mocowanie pierścieni, odpowiednio: bezuchwytowe i uchwyty, (g) strefa szlifowania powierzchni płaskiej, (h) profilowanie ściernicą rolką diamentową

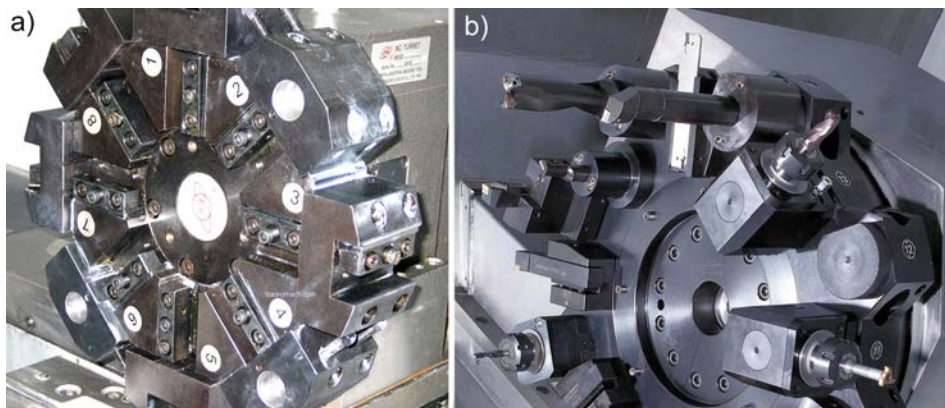
2.3. Centra obróbkowe

Z analizy konstrukcji części obrotowo-symetrycznych wynika, że ponad 80% z nich oprócz prostych powierzchni walcowych, stożkowych i czołowych posiada także proste i spiralne rowki i występy, płaskie powierzchnie rozmieszczone w dowolny sposób w przestrzeni, kieszenie, głębokie otwory itp. W związku z tym, w konstrukcji tokarek CNC zaszły poważne zmiany, a maszyny te nazwano centrami obróbkowymi lub też obrabiarkami wielozadaniowymi.

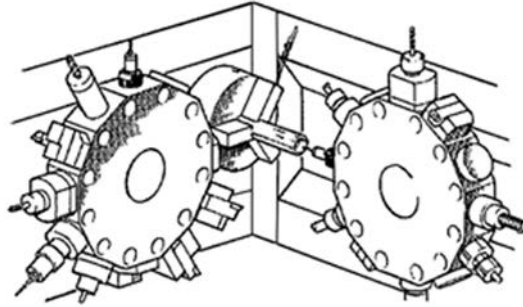
Do ich podstawowych cech należą duża częstość zmian przedmiotów oraz warsztatowa organizacja pracy, gdyż są skumulowane, co ułatwia warunki ich szeroko pojętej eksploatacji (nastawianie narzędzi, regulowanie, szybkość dostawy narzędzi i przedmiotów z magazynu zakładowego, opracowanie programów obróbki itd.). Maszyny te są najbardziej opłacalne przy wielokrotnej powtarzalności produkcji w roku, tj. w warunkach produkcji mało- i średnioseryjnej.

Współczesne centra obróbkowe cechują się następującymi szczegółami:

1. Oprócz zamocowanych w głowicy rewolwerowej (rys. 2.8a) tradycyjnych narzędzi nieruchomych głowice mogą być wyposażone w narzędzia o niezależnym ruchu obrotowym równoległym, prostopadłym lub nachylonym do osi przedmiotu obrabianego (rys. 2.8b). Głowice te zapewniają krótki czas wymiany narzędzia w pozycji roboczej, mają stosunkowo małe wymiary i mogą mieć oś obrotową równoległą (najczęściej) lub prostopadłą do osi przedmiotu obrabianego (rys. 2.9).



Rysunek 2.8. Głowice rewolwerowe z (a) nieruchomymi i (b) ruchomymi (napędzanymi) narzędziami

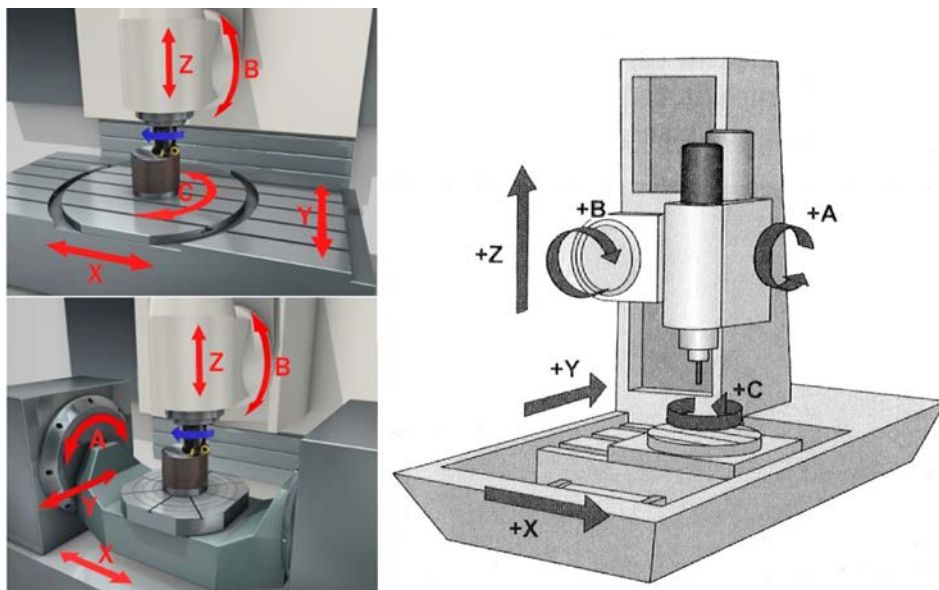


Rysunek 2.9. Możliwe usytuowania osi głowicy rewolwerowej względem osi przedmiotu obrabianego [4]

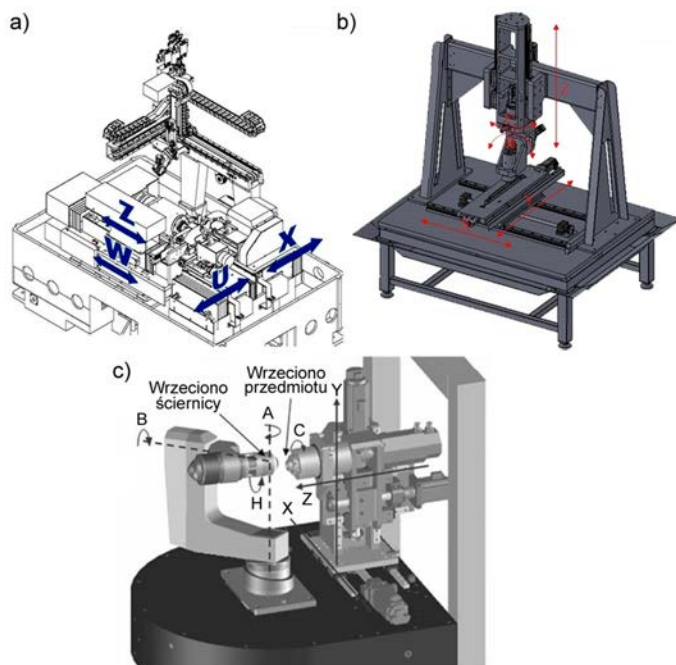
2. Połączenie szeregu ruchów wymaga wprowadzenia dodatkowych osi sterowania w układzie kinematycznym maszyny CNC. Oś sterowania centrów obróbkowych różnego przeznaczenia pokazano na rysunkach 2.10-2.12.



Rysunek 2.10. Oś sterowania tokarskich centrów obróbkowych

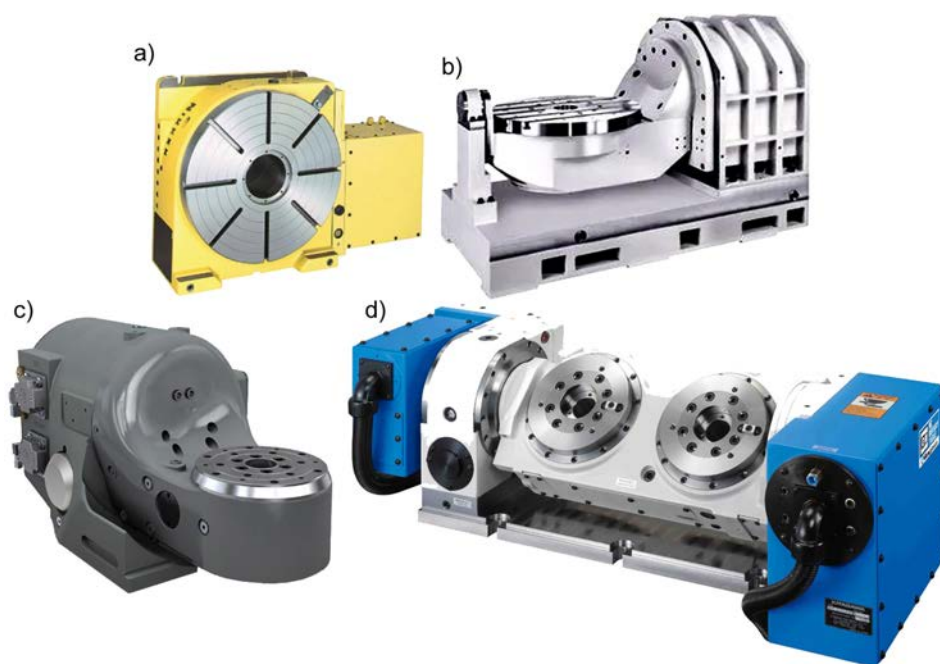


Rysunek 2.11. Osie sterowania frezarskich centrów obróbkowych



Rysunek 2.12. Osie sterowania szlifierskich centrów obróbkowych do kształtowania powierzchni (a) wałów, (b) powierzchni płaskich oraz (c) ostrzenia narzędzi

1. Możliwość obróbki wielostronnej (4, 5, a nawet 6 stron) przy wykorzystaniu stołów podziałowych obrotowych i uchylno-obrotowych CNC (rys. 2.13).
2. Rozszerzona pamięć programów technologicznych (znacznie ponad 100 programów w porównaniu z kilkunastoma w przypadku obrabiarek CNC).
3. Wykorzystanie zespołu do automatycznej wymiany narzędzi (magazyn z nastawionymi na wymiar zestawami „narzędzie skrawające – uchwyt narzędziowy” oraz urządzenia do ich wymiany w trakcie obróbki).
4. Modernizacja układów napędów głównych zapewniających zwiększenie tradycyjnych prędkości obrotowych z wartości 8000-15 000 obr./min do wartości osiągających 100 000 obr./min.
5. Modernizacja układów napędów posuwów zapewniająca zamianę tradycyjnych silników prądu stałego i zmiennego na silniki liniowe, w których posuwy robocze sięgają ponad 40 m/min, szybkie ruchy zaś ponad 100 m/min.
6. Zwiększenie dokładności obróbki dzięki zastosowaniu nowych układów sterowania, zwiększeniu dokładności pozycjonowania podzespołów maszyn CNC do $\pm 0,001$ mm, zwiększeniu dokładności pozycjonowania palet z przedmiotami obrabianymi do $\pm 0,002$ mm.



Rysunek 2.13. Stoły CNC podziałowe obrotowe i uchylno-obrotowe różnych firm:
(a) Nikken, (b) Detron, (c) Haas, (d) Kitagawa (dwuwrzecionowy)

Współczesne centra szlifierskie CNC względem szlifierek tradycyjnych wyróżniają się następującymi cechami:

1. Wszystkie ruchy liniowe są realizowane z użyciem par tocznych i silników prądu stałego.
2. Maszyny są wyposażone w zespoły do obciągania ściernic sterowanych układem CNC z użyciem obciągaczy diamentowych jednoziarnistych lub rolkowych.
3. Zastosowanie czujników ultradźwiękowych w celu precyzyjnego podejścia ściernicy do przedmiotu po szybkim jej przemieszczeniu. Długość trasy takiego podejścia do rozpoczęcia posuwu roboczego wynosi $0,25 \mu\text{m}$.
4. Wykorzystanie dynamicznego wyważania ściernic wspólnie z oprawą oraz układów pomiarowych i kontrolnych. Eliminuje to wpływ na proces obróbki takich czynników jak zużycie ściernicy, drgania, odkształcenia termiczne i mechaniczne elementów maszyny CNC itp. oraz zapewnia wymaganą dokładność obróbki i chropowatość powierzchni obrabianej.
5. Rozszerzenie zakresu trybów szlifowania, co umożliwia stosowanie różnych rodzajów szlifowania w tym samym cyklu obróbkowym – od szlifowania zgrubnego do precyzyjnego.
6. Obecność magazynów na ściernice szlifierskie oraz urządzeń do ich obciągania.

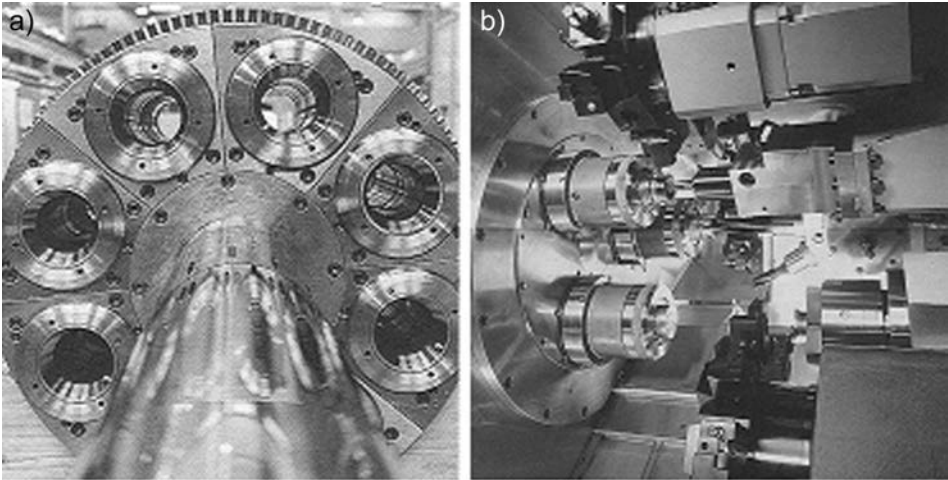
Jednocześnie z głównymi trendami rozwoju centrów obróbkowych CNC można wymienić także opcję rozszerzenia ich możliwości technologicznych poprzez m.in.:

- zainstalowanie wraz z jedną lub dwiema głowicami rewolwerowymi suportów poprzecznych dla noży i narzędzi osiowych w pobliżu każdego wrzeciona tokarskiego (rys. 2.14);



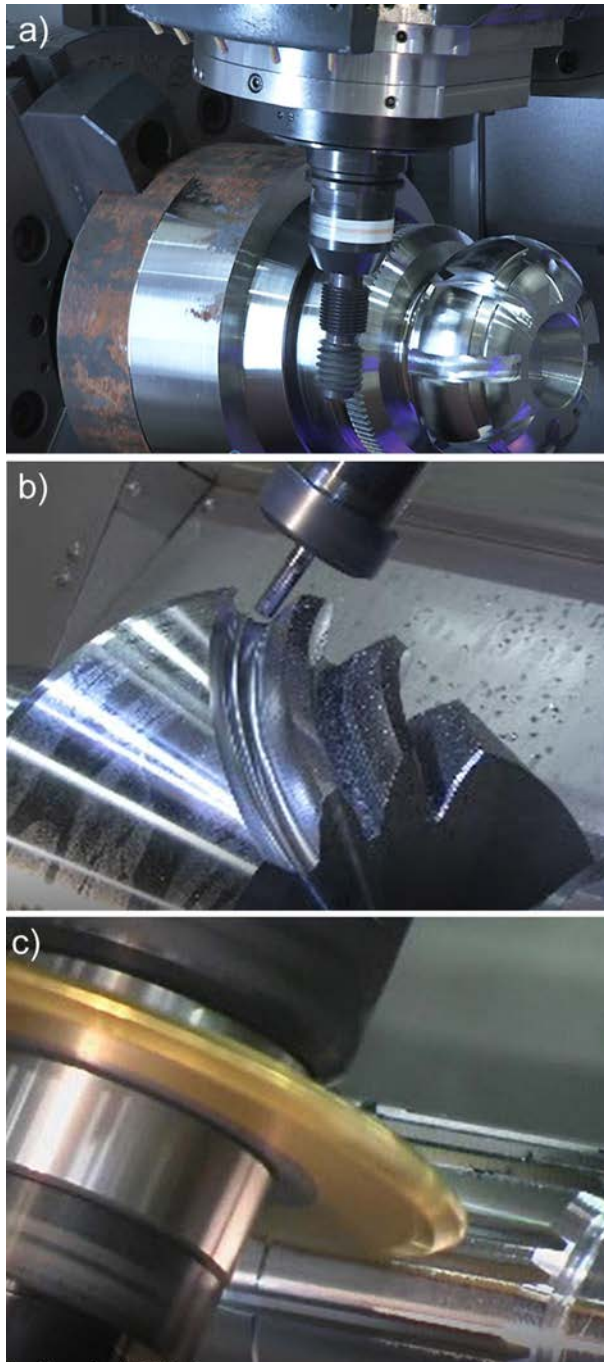
Rysunek 2.14. Suporty poprzeczne centrum tokarskiego prętowego (DMG MORI)

- zastosowanie dodatkowego uchwyty przechwytyjącego (pomocniczego) (rys. 2.10);
- wprowadzenie w układ maszyny CNC, zamiast jednego, od 4 do 6 wrzecion na przedmioty obrabiane, z możliwością obracania bębna z wrzecionami na stały kąt (rys. 2.15); takie podejście umożliwia zastosowanie maszyn CNC w produkcji wielkoseryjnej i masowej, a czas przygotowawczo-zakończeniowy jest w tym przypadku 4 do 5 razy krótszy niż dla tradycyjnych automatów wielowrzecionowych;



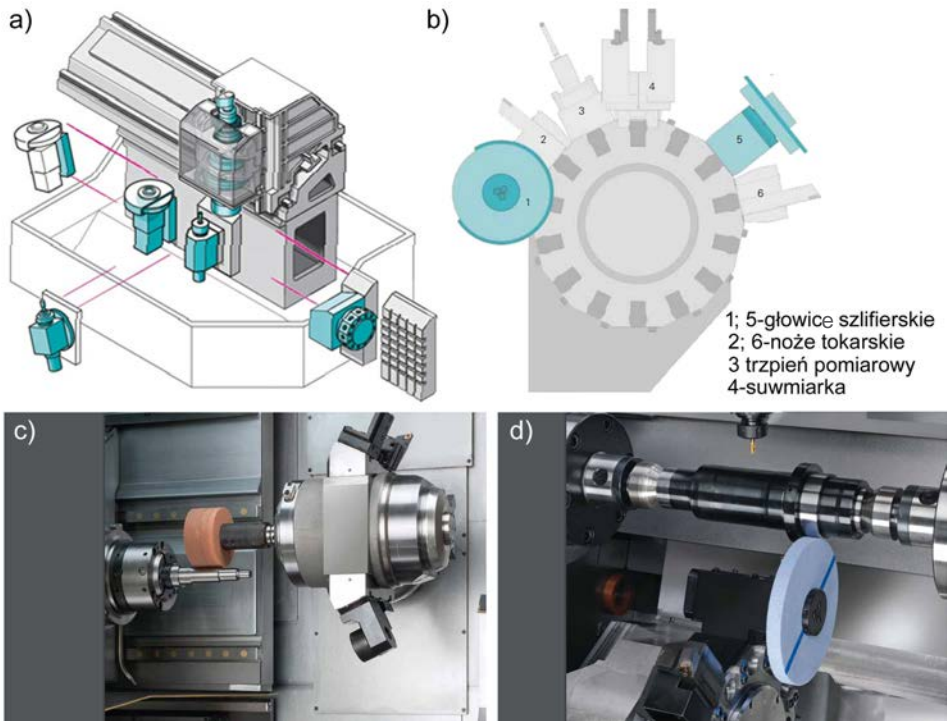
Rysunek 2.15. Wielowrzecionowe centrum obróbkowe „DMG MORI”: a) bęben z wrzecionami, b) strefa obróbki

- zainstalowanie w głowicy rewolwerowej lub wrzecionie narzędziowym frezu ślimakowego, trzpieniowego, tarczowego, modułowego, które wskutek koordynacji ruchów w odpowiednich osiach umożliwią nacinanie zębów na przedmiocie obrabianym, co eliminuje konieczność wykonywania specjalnej operacji kształtowania kół zębatych. Przykłady nacinania zębów różnymi frezami pokazano na rysunku 2.16;



Rysunek 2.16. Nacinanie zębów frezem (a) ślimakowym, (b) trzpieniowym, (c) tarczowym na centrum obróbkowym

- dołączenie do tokarskiego centrum obróbkowego CNC wrzecion szlifierskich (rys. 2.17), co pozwala realizować na tej samej maszynie zarówno operacje toczenia, jak i szlifowania;



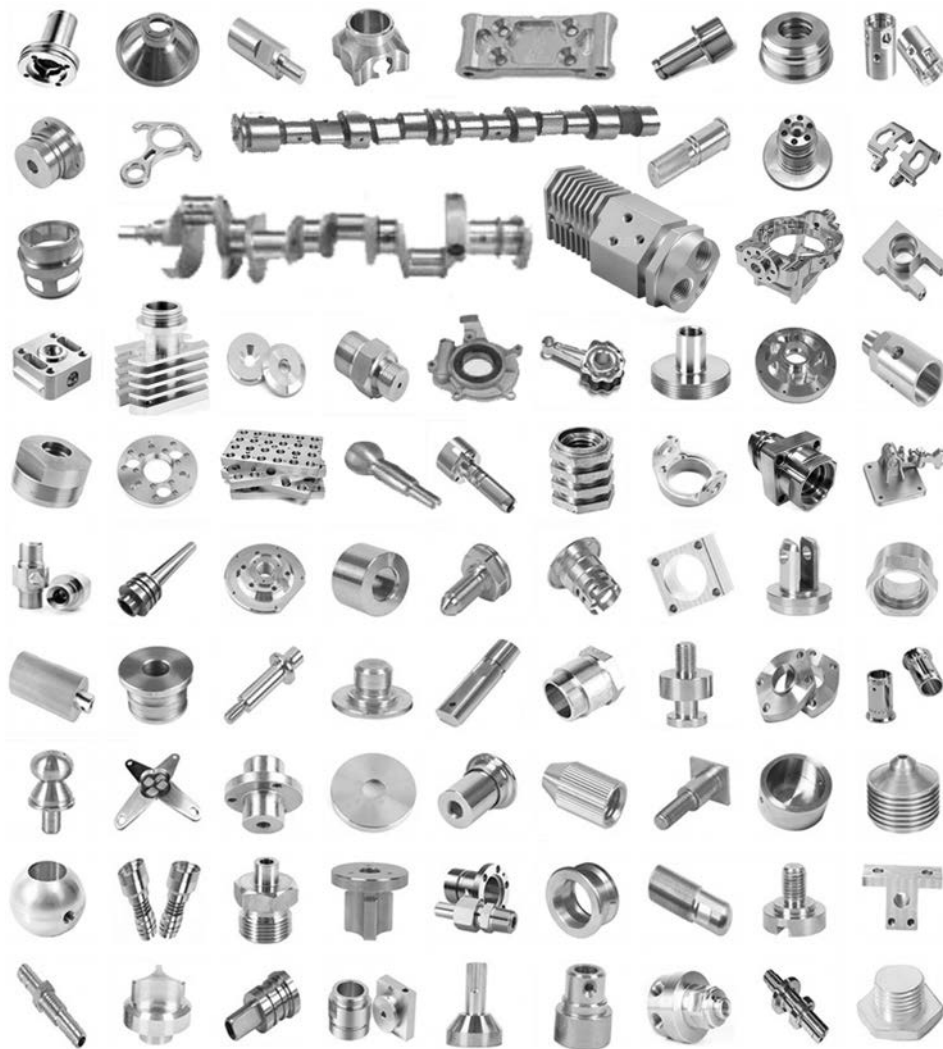
Rysunek 2.17. Pionowe centrum tokarsko-szlifierskie V160C firmy INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky: (a) schemat ogólny, (b) usytuowanie wyposażenia w głowicy rewolwerowej, (c) i (d) głowice szlifierskie podczas pracy

- wykorzystanie przepychaczy do obróbki wewnętrznych rowków i otworów o dokładnych kształtach (rys. 2.18).



Rysunek 2.18. Przepychanie: (a) rowka na wpust (Reichmann & Soft GmbH), (b) wieńca zębata wkładką dwuzębną, (c) regulacja kątowa wkładki (REV S.R.L. UNIPERSONALE)

Docelowo możliwa jest obróbka części na tej samej maszynie bez konieczności przenoszenia ich z jednej obrabiarki na drugą, zapewnienia odpowiedniego jej ustawienia, dokładności obróbki itp. Przykłady części obrabianych w tych warunkach przedstawiono na rysunku 2.19.



Rysunek 2.19. Przykłady elementów maszyn obrabianych na maszynach CNC

2.4. Autonomiczne stacje i gniazda obróbkowe

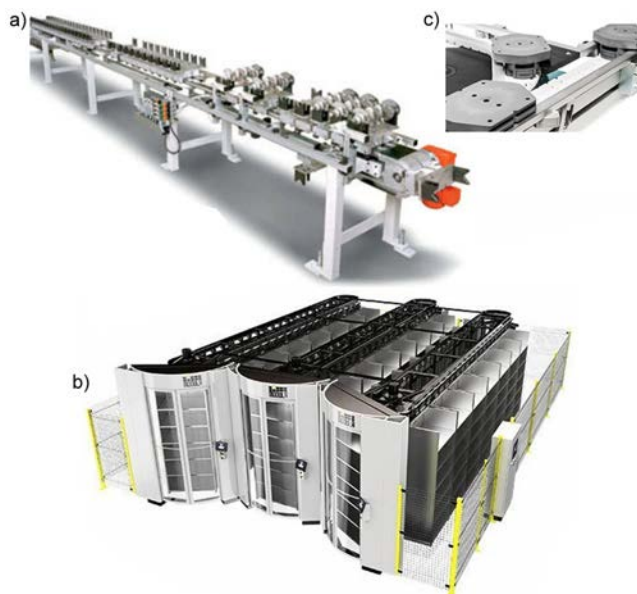
Ciągłe dążenie do zwiększenia wydajności spowodowało dalszą modernizację klasycznych centrów obróbkowych CNC i pojawienie się autonomicznych stacji i gniazd obróbkowych (ASO/AGO). „Klasyczne” centra obróbkowe CNC zostały doposażone w:

1. Przenośnik, łączący między sobą kilka maszyn CNC (rys. 2.20).



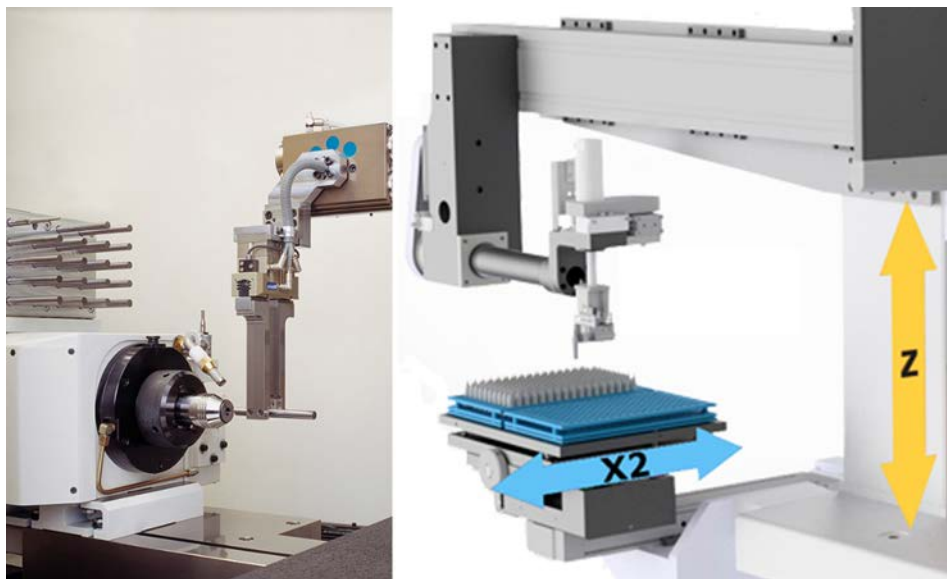
Rysunek 2.20. Przenośnik rolkowy położony wewnątrz gniazda obróbkowego

2. Przyobrobarkowe magazyny przedmiotów lub palet. Magazyny te mogą mieć różne konstrukcje, m.in.:
 - przenośniki z paletami, na których mocowane są wybrane przedmioty (rys. 2.21);



Rysunek 2.21. Przenośniki z paletami: (a) liniowy firmy Tünskers Maschinenbau, (b) wielopoziomowy firmy Modula, (c) ze zmianą kierunku firmy FlexLink Holding AB

- stacjonarne palety (pojemniki) z gniazdami na przedmioty obrabiane (rys. 2.22); ładowanie zapewnia stanowisko załadowczo-wyładowcze;



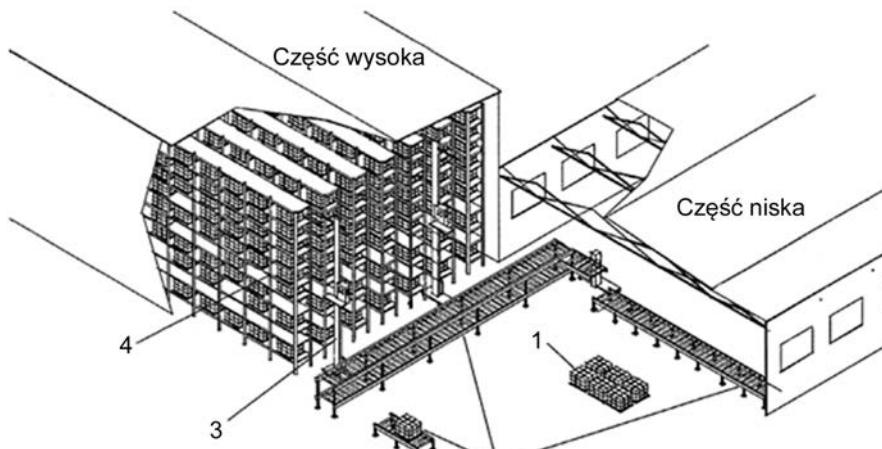
Rysunek 2.22. Stanowiska załadowczo-wyładowcze wraz z pojemnikami na przedmioty przy: (a) toczeniu, (b) szlifowaniu

- stanowisko załadowczo-wyładowcze CNC połączone z kilkupoziomową szafą z różnorodnymi przedmiotami na paletach (rys. 2.23);



Rysunek 2.23. Systemy załadowczo-wyładowcze firmy DMG MORI: (a) ładowarka, (b) magazyn z paletami (do 40 szt.)

