



www.cncmodern.pl
www.trenercnc.pl



E-BOOK*

OPERATOR PROGRAMISTA

OBRABIAREK
STEROWANYCH
NUMERYCZNIE

CNC

Wiesław Łoza

*Kopiowanie, przetwarzanie, rozpowszechnianie tych materiałów w całości lub w części bez zgody Autora jest zabronione.

O Autorze

Absolwent Uniwersytetu Rzeszowskiego kierunku: Edukacja Techniczno - Informatyczna, specjalność: Diagnostyka materiałów i konstrukcji wspomagana komputerowo oraz nauczanie przedmiotów technicznych i informatycznych. W swojej pracy magisterskiej opisał możliwości zastosowania i wykorzystania sond pomiarowych RENISHAW, na przykładzie centrum obróbczego MAZAK Variaxis 630-5X, z układem sterowania Mazatrol 640 M.



Związany z obrabiarkami i przemysłem CNC od 2005 roku, pierwsze kroki w branży to stanowisko operatora CNC w przemyśle lotniczym. Po ukończeniu studiów pedagogicznych rozpoczął pracę jako Trener, prowadząc szkolenia z obsługi i programowania obrabiarek CNC. Nauczyciel przedmiotów zawodowych branży mechanicznej w Zespole Szkół Zakładu Doskonalenia Zawodowego w Rzeszowie, Instruktor na kursach w Ośrodku Kształcenia Zawodowego ZDZ. Pomysłodawca i założyciel Niepublicznej Placówki Kształcenia CNC MODERN, w której zdobywa się fachową wiedzę oraz praktyczne umiejętności. Potwierdzeniem tego są referencje oraz opinie Klientów, które znajdują się na stronie <https://cncmodern.pl/referencje/>

W trakcie swojej pracy dydaktyczno-zawodowej miał styczność z wieloma branżami m.in: motoryzacyjną, stoczniową, matrycową i wielu innych, realizując szkolenia dla firm produkcyjnych i ośrodków szkoleniowych na terenie całej Polski.

Więcej informacji o Autorze na stronie <https://trenercnc.pl/>

Kontakt za pośrednictwem poczty elektronicznej: cncmodern@o2.pl

Spis treści

O Autorze	2
WPROWADZENIE	5
I. BUDOWA OBRABIAREK SKRAWAJĄCYCH	7
1.1. Podstawowe zasady BHP podczas obsługi maszyn – obrabiarek CNC	7
1.2. Obrabiarki konwencjonalne – wprowadzenie	10
1.3. Charakterystyka obrabiarek sterowanych numerycznie	11
1.4. Obrabiarki uniwersalne, a obrabiarki CNC - porównanie	14
1.5. Zastosowanie osi sterowanych numerycznie.....	16
1.5.1. Definicja układu współrzędnych	16
1.5.2. Zasada sterowania numerycznego	18
1.6. Odmiany konstrukcyjne obrabiarek CNC	19
1.6.1. Tokarki	19
1.6.2. Frezarki	20
1.6.3. Centra obróbcze	21
1.6.4. Centra tokarskie	23
1.6.5. Inne maszyny sterowane komputerowo	24
1.7. Punkty charakterystyczne obrabiarki CNC	26
1.8. Poszczególne zespoły i podzespoły obrabiarek.....	29
1.9. Uzbrojenie obrabiarek CNC	36
1.9.1. Przyrządy - uchwyty tokarskie.....	40
1.9.2. Oprzyrządowanie narzędziowe frezarek	43
1.9.3. Sposoby pomiaru przedmiotu obrabianego	47
1.9.4. Metody określania wymiarów narzędzi.....	50
1.10. Rodzaje komputerowych układów sterowania.....	55
1.10.1. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania SINUMERIK 808D	56
1.10.2. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania FANUC Oi Mate	59
1.10.3. Opis poszczególnych funkcji i przycisków sterowania MAZATROL 640M	63
1.10.4. Wprowadzanie i wysyłanie danych w układach CNC	68
II. TECHNOLOGIA OBRÓBKI SKRAWANIEM	69
2.1. Technologia obróbki skrawaniem – podstawowe definicje	69
2.2. Materiały narzędziowe	72
2.3. Oznaczenia kodowe narzędzi skrawających wg ISO	74
2.4. Budowa narzędzi skrawających tokarskich.....	75
2.5. Podstawowe parametry skrawania w toczeniu	80
2.6. Budowa narzędzi skrawających frezarskich.....	82
2.7. Charakterystyka operacji kształtowania otworów.....	84
2.8. Parametry skrawania - frezowanie	88
III. METROLOGIA WARSZTATOWA.....	91
3.1. Ogólne definicje w metrologii warsztatowej.....	91
3.2. Podstawowe przyrządy do wykonywania pomiarów warsztatowych	93
3.2.1. Suwmiarki i przyrządy suwmiarkowe	93
3.2.2. Mikrometry i przyrządy mikrometryczne	95
3.2.3. Czujniki i przyrządy czujnikowe.....	97
3.2.4. Narzędzia do pomiaru kąta.....	98
3.2.5. Wzorce miar	98
3.2.6. Sprawdziany i płytki wzorcowe	100

3.3. Kontrola narzędzi i sprawdzianów pomiarowych	101
3.4. Kontrola jakości w produkcji	102
IV. PODSTAWY PROGRAMOWANIA OBRABIAREK CNC	103
4.1. Ogólne informacje dotyczące programowania obrabiarek CNC.....	103
4.2. Metody programowania obrabiarek CNC	104
4.3. Budowa oraz struktura programu sterującego.....	107
4.4. Funkcje przygotowawcze i pomocnicze.....	112
4.5. Sposób wymiarowania	114
4.6. Definiowanie płaszczyzn.....	115
4.7. Interpolacje.....	115
4.8. Kompensacja promienia narzędzia.....	122
4.9. Programowanie ręczne tokarki na przykładzie układu sterowania SINUMERIK 808D	123
4.10. Programowanie ręczne frezarki na przykładzie układu sterowania SINUMERIK 808D	127
V. RYSUNEK TECHNICZNY	131
5.1. Rola rysunku w technice	131
5.2. Zastosowanie norm w rysunku technicznym	132
5.3. Rzutowanie prostokątne	133
5.4. Przekroje	134
5.5. Wymiarowanie	136
5.6. Rysowanie połączeń uproszczonych.....	138
5.6.1. Oznaczenia gwintów.....	138
5.7. Tolerowanie wymiarów oraz pasowania części maszyn.....	140
5.8. Definicje i tolerancje odchyłek kształtu i położenia	145
5.9. Chropowatość powierzchni	148
5.10. Dokumentacja techniczna	151
LITERATURA	161

WPROWADZENIE

Oddzielenie wióra w procesie skrawania wymaga ruchu narzędzia i przedmiotu obrabianego. Ruch ten uzyskiwany jest na specjalnie do tego celu skonstruowanym urządzeniu - obrabiarce. Jedną z pierwszych typów obrabiarki była tokarka - naciskając nogą pedał urządzenia, wprowadzano kawałek drewna w szybki ruch obrotowy. Do kawałka tego przykładano dłuto, skrawając go, aby nadać mu cylindryczny kształt. W taki oto sposób powstawały różne elementy potrzebne do życia codziennego między innymi: elementy mebli itp. Proces ten nazwano toczeniem, ponieważ materiał obrabiany należało obracać. Z biegiem lat siła mięśni ludzkich została zastąpiona inną energią, ale generalna idea budowy obrabiarki związana z wspomnianym wyżej ruchem narzędzia i przedmiotu pozostała bez zmian. Konstrukcja obrabiarki przeszła dynamiczny rozwój, który trwa do chwili obecnej i decyduje między innymi o dokładności wykonania przedmiotu.

Obróbka różnych materiałów to skomplikowany proces, aby uzyskać pożądane kształty, wymiary i chropowatość powierzchni. Praca ręczna w tym przypadku mija się z celem, jest mało wydajna, dokładna i powtarzalna jak również nie opłacalna ze względów ekonomicznych.

Pomysł numerycznego sterowania obrabiarek NC powstał w Cambridge w latach 1945/50 w MIT (Massachusetts Institute of Technology). Zamówione przez US Air Force (lotnictwo Stanów Zjednoczonych) integralne części samolotów miały być odtąd wytwarzane jako jednolite elementy z wyłączeniem technologii spawania i nitowania. Niezbędne do frezowania wzorniki i modele były bardzo skomplikowane, a ich przygotowanie przy użyciu konwencjonalnych maszyn było bardzo czasochłonne i kosztowne.

Tak powstała pierwsza obrabiarka NC (Numerical Control) - frezarka pionowa, do której niezbędne informacje były wprowadzane przy użyciu kart dziurkowanych.

Wraz z powstaniem nowych podzespołów elektronicznych oraz mikrokomputerów w latach 70 pozwoliło na bazie istniejących układów sterowania numerycznego (NC) stworzyć komputerowe sterowanie numeryczne (CNC – Computer Numerical Control).

Intensywny i regularny rozwój układów sterowania CNC zwiększa potencjał zastosowania obrabiarek i daje perspektywę radzenia sobie z kolejnymi barierami technologicznymi związanymi ze sposobami obróbki różnych materiałów.

Nowe wyzwania spowodowały przeobrażanie się układu sterowania od prostego, do złożonego systemu sterowania, który podczas pracy monitoruje diagnostykę stanu obrabiarki i parametry obróbki. Rezultatem tego jest zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu różnego rodzaju obrabiarek - maszyn CNC, takich jak: tokarki, frezarki, centra obróbkowe, plotery, szlifierki, plazmy, lasery i wiele innych. Wykonywana obróbka jest zaprogramowana w odpowiedni sposób, w którym podaje się określone parametry geometryczne oraz technologiczne przyszłego wyrobu. Program jest zapisany w odpowiednim języku programowania – kodzie, a następnie rozkodowany (odczytywany) w układzie komputerowego sterowania numerycznego np. SINUMERIK, FANUC, MAZATROL, HEIDENHAIN, MITSUBISHI itp.

Taka metoda produkcji ma bardzo dużo zalet, przede wszystkim umożliwia wysokiej jakości produkcję seryjną. W obecnej erze szybkiego rozwoju, wiele zakładów z branży produkcyjnej dąży do automatyzacji procesów wytwarzania, co wiąże się z zakupem najnowocześniejszych maszyn oraz koniecznością zatrudnienia wysokiej klasy specjalistów.