- wielopoziomowy magazyn z przedziałami na różne półfabrykaty (rys. 2.24).



Rysunek 2.24. Schemat magazynu warsztatowego: 1 – palety; 2 – przenośniki; 3 – dźwig CNC; 4 – regały

3. Powiększony magazyn narzędziowy do 500 sztuk (rys. 2.25).



Rysunek 2.25. 5-tarczowy magazyn narzędzi firmy DMG MORI

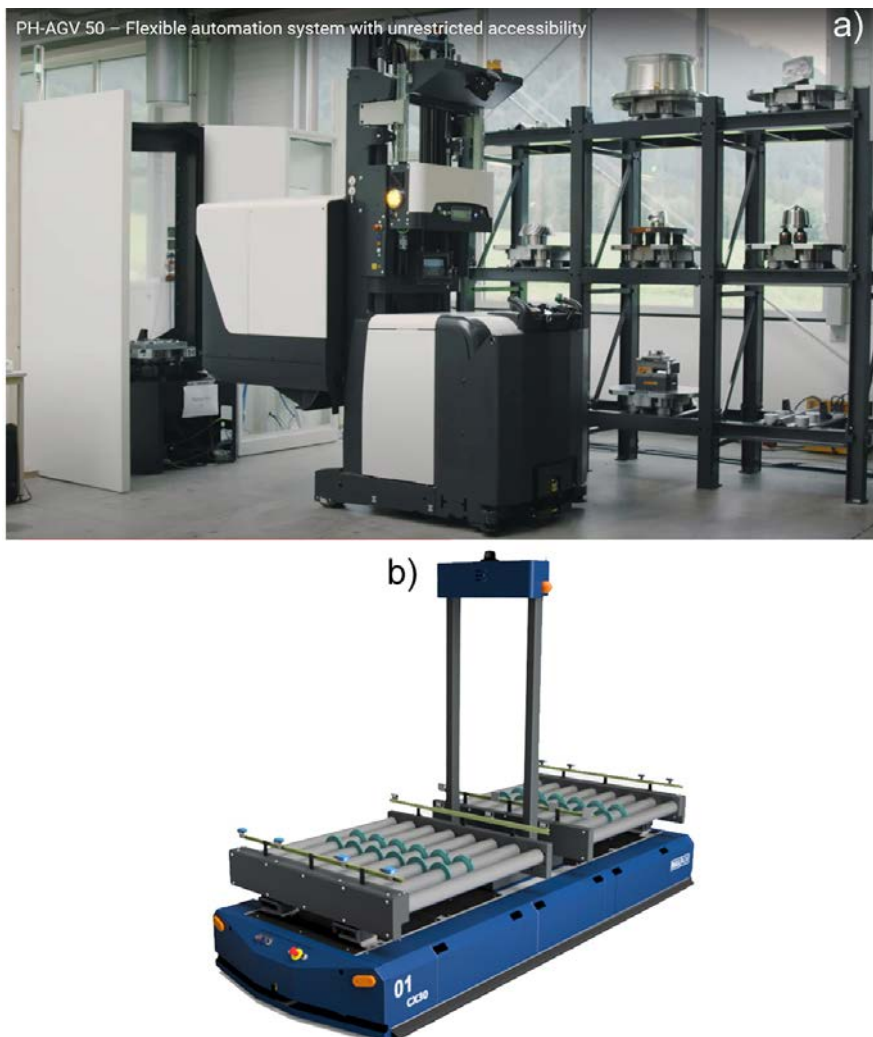
4. Stanowisko do załadunku/wyładowania przedmiotów lub palet (manipulator lub robot przemysłowy) do strefy obróbki lub strefy wyładowywania (rys. 2.26):



Rysunek 2.26. Przykłady załadowania/wyładowania przedmiotów lub palet przy użyciu:
(a) robota przemysłowego wewnątrz gniazda obróbkowego firmy MAUS;
(b) robota przemysłowego na stanowisku WH FLEX firmy DMG MORI;
(c) cobota w trakcie szkolenia firmy Hurco

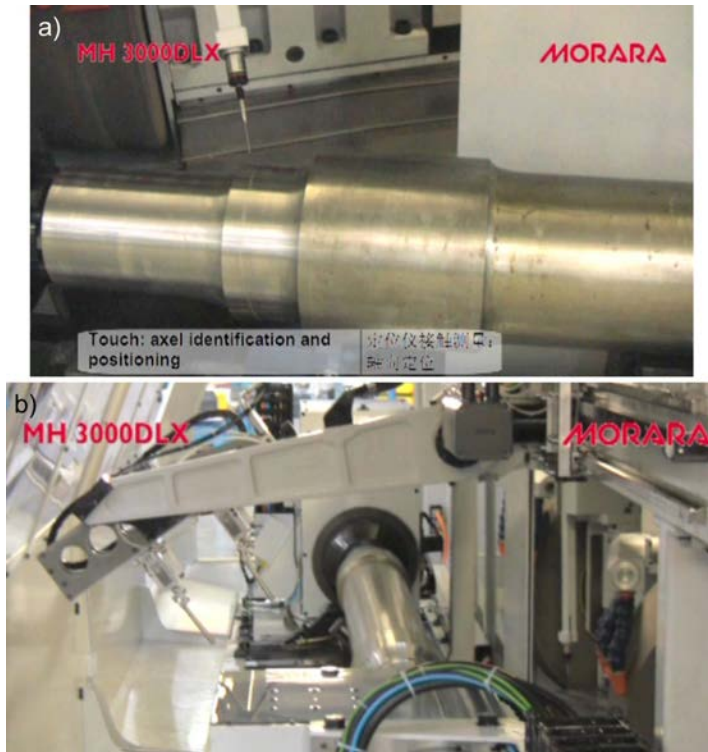
W warunkach częstej zmiany rodzajów produkowanych wyrobów w ostatnich latach do wymienionych powyżej zadań są stosowane tzw. coboty (*cooperative robots*), przeznaczone do bezpośredniej interakcji człowiek-robot we wspólnej przestrzeni lub tam, gdzie ludzie i roboty znajdują się blisko siebie. Sterowanie robotami można zapewnić przez sieć interfejsów DNC, przez lokalną sieć LAN lub różne systemy ich nauczania.

5. Samojezdne wózki CNC (rys. 2.27).



Rysunek 2.27. Przykłady wózków CNC: (a) PH-AGV 50 firmy DMG MORI, (b) CX 30 firmy MAX/AGV

6. Włączenie do ASO sprzężonych układów pomiarowych do bieżącej kontroli wymiarów oraz regulowania parametrów obróbki (rys. 2.28).



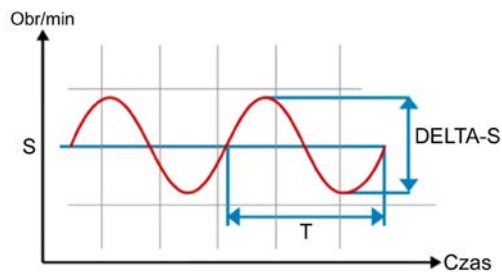
Rysunek 2.28. Przykłady zastosowania czujników sprzężonych z układem CNC:

- (a) wstępna kontrola średnicy wału czujnikiem dotykowym; (b) bieżąca kontrola średnicy i regulacja parametrów szlifowania (szlifierka CNC MH 3000DLX firmy MORARA)

7. Przyłączenie ASO/AGO do komputera nadrzędnego DNC (*Direct Numerical Control*) w celu zdalnego uruchomienia produkcji, wymiany narzędzi itp.

Wymienione wyżej możliwości doskonalenia autonomicznych stacji i gniazd obróbkowych w ostatnich latach uzupełniono dwoma dodatkowymi trendami rozwoju. Są nimi:

- automatyczny nadzór i diagnostyka maszyny, narzędzi i procesu obróbki (monitoring). ASO/AGO zostały wyposażone w zestaw czujników do kontroli poszczególnych wielkości geometrycznych, mechanicznych, termicznych itp. oraz wgrany do komputera programem sztucznej inteligencji pozwalającej na podejmowanie na bieżąco decyzji technologicznych. Przykłady zastosowania systemu monitoringu w maszynach firmy DMG MORI przedstawiono na rysunkach 2.29-2.32.



Zalety

- + prosta obsługa, brak dodatkowych czujników
- + unikanie wibracji i rezonansu obrabianych części
- + nie wymaga ciągłej interwencji operatora

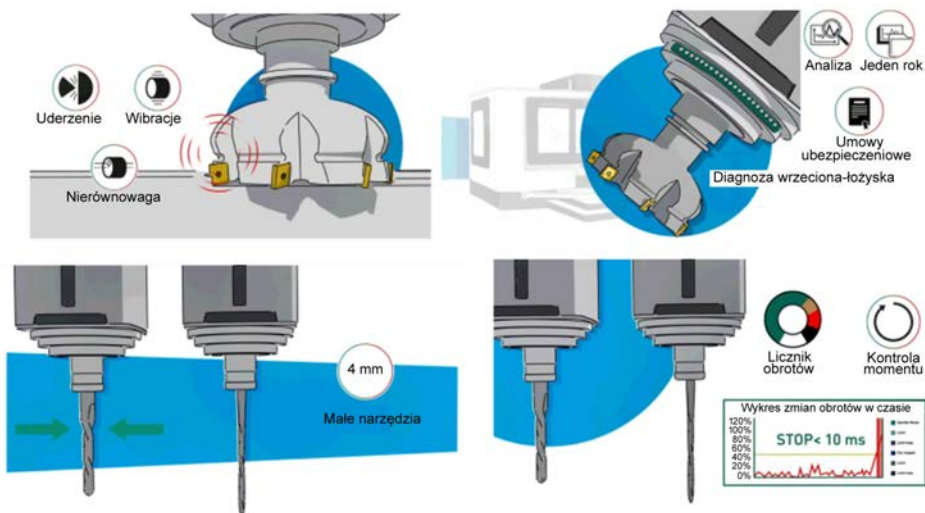
S **500** obr/min

Delta-S **100** obr/min

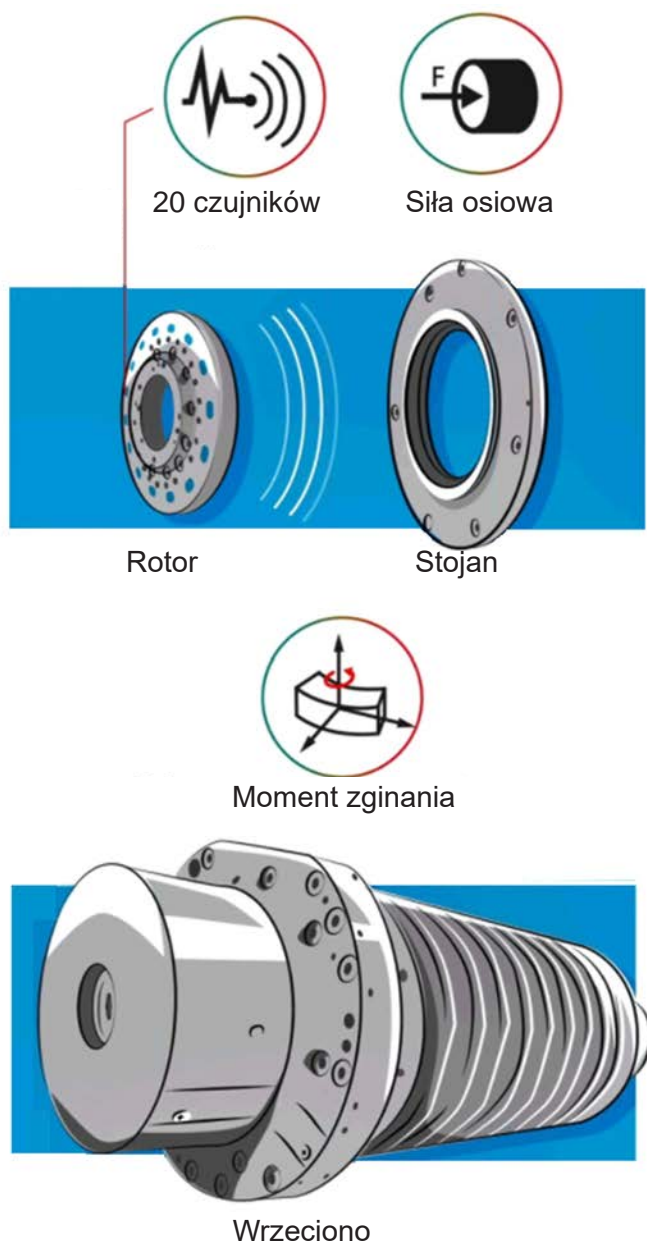
T **5** s

Przykładowe zastosowanie
 + długie cienkie wiertła
 + krytyczne mocowanie części
 + cienkościennie części

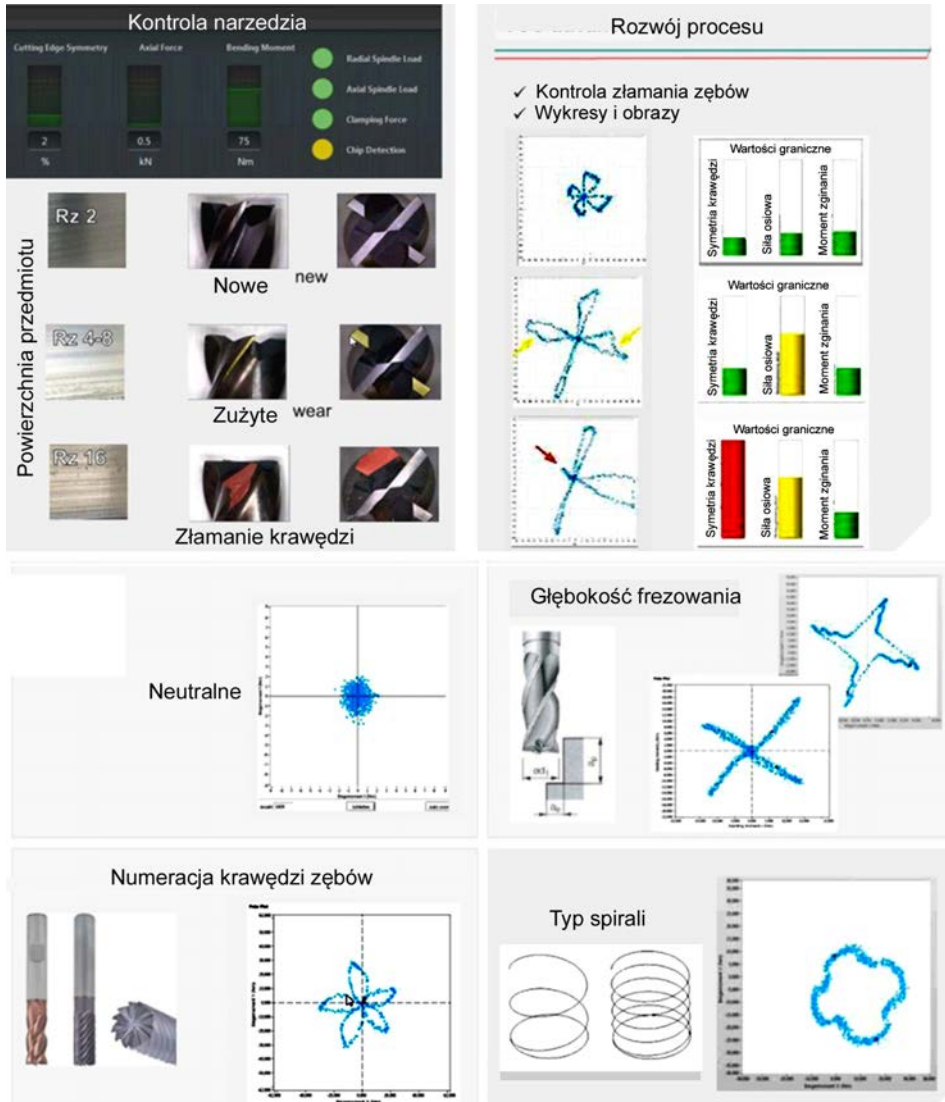
Rysunek 2.29. Zasady eliminacji drgań na drodze regulacji prędkości obrotowych firmy DMG MORI



Rysunek 2.30. Możliwości ochrony ASO przed kolizją firmy DMG MORI



Rysunek 2.31. Rozmieszczenie czujników monitorujących proces obróbki firmy DMG MORI



Rysunek 2.32. Przykłady monitoringu zużycia frezów trzpieniowych i zmian chropowatości powierzchni firmy DMG MORI

- zintegrowane stanowisko pomiarowe. Połączenie strefy produkcyjnej i strefy pomiarowej we wspólny ciąg daje możliwość znaczącego zmniejszenia całkowitego czasu wytwarzania i zwiększenie skuteczności kontroli wymiarów skomplikowanych elementów wytwarzanych w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym, lotniczym etc. Współczesne metody kontroli najczęściej wykorzystują współrzędnościowe maszyny pomiarowe, ewentualnie ramiona pomiarowe. Jednak głęboka automatyzacja pomiarów doprowadziła do wykorzystania robotów pomiarowych oraz centrów pomiarowych dostosowanych do pracy w środowisku produkcyjnym. Systemy ASO/AGO często określane są jako tzw. *transfer machines*. Nazwa taka informuje, że wraz z blokami zapewniającymi bezpośrednio obróbkę maszyna zawiera również system transportu przedmiotów. Przykłady takich systemów przedstawiono poniżej.

Na rysunku 2.33 pokazano wysokowydajną maszynę CNC wyposażoną w zespoły dwuwrzecionowe specjalnie zaprojektowane do obróbki precyzyjnych części toczonych w obu kierunkach i/lub poprzecznie z nieobrotowych prętów lub rur bez kosztownych operacji dodatkowych. Niezależne zespoły dwuwrzecionowe umożliwiają obróbkę dwóch różnych części w trakcie jednego cyklu przy minimalnych czasach obróbki i szybkim przezbrajaniu.



Rysunek 2.33. Wysokowydajna maszyna CNC wyposażona w dwuwrzecionowe zespoły do obróbki dwustronnej [5]

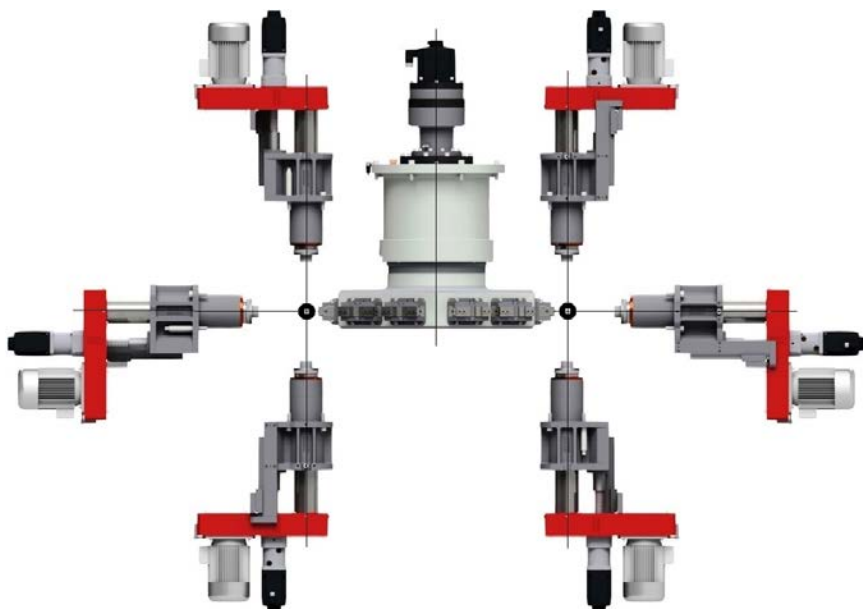
Na rysunku 2.34 pokazano maszynę CNC o przedłużonej długości do wielkoseryjnej produkcji części. Na tej maszynie przedmiot obrabiany jest przenoszony ze stanowiska na stanowisko w sposób obrotowy, a narzędzie lub narzędzia na każdym stanowisku wykonują jedną lub więcej operacji.



Rysunek 2.34. Maszyna transferowa o ruchu obrotowym [6]

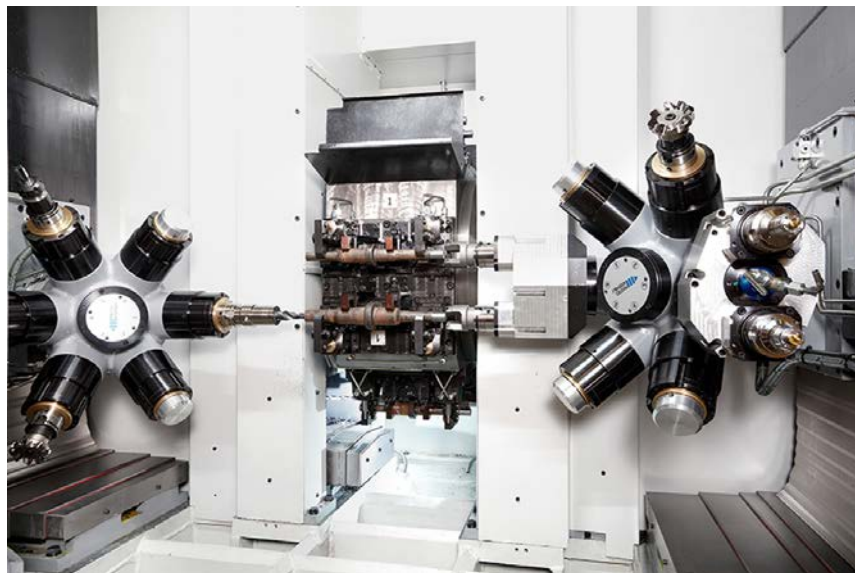
Na rysunku 2.35 pokazano maszynę transferową do średnio wysokiej produkcji przedmiotów. Dzielą się one na dwa rodzaje. Pierwszy posiada stół obrotowy o osi pionowej, a drugi stół obrotowy o osi poziomej.

Na takich maszynach znajduje się 3-8 odcinków pracy, w tym stanowisko załadunku/rozładunku elementów do 25 zespołów obróbkowych. Typowe procesy technologiczne realizowane na tego typu maszynach to: wiercenie, gwintowanie, wytaczanie, frezowanie, toczenie z przedmiotem nieruchomym lub obrotowym. Czasy cykli wynoszą od 2 s/element do 60 s/element.



Rysunek 2.35. Maszyna transferowa z obrotowym stołem o pionowej osi [7]

Maszynę transferową z obrotowym stołem poziomym do pracy w produkcji wielkoseryjnej pokazano na rysunku 2.36.



Rysunek 2.36. Maszyna transferowa z obrotowym stołem poziomym [8]

2.5. Elastyczne systemy produkcyjne

Przyszłością skomputeryzowanych systemów wytwarzania są tzw. elastyczne systemy produkcyjne, które w pełni eliminują pracę ludzką. Ich podstawowymi cechami są:

- struktura wieloobrabiarkowa,
- system transportu przedmiotów,
- system transportu narzędzi,
- maszyny wzajemnie się uzupełniające i zastępujące,
- automatyczne sterowanie wytwarzaniem w systemie DNC.

Takie podejście zapewnia:

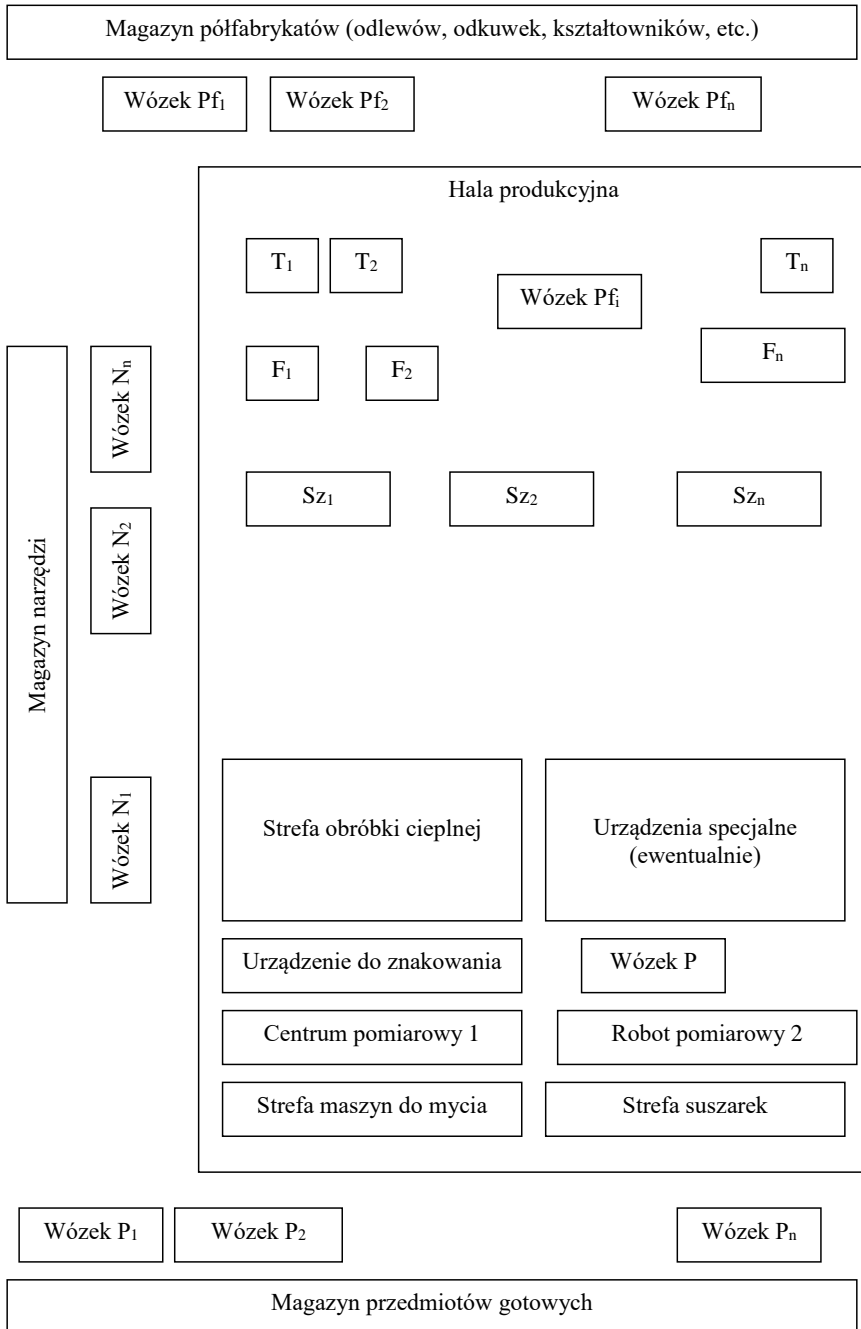
- wytwarzanie nietaktowane,
- uruchomienie każdej wielkości produkcji,
- pełną elastyczną automatyzację.

Zgodnie z definicją *Encyklopedii PWN* (www.encyklopedia.pwn.pl) elastyczny system produkcyjny ESP (ang. *Flexible Manufacturing System, FMS*) jest to zespół sterowanych komputerowo podsystemów wykonawczych, tj. maszyn i urządzeń technologicznych. Zespół ten jest zintegrowany przez wspólny układ zautomatyzowanego transportu i składowania przetwarzanych produktów i gotowych wyrobów oraz wymaganych do produkcji narzędzi i innych pomocniczych zasobów, zdolnych do produkcji dość szerokiego asortymentu wyrobów przy minimalnym udziale człowieka.

W ESP podstawowe operacje są kontrolowane przez komputerowy układ sterowania, scentralizowany lub rozproszony, nadzorujący produkcję; wszystkie czynności pomocnicze, wykonywane w tradycyjnym systemie produkcyjnym przez człowieka (operatora maszyny), w ESP są realizowane przez system w sposób automatyczny, a więc bez ingerencji człowieka przez wiele godzin. Elastyczność systemu polega na łatwości dostosowania się do zmiennych zadań i warunków produkcyjnych, np. przy wykonywaniu (obróbce skrawaniem) korpusów do różnych rodzajów silników następuje tylko wymiana programów komputerowych sterujących wykonywaniem sekwencji operacji dla danego rodzaju silnika oraz, ewentualnie, zmiana osprzętu (przebrojenie) maszyny. Jak w przypadku ASO/AGO, ESP umożliwiają prowadzenie produkcji na II i III zmianę przy minimalnej liczbie operatorów maszyn.

Oprócz wykorzystania potencjału istnieje jeszcze jedna zmienna, którą należy brać pod uwagę. Rozwój technologiczny oznacza również dynamiczne zmiany w typie wymaganej produkcji. Komputer nadrzędny sterujący ESP planuje, że ta sama linia produkcyjna i te same maszyny produkcyjne zmienią szczegóły swojej pracy.

Niezależnie od tego, czy zmiany te są przewidziane, czy nie, wydajność systemu produkcyjnego musi pozostać na wysokim poziomie. Jest to kompromis między maszynami automatycznymi a obrabiarkami manualnymi. Cała linia produkcyjna zarządzana jest jednocześnie w celu uzyskania maksymalnej uniwersalności i wydajności.



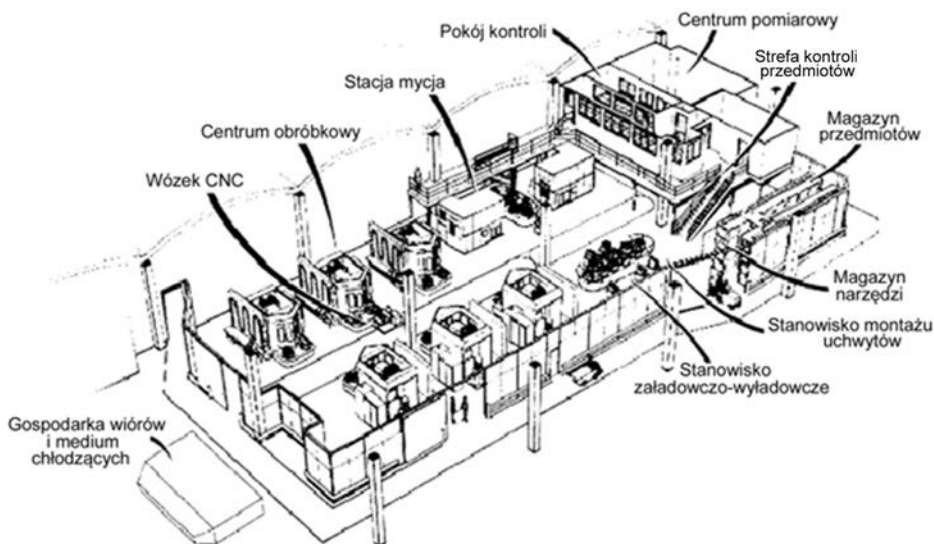
Rysunek 2.37. Zasadniczy schemat elastycznego systemu produkcyjnego

W tym celu korzysta się ze sterowania i obsługi komputerowej. W skład systemu wchodzi komputery i sterowniki odpowiedzialne za monitorowanie. Dalej są urządzenia wykorzystywane do samej produkcji, a więc roboty transportowe oraz magazyny lokalne, centralne i międzyoperacyjne.

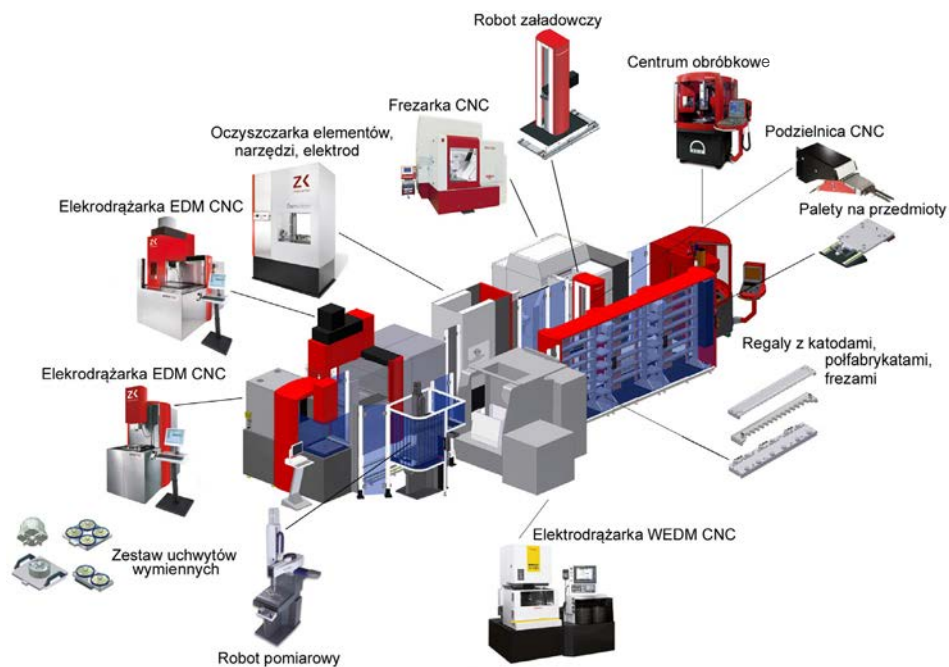
Ilekoć opisuje się ESP, wymienia się zalety, ale również i wady. Poza wysokim kosztem inicjalizacyjnym należy mieć na uwadze jego utrzymanie. Maszyny te pracować powinny jak najwięcej, najlepiej w trybie ciągłym. Skazane są więc na ciągłą eksploatację, co oznacza regularne serwisowanie. Wiele zależy również od wiedzy i doświadczenia personelu technicznego. Brak odpowiedniej i terminowej konserwacji systemu i jego diagnostyki wywołuje usterki i szybsze zużycie jego elementów. Planowanie pracy ESP jest również ważne, ponieważ zła realizacja procesów technologicznych czy błędy programowe negatywnie wpłyną na niezawodność całego systemu. Schemat zasadniczy ESP przedstawiono na rysunku 2.37.

Pierwsze pomysły wdrażania ESP powstały dość dawno temu, aczkolwiek do tej pory wszystko kończy się na realizacji raczej krótkich jej fragmentów, przede wszystkim z powodu wysokich kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Przykład jednej z pierwszych ESP przedstawiono na rysunku 2.38.

Rysunek 2.39 przedstawia ESP do obróbki elektroerozyjnej składającej się z kompletu elektrodrążarek EDM i WEDM, centrów obróbkowych, robota pomiarowego i załadowczego oraz systemów pomocniczych.



Rysunek 2.38. Projekt jednej z pierwszych ESP [9]



Rysunek 2.39. ESP do realizacji obróbki elektroerozyjnej [10]

Widok ESP w warunkach produkcyjnych pokazano na rysunku 2.40.



Rysunek 2.40. Widok ESP [11]

Dobrze zaplanowany i doinwestowany elastyczny system produkcyjny powinien przynosić zyski, a zagwarantować to może w pełni wykorzystana wydajność linii produkcyjnej i potencjał pracowniczy. Przyspieszy to wytwarzanie produktów, a firma będzie mogła rozszerzyć asortyment i rozwinąć swoje kompetencje.

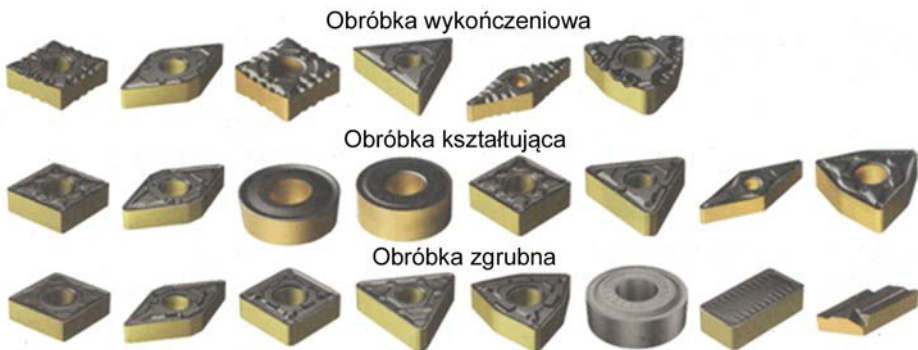
WYSOKOWYDAJNE NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE

3.1. Płytki wymienne

Podstawowe kierunki rozwoju narzędzi skrawających, w tym także narzędzi tokarskich, obejmują zwiększenie wydajności produkcji i ukierunkowane są na wykorzystanie płytek wymiennych, powłok przeciwzużyciowych oraz stałej części bazowej (korpusu, oprawki) z wymiennymi wkładkami roboczymi.

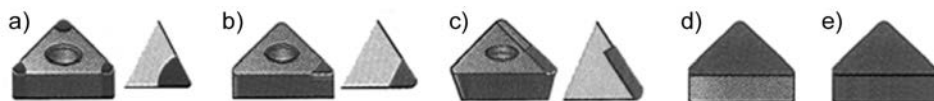
Zastosowanie **płytek wymiennych** (rys. 3.1) przekłada się na wiele korzyści, m.in.:

- zapewnienie kształtu powierzchni natarcia i geometrii płytki podczas produkcji,
- zapewnienie niezawodnego łamania i odprowadzania wiórów,
- wyeliminowanie ponownego ostrzenia,
- wyeliminowanie ostrzerek,
- ujednoczenie konstrukcji korpusu narzędzia,
- skrócenie czasu wymiany narzędzia,
- możliwość stosowania powłok przeciwzużyciowych,
- poszerzenie asortymentu narzędzi,
- poprawienie dokładności i niezawodności narzędzi,
- zwiększenie możliwości ponownego użycia opravek narzędziowych,
- obniżenie kosztów narzędzi,
- zwiększenie wydajności obróbki.



Rysunek 3.1. Przykłady płytek wymiennych firmy Sandvik Coromant

Oprócz szerokiej gamy płytek z węgla spiekanego, produkowane są również płytki z materiałów ceramicznych i supertwardych (rys. 3.2).



Rysunek 3.2. Przykłady konstrukcji płytek z materiałów supertwardych: (a) polikryształy supertwarde we wszystkich narożach, (b) polikryształ w jednym narożu, (c) polikryształ położony wzdłuż krawędzi skrawającej, (d) płytka dwuwarstwowa, (e) płytka monolityczna z materiału supertwardego

Obecnie poza obróbką powierzchni walcowych, stożkowych lub czołowych szerokie zastosowanie mają płytki wymienne używane do cięcia, nacinania rowków o różnych kształtach (rys. 3.3), gwintowania, jak również płytki kształtowe, których profil o wysokiej dokładności jest zapewniony poprzez szlifowanie podczas ich produkcji.

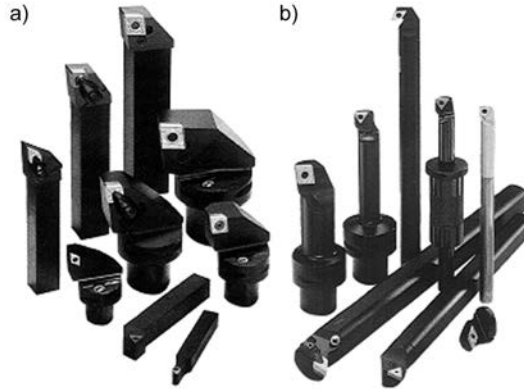


Rysunek 3.3. Przykłady płytek do cięcia i kształtowania rowków

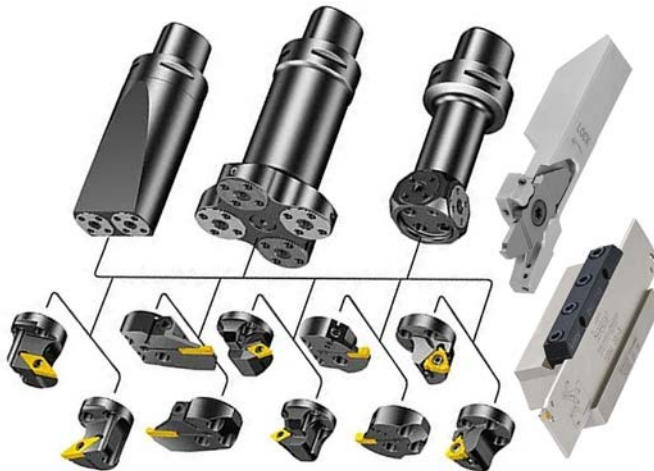
3.2. Konstrukcje noży tokarskich

Noże z płytkami wymiennymi stosowane dla różnych typów tokarek mogą być umownie podzielone na „tradycyjne” z oprawkami o przekroju prostokątnym, kwadratowym lub okrągłym, noże z chwytami HSK lub Capto oraz wkładki tokarskie, które podczas obróbki są zamocowane w oprawkach narzędziowych lub głowicach rewolwerowych maszyn CNC. Różne noże tokarskie z płytkami wymiennymi pokazano na rysunku 3.4.

Jednym z istotnych czynników charakteryzujących jakość pracy noży tokarskich i płytek wymiennych jest niezawodność bazowania i mocowania tych drugich. Płytki mocowane są bezpośrednio w oprawkach za pomocą specjalnych mechanizmów. Możliwe jest również stosowanie wymiennych bloków z płytką, które mocowane są do uchwytu na różne sposoby (rys. 3.5).



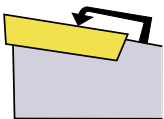
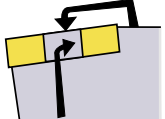
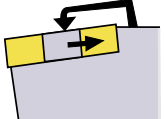
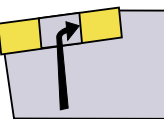
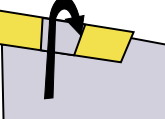
Rysunek 3.4. Noże tokarskie z płytkami wymiennymi firmy Sandvik Coromant do obróbki: (a) powierzchni zewnętrznych, (b) otworów/powierzchni wewnętrznych



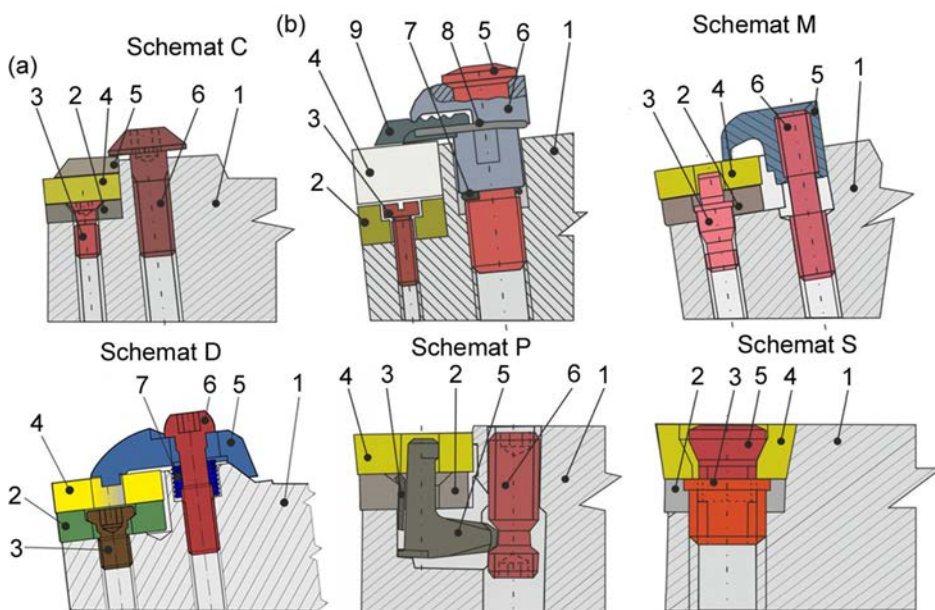
Rys. 3.5. Przykłady zastosowania bloków wymiennych

Zasady mocowania płytek wymiennych w oprawkach opisuje norma ISO 5608:2012. Schematy mocowania płytek przedstawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Schematy mocowania płytek wymiennych (zgodnie z normą ISO)

Schemat C – mocowanie dociskiem od góry	Schemat M – mocowanie dociskiem od góry i przez otwór	Schemat D – mocowanie dociskiem sztywne od góry i przez otwór	Schemat P – dociskanie przez otwór	Schemat S – mocowanie śrubą
				

Na podstawie schematów różne firmy narzędziowe opracowały wiele konstrukcji zespołów łączenia płytek wymiennych i oprawk w całość (rys. 3.6).



Rysunek 3.6. Przykłady konstrukcji noży tokarskich z płytkami wymiennymi firmy PAFANA

Schemat mocowania C (rys. 3.6) stosowany jest do obróbki zgrubnej i wykończeniowej w przypadku płytek bez otworu. Na przykładzie pierwszego schematu C (rys. 3.6a) płytka skrawająca (4) razem z płytką podporową (2) umieszczana jest w gnieździe

trzonka (1) i dociskana od góry śrubą zaciskową (6) bezpośrednio lub poprzez dodatkowy łamacz wióra (5). Płytkę podporową mającą otwór dokręca się w gnieździe śrubą (3). Znacznie bardziej skomplikowany jest przypadek drugi schematu C (rys. 3.6b). Jak poprzednio, płytkę skrawającą (4) razem z płytką podporową (2) umieszcza się w gnieździe trzonka (1), ale stosuje się wymienny łamacz wióra (9), który pozwala regulować długość tworzonego wióra poprzez stosowanie dłuższego lub krótszego łamacza. Siła zacisku jest przekazywana dociskiem (6) za pomocą śruby zaciskowej (5). Docisk łączy się ze śrubą za pomocą sprężystego pierścienia (7), lecz z dociskiem – poprzez płaską sprężynę (8). Jak na schemacie C (rys. 3.6a), płytkę podporową dokręca się w gnieździe śrubą (3).

W konstrukcji na bazie schematu M (rys. 3.6) wymienne płytki skrawające (4) wraz z płytkami podporowymi (2) mocowane są w gnieździe trzonka (1) na powierzchniach cylindrycznego otworu w płycie podporowej i kołka (3) oraz dociskane od góry do powierzchni natarcia płytki skrawającej dociskiem (5) i śrubą (6). Schemat M cechuje wysoka powtarzalność położenia ostrza, brak luźnych elementów mocujących.

Na podstawie schematu D (rys. 3.6) do mocowania płytek wykorzystuje się docisk o skomplikowanym kształcie, który działa jednocześnie w dwóch kierunkach, a mianowicie na powierzchni walcowego otworu oraz na powierzchni natarcia płytki skrawającej. W ten sposób zapewnia się dużą sztywność i stabilność położenia płytki oraz bardzo wysoką powtarzalność położenia ostrza. W pokazanej konstrukcji płytka skrawająca (4) wraz z płytką podporową (2) mocowane są w gnieździe trzonka (1). Płytkę skrawającą jest dociskana do gniazda przez występujący kołek docisku (5), który z kolei od tyłu ma pewny styk z pochylonym występem na trzonku. Jego stabilne położenie zapewnia śruba mocująca (6) i sprężyna (7). Płytkę podporową mocuje się w gnieździe śrubą (3).

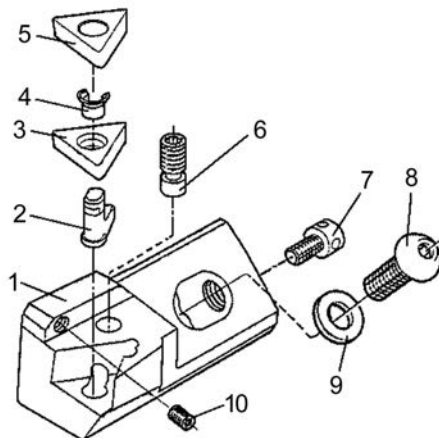
Mocowanie typu P zapewnia mocowanie płytki do oprawki noża za pomocą kołka dociskającego, czasami może występować również docisk od góry płytki. Na rysunku płytka skrawająca (4) wraz z płytką podporową (2) mocowane są w gnieździe trzonka (1). Płytkę skrawającą dociska się do gniazda przez występujący walcowy kołek dźwigni (5) o kształcie litery L. Dźwignia w swojej dolnej części przesuwana jest względem trzonka śrubą mocującą (6). Płytkę podporową mocuje się dociskiem w gnieździe sprężystą tuleją (3).

Według schematu S płytka skrawająca (4) bazowana jest w gnieździe wskutek mocowania śrubą z kątem łba 40-60°. Sam łeb działa jak mimośród, zapewniając duże siły zacisku. Tradycyjne sześciokątne lub krzyżowe wgłębienie na klucz imbusowy zastąpiono sześciopłatkowym wgłębieniem typu Torx, które umożliwia przenoszenie większych sił przy mniejszych naprężeniach i mniejszym ryzyku zerwania lub uszkodzenia wgłębienia na klucz. Sześć sinusoidalnych płatków przenosi równomiernie obciążenie z klucza, podobnie jak 15-stopniowe przełożenie zębátky. Testy porównawcze wyka-

zały, że gdy śruba z konwencjonalnym gniazdem sześciokątnym może być dokręcana średnio 70 razy, śruba Torx może pracować ponad 1000 razy. W tym przypadku stosowane są płytki skrawające jednostronne. Ze względu na prostotę wykonania, niskie ceny i zmniejszone rozmiary gniazda na klucz, mocowanie typu S jest bardzo popularne i może być wykorzystywane w nożach tokarskich o niewielkich przekrojach, nawet już od 10×10 mm.

3.3. Wkładki nożowe

Wkładki są montowane albo bezpośrednio w głowice rewolwerowej maszyny CNC, albo w oprawce lub wytaczadle. Większość wkładek posiada mechanizmy do regulacji położenia naroża płytki skrawającej na określony rozmiar. Schemat konstrukcyjny wkładki tokarskiej pokazano na rysunku 3.7.



Rysunek 3.7. Przykładowa konstrukcja wkładki tokarskiej, wyposażonej w płytkę wymienną, gdzie: 1 – trzonek; 2 – dźwignia o kształcie litery L; 3 – płytki podporowa; 4 – sprężyna; 5 – płytki skrawająca; 6 – śruba do mocowania płytki skrawającej; 7, 10 – śruby regulacyjne; 8 – śruba do mocowania wkładki w oprawce; 9 – podkładka

Zasadniczą różnicą pomiędzy wkładkami i nożami jest krótszy trzonek ze śrubami regulacyjnymi w kierunku wzdłużnym i poprzecznym oraz obecność skosów na jednej ze stron pod kątem $15-45^\circ$. Kąt ten umożliwia mocne dociskanie korpusu wkładki do powierzchni bazowych we wzajemnie prostopadłych płaszczyznach. W niektórych konstrukcjach znajdują się także dodatkowe otwory lub rowki na śruby mocujące.

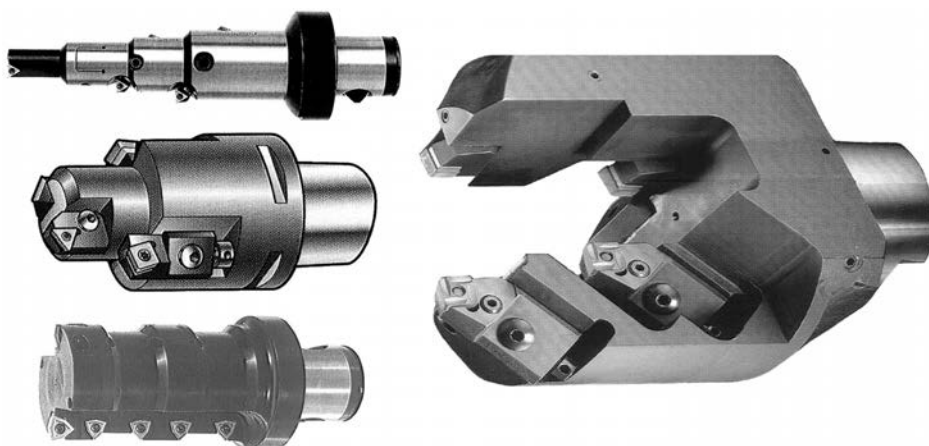
Przy nastawianiu wkładek poza obrabiarką śruby do regulacji bocznej i osiowej są zabezpieczone przed niezamierzonym poluzowaniem za pomocą blokujących wkładek gwintowych lub zatyczek nylonowych na gwintowym odcinku śruby.

Niektóre konstrukcje wkładek nożowych pokazano na rysunku 3.8. Do wytaczania stosuje się wkładki o przekroju okrągłym ze śrubą regulacyjną, a do precyzyjnej obróbki stosuje się tak zwane mikrobusy z regulacją wyciągu z wytaczadła o dokładności 0,01 mm lub mniejszej.



Rysunek 3.8. Konstrukcje wkładek z płytkami wymiennymi

Dzięki unifikacji można bardzo efektywnie stosować różne rodzaje wkładek do opracowania kombinowanych narzędzi do jednoczesnej obróbki kilku powierzchni (rys. 3.9).



Rysunek 3.9. Przykłady wykorzystania wkładek w konstrukcjach narzędzi kombinowanych firmy MAPAL

3.4. Współczesne konstrukcje narzędzi do obróbki otworów

Obecnie można zaobserwować następujące trendy rozwoju konstrukcji wiertła:

- trójstrzowych,
- pełnowęglkowych,
- z kanałami na medium chłodząco-smarujące,
- powlekanych,
- z płytkami wymiennymi,
- kilkustopniowych,
- specjalnych.

Wiertła trójstrzowe (rys. 3.10) służą do obróbki stali, stopów nierdzewnych i żeliw. Duża przestrzeń na wióry i specjalne kształty krawędzi skrawających zapewniają optymalne warunki tworzenia się wiórów i niezawodne ich odprowadzanie. Oryginalne profile rowków wiórowych ułatwiają tę czynność. Innowacyjna konstrukcja wiertła zapewnia znaczny wzrost posuwów i wydajności, a także większą trwałość. Jest to możliwe dzięki wzrostowi posuwu na jeden obrót wiertła w półtora razy (3 ostrza zamiast 2), wielokrotnym wzroście prędkości (stosowanie węglików spiekanych zamiast stali szybkołotnych), skuteczne chłodzenie strefy obróbki itp. Obecnie produkuje się wiertła o średnicach D od 4 mm do 20 mm z długościami części roboczej $(5-8)D$.



Rysunek 3.10. Przykłady wiertła trójstrzowych firmy MAPAL

Wiertła pełnowęglkowe dwu- lub trójstrzowe zapewniają bardzo wysoką wydajność obróbki wskutek zwiększenia prędkości skrawania 3-5 razy. Sprzyja temu obecność kanałków doprowadzających chłodziwo bezpośrednio do strefy obróbki.



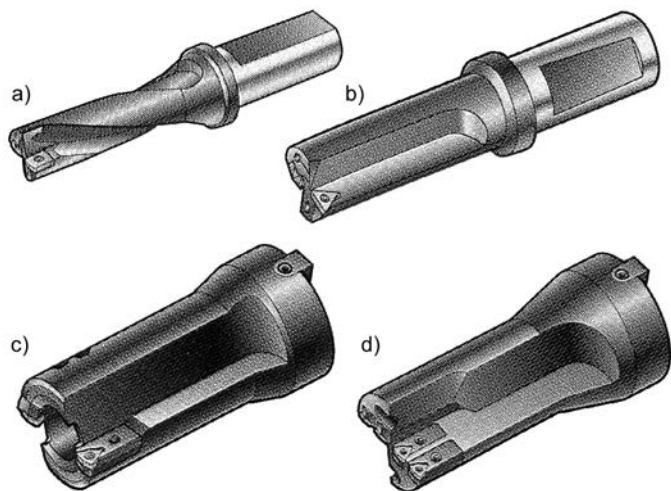
Rysunek 3.11. Przykłady wiertel pełnowęglikowych

Wiertła kilkostopniowe (rys. 3.12) są szeroko rozpowszechnione w produkcji wysokowydajnej przy obróbce otworów kilkostopniowych i otworów gwintowanych. W ostatnim przypadku bezpośrednio podczas wiercenia kształtuje się także fazka niezbędna do poprawnego wejścia gwintownika w otwór.

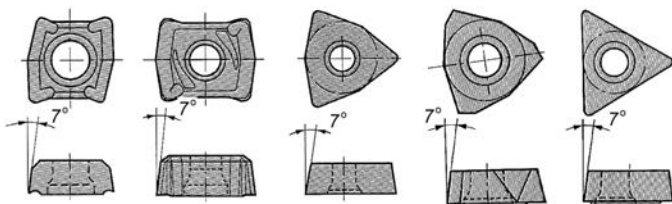


Rysunek 3.12. Przykłady wiertel kilkostopniowych

Wiertła z płytkami wymiennymi (rys. 3.13) są szeroko stosowane do obróbki krótkich, (2-5) D otworów. Wiertła te charakteryzują się wysoką sztywnością i mogą pracować nie tylko jako typowe wiertła, ale również jako wiertła do wywiercania otworów, frezowania występów i pogłębień czy planowania powierzchni czołowych. Wiertło składa się z korpusu z dwoma prostymi lub spiralnymi rowkami wiórowymi, na których z przodu zamocowane są płytki wymienne o różnych kształtach (rys. 3.14). Jedna z płytek znajduje się w pobliżu osi wiertła, druga zaś na obrzeżach. Wiertła o średnicy 20-60 mm są wyposażone w dwie płytki, a dla większych średnic w cztery. Są one montowane bezpośrednio w korpusie wiertła lub w kasetach wymiennych. W korpusie wiertła znajdują się otwory umożliwiające doprowadzenie chłodziwa do strefy wiercenia.



Rysunek 3.13. Wiertła z płytkami z węglików spiekanych: (a) z rowkami spiralnymi; (b) z rowkami prostymi; (c) do wiercenia pierścieniowego z płytkami pojedynczymi; (d) do wiercenia pierścieniowego z płytkami podwójnymi

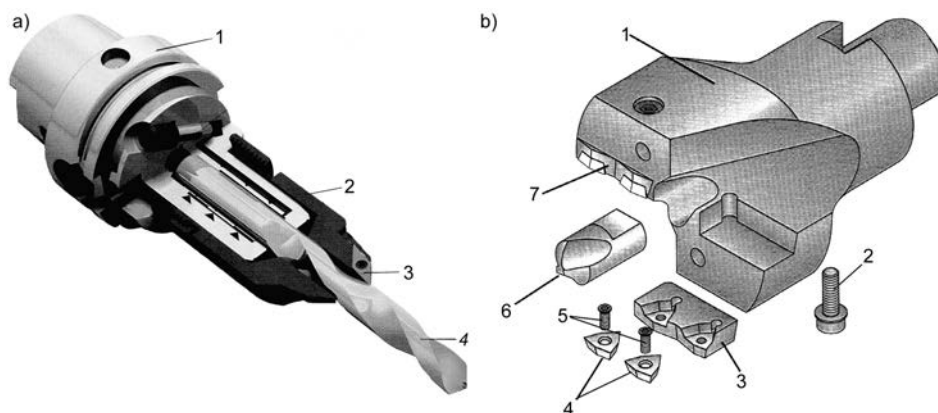


Rysunek 3.14. Kształty płytek wymiennych stosowanych w wiertłach

Nadatek usuwany wiertłem z płytkami wymiennymi jest dzielony pomiędzy nakładającymi się na siebie płytkami, które są ułożone w korpusie w taki sposób, że obciążenie promieniowe po obu stronach osi wiertła jest zrównoważone. Eliminuje to konieczność wykonywania wstępnego nakiełkowania otworu lub stosowania tulejki wiertarskiej. Dzięki dużej sztywności i niezawodnemu doprowadzaniu chłodziwa do strefy wiercenia kanałami wewnątrz korpusu wiertła umożliwiają obróbkę z większymi posuwami i prędkościami w porównaniu z typowymi wiertłami krętymi ze stali szybkoobrotowej i węglika spiekane.

Wiertła kombinowane składane opracowano, opierając się na płytkach wymiennych. Na rysunku 3.15 przedstawiono a) składane narzędzie do obróbki otworu i fazowania, składające się z chwytu (1), nasadzonego pogłębiacza (2) z wymiennymi płytkami węglikowymi (3) i wiertła (4) oraz b) narzędzie składające się z korpusu (1), w którym znajduje się wiertło (6) ze stali szybkoobrotowej mocowane za pomocą śruby (2),

oraz zewnętrzne (3) i wewnętrzne (7) kasety. Kasety zawierają po dwie płytki wymienialne (4) zamocowane śrubami (5).



Rysunek 3.15. Przykłady wiertel kombinowanych składanych

We współczesnym przemyśle używa się wiele konstrukcji **wiertel do obróbki głębokich otworów**, w których długość otworu jest co najmniej 5 razy większa niż średnica. Wyróżnia się dwa rodzaje takich wiertel, tj. uniwersalne: możliwe do użycia na każdej obrabiarce (tokarce, wiertarce, frezarce itp.) oraz specjalizowane: mogące pracować na ściśle określonych konstrukcjach wiertarek do wiercenia głębokich otworów.

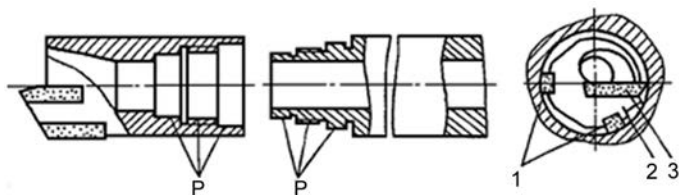
Do wiertel pierwszego rodzaju zaliczają się wiertła kręte ze stali szybko tnącej o dużym pochyleniu rowków wiórowych. Wiertła takie posiadają szereg cech, które zapewniają wydajne wiercenie bez konieczności cyklicznego wycofywania wiertła z otworu, a są nimi:

- zwiększona średnica ścina (do 0,5 średnicy wiertła), która przyczynia się do zwiększenia jego sztywności wzdłużnej,
- kąt nachylenia rowka wiórowego od 35° do 60° ,
- rowki wiórowe, które posiadają specjalny profil w przekroju wzdłużnym (prostokątny, trójkątny, trapezowy itp.) zapewniający niezawodne odprowadzanie wiórów z otworu.