Książka zawiera podstawowe informacje dla operatorów i programistów obrabiarek CNC. Każdy, kto chce pracować na tym stanowisku powinien posiadać predyspozycje do zawodu oraz odpowiednie umiejętności i wiedzę z następujących tematów: rysunku technicznego, przyrządów pomiarowych, budowy obrabiarek, narzędzi skrawających i doboru parametrów technologicznych.

Kluczowym elementem jest również znajomość podstawowych funkcji oraz zasad programowania obrabiarek - maszyn CNC.

Z powodu różnych rozwiązań konstrukcyjnych, układów sterowania i innych właściwości dla obróbki skrawaniem, celem tego podręcznika jest przedstawienie następujących zagadnień:

- zasady BHP i P.POŻ. podczas obsługi obrabiarek CNC;
- budowa obrabiarek sterowanych numerycznie oraz ich wyposażenie;
- podstawy technologii obróbki skrawaniem;
- przyrządy i narzędzia wykorzystywane w pomiarach warsztatowych;
- podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie;
- rysunek techniczny maszynowy.

Podręcznik został opracowany, dla już pracujących oraz przyszłych operatorów obrabiarek CNC, stanowi podstawową - uzupełniającą literaturę. Może on być wykorzystywany na różnorodnych kursach z zakresu obsługi i programowania obrabiarek sterowanych numerycznie.

Treść podręcznika i przedstawione tematy pozwalają na zdobycie podstawowej wiedzy, która jest niezbędna każdemu operatorowi podczas pracy z obrabiarkami - maszynami CNC. Książka zawiera materiały pozwalające na opracowanie nieskomplikowanych procesów technologicznych oraz pisanie programów w oparciu o programowanie ręczne i warsztatowe.

Kilkunastoletnie doświadczenie teoretyczne oraz praktyczne Autora nabyte na produkcji, pozwoliło odpowiednio dobrać treści i przedstawić je w sposób jasny i zrozumiały. Istotną rolę odegrało również wykształcenie pedagogiczne oraz praca dydaktyczna w szkolnictwie zawodowym i wyższym.

Celem stworzenia tego podręcznika jest wprowadzenie czytelnika do obsługi i programowania obrabiarek sterowanych numerycznie: tokarek i frezarek CNC.

„Nie ma rzeczy niemożliwych, są tylko trudne do wykonania”

Aleksander Wielki

Powodzenia!

Wiesław Łoza

I. BUDOWA OBRABIAREK SKRAWAJĄCYCH

1.1. Podstawowe zasady BHP podczas obsługi maszyn – obrabiarek CNC

Obsługa każdej maszyny - obrabiarki wymaga odpowiednio wykwalifikowanych pracowników. Brak odpowiednich umiejętności, kwalifikacji oraz nieuwaga, mogą być przyczyną różnych wypadków. Pracownicy bez przeszkolenia stanowią zagrożenie dla siebie, współpracowników i maszyny, niewłaściwa obsługa może również spowodować utratę gwarancji.

Zabroniona jest samodzielna obsługa maszyn CNC w przypadku braku przeszkolenia oraz pewności, że taką maszynę jesteście w stanie obsługiwać.

Wiedzę praktyczną zdobywa się na drodze doświadczenia będącego wynikiem długiego czasu pracy z maszynami CNC. Każda zmiana stanowiska pracy - obrabiarki powinna rozpocząć się odpowiednim szkoleniem.

Należy bezwzględnie przestrzegać zasad dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy podczas obsługi obrabiarek - maszyn CNC. Wszystkie niebezpieczeństwa, występujące w obrębie maszyn, nie mogą być lekceważone, gdyż może to prowadzić do poważnych zdarzeń.

Podczas pracy z maszynami - obrabiarkami CNC występuje szereg różnych zagrożeń, takich jak:

- niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym;
- niebezpieczeństwo poważnych obrażeń ciała;
- niebezpieczeństwo zatrucia oparami;
- niebezpieczeństwo pożaru, itp.

Przy każdej maszynie powinna znajdować się stanowiskowa instrukcja BHP, której przestrzegania wymaga się bezwzględnie od każdego operatora.

INSTRUKCJA BHP Przy obsłudze Tokarki CNC

WARUNKI DOPUSZCZENIA PRACOWNIKA DO PRACY

- obsługa maszyny może być prowadzona wyłącznie przez upoważniony i przeszkolony personel,
- obsługa została zapoznana z DTR maszyny i ją zrozumiała

CZYNNOŚCI PRZED ROZPOCZĘCIEM PRACY

- dokonać kontroli ogólnego stanu technicznego obrabiarki,
- przed włączeniem maszyny sprawdzić poziomy napięcie maszyny i w razie potrzeby uzupełnić niedobory,
- sprawdzić maszynę pod względem wycieków i usunąć ich przyczynę

ZASADY I SPOSOBY BEZPIECZNEGO WYKONYWANIA PRACY

ZABRANIA SIĘ:

- Obsługiwać maszynę z rozpuszczonymi włosami oraz z nałożoną biżuterią,
- Sięgać ręką lub manipulować jakimś przedmiotem w obszarze elementów maszyny będących w ruchu lub obracających się elementów mocowania obrabianego detalu,
- Programowania prędkości obrotowych, które są wyższe niż podana maksymalna prędkość obrotowa zastosowanych zamocowań,
- Wszelkiej przeróbki lub pozbawiania działania wyposażenia zabezpieczającego, np. zabezpieczające wyłączniki pozycyjne, blokady, osłony,
- Zamalowywać lub usuwać tabliczki ostrzegawcze oraz informacyjne,
- Toczania materiałów ceramicznych i drewna sklejonego żywicami syntetycznymi,
- Przeprowadzania zmian oprogramowania (software) na sterownikach programowanych,
- Stosować urządzenia wytwarzające fale elektromagnetyczne (np. aparaty komórkowe, spawarki elektryczne itp.) w odległości mniejszej niż 2 m od maszyny,
- Użytkowania maszyny z uszkodzoną szybą zabezpieczającą z PW (poliwęglan)
- Eksploatować maszynę z uszkodzonymi szybami okiennymi w kabinie,
- Zażywania leków zmniejszających zdolność koncentracji lub wydłużających czas reakcji,
- Wykonywania prac spawalniczych przy maszynie,
- Wchodzić do komory maszynowej.

Rys. 1.1. Instrukcja BHP przy obsłudze tokarki CNC

Miejsca gdzie stoją i pracują maszyny sterowane numerycznie muszą być odpowiednio zabezpieczone, tak aby spełnione były zasady bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy przeciwpożarowe.

Zanim rozpoczniesz pracę na obrabiarce, zapoznaj się z:

- przepisami BHP i P.POŻ obowiązującymi na stanowisku pracy;
- DTR obrabiarki – (dokumentacja techniczno-ruchowa).

Należy odnaleźć wszystkie środki i oznaczenia, które mogą przyczynić się do zagwarantowania bezpieczeństwa.



Rys. 1.2. Apteczka pierwszej pomocy oraz telefony alarmowe znajdujące się w widocznych miejscach



Rys. 1.3. Oznaczenia o niebezpieczeństwach występujących podczas pracy na maszynie CNC

Pracując na stanowisku operatora obrabiarek CNC, stosuj odpowiednie środki ochrony indywidualnej: odzież, okulary, ochronniki słuchu, rękawice, buty ochronne, kask itp.



Rys. 1.4. Środki ochrony indywidualnej na stanowisku operatora maszyn CNC

Przed rozpoczęciem pracy na obrabiarce sprawdź:

- stan osłon, czy nie są uszkodzone;
- poziom płynów eksploatacyjnych (oleju, chłodziwa);
- działanie przycisków awaryjnych tzw. grzybka (okrągły, czerwony przycisk na pulpicie);
- alarmy wyświetlane na monitorze.

Przed uruchomieniem obrabiarki w trybie automatycznym sprawdź:

- numer – nazwę wybranego programu do układu sterowania;
- rejestry narzędziowe (tabela wymiarów narzędzi oraz tabela ich zużycia);
- przesunięcia punktu zerowego (tabela G54 – G59);
- zamocowanie przyrządów, materiału obrabianego, narzędzi skrawających;
- ustawienie głowicy narzędziowej.

Pracownikowi podczas obsługi obrabiarki zabrania się:

- obsługiwać maszynę z nałożoną biżuterią (obrączka, zegarek itp.);
- przebudowywać urządzenia zabezpieczające (przyciski awaryjne, osłony, blokady itp.);
- stosować urządzenia wytwarzające fale elektromagnetyczne - telefony komórkowe;
- wchodzić do przestrzeni roboczej maszyny;
- obsługiwać maszynę z uszkodzonymi szybami okiennymi w osłonach (kabinie);
- zażywać lekarstw (używek) zmniejszających zdolność koncentracji.

Podczas wykonywania pierwszego elementu przeprowadź symulację obróbki. Możesz również skorzystać z funkcji SINGLE BLOCK realizując program blok po bloku (linijka po linijce), pamiętaj o zmniejszeniu prędkości posuwu. Obserwuj pracę obrabiarki, zachowaj szczególną ostrożność aż do wykonania gotowego detalu, nie wykonuj czynności, których nie jesteś pewien.

Obsługując maszynę w przypadku stwierdzenia awarii lub kolizji zatrzymaj obrabiarkę przyciskiem STOP lub przyciskiem bezpieczeństwa (tzw. grzybek awaryjny), a o zaistniałej sytuacji poinformuj przełożonego. Nigdy nie podejmuj samodzielnej naprawy obrabiarki, gdyż tym zajmują się odpowiednie działy m.in utrzymanie ruchu bądź serwis danego producenta maszyny. Po wykonaniu powierzonych zadań posprzątaj stanowisko pracy.

1.2. Obrabiarki konwencjonalne – wprowadzenie

Obrabiarki konwencjonalne to maszyny technologiczne służące do wytwarzania różnego rodzaju części, konstrukcji, maszyn i urządzeń, w celu nadania im określonych kształtów, wymiarów i chropowatości powierzchni. Główna zasada działania obrabiarek polega na tym, że żądany kształt przedmiotu obrabianego uzyskuje się zawsze jako wynik względnych ruchów narzędzia i przedmiotu.

Podstawowymi zaletami obrabiarek skrawających są:

- możliwość uzyskania przedmiotów o dużej dokładności wymiarowo - kształtowej i bardzo dobrej jakości powierzchni;
- możliwość wykonania różnymi metodami obróbki dość złożonych kształtów, na przedmiocie obrabianym poprzez sprzężenie ruchów przedmiotu i narzędzia;

Głównymi wadami kształtowania przedmiotów - elementów na obrabiarkach skrawających są:

- duży ubytek materiału obrabianego, który w czasie obróbki zostaje przekształcony w wióry;
- mniejsza wydajność w porównaniu do innych sposobów obróbki, jak np. obróbka plastyczna;
- zużycie dużej ilości energii do wyprodukowania danego wyrobu.