Część robocza wiertła składa się z dwóch części: skrawającej i transportującej. Pierwsza część oddziela i kształtuje wióry, druga część, która ma zwiększony kąt pochylenia rowków wiórowych, usuwa je. Część skrawająca wiertła posiada specjalny kształt ostrza, zapewniający łamanie wiórów i optymalne parametry geometryczne w zależności od fizykomechanicznych właściwości obrabianego materiału i warunków obróbki.

Ze względu na głębokość otworów, narzędzia do ich wiercenia mają dużą długość. Dla sprawności wiercenia specjalizowane wiertła są produkowane na zasadach połą-

czenia dwóch głównych części – roboczej i pomocniczej. Część robocza jest głowicą wierzącą, montowaną na końcu części pomocniczej mającej kształt trzpienia. Głowica wierząca (rys. 3.16) składa się z korpusu (2) z elementami skrawającymi (3) i prowadzącymi (1). Korpus ma dokładną powierzchnię *P* do połączenia z trzpieniem. Trzpień ma zazwyczaj postać rury, na której jednym końcu znajduje się powierzchnia *P* do połączenia z głowicą, a na drugim końcu chwyt do połączenia z obrabiarką. Trzpień może być składany z odcinków o określonej długości.



Rysunek 3.16. Głowica wiertarska z trzpieniem

Główną cechą narzędzi do wiercenia głębokich otworów jest obecność elementów prowadzących i kanałów do odprowadzania chłodziwa i wiórów. Kształt przekroju i wymiary kanałów muszą być skoordynowane z zastosowaną metodą dostarczania chłodziwa i odprowadzania wiórów oraz jego kształtem w celu zapewnienia nieprzerwanego przepływu wiórów przez kanały odprowadzające, a także utrzymania wymaganej wytrzymałości i sztywności narzędzia.

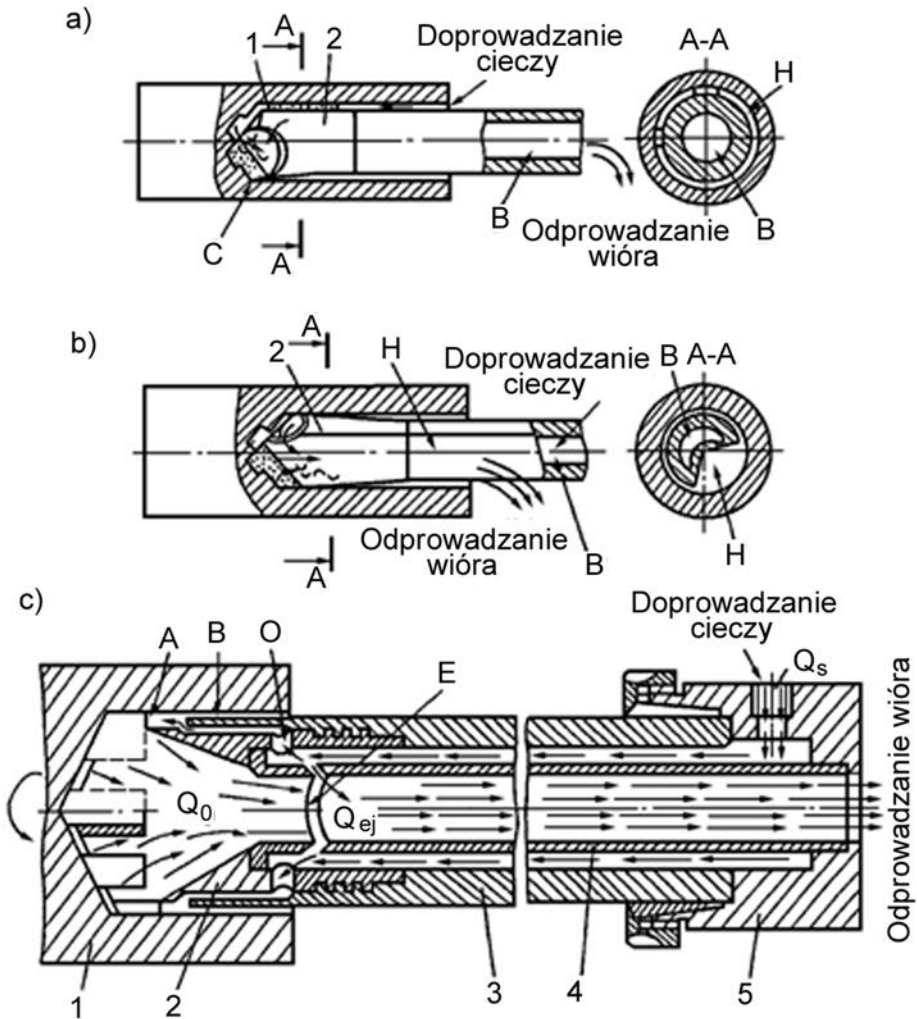
W praktyce stosuje się dwa podstawowe sposoby podawania chłodziwa i odprowadzania wiórów ze strefy skrawania:

- zewnętrzne podawanie chłodziwa i wewnętrzne odprowadzanie wiórów,
- wewnętrzne podawanie chłodziwa i zewnętrzne odprowadzanie wiórów.

W pierwszym przypadku (rys. 3.17a) doprowadzenie chłodziwa do ostrzy narzędzia (2) odbywa się przez kanał zewnętrzny *H*, który ma postać szczeliny pomiędzy ściankami otworu w detalu (1) a zewnętrzną powierzchnią narzędzia. Odprowadzanie chłodziwa wraz z wiórem odbywa się przez strefę *C* wewnątrz narzędzia, a następnie przez kanał wewnętrzny *B*.

Główną cechą narzędzi do wiercenia głębokich otworów jest obecność elementów prowadzących i kanałów do odprowadzania chłodziwa i wiórów. Kształt przekroju i wymiary kanałów muszą być skoordynowane z zastosowaną metodą dostarczania chłodziwa i odprowadzania wiórów oraz jego kształtem w celu zapewnienia nieprzerwanego przepływu wiórów przez kanały odprowadzające, a także utrzymania wymaganej wytrzymałości i sztywności narzędzia.

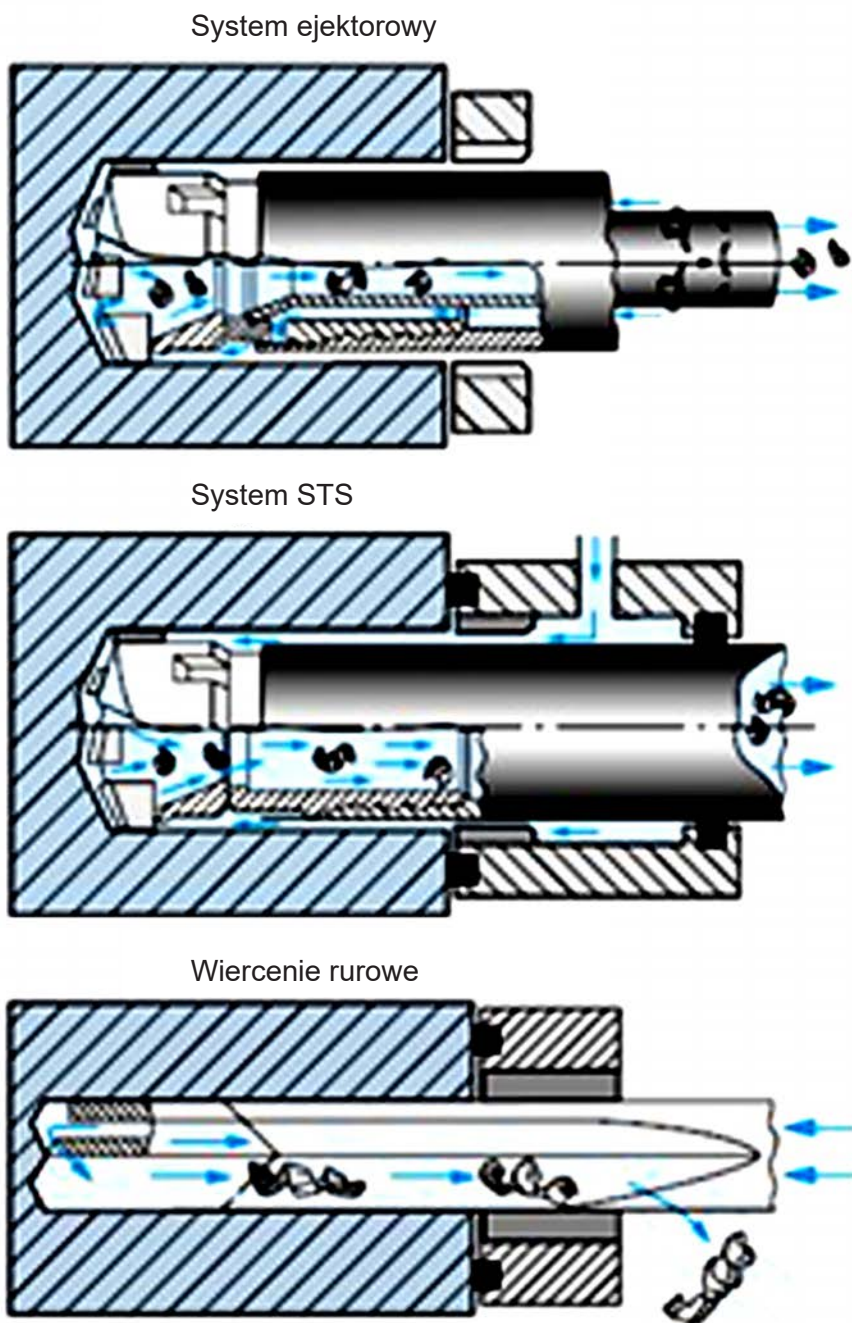
W praktyce stosuje się dwa podstawowe sposoby podawania chłodziwa i odprowadzania wiórów ze strefy skrawania:



Rysunek 3.17. Sposoby doprowadzania cieczy i odprowadzania wióra przy wierceniu głębokich otworów

- zewnętrzne podawanie chłodziwa i wewnętrzne odprowadzanie wiórów,
- wewnętrzne podawanie chłodziwa i zewnętrzne odprowadzanie wiórów.

W pierwszym przypadku (rys. 3.17a) doprowadzenie chłodziwa do ostrzy narzędzia (2) odbywa się przez kanał zewnętrzny H, który ma postać szczeliny pomiędzy ściankami otworu w detalu (1) a zewnętrzną powierzchnią narzędzia. Odprowadzanie chłodziwa wraz z wiórem odbywa się przez strefę C wewnątrz narzędzia, a następnie przez kanał wewnętrzny B.



Rysunek 3.18. Schematyczne konstrukcje wiertel firmy Sandvik Coromant

W drugim przypadku (rys. 3.17b) medium chłodzące jest dostarczane przez wewnętrzny kanał B w narzędziu (2) i odprowadzany wraz z wiórem przez zewnętrzny kanał H.

W wiertłach z wewnętrznym odprowadzaniem wiórów (rys. 3.17c) często wykorzystuje się efekt eejkcji. Jest to proces mieszania dwóch mediów, w którym jedno medium pod ciśnieniem działa na drugie, tj. popychając w pożądanym kierunku i zapewniając wewnętrzne odprowadzanie wiórów. Na pierwszym odcinku dopływ wewnętrzny odbywa się przez kanał w postaci pierścieniowej szczeliny w narzędziu między trzonem (3) z uchwytem (5) a rurą (4). Następnie część przepływu chłodziwa o natężeniu Q_0 przeprowadza się przez promieniowe otwory O w głowicy (2) i dalej przez kanał w postaci pierścieniowej szczeliny B między trzonem (3) a głowicą (2). Dalej chłodziwo jest kierowane do kanału zewnętrznego szczeliną A między powierzchnią otworu w detalu (1) a głowicą (2), przez który jest doprowadzane do strefy wiercenia. Wióry są kierowane przez kanał wewnętrzny, tj. centralny otwór w głowicy (2) i rurze (4).

Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych tego typu wiertel. Firma Sandvik Coromant produkuje trzy zasadnicze konstrukcje wiertel (rys. 3.18).

Wiertła trepanacyjne to narzędzia służące do wytaczania pierścieni, produkowane ze stali szybko tnącej lub z wkładkami z węglika spiekanego (rys. 3.19). Podczas wiercenia w obrabianym przedmiocie powstaje rowek pierścieniowy oraz rdzeń, który wychodzi z otworu po zakończeniu wiercenia.



Rysunek 3.19. Wiertła trepanacyjne firmy SINTEQ [12]

Rozwiertaki wykańczaki to narzędzia, które służą przede wszystkim do zapewnienia wysokiej dokładności otworów przy wymaganej wydajności. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu narzędzi:

- pełnowęglkowych (rys. 3.20), gdzie prędkość skrawania i wydajność wzrastają kilkakrotnie, ale jednocześnie powstaje problem ostrzenia zużytych krawędzi wymagający użycia ściernic diamentowych i ostrzerek CNC,



Rysunek 3.20. Rozwiertaki pełnowęglkowe jednolite i z kanałkami na chłodziwo MQL

- wyposażonych w prowadnice usytuowane na obwodzie korpusu i usztywniające rozwiertak w trakcie pracy (rys. 3.21).



Rysunek 3.21. Rozwiertaki z wkładkami prowadzącymi i płytkami wymiennymi firmy MAPAL

Narzędzia z wkładkami prowadzącymi zapewniają wysoką dokładność obróbki i wydajność wskutek bezpośredniego prowadzenia rozwiertaka w otworze za pomocą wkładek oraz wysokiej jakości precyzyjnie szlifowanych płytek wymiennych. Wprowadzone do konstrukcji układy regulacyjne (bezluzowe) zapewniają wysoką dokładność wykonania średnicy do kilku μm .

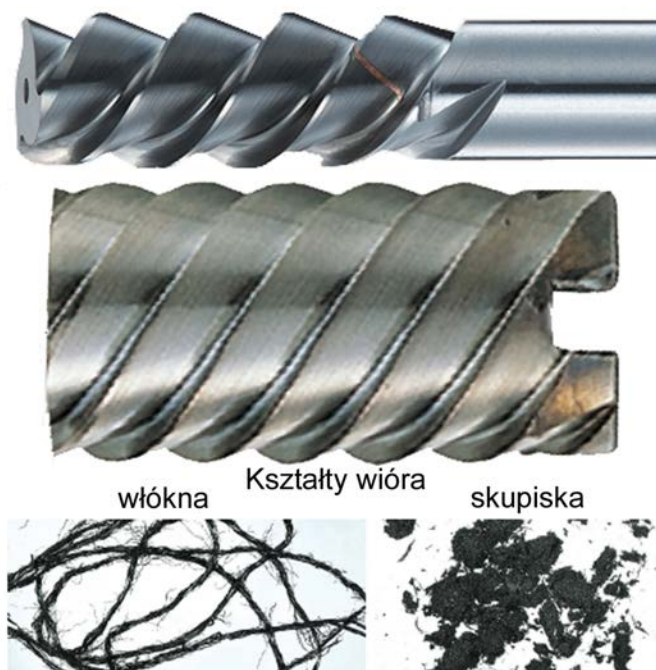
Zwykle produkuje się dwa typy rozwiertaków:

- z płytkami wymiennymi z dwiema krawędziami skrawającymi ze specjalnym prowadzeniem i dokładną regulacją zarówno średnicy, jak i stożka,
- z sześciokątną płytką wymienną zawierającą sześć użytecznych krawędzi skrawających.

Rozwiertaki z dwoma ostrzami umożliwiają zwiększenie prędkości skrawania i posuwu w porównaniu z rozwiertakami z pojedynczymi ostrzami. Wieloostrzowe narzędzia z regulowaną krawędzią skrawającą z czterema płytkami prowadzącymi i dwiema wykończeniowymi pracują z jeszcze większymi posuwami.

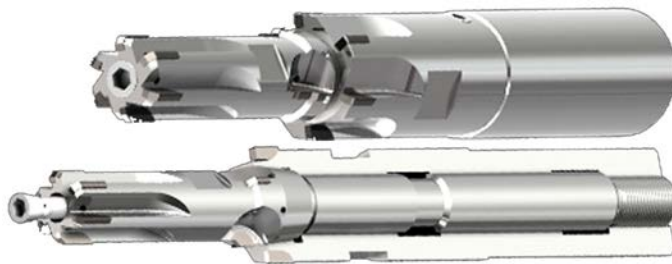
Inne rozwiązania to:

- wykorzystanie narzędzi, których krawędzie skrawające i rowki wiórowe położone są pod dużym, do 60° , kątem pochylenia w kierunku ruchu obrotowego (rys. 3.22). Bardzo długi styk krawędzi skrawających ze ściankami otworu zapewnia zwiększenie dokładności obróbki oraz umożliwia rozwiercanie powierzchni przerywanych, np. wielowypustów lub rowków na wpusty. W tym przypadku zmienia się kształt wióra (zamiast drobnych cząstek powstają długie cienkie włókna), co wymaga szczególnego kształtu rowków wiórowych. Wzrastają także prędkość skrawania, naddatek na rozwiercanie oraz okresy trwałości.



Rysunek 3.22. Rozwiertaki z krętymi rowkami wiórowymi firmy NIKKEN oraz kształty wiórów

- wykorzystanie narzędzi z ostrzami z materiałów supertwardych. Na rysunku 3.23 pokazano rozwiertak składany dwustopniowy z ostrzami z polikrystalicznego diamentu PCD lub CBN.



Rysunek 3.23. Rozwiertak składany dwustopniowy z ostrzami z materiału supertwardego firmy Gühring

3.5. Współczesne konstrukcje frezów

Obecnie można zaobserwować następujące trendy rozwoju konstrukcji frezów:

- zastosowanie frezów o niewielkich średnicach z głowicami wymiennymi o zróżnicowanych kształtach,
- zastosowanie frezów pełnowęglkowych, w tym także z kanałami na medium chłodząco-smarujące,
- zastosowanie frezów z płytkami wymiennymi, w tym także o zarysie niekonwencjonalnym,
- zastosowanie frezów z kasetami wymiennymi,
- zastosowanie frezów z możliwością regulacji bicia,
- zastosowanie frezów i płytek powlekanych.

Frezy z roboczą częścią wymienną są bardzo przydatne w niewielkich firmach. Łączą bowiem zalety nowoczesnych frezów węglkowych z niedrogim stalowym złączem przydatnym do mocowania na niemal każdej frezarce. Produkowane są w zestawach. Zestaw głowic wymiennych z węglika spiekanego pokazano na rysunku 3.24.



Rysunek 3.24. Zestaw głowic wymiennych z węgla spiekanego firmy Sandvik Coromant

Frezy pełnowęglkowe (rys. 3.25) są narzędziami uniwersalnymi i mogą być stosowane do realizacji obróbki zgrubnej i wykończeniowej różnych materiałów. Przy obecności kanałków do doprowadzania emulsji, jak również przy zastosowaniu powlekania, wydajność i trwałość tych narzędzi znacznie wzrasta.

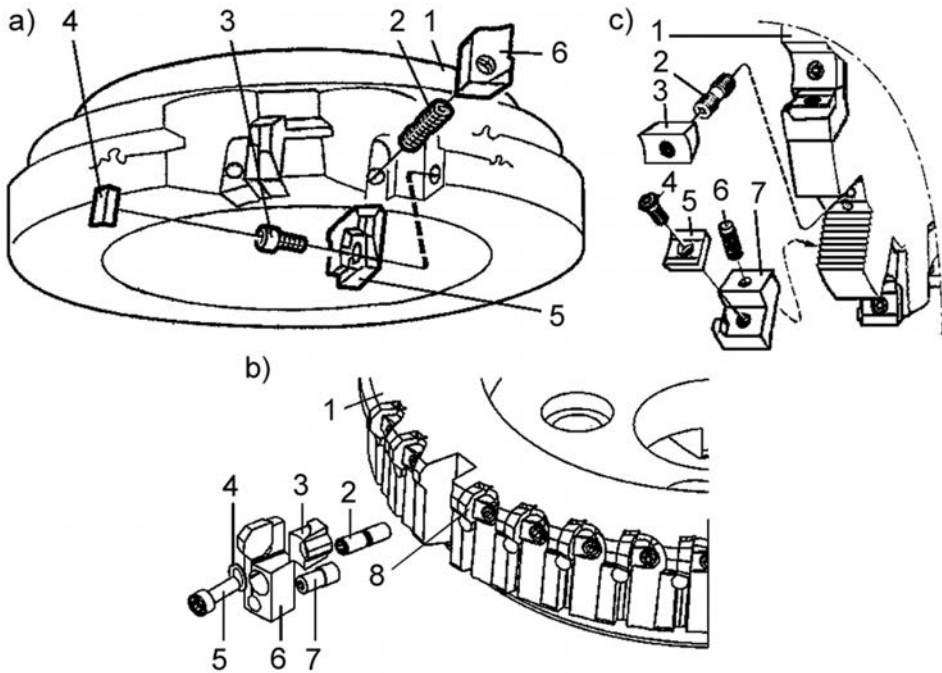


Rysunek 3.25. Frezy pełnowęglkowe różnych firm

Frezy z płytkami wymiennymi są szeroko stosowane do obróbki różnych materiałów. Ich zaletą jest znaczne zwiększenie trwałości i wielokrotne zmniejszenie liczby frezów w użytkowaniu.

Podstawowe schematy mocowania płytek wymiennych w korpusach frezów przedstawiono na rysunku 3.26. Najczęściej stosowane jest mocowanie za pomocą sworzni, docisków, śrub, jak również za pomocą sił skrawania.

Na schemacie pokazanym na rysunku 3.26a płytki skrawające (4) są mocowane za pomocą docisku (6) dokręcanego śrubą (2). Płytki są mocno dociśnięte do gniazda wkładki (5), a tym samym do korpusu frezu (1) za pomocą śruby (3). Sztywny docisk (6) zapewnia niezawodne mocowanie płytki w warunkach działających na nią sił frezowania.

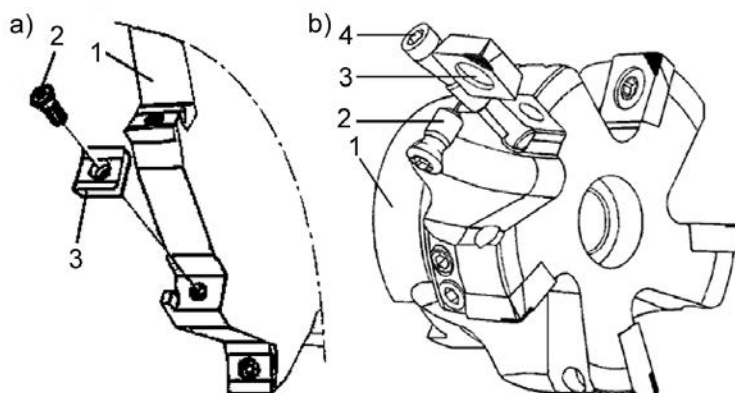


Rysunek 3.26. Przykładowe schematy mocowania płytek we frezach czołowych (a) i (b) oraz tarczowych (c)

Na schemacie przedstawionym na rysunku 3.26b płytki są mocowane we wkładce (6) za pomocą docisku (3) dokręcanego śrubą (2). Sama wkładka mocowana jest w korpusie (1) za pomocą śruby (5) i podkładki (4). Konstrukcja przewiduje możliwość regulacji bicia czołowego ostrzy frezu za pomocą mimośrodków (7).

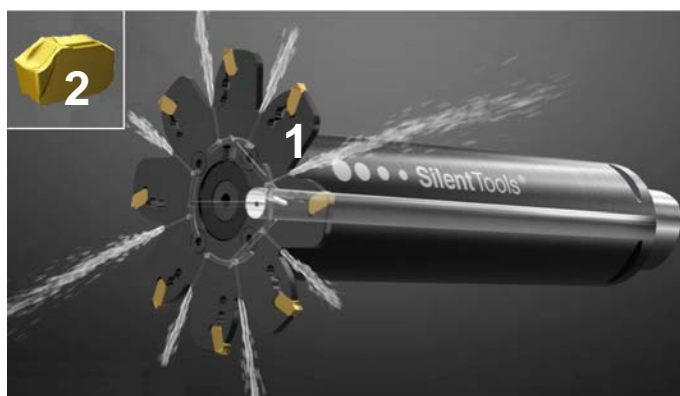
Bardziej skomplikowane mocowanie jest stosowane w nastawianych frezach tarczowych (rys. 3.26c). Płytki skrawające (5) mocowana jest we wkładce (7) za pomocą śruby (4), a tę z kolei mocuje się w korpusie (1) także za pomocą śruby (6). Mocowanie końcowe płytek odbywa się za pomocą docisku (3) i śruby (2) z gwintem dwukierunkowym. Rowki trójkątne o małym skoku wykonane w korpusie pozwalają na przesuwanie się wkładek wzdłuż osi frezu i zapewniają precyzyjną regulację szerokości frezowania.

Schematy mocowania płytek za pomocą śruby pokazano na rysunku 3.27.



Rysunek 3.27. Mocowanie płytek za pomocą śruby w konstrukcjach frezów tarczowych (a) i czołowych (b): 1 – korpus; 2 – śruba; 3 – płytka; 4 – mimośród

Mocowanie płytek za pomocą sił skrawania stosowane jest we frezach do cięcia i obróbki cienkich rowków (rys. 3.28). W tym przypadku płytki (2) są umieszczane w rowkach klinowych korpusu (1).



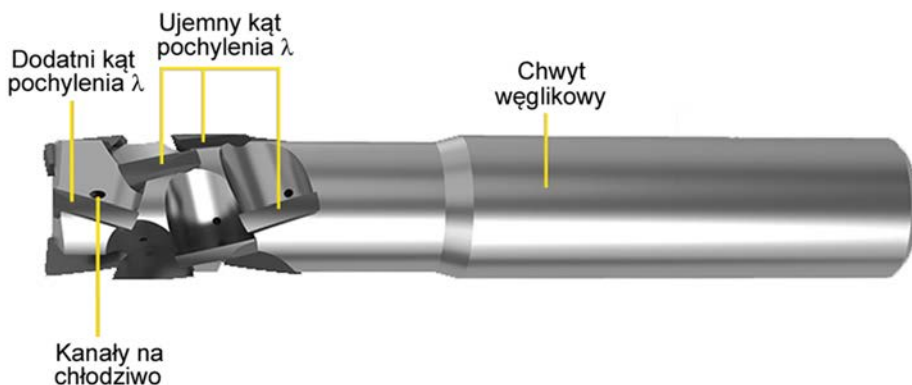
Rysunek 3.28. Mocowanie płytek w rowkach klinowych, firma Sandvik Coromant

Frezy kasetowe to jeden z kierunków rozwoju konstrukcji frezów. W tym przypadku korpus jest zunifikowany, tj. niezmienny, a kąty przystawienia płytek zamontowanych w wymiennych kasetach można zmieniać w szerokim zakresie (rys. 3.29). W ten sposób, przy minimalnej regulacji, możliwe jest zapewnienie optymalnych warunków do obróbki różnych materiałów, np.: stali, żeliwa, aluminium itd.



Rysunek 3.29. Zestaw kaset do frezów czołowych

Frezy z ostrzami z materiałów supertwardych. Płytki z ostrzami z materiałów supertwardych mogą być wykorzystane zarówno w konwencjonalnych, jak i niekonwencjonalnych konstrukcjach narzędzi. Dobierając właściwą geometrię ostrzy, można nie tylko kilkakrotnie zwiększyć prędkość obróbki i trwałość narzędzia, lecz także znacząco zmniejszyć chropowatość powierzchni obrobionej i zapobiec powstawaniu zadziórów i innych skaz powierzchniowych. Na przykład nowoczesne polimery wzmocnione włóknami różnych typów znajdują zastosowanie w wielu aplikacjach przemysłowych. Przykład frezu do obróbki kompozytów pokazano na rysunku 3.30.



Rysunek 3.30. Frez z ostrzami z polikrystalicznego diamentu do obróbki polimerów wzmocnianych włóknami firmy Gühring [13]

Przy obróbce tych materiałów dużą uwagę przywiązuje się do jakości krawędzi produkowanych elementów. Typowymi problemami jakościowymi są tu występujące włókna, rozwarstwienia, odpryski i uszkodzenia termiczne. Aby uniknąć tych problemów, należy skoordynować geometrię narzędzi, materiał skrawający, parametry procesu, warunki chłodzenia i mocowanie elementów.

Frezy specjalnego przeznaczenia (rys. 3.31) wykorzystują płytki wymienne, które można stosować do frezów ogólnego przeznaczenia, tj.: trzpieniowych, czołowych, tarczowych itp. We frezach specjalnego przeznaczenia profil roboczy jest ukształtowany przez rzędy wzajemnie przesuniętych o dobrany skok płytek wymiennych.

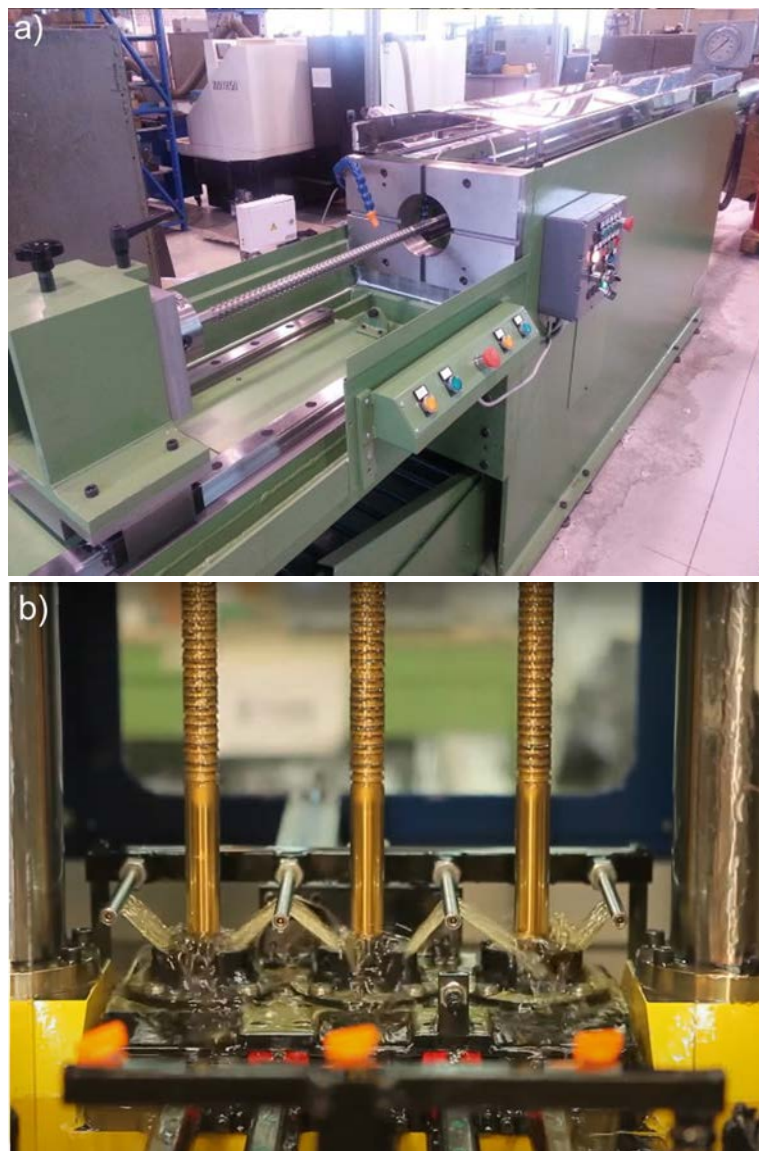


Rysunek 3.31. Frezy specjalnego przeznaczenia z płytkami wymiennymi firmy Sandvik Coromant

3.6. Współczesne konstrukcje niekonwencjonalnych wielostrzowych narzędzi skrawających

Poniżej zostaną omówione konstrukcje i możliwości technologiczne przeciągaczy, narzędzi do kształtowania gwintów i kół zębatach.