Do najpopularniejszych obrabiarek konwencjonalnych zalicza się między innymi: tokarki, frezarki, wytaczarki, dłutownice, przeciągarki pionowe, strugarki, wiertarki kadłubowe, szlifierki do wałków itp.



Rys. 1.5. Przykład tokarki (po lewej) i frezarki (po prawej) konwencjonalnej [7]

W obrabiarkach konwencjonalnych zastosowano ręczny układ sterowania (manualny), w których bardzo duży wpływ na poprawny przebieg procesów ma praca ludzka (czynniki ludzkie). Wszystkich ustawień dokonuje się ręcznie, za obsługę maszyny odpowiedzialny jest pracownik. Analizuje on konkretne zlecenie na podstawie rysunku wykonawczego, ustawia pokręta dźwigni obrabiarki zgodnie z wytycznymi danego procesu obróbki. Człowiek dokonuje pomiaru wykonywanych elementów, decyduje w dużym stopniu o przebiegu procesu jak również uruchamia i wyłącza urządzenie.

1.3. Charakterystyka obrabiarek sterowanych numerycznie

Obrabiarką sterowaną numerycznie (NC) nazywa się obrabiarkę, której obróbka odbywa się w trybie automatycznym, w układzie otwartym lub zamkniętym, z symbolicznym zapisem informacji. Podstawowym celem takiej maszyny jest realizowanie określonych zadań technologicznych. Jest ona wyposażona w numeryczny układ sterowania, który steruje poszczególnymi zespołami, wszystkimi ruchami w procesie obróbki, jej parametrami i czynnościami pomocniczymi w celu uzyskania przedmiotu o wymaganym kształcie, wymiarach i chropowatości powierzchni.

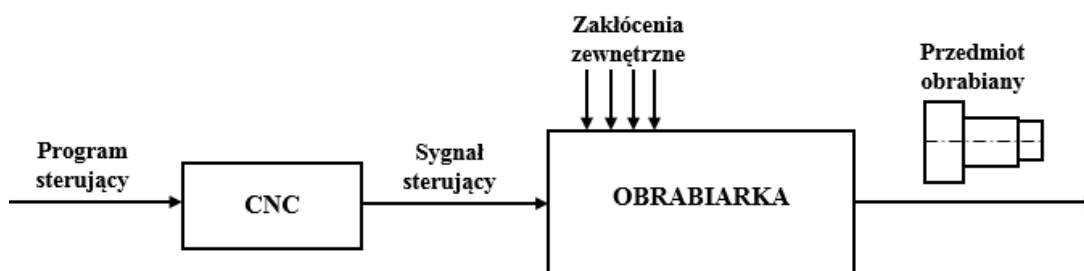
Obecnie w produkcji głównie znajdują zastosowanie maszyny CNC - komputerowo sterowane numerycznie, gdzie programy przekazywane są przez zewnętrzne nośniki informacji (np. karty pamięci, pendrive itp.) i przechowywane w wewnętrznej pamięci urządzenia. Praca z wykorzystaniem obrabiarki wyposażonej w system sterowania komputerowego jest mniej czasochłonna i bardziej opłacalna. Ponadto jakość przedmiotów poddanych obróbce jest bardzo precyzyjna i porównywalna, zmniejszona jest również ilość braków produkcyjnych. Zdecydowanie wyższa elastyczność produkcji oraz krótsze cykle o charakterze produkcyjnym to kolejne walory pracy przy użyciu obrabiarek CNC.



Rys. 1.6. Przykład tokarki (po lewej) i frezarki (po prawej) sterowanej numerycznie CNC [8]

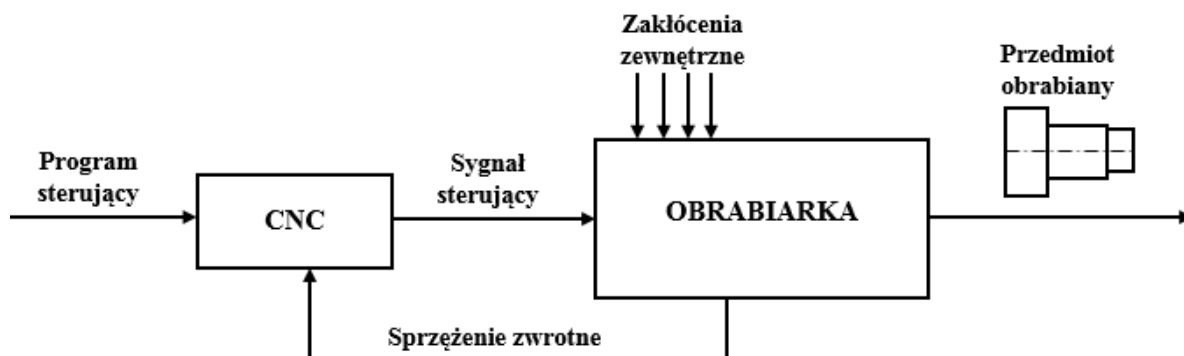
Sterowanie automatyczne ze względu na strukturę możemy podzielić na:

- sterowanie w układzie otwartym, które nie posiada sprzężenia zwrotnego, przez co wszystkie czynniki zewnętrzne powodujące błędną obróbkę możemy usunąć dopiero po wykonaniu detalu;



Rys. 1.7. Sterowanie automatyczne w układzie otwartym [5]

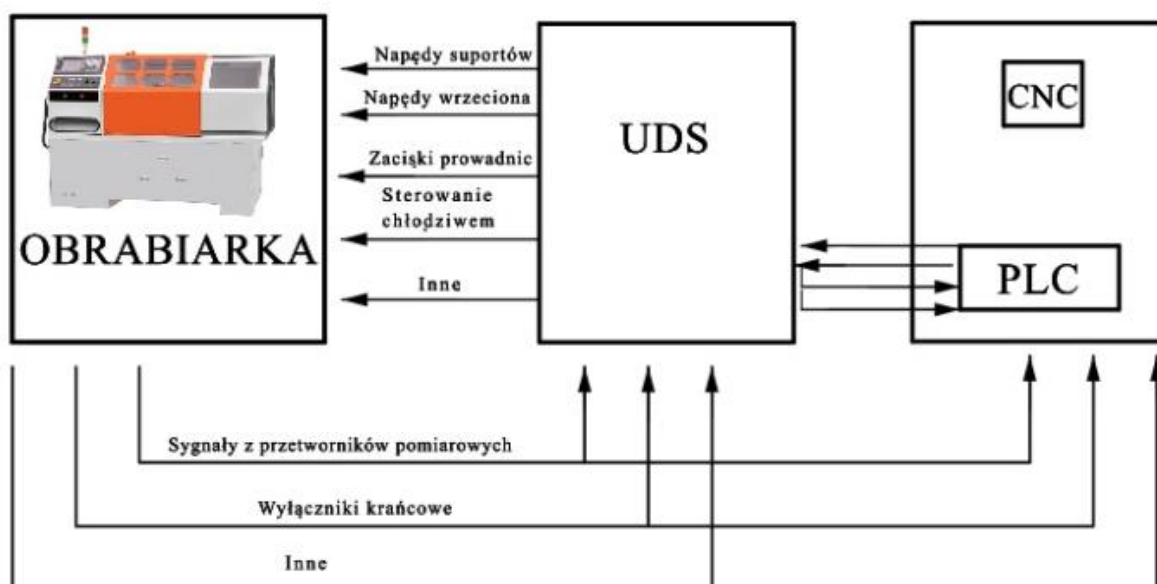
- sterowanie w układzie zamkniętym, w którym występuje sprzężenie zwrotne pomiędzy czujnikami pomiarowymi obrabiarki, a układem sterowania CNC. W tym przypadku wszystkie zakłócenia zewnętrzne występujące w trakcie obróbki zostają wychwycone wcześniej, a system sterowania może wprowadzić korekty obróbcze.



Rys. 1.8. Sterowanie automatyczne w układzie zamkniętym [5]

Konfiguracja obrabiarki CNC obejmuje wymianę informacji pomiędzy:

- układem komputerowego sterowania numerycznego CNC, który odczytuje zapisany program w formie symbolicznej;
- PLC programowalny sterownik logiczny - interfejs przetwarza sygnały z układu CNC na język UDS;
- UDS układ dopasowująco – sterujący, służy do sterowania elementami wykonawczymi obrabiarki;
- obrabiarką.



Rys. 1.9. Konfiguracja obrabiarki sterowanej numerycznie [4]

Cechy współczesnych maszyn CNC to:

- bezstopniowa regulacja prędkości obrotowej i posuwów;
- napęd przenoszony za pomocą śrub tocznych;
- eliminowanie prowadnic ślizgowych na rzecz tocznych;
- eliminowanie przekładni zębatych;
- kompaktowa konstrukcja o zamkniętej przestrzeni roboczej;
- konstrukcja modułowa o elastycznie dobieranej konfiguracji elementów składowych;
- automatyczny nadzór i diagnostyka;
- duża moc (jako suma mocy poszczególnych napędów);
- osiąganie znacznych wartości parametrów obróbki (np. duże prędkości obrotowe);
- obróbka równoległa z wykorzystaniem wielu wrzecion i/lub suportów narzędziowych;
- złożona kinematyka pracy (uchylne głowice narzędziowe, stoły obrotowo-uchylne, obróbka pięcioosiowa, obrabiarki o strukturze równoległej);
- magazyny narzędziowe z automatyczną wymianą narzędzi;
- systemy narzędziowe z narzędziami składanymi;
- automatyczny pomiar narzędzi;
- kodowanie narzędzi;
- automatyczna wymiana przedmiotu obrabianego;
- automatyczny pomiar przedmiotu obrabianego;
- automatyczne usuwanie wiórów, itp. [20]

Występowanie powyższych cech w konkretnej obrabiarce często zależy od tego, w jak dużym stopniu jest ona przystosowana do pracy automatycznej.

Maszyny CNC pozwalają na zwiększenie wydajności pracy poprzez szybszą obróbkę, skrócenie czasów ustawczych, pomocniczych i zakończeniowych.

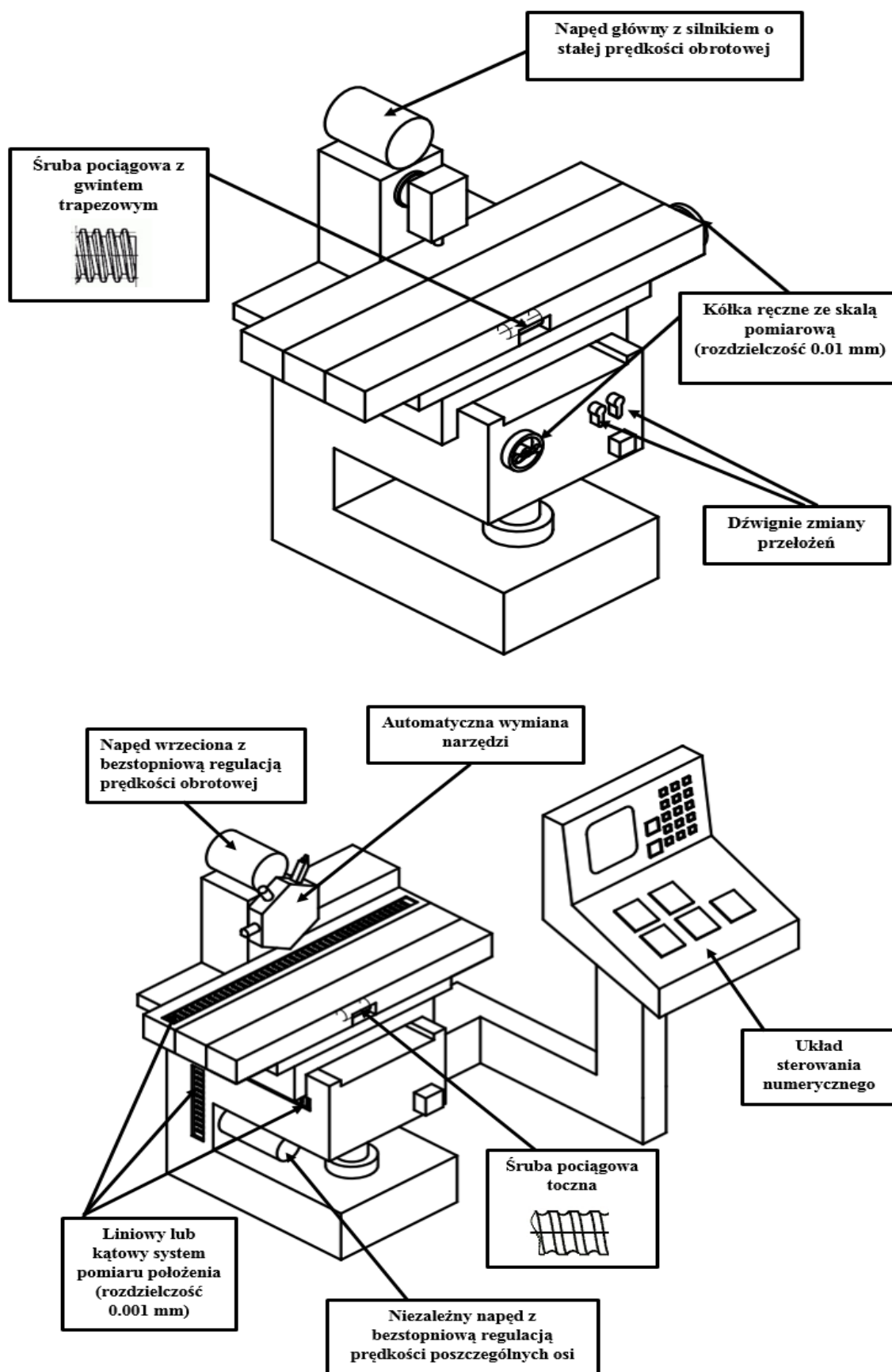
Szczególne znacznie mają następujące czynniki:

- automatyzacja wszystkich ruchów i czynności;
- możliwość programowania ręcznego bezpośredniego na obrabiarce;
- zapisywanie typowych przypadków obróbki przedmiotów w formie podprogramów;
- elastyczność sterowania w sensie łatwego i szybkiego przeprogramowania, łatwa zmiana toru ruchu narzędzia względem przedmiotu, a także swobodny wybór kolejności ruchów;
- niezbyt pracochłonne przygotowanie programu i taki jego zapis, aby było to opłacalne już przy niewielkich seriach, a nawet pojedynczych przedmiotach;
- możliwość optymalizacji programów;
- automatyczne uruchamianie wszystkich funkcji obrabiarki i bezpośrednia interwencja po stwierdzeniu błędów i zakłóceń;
- uniwersalne zastosowanie narzędzi w systemach uchwytów;
- jednakowa jakość przedmiotów obrabianych przy niewielkim udziale wadliwych;
- wyższa dokładność obróbki dzięki wysokiej dokładności obrabiarki rzędu (0,001 mmm);
- większa przepustowość;
- automatyczny nadzór (temperatury skrawania, stan narzędzi);
- zastosowanie narzędzi napędzanych obrotowo;
- zastosowanie wymiennych systemów palet.

1.4. Obrabiarki uniwersalne, a obrabiarki CNC - porównanie

Tabela 1.1. Różnice pomiędzy obrabiarkami

OBRABIARKI KONWENCJONALNE	OBRABIARKI CNC
Dane wejściowe	
Pracownik na podstawie zlecenia i rysunku ręcznie uruchamia maszynę, zakłada i zdejmuje przedmiot obrabiany i narzędzia.	Programy sterujące mogą być przekazywane do układu sterowania CNC poprzez nośniki pamięci np.: karta, pendrive lub złącze bezpośrednie. Poszczególne programy CNC są przechowywane w pamięci wewnętrznej lub na twardym dysku układu sterowania maszyny.
Sterowanie	
Pracownik ręcznie ustawia parametry technologiczne: obroty, posuw. Wykonuje obróbkę detalu zadając ręcznie przemieszczenia suportów przy pomocy kółek.	Połączony z systemem mikrokomputer dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu przejmuje wszystkie funkcje sterownicze i nastawcze maszyny, wykorzystując pamięć wewnętrzną dla programów i podprogramów, danych technologicznych, narzędzi i ich wymiarów korekcyjnych, a także cykli stałych. W systemie CNC zintegrowane jest często oprogramowanie do diagnozowania błędów.
Kontrola	
Pracownik mierzy i sprawdza przy użyciu przyrządów pomiarowych (np. suwmiarka) element obrabiany pod względem dokładności wymiarowej.	Dzięki informacji zwrotnej zespołu pomiarowego i zespołów napędowych z silnikami o regulowanej liczbie obrotów, obrabiarka w trakcie pracy zapewnia dokładność wymiarową przedmiotu obrabianego. Zintegrowane czujniki pomiarowe zapewniają kontrolę wymiarów podczas obróbki. Obrabiarki wyposażone w sondy umożliwiają dokonywanie pomiarów obrabianych elementów w trakcie obróbki, bez konieczności używania przyrządów pomiarowych. Podczas pracy automatycznej maszyny istnieje możliwość edycji innych programów technologicznych.



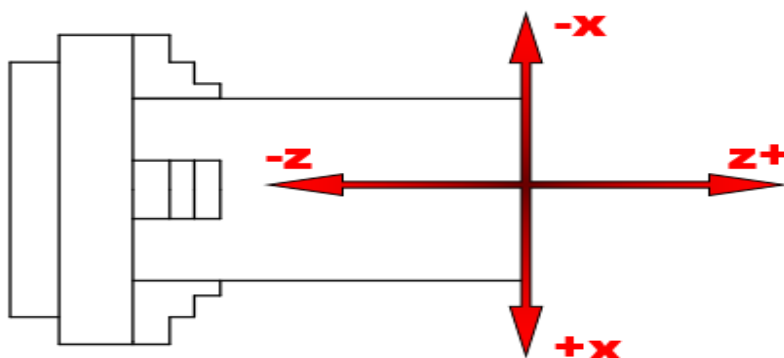
Rys. 1.10. Porównanie obrabiarki konwencjonalnej i obrabiarki sterowanej numerycznie [5]

1.5. Zastosowanie osi sterowanych numerycznie

1.5.1. Definicja układu współrzędnych

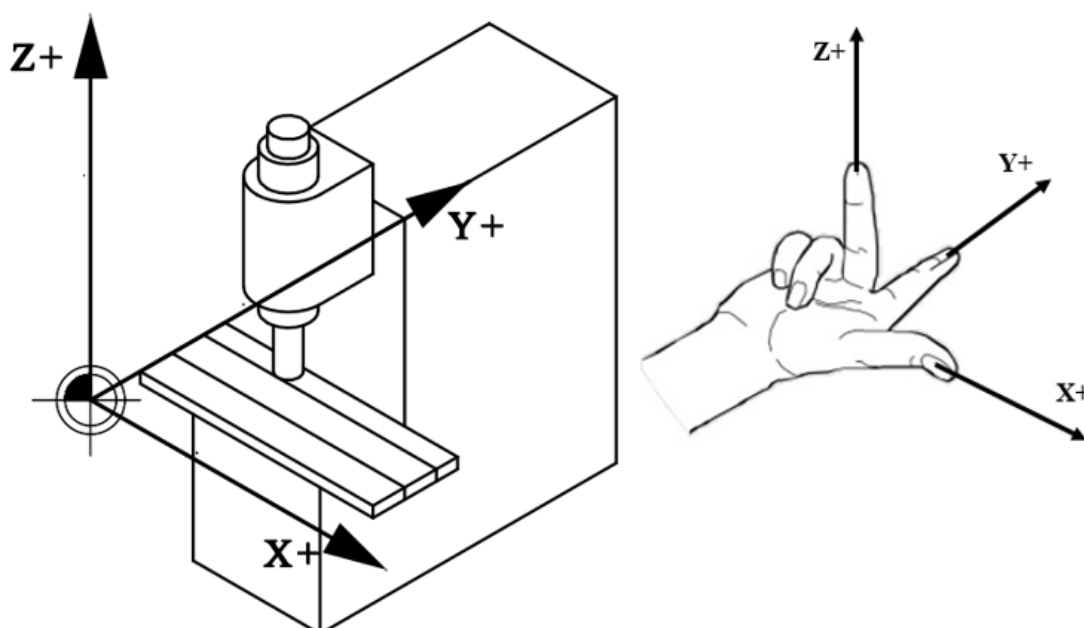
Pod pojęciem **osi sterowanej numerycznie** należy rozumieć każdy ruch sterowany w sposób ciągły, liniowy lub obrotowy.