Przeciągacze to narzędzia wykorzystywane w wysokowydajnej obróbce zarówno konwencjonalnych, jak i kształtowych powierzchni. Często działają one jako jedno- lub wielostrzowe przepychacze na tokarskich lub frezarskich centrach obróbkowych (szerzej opisano te kwestie w rozdziale 2), aczkolwiek są bardzo efektywne w przypadku pracy na przeciągarkach różnych typów (rys. 3.32).



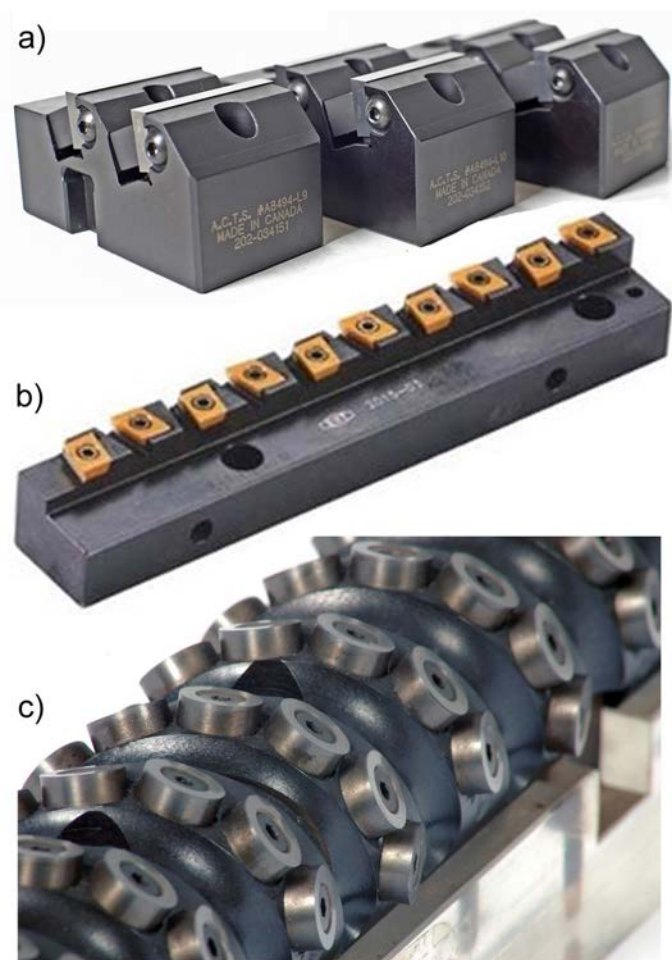
Rysunek 3.32. Przeciągarki: (a) pozioma [14], (b) pionowa trójwrzecionowa firmy EKIN

W celu zmniejszenia kosztów narzędzi i kosztów eksploatacyjnych wykorzystuje się przeciągacze składane, z wymienną częścią roboczą, jednolitą (rys. 3.33) lub z wykorzystaniem płytek wymiennych (rys. 3.34). Wykorzystanie płytek wymiennych zmniejsza koszty i eliminuje bardzo drogi proces ostrzenia narzędzi.



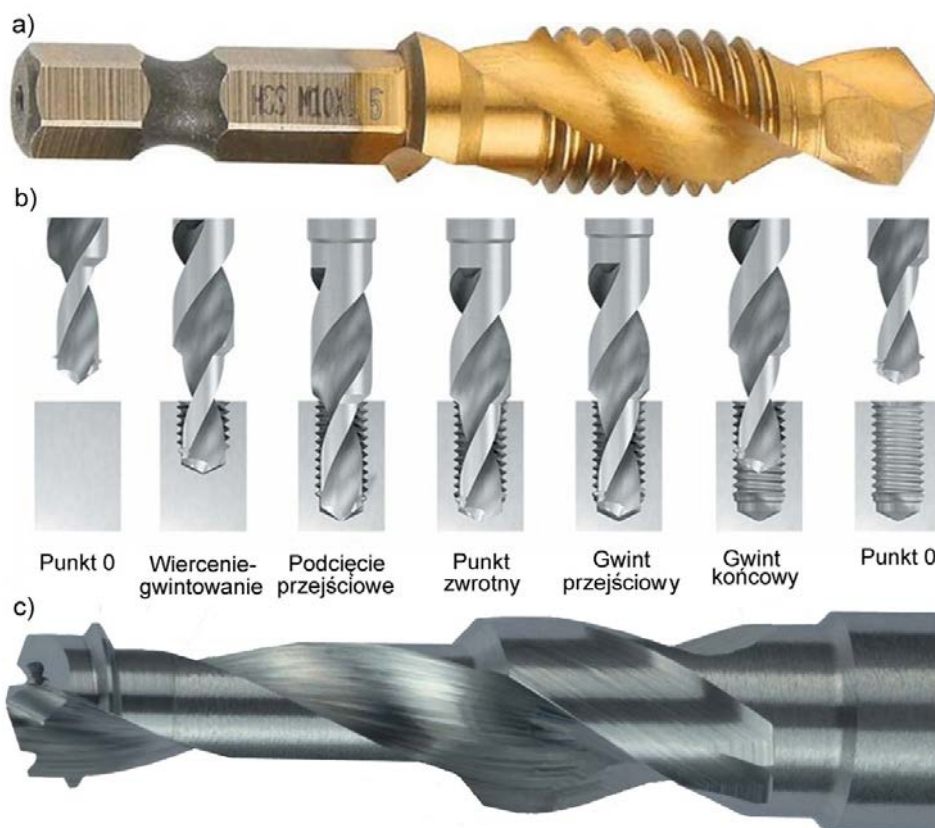
Rysunek 3.33. Nasadzone części robocze do przeciągania otworów wielowypustowych, firma August Berghaus

Stosuje się wiele **narzędzi do kształtowania gwintów**. Zwiększenie wydajności przy kształtowaniu gwintów można zapewnić różnymi sposobami, dobierając właściwą konstrukcję, materiał narzędziowy, parametry obróbki itp. W zautomatyzowanej produkcji nacinanie gwintów realizuje się gwintowaniem lub frezowaniem.



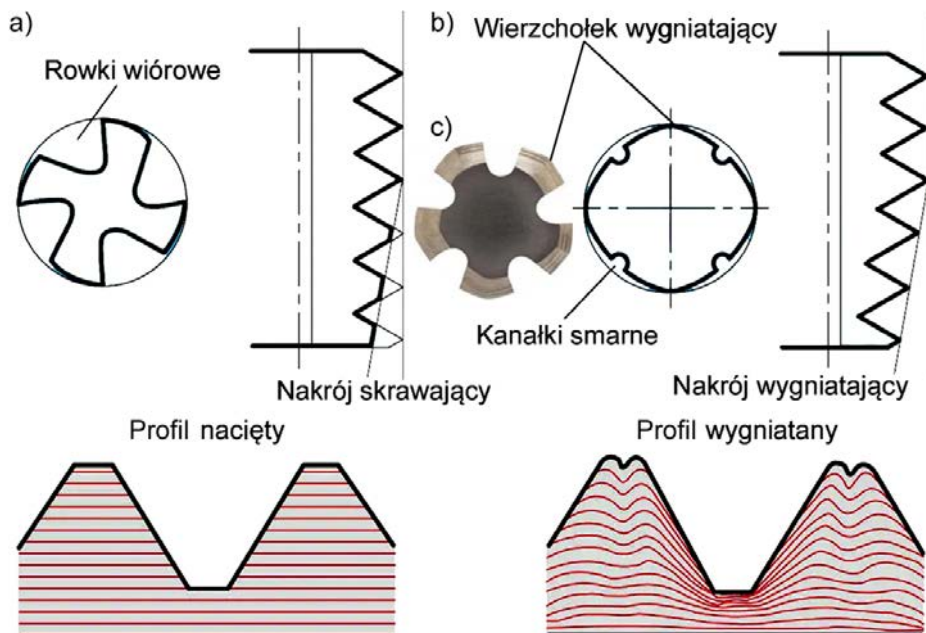
Rysunek 3.34. Konstrukcje przeciągaczy zaopatrzone w płytki wymienne: (a) sekcja dwuostrzowa firmy Colonial Tools Group, (b) sekcja przeciągacza do obróbki rowków firmy Ever Sharp Tools, (c) sekcja przeciągacza do zgrubnej obróbki otworów firmy Colonial Tools Group

Wiertła gwintujące łączą dwa podstawowe zabiegi przy kształtowaniu otworów gwintowanych, tj. wiercenie i gwintowanie, w wyniku czego zmniejsza się czas głównej obróbki oraz eliminuje się czas wymiany narzędzi. Zwiększenie wydajności procesu można zapewnić, stosując narzędzia: powlekane, pełnowęglikowe, z kanałami na chłodziwo oraz specjalne (rys. 3.35).



Rysunek 3.35. Wiertło gwintujące ze stali szybko tnącej (a) oraz specjalne pełnowęglikowe wiertła firmy Emuge Franken: schemat obróbki (b), widok narzędzia (c)

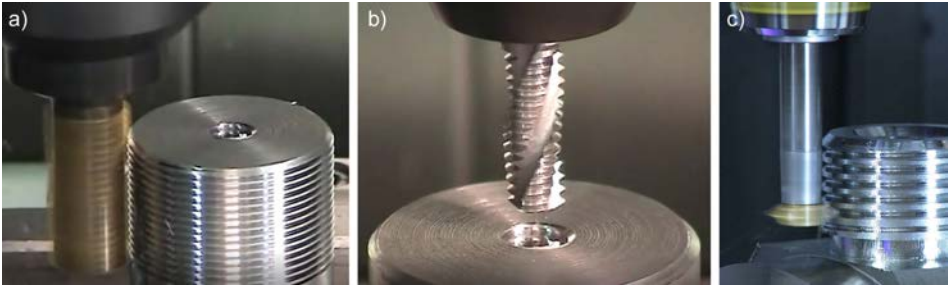
Gwintowniki można podzielić na kształtujące zarys metodą wiórową lub obróbką plastyczną na zimno (wygniataniem). Nacinanie gwintu metodą wiórową (rys. 3.36a) zachodzi poprzez wycięcie zarysu gwintu przez ostrza gwintownika w wykonanym wcześniej otworze, a profil gwintu jest dokładnym odwzorowaniem kształtu gwintownika. Gwintowniki można stosować w maszynach zarówno konwencjonalnych, jak i CNC, przy obróbce otworów w materiałach cienkich i utwardzonych.



Rysunek 3.36. Schematy kształtowania gwintu obróbką wiórową (a) i wygniataciem z rowkami smarującymi (b) oraz bez nich (c) [15]

Gwint wytworzony poprzez wygniatak ma większą trwałość oraz nośność w porównaniu z gwintem uzyskanym poprzez obróbkę wiórową, co jest spowodowane umocnieniem warstwy wierzchniej zarysu (rys. 3.36b). Zaletami wygniataków są m.in.: możliwość obróbki zarówno otworów przelotowych i nieprzelotowych, brak powstawania wiórów czy możliwość stosowania większych parametrów obróbki. Natomiast wygniataki można stosować wyłącznie w maszynach precyzyjnych przy obróbce nietwardzonych materiałów i z niezbędnym zastosowaniem środków smarowych. Warto pamiętać o zakazie stosowania wygniataków w produkcji przedmiotów z branży spożywczej. Spowodowane jest to ryzykiem pozostawiania resztek pożywienia na gwincie, co może spowodować skażenie produktów żywnościowych. Stosuje się także konstrukcje wygniataków bez kanałów do smarowania (rys. 3.36c).

Nacinanie gwintów za pomocą frezów trzpieniowych i kątowych (rys. 3.37) odbywa się na maszynach CNC, ponieważ taka technologia gwintowania wymaga zapewnienia skomplikowanych ruchów obiegowych.



Rysunek 3.37. Nacinanie gwintów frezami różnych typów: (a) wielozwojnych do gwintów zewnętrznych, (b) wielozwojnych do gwintów wewnętrznych, (c) jednozwojnych kątowych

Współczesne narzędzia do **nacinania zębów kół zębatych**, kół zapadkowych i wielowypustów działają według znanych zasad obróbki kształtowej lub metody obwiedniowej. W warunkach tradycyjnych proces ten jest realizowany na frezarkach różnych typów ze sterowaniem ręcznym. Rozwój maszyn CNC uprościł tę technologię, pozwolił na wykorzystanie narzędzi pełnowęglkowych, rozszerzył stosowanie metod tej obróbki. Na rysunku 3.38 i 3.39 przedstawiono rodzaje i możliwości metod nacinania zębów.



Rysunek 3.38. Rodzaje i możliwości metod nacinania zębów, firma Sandvik Coromant



Rysunek 3.39. Kształtowanie uzębienia frezami z płytkami wymiennymi: (a) kół zębatych, (b) wielowypustów, (c) zębatek; firma „Vargus”

W ostatnich latach narzędzia do nacinania zębów coraz częściej wyposaża się w płytki wymienne. Takie podejście, również w przypadku obróbki innych typów powierzchni, zapewnia znaczny wzrost wydajności i elastyczności produkcji, zmniejszenie kosztów eksploatacji oraz rocznego zużycia narzędzi itp.

Współczesne systemy programowania maszyn CNC pozwoliły na szerokie wdrożenie metod kształtowania zębów, znanych od dawna, ale bardzo skomplikowanych i pracochłonnych. Jako przykład można wymienić metodę strugania ciągłego Power Skiving, która jest metodą obróbki wielokrotnie szybszą od dłutowania i znacznie bardziej elastyczną, niż przeciąganie uzębienia. Wpływ na produktywność ma kąt pomiędzy osiami narzędzia i koła zębatego, który decyduje o prędkości tworzenia wióra. Usytuowanie płytek wymiennych w korpusie daje możliwość obróbki kół zespołowych w szerokim zakresie zmian średnicy podziałowej, co pozwala projektować obrabiane przedmioty z większą swobodą. Konstrukcje narzędzi Power Skiving pokazano na rysunku 3.40, a podstawowy schemat obróbki metodą Power Skiving na rysunku 3.41.

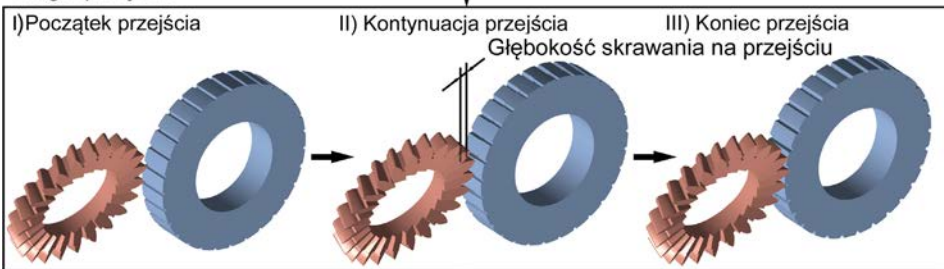


Rysunek 3.40. Narzędzia Power Skiving firmy Sandvik Coromant

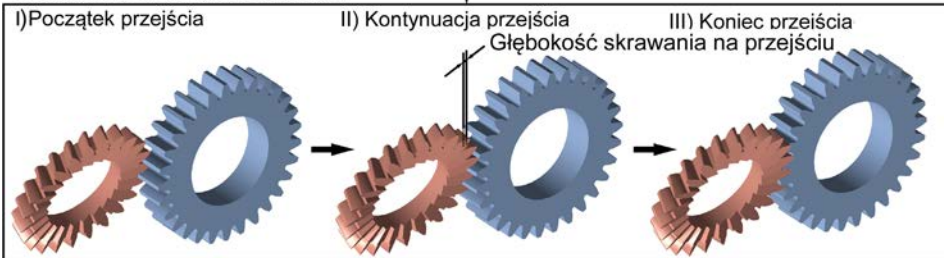
Pierwsze przejście



Drugie przejście



Ostatnie przejście (wykończenie)



Rysunek 3.41. Podstawowy schemat obróbki kół zębatych metodą Power Skiving (na podstawie [16])

3.7. Rozwój konstrukcji narzędzi ściernych

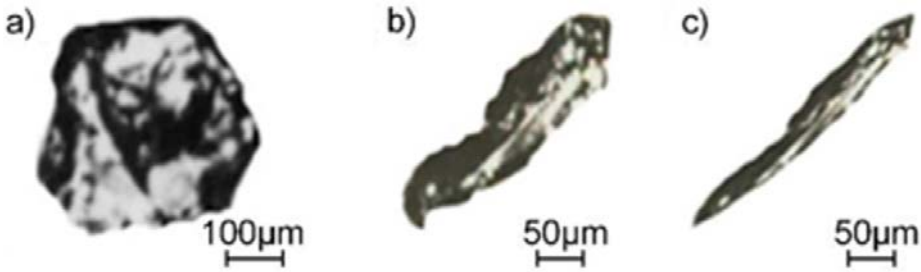
Szlifowanie jest szeroko stosowane w przemyśle ze względu na bardzo dużą liczbę przedmiotów obrabianych w stanie twardym. Zwiększenie wydajności i elastyczności obróbki oraz obniżanie kosztów wytwarzania można zapewnić poprzez wykorzystanie nowych gatunków materiałów ściernych, konstrukcji narzędzi ściernych oraz wdrożenia nowych technologii obróbki ścierniej.

Materiały ścierne klasyfikuje się zwykle jako konwencjonalne (przede wszystkim tlenek glinu i węgiel krzemu) oraz supersciernie (sześcienny azotek boru CBN i sztuczny diament DS), posiadające różne właściwości mechaniczne, termiczne i chemiczne, które mają istotny wpływ na ich dobór do poszczególnych operacji szlifowania. Najczęściej są one uszeregowane na podstawie twardości. Jednakże ich właściwości termiczne również odgrywają ważną rolę, ponieważ mogą one wpływać na odprowadzanie ciepła ze strefy kontaktu ściernicy z przedmiotem. Duże znaczenie ma także reaktywność chemiczna materiałów ściernych, gdyż w wysokiej temperaturze mogą one współoddziaływać z materiałem obrabianym, np. podczas gdy CBN jest praktycznie obojętny chemicznie w temperaturze otoczenia, to w temperaturze powyżej 1000°C reaguje z metalami aktywnymi (aluminium i tytanem). Diament, jako struktura metastabilna, jest trawiony przez tlen w temperaturach powyżej 700°C.

Aktywne krawędzie ziaren materiałów ściernych zużywają się podczas procesu szlifowania, co prowadzi do zwiększenia sił reakcji, które mogą skutkować zużyciem, pęknięciem i/lub uwolnieniem materiału ściernego z ciała narzędzia szlifierskiego.

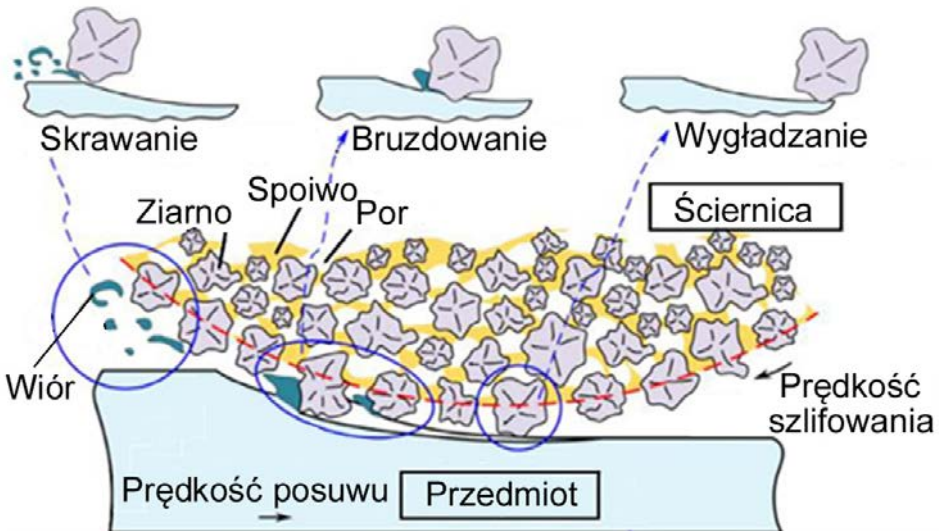
Oprócz kształtu ziaren ściernych także ich wielkość i gęstość na aktywnej powierzchni ściernicy mają duży wpływ na wynik procesu szlifowania. Mniejsze ziarna przy dużej gęstości zapewniają gładką powierzchnię, ale zwykle także krótszą żywotność narzędzia w porównaniu do wykorzystania większych ziaren, ponieważ pory ściernicy zatykają się szybciej i dlatego wymagają częstszych operacji obciążania.

Podczas gdy kształty i rozmiary ziaren ściernych wykazują silne cechy stochastyczne, dokładny ich wpływ na mechanizmy usuwania materiału i inne szczegóły procesu (siły skrawania, temperaturę na granicy ziarno – przedmiot) są trudne do oceny. Szczegóły kształtów ziaren ściernych pokazano na rysunku 3.42. Ziarna izomeryczne zapewniają 30-40% większą wydajność procesu, a nieizomeryczne zmniejszają chropowatość powierzchni o 15-20%.



Rysunek 3.42. Kształty ziaren ściernych: (a) izometryczne; (b) nieizometryczne; (c) walcowate [17]

Li i Axinte [18] zaproponowali model przepływu ciepła w szlifowaniu, który został oparty na stochastycznej topografii ściernicy. W modelu tym mikrointerakcje między ziarnem a przedmiotem obrabianym podzielono na trzy etapy zależne od głębokości skrawania, a mianowicie wygładzanie, bruzdowanie i tworzenie wióra (rys. 3.43).



Rysunek 3.43. Schemat położenia stochastycznego ziaren ściernych i szczegółów procesu szlifowania (na podstawie [18])

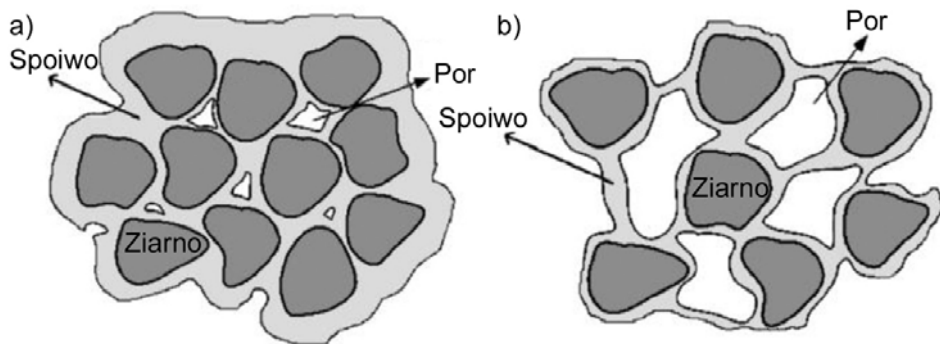
Do produkcji narzędzi ściernych stosuje się różne rodzaje konwencjonalnych **spoiw**, tj.: metalowe, galwaniczne, ceramiczne, szklano-ceramiczne, żywiczne itd.

Spoiwa odgrywają ważną rolę w zapewnieniu wydajności procesów szlifowania. Na przykład spoiwo metalowe zapewnia wysoką twardość, wysoką zdolność utrzymania kształtu oraz drobniejszą siatkę rysek od ziaren ściernych na powierzchni obrobionej.

Jednak obciążanie i zapewnienie kształtów ściernic diamentowych ze spoiwem metalowym jest bardzo trudne.

Do produkcji ściernic z porowatym spoiwem metalowym stosuje się prasowanie izostatyczne na gorąco. Ściernice o spoiwie porowatym mają większą zdolność szlifowania niż ściernice zwykłe. Ponadto, ze względu na strukturę porowatego metalowego spoiwa, ściernica jest łatwa do regeneracji, co zwiększa trwałość procesu.

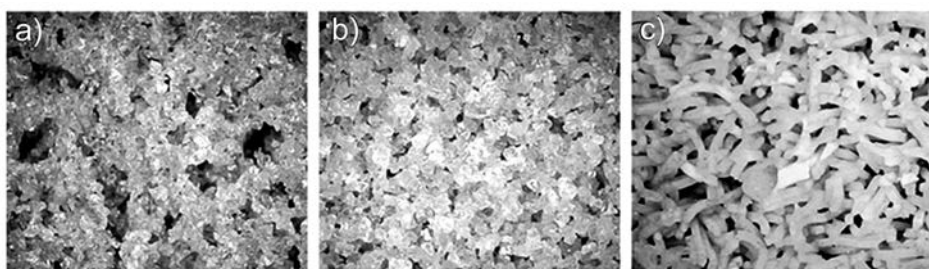
Wykorzystując spoiwo ceramika/metal/ceramika, zastosowano narzędzia diamentowe o wiązaniu hybrydowym do szlifowania bardzo twardego tlenku cyrkonu. W przypadku narzędzi ze spoiwem szklano-ceramicznym stwierdzono, że na styku spoiwa i ścierniwa CBN podczas procesu spiekania powstają wiązania chemiczne, co poprawia siły trzymania spoiwa i ścierniwa. Spoiwo jest twardsze i przyczynia się do zwiększenia współczynnika odporności na pękanie. Poprzez zastosowanie różnych proporcji materiałów wiążących struktura ściernicy może również mieć różną postać, w tym dużą porowatość, niską porowatość lub wiązanie mostkowe, co przedstawiono na rysunku 3.44. Otwarte struktury są korzystne do usuwania dużych naddatków z przedmiotów obrabianych, gdy pojemność porów jest czynnikiem ograniczającym rozmieszczenie w nich wióra. Taki typ struktury mógłby ewentualnie umożliwić zdolność ściernicy do pracy w mikroskali, ale też spowodować pęknięcie spoiwa pod wpływem dużych naprężeń. Daje on również korzyść w postaci bardziej równomiernego zużycia ziaren.



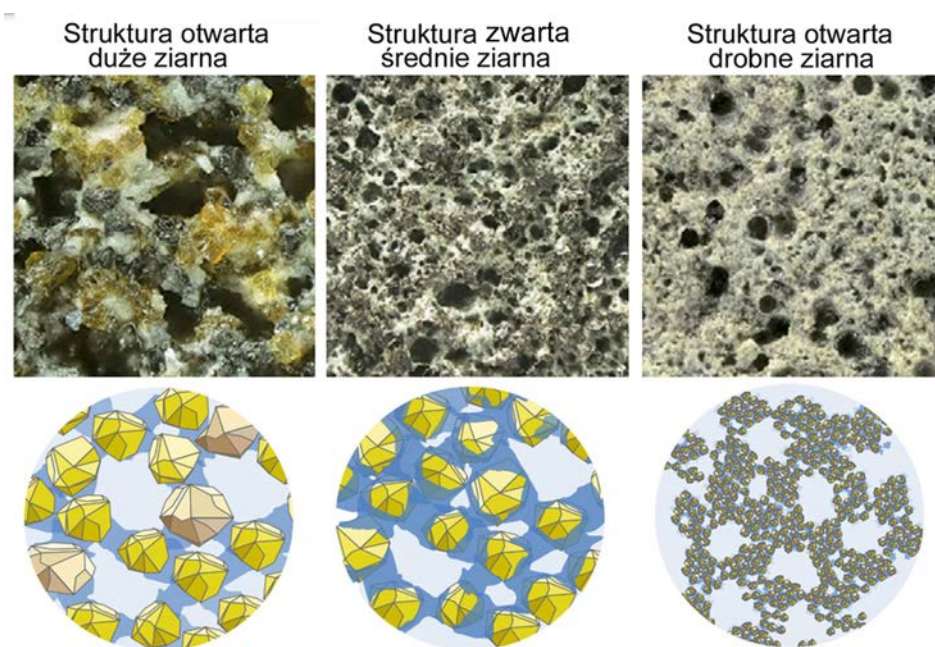
Rysunek 3.44. Schematy struktury ściernicy: (a) zwartej i (b) otwartej (na podstawie [19])

Spoiwo żywiczne jest wytwarzane tak, aby zużywało się lub ulegało erozji w tym samym tempie, co ścierniwo diamentowe. Do spoiwa żywicznego można dodawać wypełniacz grafitowy, aby poprawić niską wytrzymałość i słabą przewodność cieplną spoiwa. W przypadku ciągłego szlifowania na sucho, w wyniku zużycia ścierniwa powstaje większa ilość wyrwanych cząstek i odsłoniętych na powierzchni ściernicy ziaren.

Technologie produkcji ściernic, wymiary i kształty ziaren ściernych wpływają na szczegóły budowy ściernicy. Na rysunku 3.45 pokazano wpływ technologii i kształtu ziaren na budowę ściernic na spoiwie ceramicznym, zaś na rysunku 3.46 ściernic diamentowych.



Rysunek 3.45. Budowa ściernic ceramicznych firmy Norton Abrasives: (a) technologia konwencjonalna, (b) technologia VORTEX 2, (c) zastosowanie ziaren walcowatych [20]



Rysunek 3.46. Cechy budowy ściernic diamentowych [21]

Współczesne konstrukcje narzędzi ściernych polegają na zastosowaniu sztywnego spoiwa wymieszanego ze ścierniwem i ukształtowanego lub obrobionego według dokładnej geometrii dopasowanej do wymaganych kształtów powierzchni obrobionych. Aktualnie wykorzystywane technologie cechują się dużymi siłami szlifowania, więc ściernica powinna być wzmocniona. Siatki wzmacniające są zazwyczaj wykonywane z włókna szklanego, rzadziej stalowego i w zależności od zastosowania narzędzia mogą mieć różną grubość i wielkość oczek (im grubsza ściernica i większe ziarno, tym większe oczka i grubsze włókna). Z reguły ściernice do cięcia są wzmocniane dwiema warstwami siatek wzmacniających, a ściernice do szlifowania co najmniej trzema.

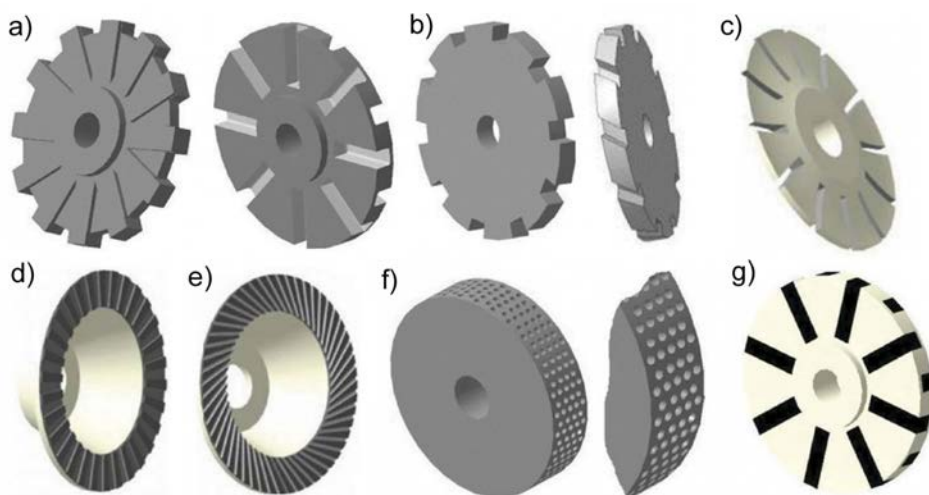
Główne zalety ściernic wzmocnionych to:

- zwiększona wytrzymałość na rozciąganie, co pozwala zwiększyć prędkość obrotową nawet do 200-250 m/s i więcej,
- bezpieczeństwo szlifowania jest zwiększone, zwłaszcza dla ściernic tnących, gdzie kawałki ścierniwa w przypadku złamania pozostają na tarczy, a nie są wyrzucane z ogromną prędkością; niewzmocniona ściernica po uszkodzeniu rozpada się na drzazgi, natomiast z wzmocnionej ściernicy wyrwany jest znacznie mniej szkodliwy całkowity „sektor”,
- zmniejszenie ilości spoiwa bez utraty właściwości wytrzymałościowych,
- możliwość tworzenia cienkich ściernic z gruboziarnistego ścierniwa, co rozszerza możliwości ich zastosowania,
- większa odporność na temperaturę, co pozytywnie wpływa na żywotność i wydajność narzędzi.

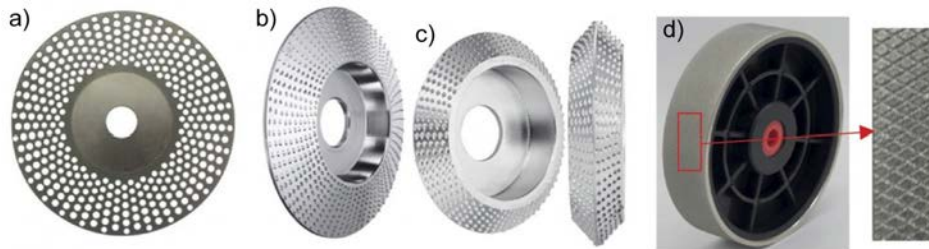
Efektywność pracy ściernic może być zwiększona przy użyciu powierzchni roboczych nieciągłych. Na rysunku 3.47 pokazano ściernice z przerywanym profilem, a na rysunku 3.48 ściernice o powierzchni nieciągłej.

W ostatnich latach zaproponowano narzędzia łączące aspekty zarówno ciał sztywnych, jak i elastycznych. Przykładem może być proces SAG (ang. *shape adaptive grinding*), w którym elastyczne ciało (np. guma nitrylowa, silikon) jest pokryte stosunkowo sztywnymi granulami wykonanymi z metalu, żywicy lub ceramiki. Nominalnie kuliste narzędzie jest więc w stanie makroskopowo dostosować się do różnych krzywizn obrabianego przedmiotu, co przedstawiono na rysunku 3.49. Natomiast w skali mikroskopowej uzyskuje się sztywny kontakt pomiędzy granulem a powierzchnią obrabianego przedmiotu.

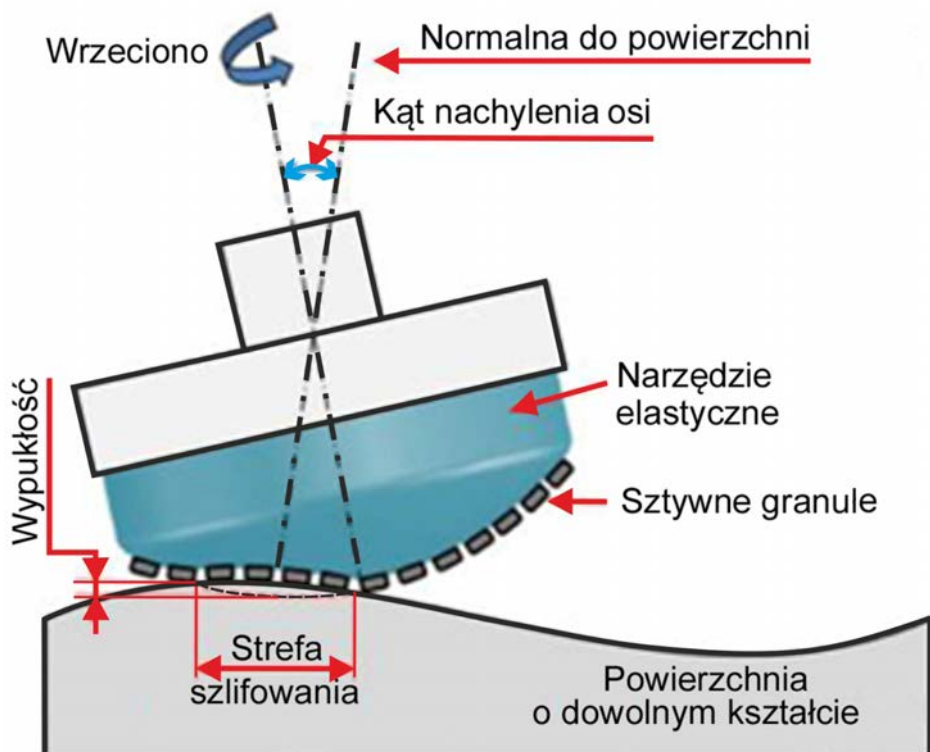
Takie narzędzia zapewniają wydajność szlifowania nawet 10-krotnie większą w porównaniu z konwencjonalnymi ściernicami o podobnym spoiwie i wielkości ziarna ściernego. Większa powierzchnia, na której odbywa się ścieranie w SAG, zapewnia mniejsze siły szlifowania i generowanie ciepła w obszarze poszczególnych ziaren, co sprzyja dłuższej żywotności narzędzia. Proces SAG pozwala na uzyskanie elastycznego usuwania nadmiaru w twardych materiałach ceramicznych, tj. węgliku krzemu i węgliku wolframu, przy zastosowaniu wystarczająco małej wielkości ziarna ściernego (np. 3 μm). Proces pozwala na skuteczną obróbkę powierzchni po powlekanii próżniowym lub też powierzchni wyprodukowanych za pomocą technologii przyrostowych.



Rysunek 3.47. Ściernice z profilem przerwanym: (a) rowki promieniowe, (b) rowki proste i pochylone na obwodzie, (c) do szlifowania zębów kół zębatych, (d) rowki na czole ściernicy położone w kierunku promieniowym, (e) rowki na czole ściernicy położone w kierunku skośnym, (f) o powierzchni z wgłębieniami, (g) dwuskładnikowa



Rysunek 3.48. Ściernice o powierzchni nieciągłej: (a) trójstronna powlekana z otworkami, (b) jednostronna z otworkami, (c) kątowa z otworkami, (d) z reliefem krzyżowym



Rys. 3.49. Zasada działania narzędzi szlifierskich z adaptacją kształtu (na podstawie [22])

EFEKTYWNE OPRZYRZĄDOWANIE TECHNOLOGICZNE

4.1. Współczesne konstrukcje uchwytów obróbkowych

4.1.1. Wymagania dotyczące uchwytów obróbkowych stosowanych na maszynach CNC

Efektywne wykorzystanie maszyny CNC obliguje do zapewnienia szeregu specyficznych wymagań stawianych uchwytom obróbkowym, co wynika z charakteru pracy maszyn CNC. Nieprzestrzeganie tych wymagań znacznie ogranicza korzyści, jakie można uzyskać z zastosowania współczesnych maszyn CNC, a jest to związane z tym, że:

1. Maszyny CNC cechują się wysoką dokładnością. W związku z tym, uchwyty również muszą być wykonane z wysoką dokładnością, aby zapewnić wysoką jakość obróbki przedmiotów. Błędy pozycjonowania i mocowania, które występują podczas ustawiania przedmiotów w uchwytach, powinny być zminimalizowane (w miarę możliwości do zera).
2. Maszyny CNC mają zwiększoną sztywność i moc silników. W związku z tym, w uchwytach należy stosować zwiększoną sztywność ich konstrukcji, aby wykorzystać pełną wydajność maszyn w operacjach zgrubnych i zapewnić wysoką dokładność w operacjach wykończeniowych.
3. Względne ruchy obrabianego przedmiotu i narzędzia na maszynach CNC są wykonywane automatycznie w ustalonym układzie współrzędnych. W związku z tym, oprzyrządowanie musi zapewniać skuteczne bazowanie przedmiotów obrabianych, tzn. eliminację wszystkich sześciu stopni swobody. Należy dokładnie określić położenie elementów bazowych przyrządu technologicznego względem początku współrzędnych maszyny (punktu zero).
4. W celu zapewnienia automatycznej orientacji elementów bazujących przyrządu technologicznego względem punktu zerowego obrabiarki wymaga się pewnego zamocowania przyrządu na obrabiarce, zapewniającego zdefiniowaną jego pozycję wobec punktu zerowego. Bardziej szczegółowo te kwestie opisali Habrat i Wdowik [23].
5. Maszyny CNC umożliwiają obróbkę maksymalnej liczby powierzchni z jednego ustawienia przedmiotu na stole roboczym. W tym celu oprzyrządowanie musi zapewniać pełną dostępność dojazdu narzędzia do powierzchni przedmiotu, tzn. możliwość podejścia narzędzia do wszystkich powierzchni obrabianych.

6. Możliwość obróbki na maszynach CNC maksymalnej liczby powierzchni z jednego ustawienia przedmiotu znacznie skraca czas obróbki przedmiotu na jednej maszynie, umożliwiając wymianę przedmiotów w drugim uchwycie poza obszarem roboczym maszyny lub poza maszyną podczas jej pracy.
7. Korzystną cechą maszyn CNC jest ich elastyczność, tzn. możliwość szybkiego przezbroyenia, gdyż przezbroyenie to polega jedynie na zmianie programu. Większość czasów pomocniczych jest poświęcana na zmianę oprzyrządowania i narzędzi. Dlatego, aby ograniczyć czas przestoju maszyny, oprzyrządowanie musi umożliwiać szybką jego zmianę lub przezbroyenie. Na maszynach CNC najbardziej efektywne jest stosowanie systemów uchwytów dających możliwość obróbki szerokiej gamy elementów poprzez rekonfigurację, zmianę lub regulację elementów mocujących i dociskowych. Oprzyrządowanie stosowane w produkcji seryjnej do obróbki małych detali powinno być wielostanowiskowe, ponieważ w tym przypadku możliwa jest obróbka powierzchni wszystkich detali tym samym narzędziem. Wydajność obróbki jest zwiększona poprzez redukcję czasu potrzebnego na wymianę narzędzi. Ponadto wielostanowiskowe uchwyty umożliwiają wymianę obrobionych przedmiotów podczas pracy maszyny oraz pracę jednocześnie na kilku maszynach.

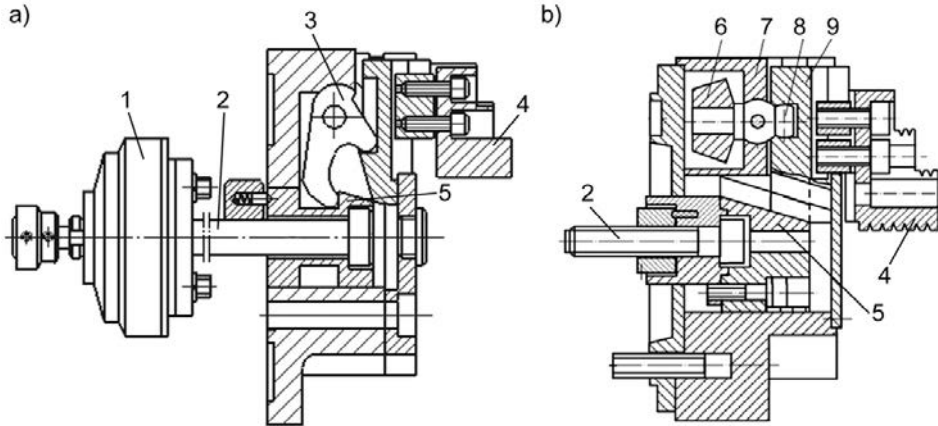
Ogólnie rzecz biorąc, wszystkie uchwyty w zależności od kształtów przedmiotów obrabianych i szczegółów ich obróbki obróbkowe można podzielić na dwa rodzaje. Przedmioty w trakcie obróbki mogą wykonywać ruch obrotowy lub liniowy, posuwisto-zwrotny, więc uchwyty też dzielimy na dwie grupy według zasad ich działania, tj. tokarskie, wykorzystywane do mocowania obracających się wyrobów, a także frezarskie, do obróbki wyrobów nieruchomych, ponieważ ruch liniowy zapewniają zespoły maszyny obróbkowej. Uchwyty wykorzystywane do operacji tokarskich, lecz różniące się szczegółami konstrukcji, wykorzystuje się również w operacjach szlifowania lub frezowania wałów i otworów, uchwyty frezarskie zaś przy szlifowaniu powierzchni płaskich.

4.1.2. Podział i przykłady konstrukcji uchwytów tokarskich

Ze względu na warunki zastosowania uchwyty tokarskie można podzielić na kilka grup.

Uchwyty uniwersalne służące do bazowania i mocowania półfabrykatów o różnych wymiarach i kształtach, obrabianych na różnych obrabiarkach w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Uchwyty uniwersalne tokarskie zapewniają zacisk przedmiotów z bazowaniem na powierzchni zewnętrznej lub na powierzchni osiowego otworu. Na maszynach CNC siłę zacisku zapewniają napędy pneumatyczne, hydrauliczne lub elektromechaniczne, które działają samodzielnie lub należą do układów maszyny. Ogólna siła wypadkowa zostaje transformowana na siły działające na każdej ze szczęk, np. za pomocą układu klinowego lub dźwigniowego (rys. 4.1). W miarę wzrostu prędkości skrawania w uchwytach stosuje się zespoły przeciwdziałania siłom odśrodkowym. Stąd w uchwycie (rys. 4.1b) w korpusie (7) na osiach rozmieszczone są ciężarki (6), których masa zapewnia przeciwdziałanie większe niż siły odśrodkowe. Kuliste powierzchnie (8)

kołków zapewniają przemieszczenie bocznych powierzchni szczęk uchwytu w kierunku prostopadłym do osi uchwytu, tym samym zwiększając siłę zacisku.

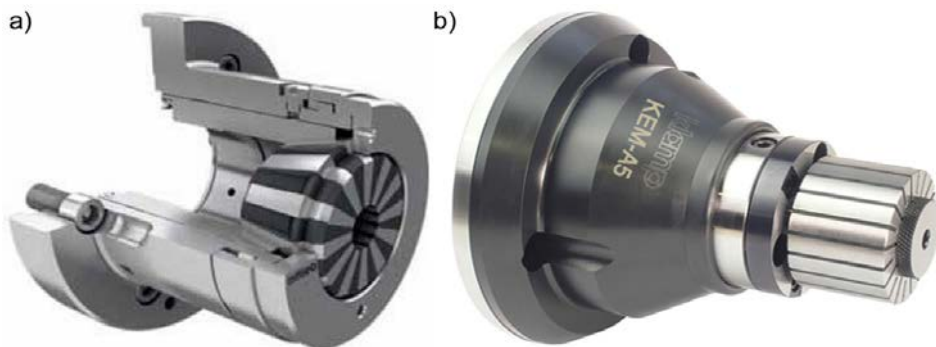


Rysunek 4.1. Uniwersalne uchwyty tokarskie stosowane w maszynach CNC: (a) mocowanie dźwignią, (b) mocowanie klinem; 1 – siłownik pneumatyczny, 2 – tłoczek, 3 – dźwignia, 4 – szczęki mocujące, 5 – tuleja przesuwna

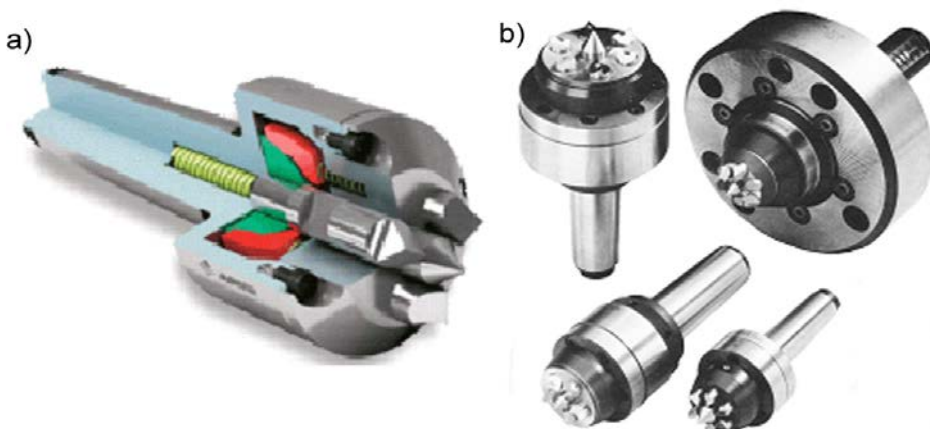
Inną odmianą chwytów uniwersalnych są uchwyty zaopatrzone w tuleje zaciskowe (rys. 4.2). Zapewniają one mocowanie prętów lub krótkich wałów (rys. 4.2a) lub też tulei i tarcz na otworach bazowych (rys. 4.2b). Ponieważ pręty często mają niską dokładność wykonania średnicy, do skutecznego ich zacisku zaleca się stosowanie sprężystych tulei zaciskowych w postaci płatków z hartowanej stali połączonych w całość wkładkami z materiałów elastycznych, np. gumy, poliuretanu itd. (rys. 4.2a).

Do uniwersalnych chwytów tokarskich należą także uchwyty z nożami czołowymi (rys. 4.3), przeznaczone przede wszystkim do przelotowej obróbki elementów typu wałek. Taki uchwyt posiada kiel pływający, podparty sprężyną, który podczas obróbki opiera się na powierzchni nakielka przedmiotu, oraz komplet noży czołowych. Noże opierają się na podkładce z masy elastycznej poprzez podkładkę przegubową, co pozwala im na samoczynne dopasowywanie się do kształtu powierzchni czołowej obrabianego przedmiotu i umożliwienie obróbki powierzchni nieprostopadłych odlewów, odkuwek itp. Podczas mocowania noże zagłębiają swoje ostre krawędzie w powierzchnię obrabianego przedmiotu i przenoszą moment obrotowy niezbędny do procesu toczenia. Przy zmianie średnic wałków uchwyty są wymieniane.

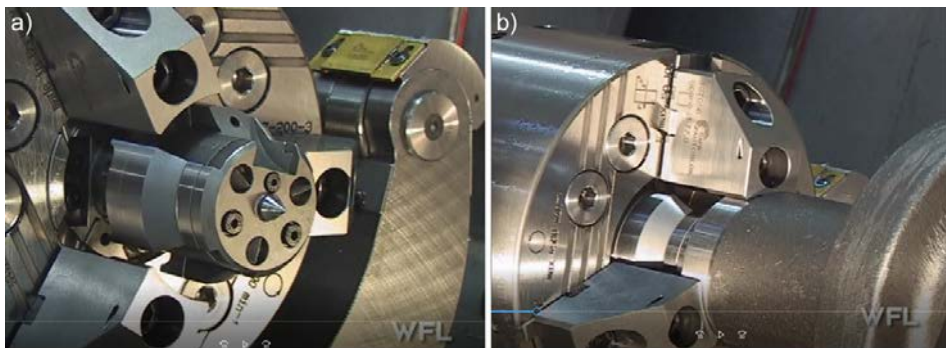
Przy obróbce wyrobów z dużymi naddatkami można połączyć w jednej operacji zastosowanie chwytów różnych typów. Na przykład firma WFL przy frezowaniu wału krzywkowego na początku obróbki zastosowała mocowanie wyrobu w uchwycie z nożami czołowymi z podparciem kłem konika (rys. 4.4a) do obróbki powierzchni bazowej dla szczęk uchwytu samocentrującego, który to uchwyt następnie wykorzystano do dalszej obróbki (rys. 4.4b).



Rysunek 4.2. Uchwyty wyposażone w tuleje zaciskowe: (a) firmy ORTLIEB do mocowania wałków, (b) firmy Kitagawa Europe do mocowania tulei

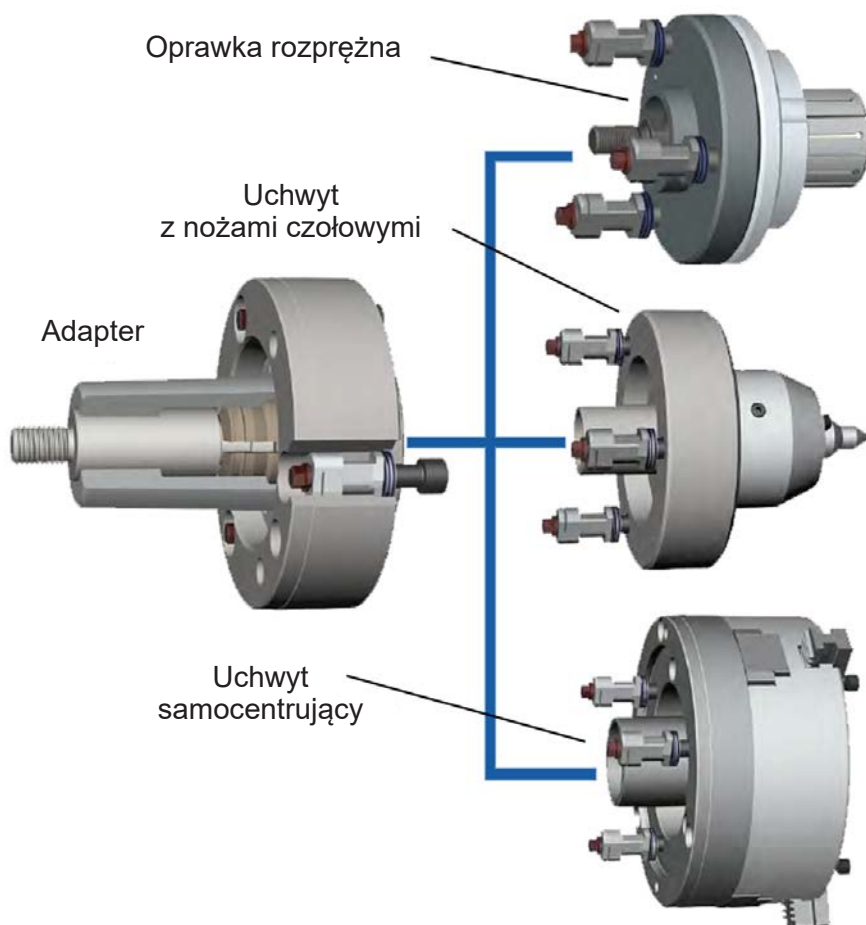


Rysunek 4.3. Schemat (a) i konstrukcje uchwyty z nożami czołowymi (b)



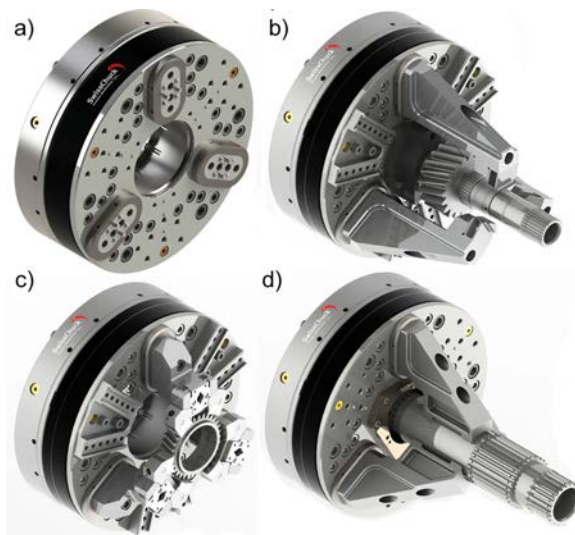
Rysunek 4.4. Obróbka wału z kombinacją dwóch uchwyty: (a) uchwyt z nożami czołowymi wewnątrz uchwyty trójścżękowego, szczęki otwarte; (b) szczęki zaciśnięte na wstępnie obróbenj powierzchni

Uchwyty zespołowe zapewniają zmniejszenie czasu nastawiania maszyny na obróbkę nowego przedmiotu wskutek zastosowania zestawów modułowych określonego przeznaczenia (rys. 4.5). Zestaw składa się z bazowego adaptera, oprawki rozprężnej do mocowania przedmiotów z bazowaniem na otworze i dwóch rodzajów uchwytów (z nożami czołowymi i klasycznymi szczękami). Moduły mocuje się w adapterze za pomocą tulei zaciskowej.



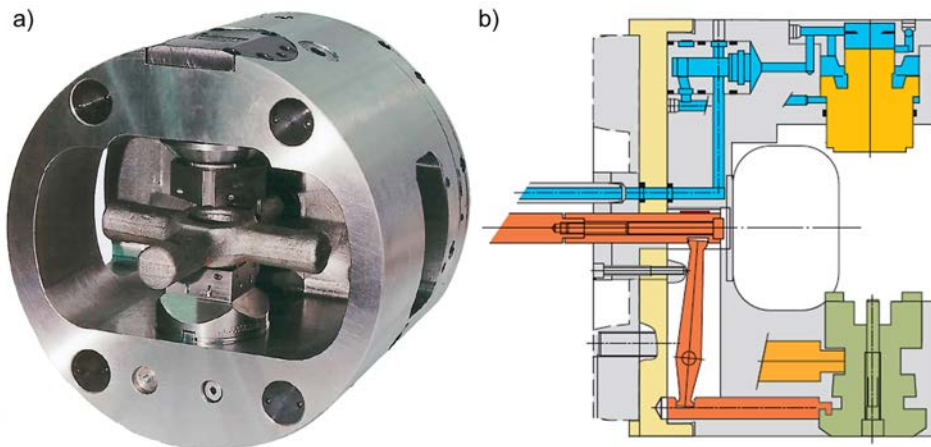
Rysunek 4.5. Zestaw modułów firmy RÖHM GmbH

Uchwyty niekonwencjonalne zapewniają skuteczną obróbkę wyrobów o nietypowych kształtach przy nietypowych sposobach mocowania. Na rysunku 4.6 pokazano różne typy uchwytów do obróbki kół zębatych, w tym zębników, niewymagających stosowania konika lub podtrzymańki.



Rysunek 4.6. Uchwyty firmy SwissChuk: (a) adapter, (b-d) szczęki wymienne

Napędzany hydraulicznie uchwyt obrotowy (rys. 4.7) przeznaczony jest do obróbki części z krzyżującymi się osiami (typu „krzyżyk”) i posiada dodatkową oś położoną pod kątem 90° w stosunku do osi wrzeciona.



Rysunek 4.7. Widok (a) i schemat (b) układu hydraulicznego uchwyty obrotowego firmy RÖHM GmbH

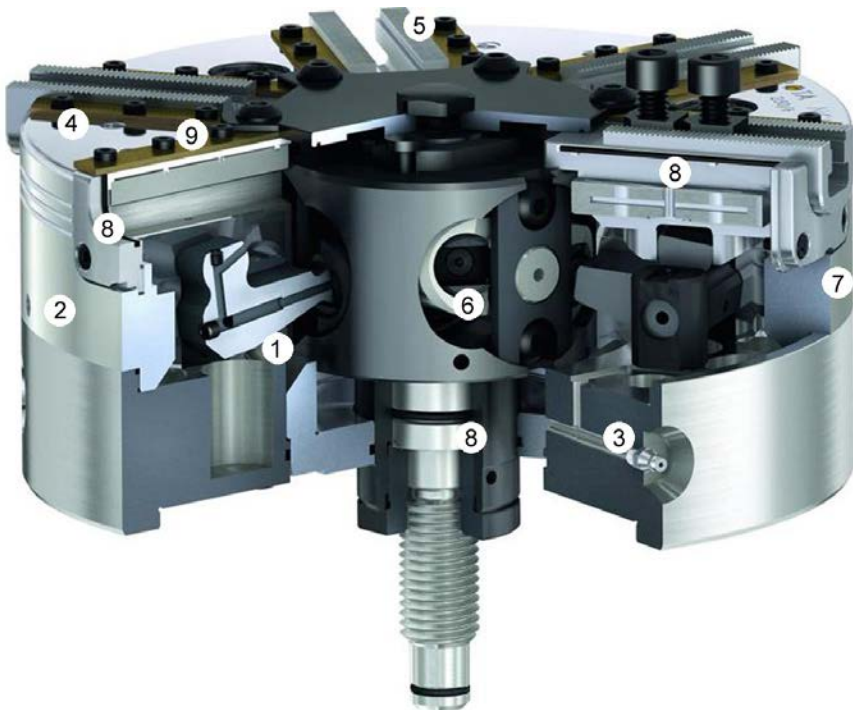
W pełni automatyczna zmiana ustawienia przedmiotu przy obracającym się wrzecionie maszyny CNC umożliwia uzyskanie wysokiej efektywności ekonomicznej. Do

obsługi uchwytu potrzebny jest hydrauliczny rozdzielacz obrotowy lub siłownik mocujący. Sterowanie odbywa się poprzez moduł sterujący zintegrowany z układem hydraulicznym maszyny lub poprzez odrębny moduł hydrauliczny.