Aby nazwać obrabiarkę sterowaną numerycznie musi ona posiadać co najmniej dwie osie, np. tokarka oś (X i Z).



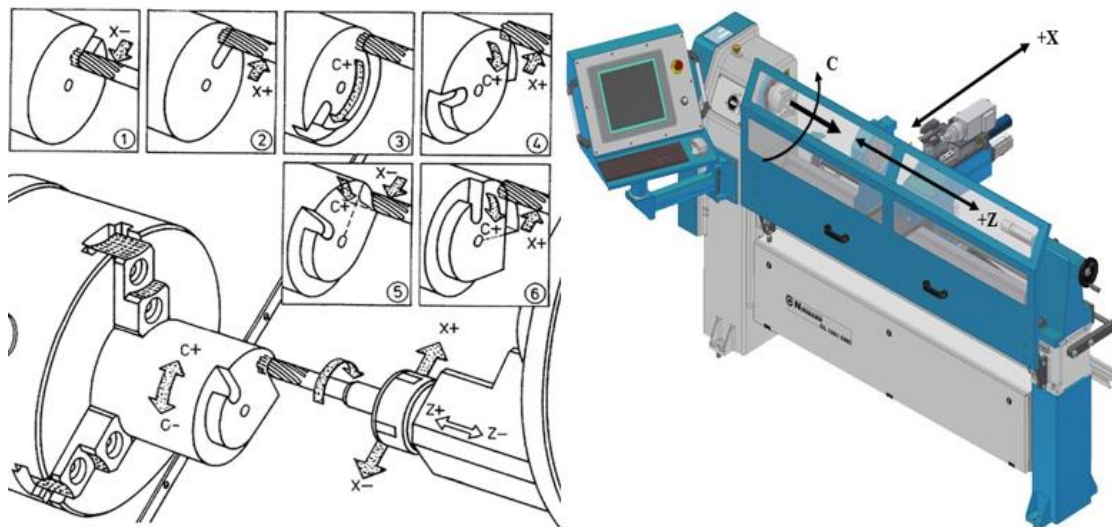
Rys. 1.11. Układ osi współrzędnych dla tokarki

W obrabiarkach sterowanych numerycznie najczęściej stosowany jest układ kartezjański prawoskrętny X,Y,Z, wraz z obrotami wokół osi, które oznaczane są: A,B,C.



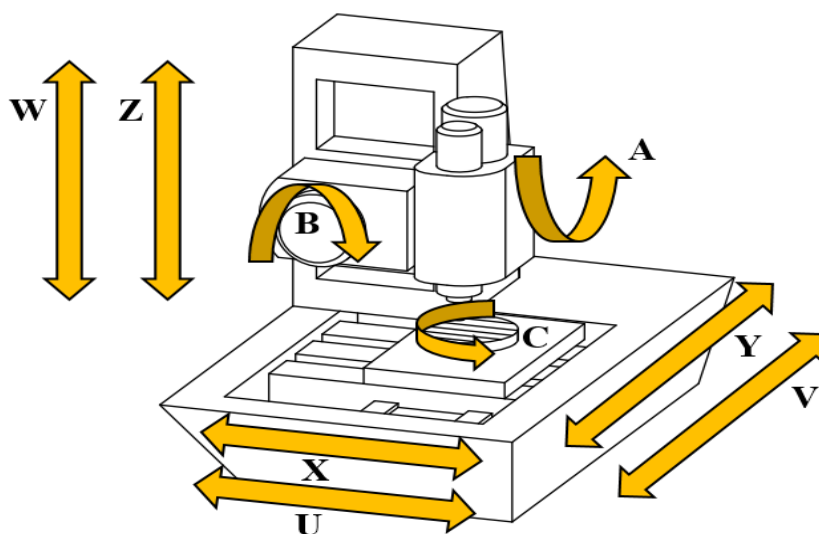
Rys. 1.12. Przykład kierunku osi sterowanych we frezarce pionowej, reguła trzech palców w celu określenia układu osi na obrabiarce [9]

Jako pierwsza definiowana jest oś Z, która pokrywa się z osią wrzeciona głównego (przedmiotowego, narzędziowego) lub jest do niej równoległa. Następnie określany jest kierunek osi X. Jest on prostopadły do kierunku osi Z. W trzeciej kolejności wyznacza się kierunek osi Y. Zwroty osi należy tak ustalić, aby spełnić warunek prawoskrętności.



Rys. 1.13. Układ osi współrzędnych dla tokarki z dodatkową osią C [5]

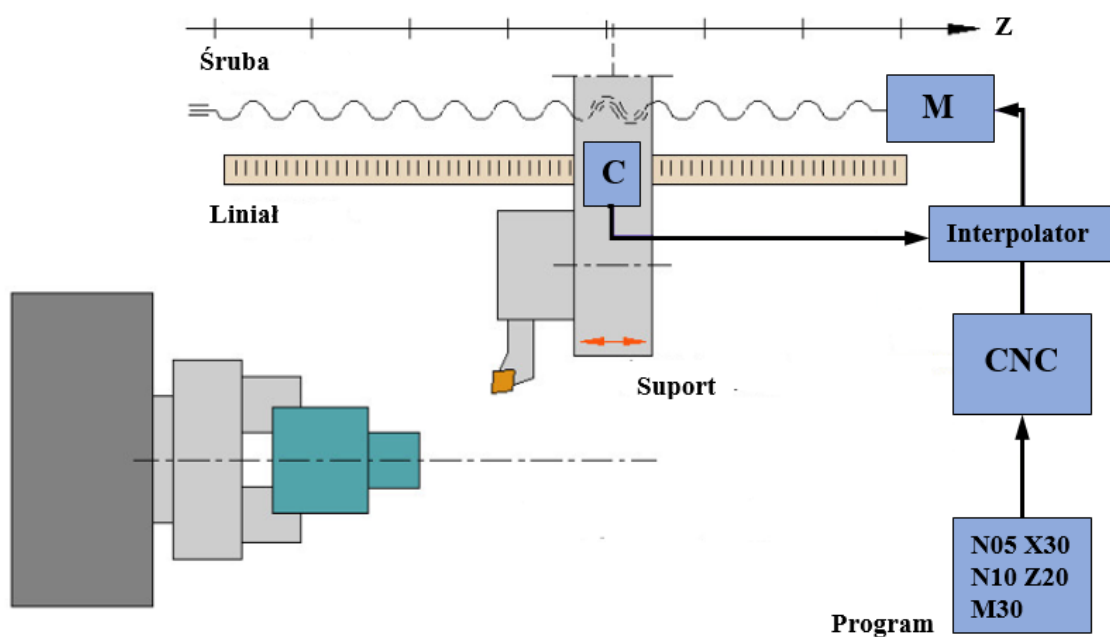
Współczesne obrabiarki posiadają dużą liczbę osi sterowanych numerycznie, dzięki czemu możliwe jest wykonywanie skomplikowanych operacji technologicznych. W zależności od rodzaju maszyny (tokarka, frezarka) zasada ta może odnosić się do wrzeciona przedmiotowego lub wrzeciona narzędziowego. Kierunek dodatni danej osi to kierunek, w którym narzędzie odsuwa się od przedmiotu obrabianego w trakcie obróbki. W przypadku dodatkowych elementów sterowanych w sposób ciągły wykonujących ruchy w kierunkach zgodnych z układem podstawowym wykorzystuje się oznaczenia osi U, V, W lub X1, X2, Y1, Z1, itp.



Rys. 1.14. Układ konstrukcyjny obrabiarki z dodatkowymi osiami U,W,V [5]

1.5.2. Zasada sterowania numerycznego

Przykład tokarki w dwóch osiach przedstawia najprostszy sposób sterowania numerycznego. Program sterujący jest rozkodowywany w układzie CNC i przesyłany za pomocą odpowiednich impulsów do interpolatora, którego zadaniem jest przekształcanie tych impulsów na określone przyrosty (przemieszczenia) współrzędnych w osiach X i Z. Położenie suportów mierzone jest w danym momencie za pomocą układów pomiarowych. W przypadku wystąpienia różnicy między położeniem zadanym przez interpolator, a położeniem odczytanym z urządzeń pomiarowych, silnik odpowiedzialny za położenie danej osi X lub Z zaczyna się obracać i przesuwają za pośrednictwem przekładni śrubowej odpowiedni suport do uzyskania właściwej wartości położenia. Po osiągnięciu położenia zadanego następuje zatrzymanie posuwu. Układy napędowe stosowane w obrabiarkach CNC pracują głównie w układzie automatycznej regulacji i są nazywane serwomechanizmami lub serwonapędami. Zasada działania takich urządzeń polega na tym, że potrzebują do wykonania ruchu niezerowej różnicy między chwilowym położeniem zadanym, a rzeczywistym odczytanym. Powoduje to, że stół lub suport obrabiarki opóźnia się względem punktu określającego ich zadane położenie. Wartość tego opóźnienia nosi nazwę uchybu nadążania. Szczególnie ważne jest, aby uchyb nie przekraczał wartości dopuszczalnych, czyli tolerancji wymiarowej oraz był taki sam we wszystkich osiach.



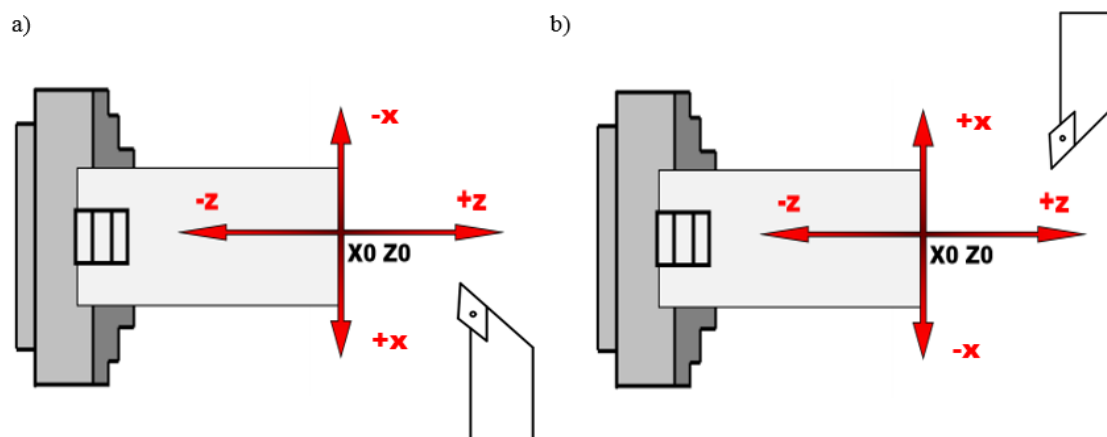
Rys. 1.15. Zasada działania układu numerycznego, C- przetwornik pomiarowy, M- napęd osi [20]

Obróbka różnych przedmiotów wymaga stosowania regulowanych osi posuwowych napędzanych niezależnie przez silniki „serwopędne”. Obecnie obrabiarki sterowane numerycznie posiadają dwie, trzy lub więcej osi ruchów posuwowych. Dzięki temu rozwiązaniu istnieje możliwość wykonywania skomplikowanych kształtów.