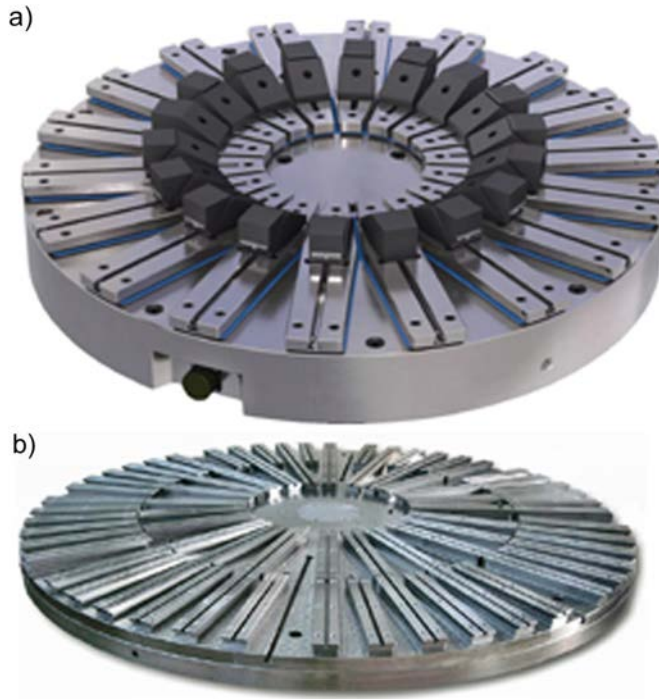
Uszczelniony uchwyt sześcioszczękowy (rys. 4.8) wyposażony jest w specjalne uszczelnienia umieszczone na styku ząbkowanej szczęki bazowej i tłoków uchwytu, uniemożliwiające wypłukiwanie smaru i zapobiegające stopniowemu zmniejszaniu siły zacisku. Ponadto uszczelka zapobiega także dostaniu się wiórów i zanieczyszczeń do korpusu uchwytu, co zwiększa niezawodność i wydłuża okresy przeglądowe uchwytu.

Magnetyczne uchwyty tokarskie (rys. 4.9) wykorzystują do mocowania przedmiotów siły elektromagnetyczne, dzięki czemu wzrasta skuteczność i niezawodność mocowania.

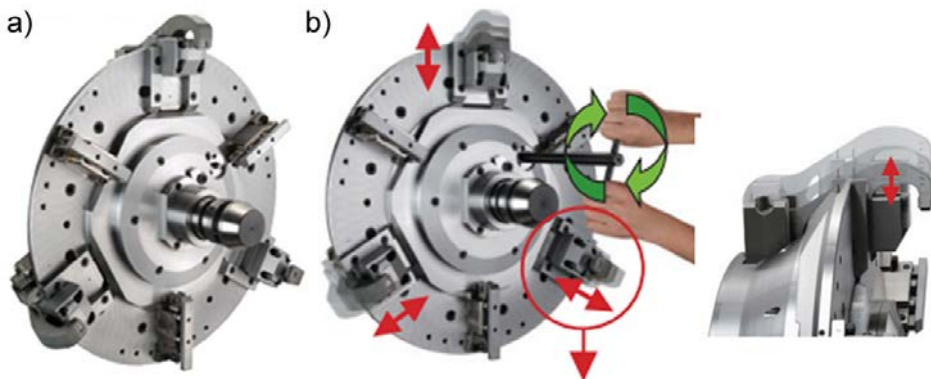
Uchwyty do obróbki stopów lekkich z dużymi prędkościami skrawania (rys. 4.10) cechują się sztywnością i małą masą części ruchomych, ponieważ zamiast masywnych szczęk stosowane są lekkie dociski.



Rysunek 4.8. Uszczelniony uchwyt sześcioszczękowy ROTA NCR-A firmy SCHUNK:
 1 – kątowna dźwignia ciągnąca, 2 – utwardzony sztywny korpus, 3 – układ smarowania,
 4 – gwinty montażowe, 5 – standardowy interfejs szczęk, 6 – wewnętrzny mostek wahliwy,
 7 – uszczelnienie w przypadku konieczności dłuższych okresów przeglądowych,
 8 – uszczelnienie przy szczękach bazowych oraz śrubie, 9 – śruba mocująca



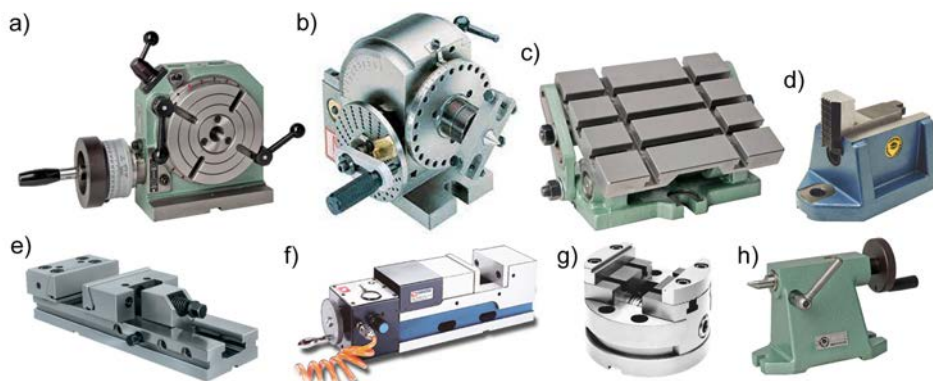
Rysunek 4.9. Uchwyty magnetyczne: (a) Magnus MGT firmy Schunk, (b) Radial Pole firmy PROMOTECH



Rysunek 4.10. Uchwyt firmy Kitagawa do obróbki szybkościowej wraz z zasadami ich działania: (a) widok, (b) schemat działania

4.1.3. Podział przyrządów frezarskich i przykłady ich konstrukcji

Przyrządy frezarskie, podobnie jak przyrządy tokarskie, można podzielić na kilka odmian. Uniwersalne przyrządy mogą być nienastawiane i nastawiane, a przykłady takich przyrządów przedstawiono na rysunku 4.11.



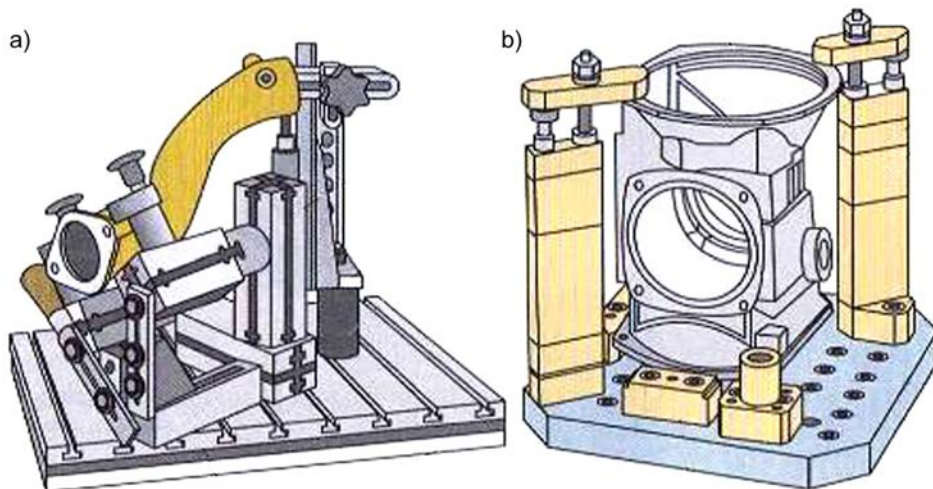
Rysunek 4.11. Uniwersalne przyrządy frezarskie różnych firm: (a) stół podziałowy, (b) podzielnica, (c) stół frezarski pochylny, (d) szczeka nastawna, (e) imadło mechaniczne, (f) imadło pneumatyczne, (g) imadło magnetyczne samocentrujące, (h) konik

Uchwyty specjalne służą do bazowania i mocowania określonego półfabrykatu obrabianego na tej samej maszynie w produkcji wieloseryjnej lub masowej, tj. z rzadkimi (co 3-5 lat) zmianami produkcyjnymi. Wysoką dokładność i sztywność takich uchwytów uzyskuje się dzięki bezluzowemu łączeniu części, minimalnej liczbie połączeń rozłącznych oraz zastosowaniu części mocujących o optymalnych wymiarach. W uchwytach tych, w niektórych przypadkach stosuje się także automatyzowane wprowadzenie i usuwanie elementów. Główną wadą natomiast jest nieodwracalność konstrukcji, tzn. oprzyrządowanie jest wysyłane do utylizacji po zmianie elementu produkowanego na inny. Przykłady przyrządów specjalnych pokazano na rysunku 4.12.

W **przyrządach modułowych** oprócz uchwytów uniwersalnych i specjalnych coraz częściej stosowane są konstrukcje modułowe (uchwyty składane) montowane z kompletu elementów wytwarzanych przez wyspecjalizowane firmy. Konstrukcje modułowe można stosować niezależnie od typu produkcji i rodzaju operacji. Ich zastosowanie pozwala skrócić okres technicznego przygotowania produkcji, zminimalizować wielkość magazynów i zapewnić ciągłość wytwarzania. Połączenie poszczególnych elementów odbywa się za pośrednictwem wpustów usytuowanych w precyzyjnych rowkach teowych lub za pośrednictwem dwustronnych kołków stożkowych umiejscowionych w precyzyjnych otworach za pomocą tulei rozprężnych (rys. 4.13).



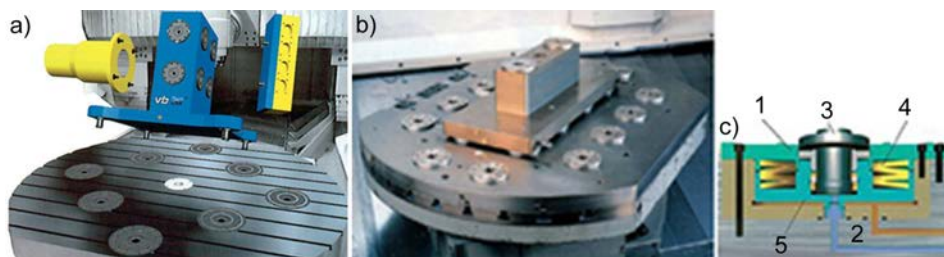
Rysunek 4.12. Przykłady specjalnych uchwytów frezarskich



Rysunek 4.13. Sposoby połączenia elementów w konstrukcjach modułowych [24]:
(a) za pomocą wpustów, (b) za pomocą kołków

Zestaw modułowy składa się z od 1500 do 25 000 części i może być użyty do zmontowania 200-250 uchwytów jednocześnie. W zależności od złożoności konstrukcji montaż może trwać od 1 do 15 godzin.

Skuteczność mocowania przedmiotów obrabianych wzrasta przy wykorzystaniu dwustronnie działających siłowników hydraulicznych (1), które są montowane na stole obrabiarki lub wbudowane w korpusie (2) płyty bazowej (rys. 4.14).



Rysunek 4.14. Zastosowanie siłowników hydraulicznych firmy Vischer & Bolli AG: (a) wmontowanych w stół maszyny CNC, (b) wmontowanych w uchwyt modułowy; (c) schemat działania: 1 – tłok, 2 – korpus siłownika, 3 – korek, 4 – sprężyna, 5 – tłok siłownika

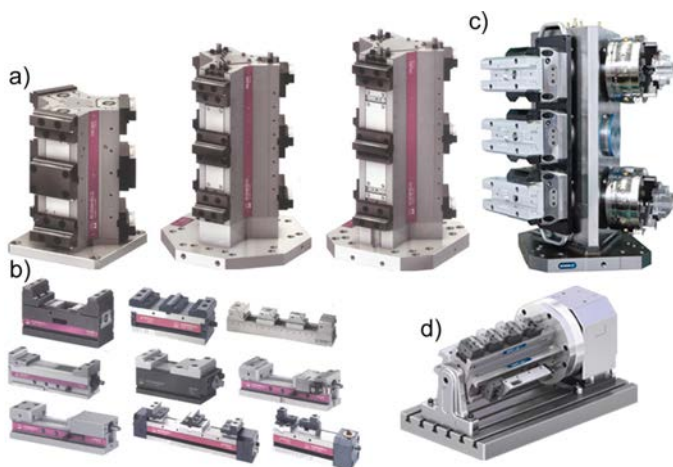
Dociski mocujące są połączone z gwintowanymi korkami (3) umieszczonymi w tłoku (5) siłownika. Korki są usztywniane i zaciskane przez sprężynę napinającą (4). Siłowniki są podłączone do układu hydraulicznego maszyny lub wolnostojącej stacji. Takie rozwiązanie eliminuje stosowanie zewnętrznych przewodów wysokociśnieniowych doprowadzających olej do zacisków, które blokują obszar roboczy, utrudniają wkładanie i wyjmowanie obrabianego przedmiotu oraz usuwanie wiórów.

Inny przykład zastosowania przyrządów modułowych przedstawiono na rysunku 4.15. Zespoły modułowe działają jako punkty bazowe przy ustawianiu korpusu.



Rysunek 4.15. Mocowanie korpusu na zestawie podpór modułowych firmy KIPP

Najbardziej efektywne jest wykorzystanie funkcjonalnych zespołów zamocowanych na uniwersalnych wielostronnych kolumnach. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów kompletnych przedstawiono na rysunku 4.16, natomiast zespołów funkcjonalnych na rysunku 4.17.



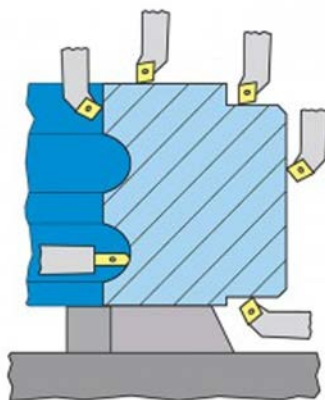
Rysunek 4.16. Uniwersalne kolumny modułowe (a) i imadła wymienne (b) firmy Roemheld, kolumna modułowa z zamocowanymi imadłami i uchwytami firmy Schun (c), podzielnica CNC z zamocowaną kolumną 4-stronną firmy Schunk (d)



Rysunek 4.17. Zespoły funkcjonalne firmy Roemheld

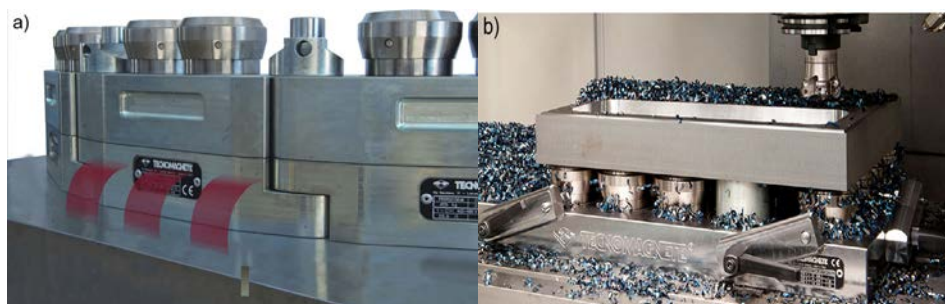
Uchwyty magnetyczne umożliwiają zamocowanie przedmiotów z dostępem do obrabianych powierzchni z 5 stron (rys. 4.18).

W uchwytach magnetycznych może być wykorzystywane pole stałe lub pole zmienne. Przedmioty obrabiane mogą być mocowane z użyciem stałych kostek dystansowych, w pozycji pionowej na wieży mocującej, bezpośrednio za pomocą ograniczników, za pomocą płyty łączącej o zróżnicowanym kształcie, za pomocą kostek dystansowych i ograniczników.



Rysunek 4.18. Schemat obróbki z mocowaniem w uchwycie magnetycznym

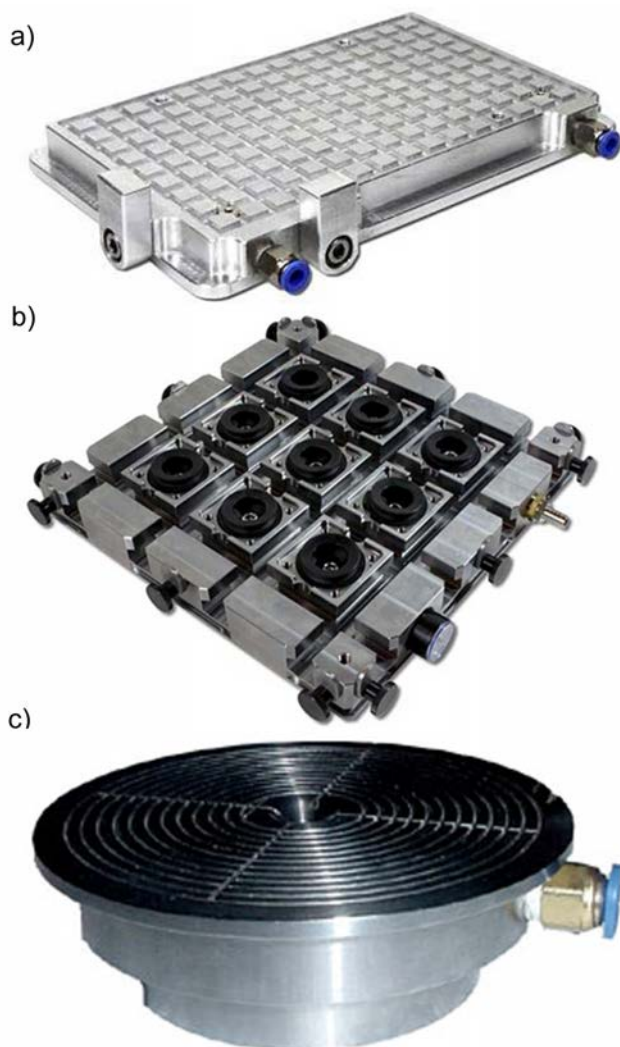
Powierzchnia robocza uchwytu składa się z biegunów magnetycznych ułożonych na przemian w szachownicy i oddzielonych od siebie warstwą żywicy epoksydowej. W innych przypadkach, np. przy bazowej powierzchni o skomplikowanym kształcie, powierzchnia robocza składa się z połączonych między sobą pojedynczych modułów. Stół maszyny roboczej wyposaża się także w listwę oporową zapobiegającą przesuwaniu przedmiotu, jeśli siła trzymania nie będzie wystarczająca. Na końcu cyklu system sterowania zapewnia dezaktywację magnesu i eliminację resztkowego pola magnetycznego. Przykłady uchwytów magnetycznych przedstawiono na rysunku 4.19.



Rysunek 4.19. Uchwyty magnetyczne: (a) moduły do kształtowania powierzchni roboczej firmy Tecnomagnete, (b) uchwyt frezarski firmy Tecnomagnete do obróbki płaszczyzn i rowków

Uchwyty do mocowania próżniowego umożliwiają szybką i łatwą obróbkę i są kompatybilne z obrabiarkami CNC. Technikę próżniową często stosuje się w połączeniu ze specjalnymi systemami manipulacyjnymi. Stoły próżniowe są prostokątne lub

okrągłe, a przy płaskiej roboczej powierzchni i zapewniają różne poziomy siły mocowania (rys. 4.20). Wyposażając stoły w elastyczne przyssawki lub mieszki z polimeru lub gumy, można zapewnić mocowanie trójwymiarowych przedmiotów o niskiej sztywności (rys. 4.21).



Rysunek 4.20. Stoły do sztywnego mocowania próżniowego: (a) małe siły mocowania przy szlifowaniu firmy Vacusystem, (b) duże siły mocowania przy frezowaniu firmy Vacusystem, (c) małe siły mocowania przy szlifowaniu firmy MTI Corporation



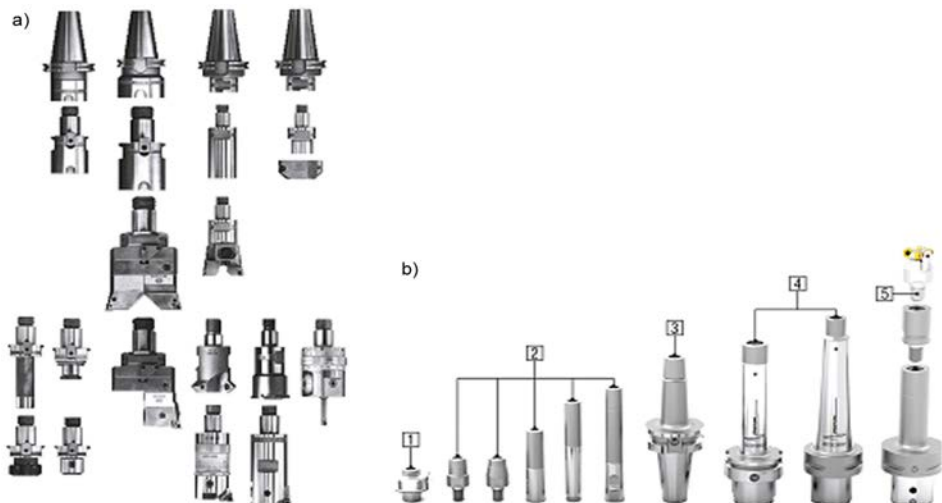
Rysunek 4.21. Mocowanie elastyczne: (a) cienkich płaskich blach firmy Vacusystem, (b) przestrzennych blach kompozytowych firmy Aerospatiale Nantes

4.2. Systemy mocowania narzędzi

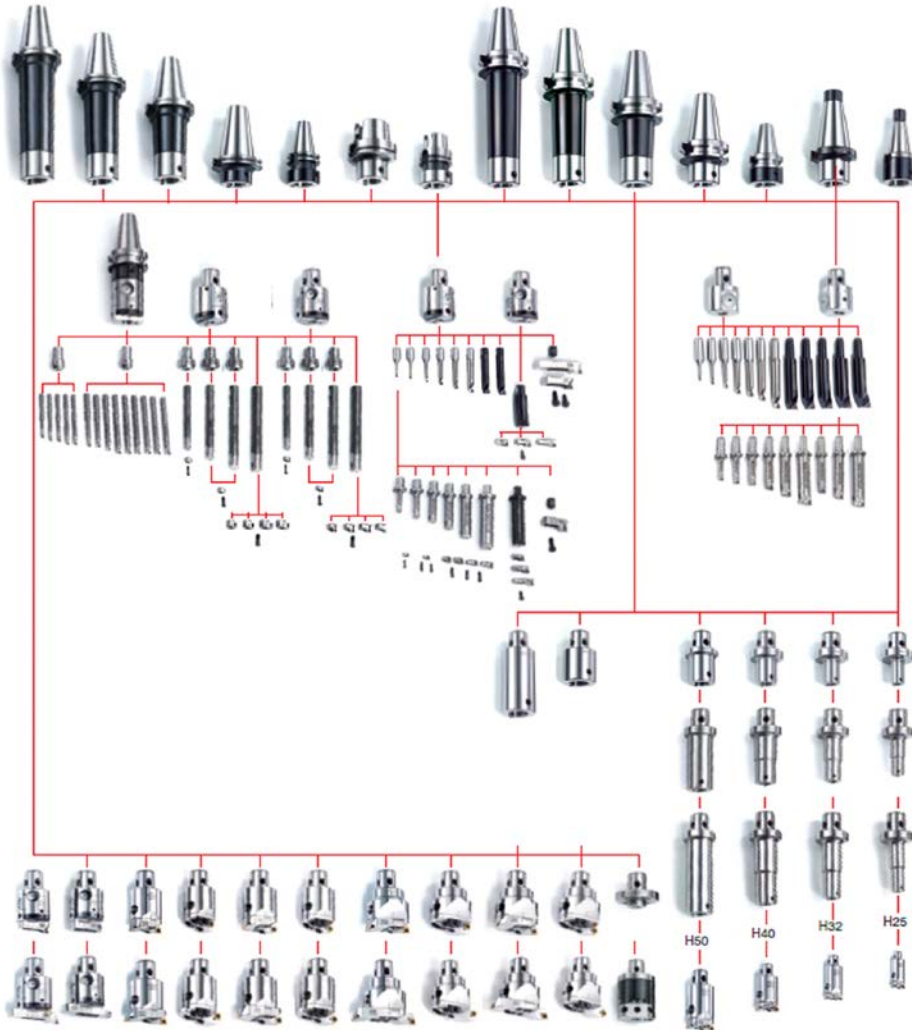
Efektywne wykorzystanie maszyn CNC można zapewnić poprzez nastawianie narzędzi na wymiar poza maszyną technologiczną i ich dostarczanie do stanowiska pracy za pomocą wózków transportowych różnych typów. W tym celu producenci narzędzi proponują wykorzystywane kompletów uchwytów narzędziowych dopasowanych do wymiaru i kształtu bazowego otworu wrzeciona lub głowicy rewolwerowej. Niektóre przykłady takich kompletów produkcji różnych firm przedstawiono na rysunkach 4.22-4.24.



Rysunek 4.22. Systemy mocowania narzędzi firmy Sandvik Coromant: (a) wymienne oprawki do mocowania wkładek nożowych, (b) adaptery do mocowania w głowicy rewolwerowej narzędzi z chwytem Capto, (c) oprawki i adaptery do mocowania narzędzi na frezarskich centrach obróbkowych



Rysunek 4.23. Systemy mocowania narzędzi firm URMA AG (a) i Seco (b)



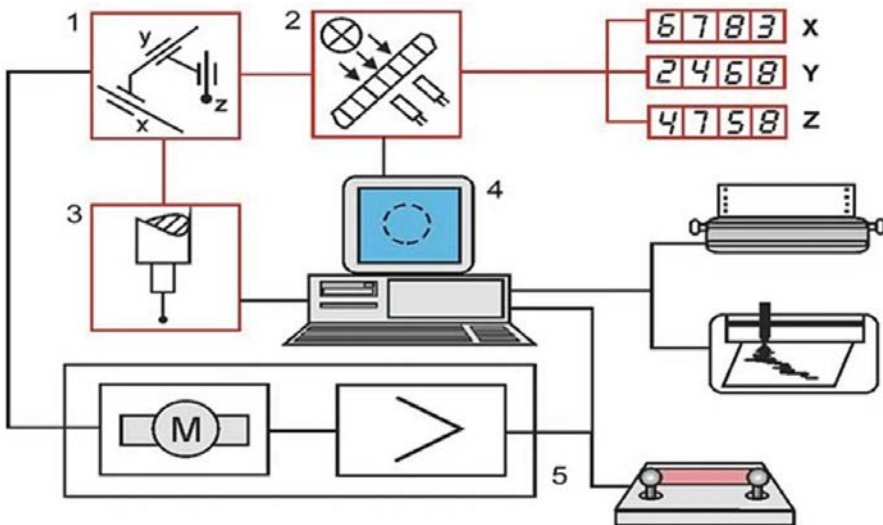
Rysunek 4.24. System mocowania narzędzi firmy Stanny

AUTOMATYZACJA POMIARÓW

Połączenie strefy produkcyjnej i pomiarowej we wspólny ciąg daje możliwość znaczącego skrócenia całkowitego czasu wytwarzania i zwiększenia skuteczności kontroli wymiarów skomplikowanych elementów produkowanych w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym, lotniczym etc. Najczęściej współczesne metody kontroli wykorzystują współrzędnościowe maszyny pomiarowe (WMP), ewentualnie ramiona pomiarowe. Jednak rozwój automatyzacji pomiarów doprowadził do wykorzystania współrzędnościowych robotów pomiarowych (WRP) oraz centrów pomiarowych (WCP) dostosowanych do pracy w środowiskach produkcyjnych.

W skład podstawowych zespołów WRP wchodzi (rys. 5.1):

1. Konstrukcja nośna zapewniająca możliwość przemieszczania układów przesuwanych robota w osiach X, Y i Z.
2. Układy pomiarowe (liniały pomiarowe z czytnikiem wraz z cyfrowym układem wskazującym przedstawianym na monitorze).
3. Głowica (sonda) pomiarowa.
4. Komputer z osprzętem.
5. Układ napędowo-sterujący z pulpitem sterującym.

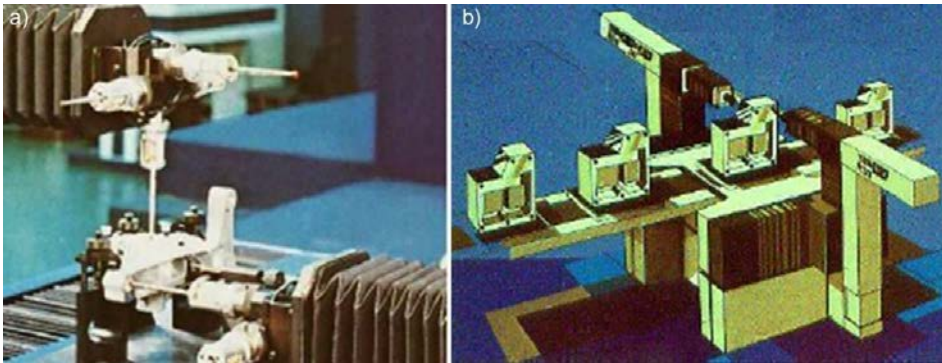


Rysunek 5.1. Zasadniczy schemat współrzędnościowego robota pomiarowego [25]

Komputer z osprzętem zawiera oprogramowanie służące do przetwarzania wyników pomiaru do wymaganej postaci wymiarów oraz, w powiązaniu z układem sterującym, do sterowania przemieszczeniami układów ruchomych robota.