1.6. Odmiany konstrukcyjne obrabiarek CNC

1.6.1. Tokarki

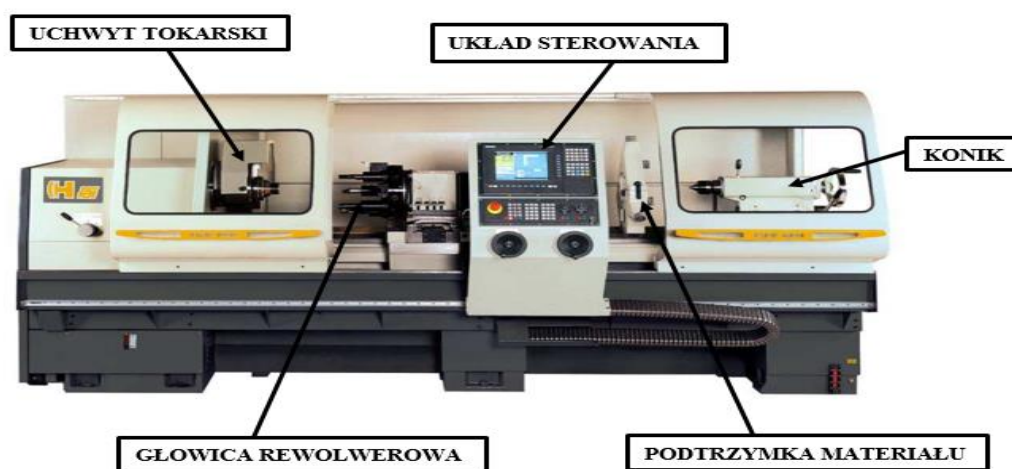
Tokarki CNC stanowią grupę obrabiarek skrawających, przeznaczonych głównie do obróbki przedmiotów w kształcie brył obrotowych. Poza toczeniem na tokarce można również wykonywać: wiercenie, gwintowanie, wytaczanie, frezowanie, rozwieranie. Tokarki sterowane numerycznie mają co najmniej 2 osie sterowane (oś X i Z), ale możemy również spotkać tokarki z większą liczbą osi.



Rys. 1.16. Układ osi współrzędnych dla tokarki: a) poniżej osi toczenia, b) powyżej osi toczenia

Wśród tokarek można wyróżnić wiele odmian konstrukcyjnych:

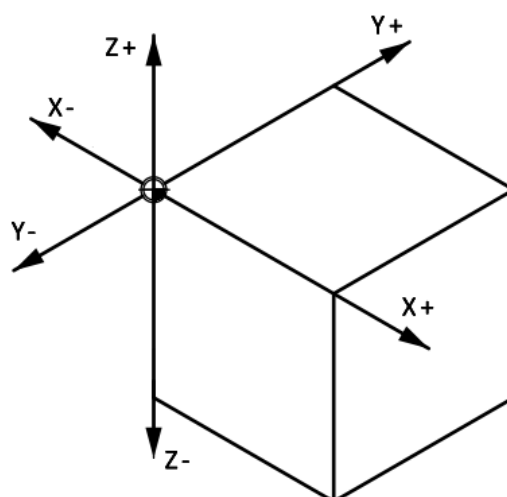
- tokarki poziome, pionowe (karuzelowe) - podział ze względu na położenie osi wrzeciona;
- tokarki kłowe, uchwytowe i prętowe - podział ze względu na rodzaj przedmiotu obrabianego;
- tokarki jedno i wielowrzecionowe;
- automaty i półautomaty tokarskie;
- inne [5].



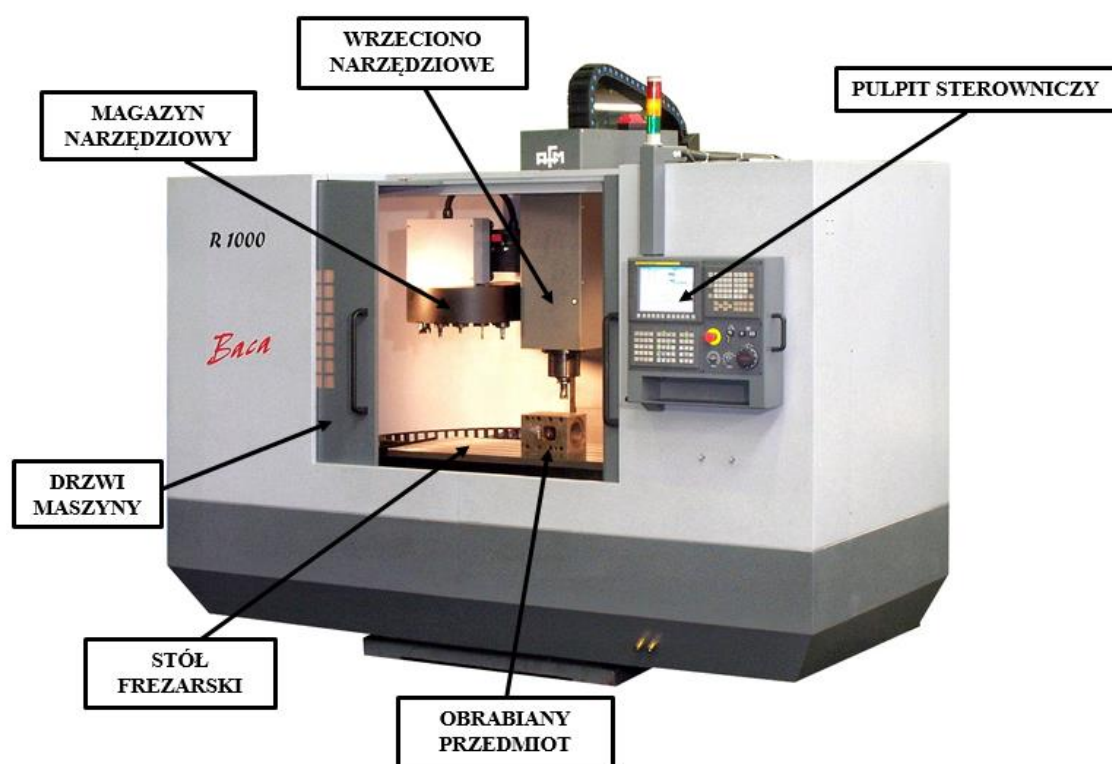
Rys. 1.17. Budowa tokarki sterowanej numerycznie

1.6.2. Frezarki

Frezarki CNC są to obrabiarki skrawające, przeznaczone m.in. do obróbki płaszczyzn, powierzchni kształtowych, rowków za pomocą narzędzi frezarskich. Na frezarce możemy wykonać: frezowanie, wiercenie, gwintowanie, pogłębianie, rozwiercanie. Ruch główny wykonuje narzędzie zamocowane we wrzecionie, natomiast ruchy posuwowe najczęściej przedmiot usytuowany na przesuwym stole. Spotyka się również takie rozwiązania, gdzie przemieszcza się całe wrzeciono.

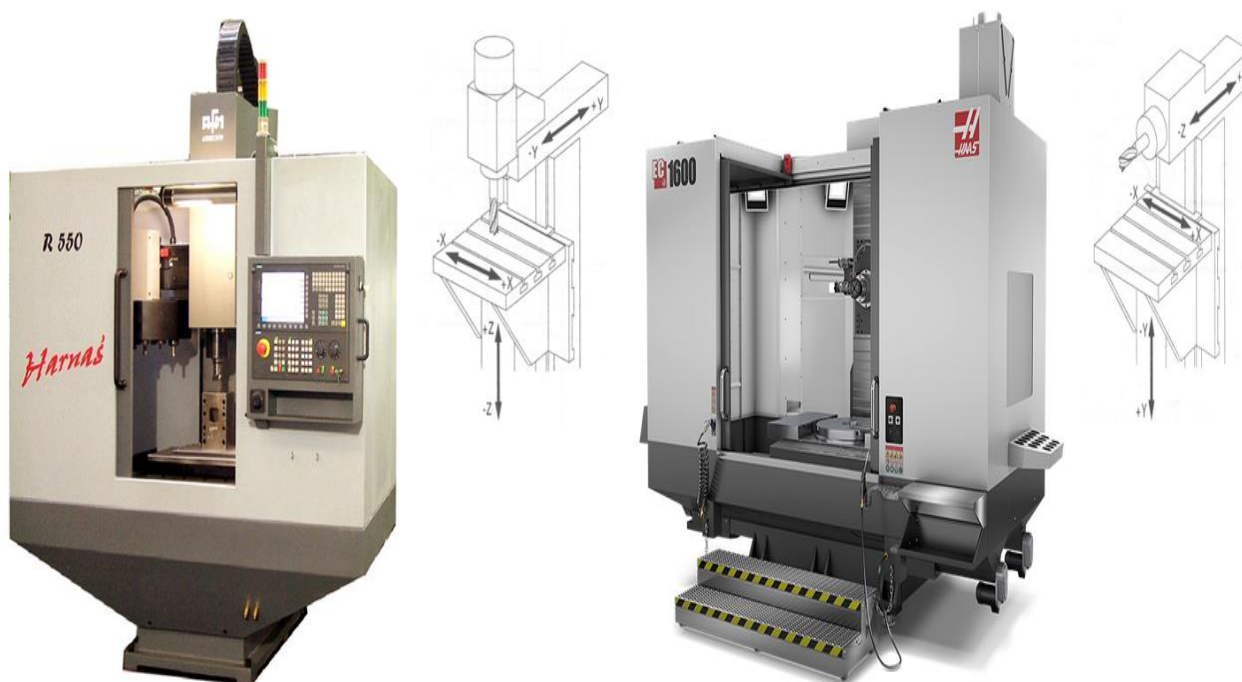


Rys. 1.18. Układ osi współrzędnych dla frezarki



Rys. 1.19. Budowa frezarki sterowanej numerycznie

Ze względu na położenie osi wrzeciona wyróżnia się następujące typy frezarek: pionowe i poziome.



Rys. 1.20. Frezarka pionowa (po lewej) i frezarka pozioma (po prawej) [22]

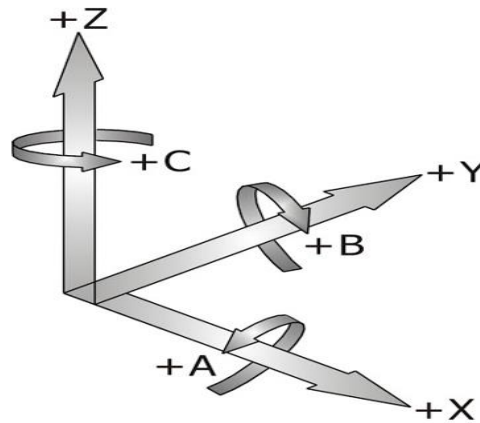
1.6.3. Centra obróbcze

Centra obróbcze (obróbkowe) to obrabiarki sterowane numerycznie (wielozadaniowe) gdzie, w jednym zamocowaniu umożliwiają wykonywanie dużej liczby zabiegów obróbkowych. Posiadają obszerne magazyny narzędzi, które są w stanie pomieścić 100 i więcej narzędzi tak, aby po obróbce uzyskać przedmiot w pełni lub w dużej części obrobiony. W ich wyposażeniu znajdują się: systemy paletowe (zmieniacze palet) z automatyczną ich wymianą oraz sondy do pomiaru narzędzi i przedmiotu obrabianego, co w znacznym stopniu przyspiesza proces obróbki.

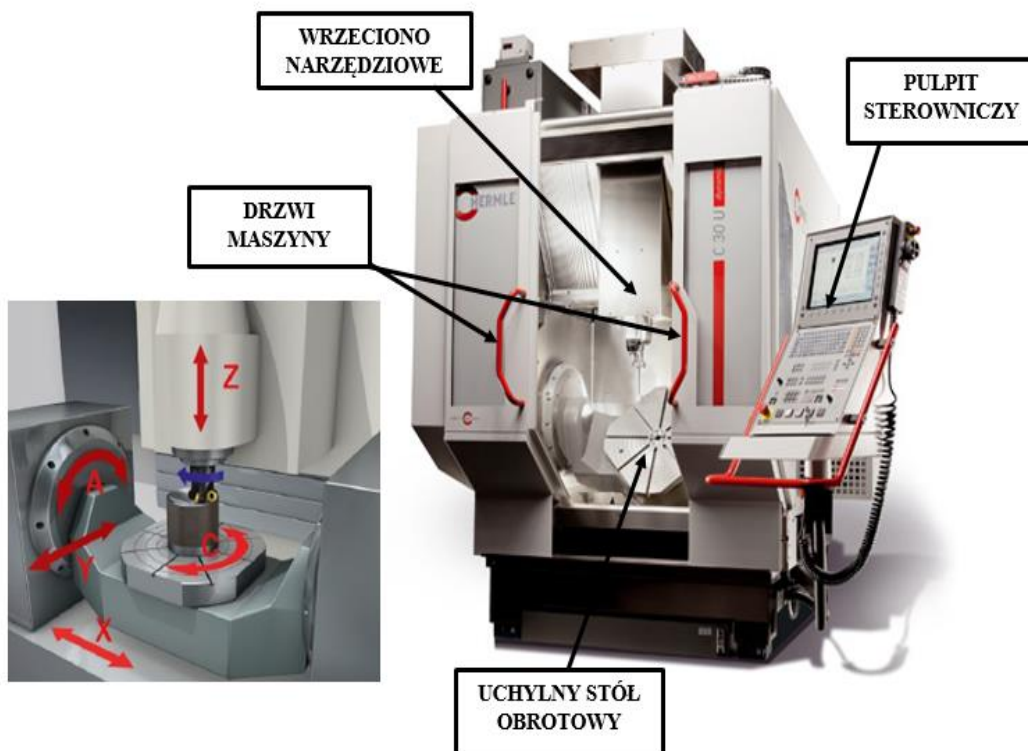
Obrabiarki te wykorzystywane są głównie w produkcji przedmiotów o złożonych kształtach, na których trzeba wykonać wiele różnorodnych zabiegów takich jak: frezowanie, wiercenie, pogłębianie, gwintowanie, gwintowanie helikalne, wytaczanie, rozwieranie otworów czy frezowanie płaszczyzn pod kątem.

Podwyższoną wydajność i dokładność obróbki można uzyskać na centrach obróbkowych zapewniających 5-osiową obróbkę jednocześnie. Uchylny stół obrotowy o dużej sztywności pozwala na kompletną obróbkę zgrubną i wykończeniową przedmiotów o bardzo złożonych kształtach. Tego typu maszyny znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu m.in: lotniczy, samochodowy, stoczniowy, maszynowy i wielu innych.

Centrum obróbcze charakteryzuje się dużą liczbą osi sterowanych. W układzie prostokątnym można wyróżnić trzy ruchy prostoliniowe wzdłuż osi X, Y, Z oraz trzy ruchy obrotowe A, B, C.



Rys. 1.21. Układ osi współrzędnych dla centra obróbczego

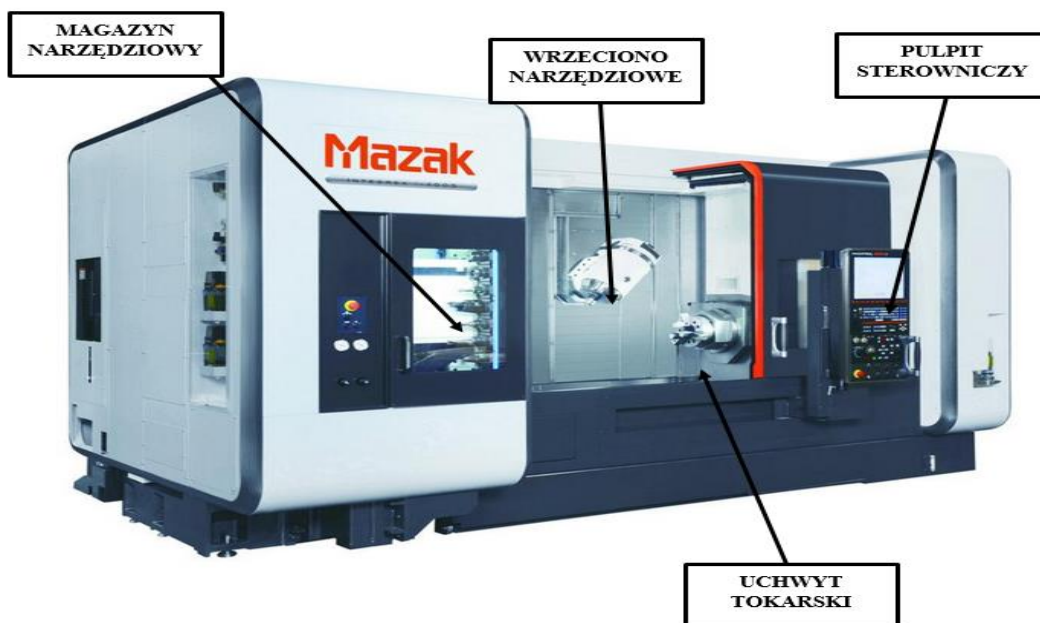


Rys. 1.22. Budowa centrum obróbczego

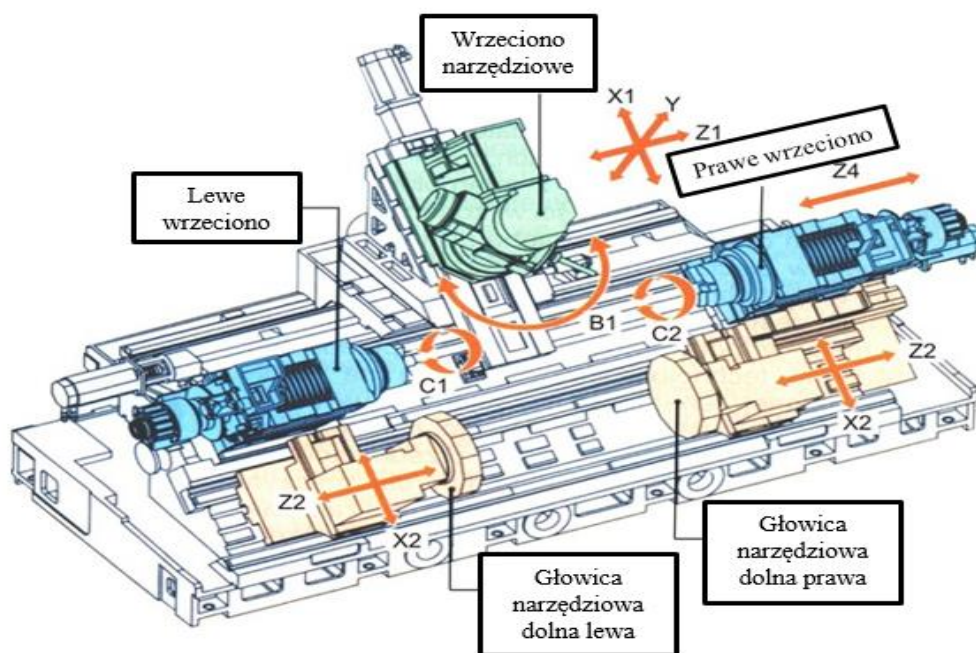
1.6.4. Centra tokarskie

Centra tokarskie CNC to obrabiarki, które poza możliwością samego toczenia, wykonują również: frezowanie, wiercenie, pogłębianie, gwintowanie, wytaczanie, rozwieranie. W swoim wyposażeniu posiadają również drugie wrzeciono. Można wyróżnić dwa podstawowe typy centrów tokarskich CNC: poziomy oraz pionowy, które różnią się ułożeniem osi obrotu wrzeciona.

Centra tokarskie dysponują sporymi możliwościami technologicznymi przez zastosowanie większej liczby osi. Dzięki temu na głowicy rewolwerowej może występować oś C, oś Y i narzędzia przenoszące napęd, aby móc wykonywać nie tylko toczenie.



Rys. 1.23. Budowa centrum tokarskiego



Rys. 1.24. Układ konstrukcyjny wrzecionowej tokarki ze sterowaniem w 11 osiach [5]

1.6.5. Inne maszyny sterowane komputerowo

Wraz z rozwojem układów CNC rośnie liczba maszyn sterowanych numerycznie. W nowych konstrukcjach tych urządzeń sterowanie przejmuje komputer, przez co zwiększa się produktywność stanowiska, precyzja wytwarzanych części oraz zminimalizowane zostają błędy operatora podczas obróbki.