W odróżnieniu od typowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych robot czy automat pomiarowy, pracujący w układzie współrzędnościowym, posiada następujące cechy:

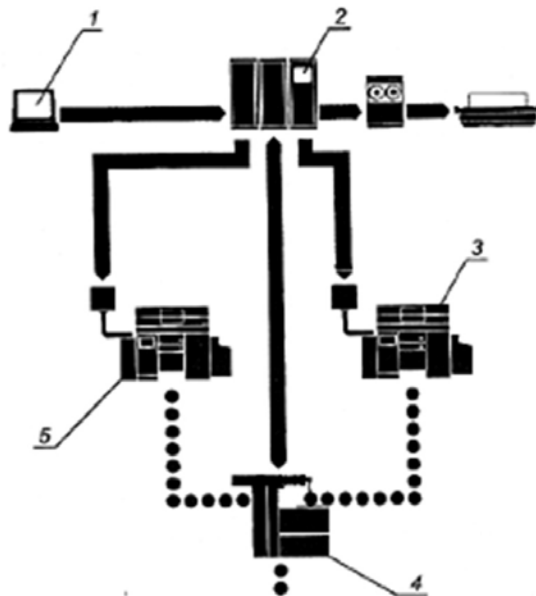
- zwiększoną, w stosunku do maszyn współrzędnościowych, prędkość pomiaru dotyczącą przemieszczeń poszczególnych osi oraz duże przyspieszenia. Typowe maszyny pomiarowe osiągają prędkości dochodzące do 0,2 m/s, a przyspieszenia do $0,5 \text{ m/s}^2$, podczas gdy roboty i automaty pomiarowe mogą osiągnąć prędkości dochodzące do 0,5 m/s, a przyspieszenia nawet do 4 m/s^2 ;
 - dużą odporność na oddziaływania zewnętrzne, np. temperaturę, drgania podłoża oraz zanieczyszczenia zewnętrzne (mgły olejowe, ciecze chłodzące itp.). Klasyczna WMP może pracować, zachowując wymaganą niepewność pomiaru, w przedziale temperatur $20 \pm 2^\circ\text{C}$, aczkolwiek robot pomiarowy może pracować w hali w temperaturach wahających się nawet w zakresie od 15 do 35°C . Przy pracy w środowisku zanieczyszczonym, zawierającym czynniki agresywne itp., buduje się roboty z podwyższonym ciśnieniem wewnątrz komory pomiarowej, by nie dopuścić do wpuszczenia do wnętrza zanieczyszczeń w postaci cząstek powietrza oraz drobnych okruszków obrabianych materiałów;
 - wysoki stopień elastyczności i taki czas pomiaru, by był on dostosowany do rytmu produkcyjnego. Stąd wymagania dużych prędkości i przyspieszeń. Sprzyja to wymogom paletyzacji w transporcie przedmiotów, czynnościom załadowczo-wyładowczym, wykorzystaniu manipulatorów lub też robotów przemysłowych;
 - możliwość monitoringu procesu obróbki w celu zapewnienia sterowania jakością. W tym przypadku zapewnia się bezpośrednie połączenie centra pomiarowego z maszyną CNC, by na podstawie wyników pomiarów korygować jej nastawienia;
 - wymóg wysokiej dokładności pomiaru, porównywalny do tradycyjnych WMP, spełniają roboty obudowane (tzw. kabinowe). Roboty nieobudowane mają dokładność o rząd mniejszą niż średnio dokładne WMP. W wielu przypadkach jest to jednak dokładność wystarczająca, np. do kontroli odkuwek i odlewów.
- Roboty pomiarowe występują najczęściej w dwóch odmianach:
- konstrukcje wysięgnikowe z jednym lub dwoma ramionami wysięgnikowymi sterowanymi najczęściej jednym komputerem;
 - konstrukcje kabinowe (zabudowane) zwane również automatami pomiarowymi.
- Roboty wysięgnikowe realizują przemieszczenia pomiarowe w kierunkach X, Y, Z (rys. 5.2).



Rysunek 5.2. Dwuramienny robot wysięgnikowy: (a) strefa pomiaru z użyciem zestawu głowic pomiarowych, (b) taśmociąg z przedmiotami na paletach w trakcie pomiaru [25]

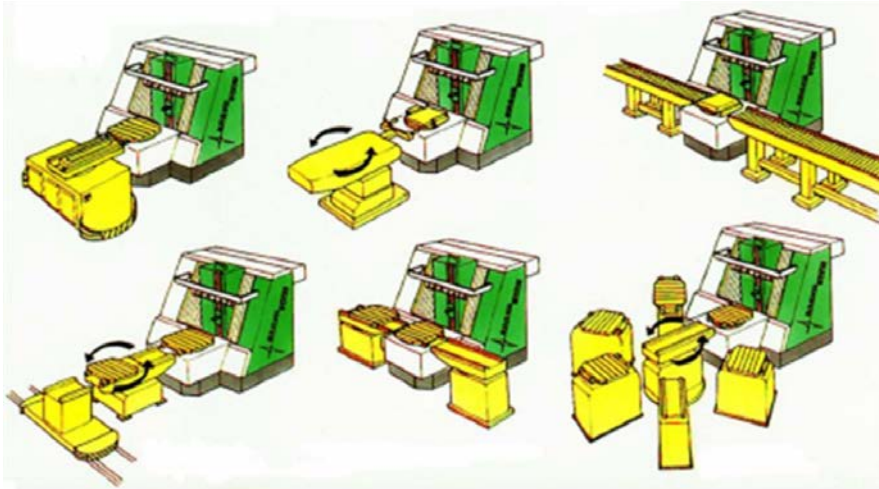
Ratajczyk [25] opisał wyniki wdrożenia robota wysięgnikowego. Pomiar korpusu urządzeniami ręcznymi trwał ok. 4,5 godziny, a przy zastosowaniu tradycyjnej WMP ok. 50 min, natomiast zastosowanie robota pomiarowego skróciło ten czas do ok. 15 min.

Znane są także przykłady zastosowania robota pomiarowego do współpracy z dwiema maszynami CNC (rys. 5.3).

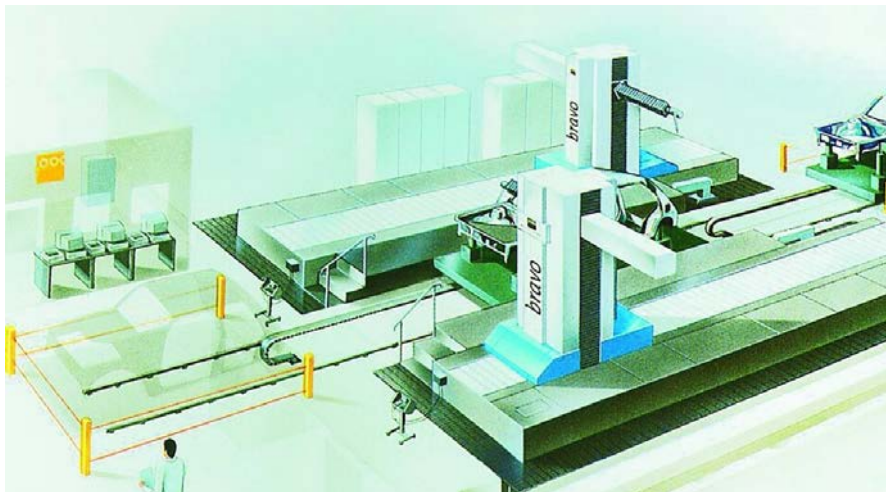


Rysunek 5.3. Gniazdo wyposażone w dwie maszyny CNC z pomiarowym robotem wysięgnikowym: 1 – komputer, 2 – szafa sterująca, 3 i 5 – maszyny CNC, 4 – robot

Roboty mogą być integrowane z procesem produkcyjnym poprzez umiejscowienie w liniach technologicznych lub w ich pobliżu. Przedmioty do strefy pomiaru, którą jest stół obrotowy robota, podawane są za pomocą przenośnika lub z wykorzystaniem manipulatora (rys. 5.4 i 5.5). Roboty wysięgnikowe produkowane są w różnych modyfikacjach i przeznaczone zarówno do pomiarów niewielkich, jak i dużych przedmiotów, np. całych karoserii samochodów.

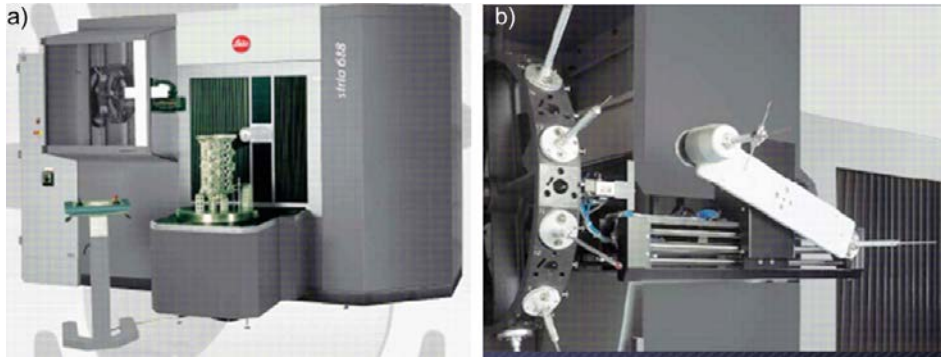


Rysunek 5.4. Wykorzystanie przenośników różnych typów do pomiarów z zastosowaniem WRP



Rysunek 5.5. Stanowisko do pomiaru karoserii samochodu z wykorzystaniem robotów wysięgnikowych BRAVO [26]

Do pomiarów elementów o dużej dokładności stosowane są roboty kabinowe (RK) zwane także automatami pomiarowymi (rys. 5.6).



Rysunek 5.6. Robot kabinowy SIRIO firmy Leitz esstechnik (grupa Hexagon Metrology):
(a) widok ogólny, (b) magazyn głowic i trzpieni pomiarowych z podajnikiem

Elementy do mierzenia zamocowane są w odpowiednich uchwytach lub paletach, umieszczane na obrotowym stole pomiarowym, co pozwala na ustawianie kolejnych przedmiotów skierowanych odpowiednio do kierunku przemieszczania pinoli. Wymiana głowic i trzpieni pomiarowych z magazynu odbywa się za pomocą podajnika w bardzo krótkim czasie. Wpływ temperatury jest kompensowany automatycznie dzięki zastosowaniu zintegrowanych sensorów do jej pomiaru. Wprowadzono także aktywny układ tłumienia drgań. Dla zachowania stałej przestrzeni pomiarowej magazyn z gniazdami na głowice i trzpienie pomiarowe może być rozmieszczony poza obszarem przestrzeni pomiarowej.

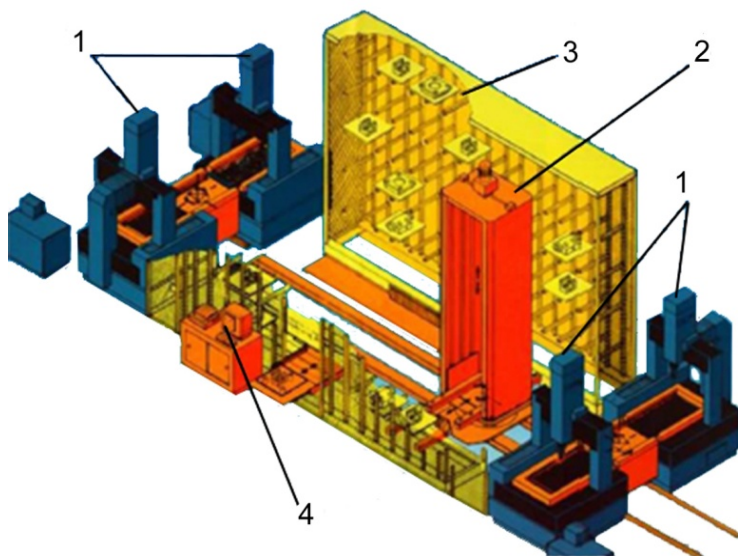
Typowy RK (rys. 5.7) składa się z następujących zespołów:

- tradycyjnej maszyny lub kilku maszyn pomiarowych,
- robota lub manipulatora obsługowego do przemieszczania przedmiotów na paletach,
- magazynu regałowego do składowania elementów na paletach,
- centralnego komputera,
- układu sterowania transportem elementów,
- czytników kodów kreskowych rozpoznających mierzone elementy i uruchamiających odpowiednie programy pomiarowe.

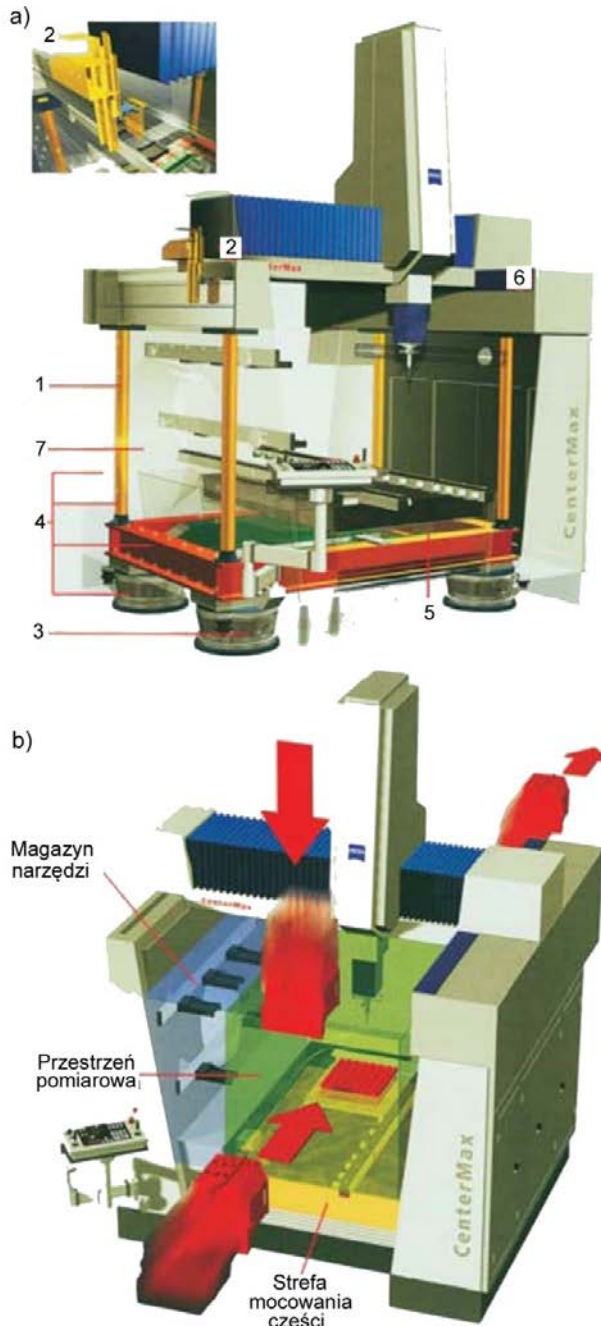
W RK CenterMax (rys. 5.8) zastosowano dźwigary z inwaru (1), które wraz z łożem wykonanym z ceramiki stanowią twarde jądro maszyny. Inwar, charakteryzujący się niskim współczynnikiem rozszerzalności liniowej, zmniejsza podatność na wpływ temperatury. Osłony (2) o ukształtowaniu labiryntowym chronią łożyska i linały pomiarowe przed zapyleniem i mgłą olejową. Aktywny układ tłumienia (3) składa się z czterech tłumików drgań, a specjalny układ kontrolny nadzoruje działanie systemu,

wyrównując ewentualne różnice ciśnień. Dodatkowo zastosowano układ tłumienia dynamicznego i termicznego (4) zbudowany z ceramiki i połączony z dźwigarami ze stali niklowej. Przewidziano również zbiorniki (5) do odprowadzania cieczy technologicznych, m.in. wody, oleju, chłodziwa itp. Prowadnice (6) umiejscowiono wysoko, by zmniejszyć wielkość przemieszczanych mas. Tym samym zrezygnowano z podpór podtrzymujących belkę portalu, jak to występuje w przypadku maszyn portalowych. Osłony (7) wykonane z ceramiki oprócz nadania odpowiedniego kształtu maszynie chronią RK przed zewnętrznymi zaburzeniami dynamicznymi, termicznymi i przed zapaleniem. RK CenterMax jest konstrukcyjnie dostosowane do warunków produkcyjnych, m.in.:

- poprzez zbudowanie przestrzeni pomiarowej umożliwiającej wielowariantowe wypełnianie strefy mocowania przedmiotów przez zastosowanie stołu pomiarowego w postaci płyty granitowej lub stołu obrotowo-pomiarowego lub palet,
- możliwość dostarczania części do pomiaru z trzech stron przestrzeni pomiarowej,
- zastosowanie automatycznego magazynu narzędzi znajdującego się poza przestrzenią pomiarową, umiejscowionego na bocznej ścianie maszyny o pojemności zawierającej maksymalnie 24 gniazda narzędziowe.



Rysunek 5.7. Centrum pomiarowe QUATRO firmy KOMET: 1 – cztery współrzędnościowe maszyny pomiarowe, 2 – manipulator kolumnowy, 3 – magazyn regałowy, 4 – komputer sterujący



Rysunek 5.8. Schemat budowy (a) i strefy funkcjonalne (b) kabinowego CP CenterMax firmy ZEISS

PODSUMOWANIE

W małych i średnich zakładach produkcyjnych decyzja o zakupie nowej maszyny (zwłaszcza skomplikowanej i wysokowydajnej) zależy od wielu czynników. Może ona być poprzedzona odpowiednią analizą, doświadczeniem wynikającym z dotychczasowej produkcji czy rozeznaniami w branży. Ponadto decyzje mogą być również podejmowane spontanicznie, gdy pojawia się okazja, np. egzemplarz maszyny wystawiany podczas targów i sprzedawany w związku z tym w bardzo atrakcyjnej cenie, jak również w wyniku uzyskania dotacji w ramach innowacji/projektu czy kredytu technologicznego, który umożliwi inwestycję w nową maszynę z małym udziałem środków własnych. W każdej sytuacji jednak warto dokonać chociażby uproszczonej analizy efektywności takiego zakupu [27].

W trakcie takiej analizy potrzebne są dane odnośnie do:

- całkowitego kosztu inwestycji w maszynę,
- zwrotu kosztów inwestycji w maszynę (po jakim czasie lub po jakiej liczbie wyprodukowanych wyrobów),
- kosztu wyrobu produkowanego na nowej maszynie (o ile będzie wyższy lub niższy względem starej maszyny),
- zmian organizacyjnych, jakich będzie trzeba dokonać oraz jaki będzie ich koszt, aby produkcja była optymalna, a inwestycja w maszynę produktywna.

Podstawowym wskaźnikiem do podobnych wyliczeń są okres zwrotu nakładów na zakup maszyny, tj. okres, jaki jest konieczny, aby koszty poniesione na realizację danej inwestycji zostały w pełni pokryte wygenerowanymi przychodami netto. Innymi słowy, określa się, po jakim czasie inwestycja się zwróci. Podstawowa formuła obliczenia okresu zwrotu z inwestycji ma postać:

$$\text{okres zwrotu} = \frac{\text{wartość inwestycji}}{\text{roczne przychody netto z inwestycji}}$$

Do obliczeń efektywności można także zastosować współczynnik wykorzystania maszyny η . Określa się w nim procentowo zakładane wykorzystanie maszyny w stosunku do jej możliwości wykonawczych i określa według równania:

$$\eta = \frac{Pp}{Wy} 100\%$$

gdzie: Pp – potrzebny program produkcji, Wy – maksymalna wydajność maszyny.

Niejednokrotnie zdarza się, że wydajność maszyny jest większa niż zakładany program produkcyjny, a mimo to dokonuje się tego typu inwestycji ze względu na:

- jakość wyrobu (nowa maszyna zapewnia wysoką jakość wyrobu niemożliwą do osiągnięcia z wykorzystaniem maszyn starszej generacji),
- powtarzalność wymiarowo-kształtową,
- minimalizację liczby braków czy strat materiałowych,
- planowany wzrost produkcji,
- zapewnienie wyższej wydajności pracy w porównaniu z kilkoma obrabiarkami starszej generacji dotychczas stosowanymi do produkcji.

W niniejszym podręczniku opisano cechy i możliwości aktualnie produkowanych i wykorzystywanych w przemyśle wytwórczym obrabiarek CNC wraz z ich oprzyrządowaniem. Przedstawione przez autorów informacje z pewnością posłużą czytelnikowi w pozyskaniu wiedzy w zakresie nowoczesnych rozwiązań produkcyjnych, a także ich trendów zmian w tym obszarze tematycznym. Bezsprzecznie pozyskana wiedza może mieć zastosowanie praktyczne przy podejmowaniu uzasadnionej i trafnej decyzji inwestycyjnej mającej na celu rozwój zakładu obróbki mechanicznej.

Warto jednak podkreślić, że przedstawione zagadnienia w pewnych warunkach nie są w stanie spełnić oczekiwania przemysłu XXI wieku, do których należą efektywna obróbka komponentów współczesnych maszyn produkowanych ze stopów lekkich, tytanu i jego stopów, stali hartowanych, stopów chromowo-niklowych itp. W tym celu obecnie stosuje się nowoczesne metody obróbki skrawaniem i obróbki ściernej, m.in. obróbkę z dużymi prędkościami, obróbkę wysokowydajną, obróbkę ekologiczną, obróbkę kompletną i inne. Metody te autorzy planują przedstawić w kolejnym opracowaniu.

LITERATURA

- [1] Matuszak J. (2021), *Najważniejsze trendy w produkcji przemysłowej*, <https://knowhow.distrelec.com/pl/> [dostęp: 11.07.2023].
- [2] Wrotny L.T. (1991), *Rozwój elastyczne zautomatyzowanego wytwarzania w obróbce skrawaniem – od obrabiarek NC do komputerowo zintegrowanej produkcji (CIM)*, „Mechanik”, R. 10, s. 333-338.
- [3] Breit S., Doerken T.P., Laufenberg L. (1994), *Flexible Fertigung – Fachgebiete in Jahresübersichten*, „VDI – Zeitschrift”, R. 9, s. 40-57.
- [4] Kosmol J. (2000), *Automatyzacja obrabiarek i obróbka skrawaniem*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [5] Buffoli Industries, *BAR MACHINES (TRANS-BAR)*, <https://www.buffoli.com/> [dostęp: 11.07.2023].
- [6] Hanson P., *Rotary transfer machines: Eclipsing the past*, <https://www.ctemag.com/> [dostęp: 11.07.2023].
- [7] Sistech, *Rotary Table Transfer Machine*, <https://www.sistech-srl.com/> [dostęp: 11.07.2023].
- [8] AFM Cluster, *Transfer Machines*, <https://www.afm.es/en/> [dostęp: 11.07.2023].
- [9] Dycus J.P. (1998), *Flexible manufacturing system*, „Assembly Automation”, R. 18(1), s. 39-47.
- [10] *Flexible manufacturing systems (FMS)*, <https://www.slideshare.net/> [dostęp: 12.07.2023].
- [11] *Flexible Manufacturing System PPT*, <https://www.playppt.com/> [dostęp: 12.07.2023].
- [12] Sinteq, *Narzędzia przemysłowe*, <https://www.sinteq.pl/> [dostęp: 12.07.2023].
- [13] Gühring, *Narzędzia PKD-/PCBN*, <https://guehring.com/pl/> [dostęp: 12.07.2023].
- [14] Sterbrust.tech, *Przeciagacze*, <https://sterbrust.tech/> [dostęp: 12.07.2023].
- [15] AT, *Narzędzia do gwintów*, <https://artykulytechniczne.pl/blog/gwintowniki-czy-wygniataki/> [dostęp: 12.07.2023].
- [16] McCloskey P. (2019), *Virtual Model of Power Skiving Cutting Mechanics*, UWSpace, University of Waterloo, Canada.
- [17] Beaucamp A., Kirsch B., Zhu W. (2022), *Advances in grinding tools and abrasives*, „CIRP Annals – Manufacturing Technology”, R. 71, s. 623-646.
- [18] Li H.N., Axinte D. (2017), *On a stochastically grain-discretised model for 2D/3D temperature mapping prediction in grinding*, „International Journal of Machine Tools and Manufacture”, R. 116, s. 60-76.
- [19] Liu J., Pei Z.J., Fisher G.R. (2007), *Grinding wheels for manufacturing of silicon wafers: a literature review*, „International Journal of Machine Tools and Manufacture”, R. 47, s. 1-13.
- [20] Norton Saint-Gobain, *Analityczne aspekty systemów spoiw o wysokiej porowatości istotne dla szlifowania precyzyjnego*, <https://www.nortonabrasives.com/pl-pl/> [dostęp: 12.07.2023].
- [21] Dr. Kaiser, *Ściernice*, <https://www.drkaiser.com/> [dostęp: 12.07.2023].
- [22] Beaucamp A., Namba Y., Combrinck H., Charlton P., Freeman R. (2014), *Shape adaptive grinding of CVD silicon carbide*, „CIRP Annals – Manufacturing Technology”, R. 63, s. 317-320.
- [23] Habrat W., Wdowik R. (2012), *Ustawianie maszyny sterowanej numerycznie*. „Pomiary – Automatyka – Robotyka PAR”, R. 2, s. 52-57.
- [24] *Zespół Szkół Technicznych w Olecku, Prace zaliczeniowe*, <http://www.zst.olecko.pl/> [dostęp: 12.07.2023].
- [25] Ratajczyk E. (2009), *Roboty i centra pomiarowe*, „Pomiary – Automatyka – Robotyka PAR”, R. 3, s. 6-13.
- [26] Ratajczyk E. (2009), *Roboty i centra pomiarowe*, <https://automatykaonline.pl/> [dostęp: 12.07.2023].
- [27] Łukomski A., *Rentowność i efektywność inwestycji w maszyny*, <https://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/> [dostęp: 16.07.2023].

DOWIEDZ SIĘ, JAK **MX - MACHINING TRANSFORMATION** PODNOSI
WYDAJNOŚĆ PRODUKCJI, ZWIĘKSZA PRZEPŁYW PRACY, STWARZA
NOWE MOŻLIWOŚCI I OPTYMALIZUJE WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNĄ



MACHINING TRANSFORMATION

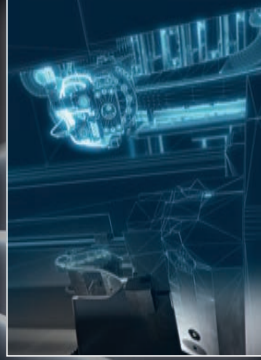
INTEGRACJA PROCESÓW



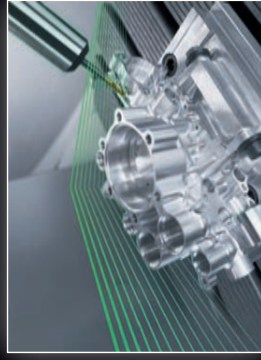
AUTOMATYZACJA



DX – DIGITAL TRANSFORMATION



GX – GREEN TRANSFORMATION



Więcej informacji pod adresem:
transform.dmgmori.com

DMG MORI

ŚWIATOWY LIDER W ROZWIĄZANIACH AUTOMATYZACJI- OD STANDARDOWYCH PO PRZYGOTOWANE WEDŁUG INDYWIDUALNYCH POTRZEB KLIENTA



LPS GEN. 4

- + for Pallet Systems
- + for PH-AMRs
- + for Central Tool Storage (CTS)
(by CTS Server)

MATRIS CONTROLLER

- + for Robot systems textL, Robo2Go)
- + for WH-AMRs

DMG MORI CELL CONTROLLER

- (available on request)
- + for control of multiple automation cells of DMG MORI

ADDITIONAL

- Robo2Go App
- + MATRIS Light Controller
- + Pallet Master

dmgmori.com

WORKPIECE HANDLING

Gantry Loader



Robot

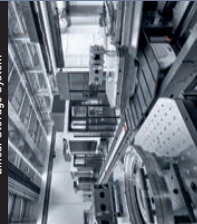


PALLET HANDLING

Round Storage System



Linear Storage System



TOOL HANDLING

CTS - Wheel Type



CTS - Rack Type



TURNING

WH-AMR



AMR for Material Handling



TURNING & MILLING

AMR for Chip Handling

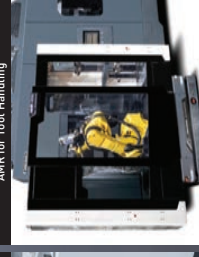


PH-AMR



MILLING

AMR for Tool Handling



AMR – AUTONOMOUS MOBILE ROBOT (WORKPIECE, MATERIAL, CHIP, PALLET & TOOL HANDLING)

DMG MORI

BALINIT ALCRONA EVO

**Born to evolve.
Made to last.**



BALINIT ALCRONA

BALINIT ALCRONA PRO

BALINIT ALCRONA EVO



ærlikon
balzers

Technologia przyszłości w Twoim zasięgu
Blisko klienta na całym świecie

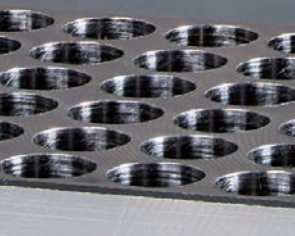


œerlikon
balzers



TUNGALOY
ADD FORCE
ACCELERATED LINES

ulepszamy
rozwijamy
STOSUJEMY



Wysokowydajne narzędzia skrawające

Member IMC Group
Tungaloy

Member IMC Group
NTK
CUTTING TOOLS

TUNGALOY
ADD FORCE
ACCELERATED LINES



TCL38
4 ostrza skrawające
CW = 1.5 - 4 mm
CDX = 10 mm
CUTDIA = \varnothing 20 mm



TETRA^{ORCE}CUT

Nowa płytką TCL38 umożliwia wykonanie rowka o głębokości do 10 mm, co czyni ją skutecznym narzędziem do odcinania grubościennych rur, a także do dokładnych operacji nacinania rowków.

Unikalna konstrukcja gniazda płytki zapewnia jej bezpieczne mocowanie, zapewniając jednocześnie doskonałą dokładność i powtarzalność indeksowania.

Member IMC Group
Tungaloy
INDUSTRY 4.0

We improve, we evolve, we **ADD**

www.tungaloy.com

GREEN
PRODUCT



**THINK
GREEN**

MORE INFO IN:



PRZESTRZEŃ PRZYJAZNA PRZEDSIĘBIORCZOŚCI



CENTRUM PRZEDSIĘBIORCZOŚCI
I TRANSFERU TECHNOLOGII
UNIwersytetu Zielonogórskiego

www.cptt.uz.zgora.pl

Centrum Przedsiębiorczości i Transferu Technologii Uniwersytetu Zielonogórskiego



Doradzimy jak skutecznie działać
na rynkach UE



Znajdziemy partnerów do współpracy



Pomożemy zamienić innowacje
na biznesowy sukces

ŁĄCZYMY NAUKĘ Z BIZNESEM



www.cptt.uz.zgora.pl





Eugene E. Feldshtein – prof. dr hab. inż., profesor Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zainteresowania naukowe: badania skrawalności współczesnych materiałów konstrukcyjnych, m.in. trudnoobrabialnych, spiekanych, kompozytowych; badania efektywności stosowania narzędzi powlekanych oraz powłok wieloskładnikowych na częściach maszyn; badania właściwości tribologicznych kompozytów metalowych oraz powłok wieloskładnikowych. Autor i współautor około 280 publikacji naukowych, w tym 22 monografie naukowych, 17 rozdziałów w monografiach oraz blisko 200 artykułów w czasopismach naukowych i 38 w materiałach konferencyjnych (64 w czasopismach z listy JCR).



Kamil Leksycki – dr inż., adiunkt Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zainteresowania naukowe: obróbka skrawaniem materiałów trudnoskrawalnych, m.in. stali nierdzewnych i stopów tytanu; zjawiska fizyczne procesu skrawania; kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni materiałów; tarcie i zużycie materiałów; warunki chłodzenia i smarowania podczas obróbki. Autor i współautor około 50 publikacji naukowych, w tym 19 rozdziałów w monografiach oraz 22 artykułów w czasopismach naukowych i 10 w materiałach konferencyjnych (10 w czasopismach z listy JCR).

.....

Książka składa się z pięciu rozdziałów. Rozpatrzone w nich ogólne zagadnienia dotyczące wydajności pracy maszyn i czynniki na nią wpływające, aktualny stan i rozwój konstrukcji nowoczesnych maszyn CNC, narzędzi skrawających, uchwytów obróbkowych, a także możliwości automatyzacji pomiarów, co razem zapewnia znaczący wzrost wydajności produkcji mechanicznej. Podręcznik jest skierowany przede wszystkim do studentów kierunku mechanika i budowa maszyn, ale może być także przydatny dla studentów kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji.

.....

ISBN 978-83-7842-543-4