Maszyny, w których coraz częściej stosuje się komputerowe sterowanie numeryczne to:

a) Szlifierka

Szlifierka CNC to maszyna przeznaczona do obróbki wykańczającej powierzchni przedmiotów wcześniej obrobionych innymi metodami. Podstawowym zadaniem technologicznym szlifierek jest obróbka powierzchniowa (po szlifowaniu uzyskujemy bardzo dobrą jakość powierzchni). Szlifierki ze względu na wykonywane zadania technologiczne można podzielić na szlifierki: do wałków, bezkłowe, do otworów, kłowe z nadstawką do szlifowania otworów, do narzędzi, do płaszczyzn, pracujące obwodem ściernicy oraz czołem ściernicy, ze stołem prostokątnym lub obrotowym.

b) Elektrodrażarka

Elektrodrażarka CNC służy do usuwania materiału, działa na zasadzie elektrodrażenia, która wykorzystuje zjawisko obróbki elektroerozyjnej. Wyładowania elektryczne, które powstają pomiędzy elektrodą (drutem) i materiałem obrabianym za sprawą elektrodrażarki, powodują powstawanie w nim ubytków. Metody erozyjne są wykorzystywane w obróbce bardzo twardych materiałów oraz miejscach gdzie obróbka skrawaniem byłaby trudna przy uzyskaniu bardzo dużej gładkości powierzchni np. wykonanie otworu o średnicy 0,05 mm. Elektrodrażarki znajduje zastosowanie w produkcji: wykrojników, matryc, form wtryskowych, tłoczników, itp. Wyróżniamy następujące metody elektrodrażenia: wgłębne oraz drutowe.

c) Wypalarka plazmowa

Wypalarka plazmowa CNC to urządzenie przeznaczone do cięcia plazmowego przy wykorzystaniu palnika. Proces ten polega na wykorzystaniu wysokiej temperatury plazmy oraz dużej prędkości wylotowej gazów. Umożliwia wycinanie określonych elementów o skomplikowanym kształcie. Materiały umieszcza się na powierzchni roboczej stołu CNC, następnie do sterownika urządzenia wgrywa się program cięcia. Po uruchomieniu następuje automatyczne wypalanie (cięcie) na odpowiednie wymiary elementów, zgodnie z programem. Palnikiem plazmowym można wycinać wszystkie materiały przewodzące prąd elektryczny takie jak: stal konstrukcyjna, stal wysokostopowa oraz metale nieżelazne.

d) Laser

Laser CNC to maszyna, w której można precyzyjnie wyciąć niestandardowe kształty, zapewnia szybką i bardzo efektywną pracę. Laser to punktowe wyprowadzanie energii przyjmującej postać gorącego strumienia tnącego, przy czym wiązka laserowa powstaje w wyniku wyładowań elektrycznych zachodzących w mieszaninie gazów technicznych. Samo cięcie polega na roztopieniu bądź odparowaniu obrabianego surowca. Do cięcia laserem używa się gazu technicznego o dużej czystości m.in. (hel, azot oraz dwutlenek węgla). Reaguje on z żelazem, dzięki czemu dostarcza dodatkową dawkę energii, przyspieszając produkcję. Laser znajduje szeroki zakres zastosowania względem rodzajów i właściwości materiałów poddawanych obróbce.

e) Waterjet

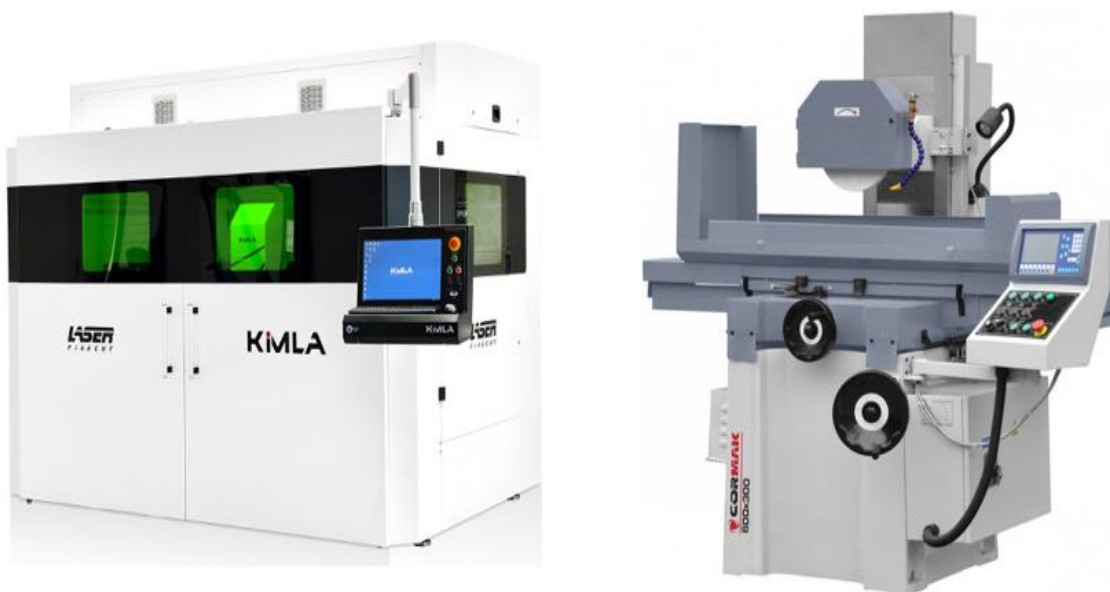
Waterjet CNC wykorzystuje technologie strumienia wody o ekstremalnie wysokim ciśnieniu w celu przecięcia twardych i grubych materiałów (kamień, metal, szkło, drewno, tworzywa sztuczne itp.) z dokładnością nawet do 0,1 milimetra. W przypadku cięcia miękkich i cienkich materiałów sama woda całkowicie wystarcza, jednak w przypadku twardszego i grubszego, konieczne jest użycie wody z domieszką środka ściernego (garnetu). Odbyna się to w taki sposób, że woda rozpędza ścierniwo do prędkości zbliżonej do prędkości dźwięku (340,3 m/s). Garnet można porównać do piasku z tym, że jest on zdecydowanie twardszy i ma ostrzejsze krawędzie.

Technologia cięcia wodą wykorzystuje wodę pod wysokim ciśnieniem (nawet 4000 atmosfer). By uzyskać tak wysokie ciśnienie należy sprężyć wodę za pomocą specjalnych pomp, a następnie skierować ją do sterowanej komputerowo głowicy tnącej. W kolejnym etapie woda trafia na stół roboczy, na którym znajduje się materiał poddawany obróbce.

Waterjet w porównaniu z innymi metodami cięcia przecina materiały znacznie grubsze niż może to wykonać laser czy cięcie plazmą. Dodatkowo materiał nie jest poddawany działaniu wysokiej temperatury, jak to bywa przy cięciu termicznym. Dzięki temu przycinany surowiec nie jest narażony na uszkodzenia mechaniczne w postaci rys czy mikropęknięć.

f) Ploter

Ploter CNC to maszyna frezująca, która znajduje zastosowanie w wielu branżach m.in. stolarskiej i reklamowej. Może on wykonywać: cięcie folii, kartonu, papieru, frezowanie, wycinanie, wiercenie, grawerowanie w płytach z tworzyw sztucznych, aluminium, kompozytów. W wersjach 3D plotery wykorzystywane są do wykonywania modeli odlewniczych, do termo formowania czy laminowania, modelowania płaskorzeźb, makiet przestrzennych, prezentacji trójwymiarowych. Są to najtańsze z obecnych na rynku obrabiarek sterowanych komputerowo. Stoły ploterów frezujących są najczęściej wyposażone w stoły z rowkami teowymi, co daje dużą uniwersalność lub w systemy próżniowego mocowania materiału, co znacznie ułatwia mocowanie dużych i cienkich płyt.



Rys. 1.25. Przykładowe maszyny CNC: wycinarka laserowa firmy Kimla (po lewej stronie), szlifierka CNC do płaszczyzn firmy Cormak (po prawej stronie)

LITERATURA

1. Bryniak A., *Metody opracowania technologii obróbki na tokarki CNC. Praca dyplomowa*, Rzeszów 2013.
2. Cichosz P., *Techniki wytwarzania obróbka ubytkowa*, OWPW Wrocław 2002 r..
3. Dul – Korzyńska B., *Obróbka skrawaniem i narzędzia*, OWPR Rzeszów 2009.
4. Figurski J., *Przygotowanie obrabiarek sterowanych numerycznie do obróbki. Podręcznik do nauki zawodów technik mechanik i operator obrabiarek skrawających*, Wyd. WSiP, Warszawa 2016.
5. Habrat W., *Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora*. Wyd. KaBe, Krosno 2015.
6. <http://cnc.pl/>
7. <https://eurometal.com.pl>
8. <https://www.cormak.pl/>
9. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/748/104433748/att_96814/v1/PG_0108_pl.pdf
10. <https://www.km-maszyny.pl/produkt/opti-turn-l-44-cnc-351-4330/>
11. <https://www.kitagawa.global/pl/products/collet-chucks/standard-cap/crl42a5>
12. <https://darmet.com.pl/pl/>
13. <https://www.km-maszyny.pl/>
14. <https://www.kammar24.pl/>
15. <https://www.ebmia.pl/>
16. <https://artykulytechniczne.pl/>
17. <https://system3d.pl/>
18. <https://www.renishaw.pl/>
19. Jemielniak K., *Obróbka Skrawaniem – podstawy, dynamika, diagnostyka*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018.
20. Nikiel G., *Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D*, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2004.
21. Podręcznik szkoleniowy Obróbka metali skrawaniem Sandvik Coromant, 2017.
22. Podstawy obróbki CNC, REA, Warszawa 2013.
23. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 2012, nr 2.
24. Poradnik obróbki skrawaniem, Garant, 2007.
25. Poradnik obróbki skrawaniem, Sandvik Coromant, 2013.
26. *Postępy Nauki i Techniki*, 2012, nr 13.
27. Skupnik D., *Rysunek techniczny maszynowy z atlasem rysunków*, Wyd. Nauki i Technika, Warszawa 2019.
28. Sobolewski J. Z. (red.), Siemiński P., Sobieszczański J., *Techniki wytwarzania – projektowanie procesów technologicznych*, Warszawa 2012.



SIEMENS

