

Jerzy Józwik<sup>1)</sup>, Ivan Kuric<sup>2)</sup>, Ján Král<sup>3)</sup>, Ján Král jr.<sup>3)</sup>, Emil Spišák<sup>3)</sup>

## WYBRANE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE FREZAREK I CENTRÓW OBRÓBCZYCH STEROWANYCH NUMERYCZNIE

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wybrane rozwiązania konstrukcyjne współczesnych obrabiarek sterowanych numerycznie CNC. Pracę osadzono w nurcie trendów rozwojowych w zakresie innowacyjności budowy obrabiarki, jej funkcjonalności i bogatych możliwości kinematycznych. Praca bazuje na prezentowanych podczas targów i spotkań studyjnych w firmach rozwiązaniach konstrukcyjnych. Zawiera syntetyczne omówienie wybranych zespołów funkcjonalnych, ich głównych cech charakterystycznych, zarówno wad jak i zalet. Powstała z myślą o młodych adeptach nauki i przybliża co prawda podstawowe ale niezwykle istotne – innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne obrabiarek CNC.

**Słowa kluczowe:** obrabiarki CNC, korpusy, napędy, układy pomiarowe, magazyny narzędziowe, wrzeciona, zmieniające narzędzi.

### WSTĘP

Frezarki i centra frezarskie to złożone układy masowo – dysypacyjno – sprężyste w skład których wchodzi wiele zespołów wykonawczych o budowie modułowej spełniających ściśle określone zadania. Do podstawowych zalicza się: korpusy, prowadnice, napędy oraz układy pomiarowo-kontrolne, moduły konstrukcyjne realizujące samodzielnie poszczególne ruchy lub czynności. Moduły takie mają z reguły własny napęd, a ich współdziałanie w procesie obróbki wynika z działania układu CNC powiązanego elektrycznymi sygnałami sterującymi z poszczególnymi modułami. Budowa modułowa i ujednoczenie rozwiązań konstrukcyjnych ułatwiają tworzenie różnych wariantów obrabiarek dostosowanych do wymagań klienta, a także uzyskanie zmienności zadań produkcyjnych pod względem budowy mechanicznej.

Frezarki i centra frezarskie jak wszystkie urządzenia techniczne wraz z czasem eksploatacji ulegają procesom zużycia, które obniżają zdolność kształtowania wyrobów o wysokim poziomie zgodności wymiarowo-kształtowej. Zmniejszenie ryzyka produkcji braków i ponoszenia strat w przedsiębiorstwie produkcyjnym jest jednym z priorytetowych celów działalności wytwórczej. Zachowanie najwyższych wyma-

---

<sup>1)</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny; e-mail: j.jozwik@pollub.pl

<sup>2)</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, Slovakia, e-mail: ivan.kuric@fstroj.utc.sk

<sup>3)</sup> Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia, e-mail: jan.kral@tuke.sk

gań jakościowych wytwarzanych na obrabiarkach CNC wyrobów jest uwarunkowana dokładnością geometryczno-kinematyczną obrabiarki.

Wysoka dokładność i powtarzalność wymiarowa obrabianych przedmiotów jest możliwa dzięki temu, że nowoczesne obrabiarki mają sztywniejszą konstrukcję oraz dokładniejsze łożyskowanie wrzecion niż obrabiarki tradycyjne. Na dokładność obróbki ze strony maszyny technologicznej mają wpływ takie czynniki jak:

- dokładność geometryczna obrabiarki,
- dokładność kinematyczna obrabiarki,
- niezawodność układu sterowania,
- niezawodność i precyzja układów pomiarowo-kontrolnych.

## CECHY CHARAKTERYSTYCZNE OBRABIAREK CNC

Obrabiarki sterowane numerycznie CNC (rys. 1), w odróżnieniu od obrabiarek konwencjonalnych odróżnia kilka charakterystycznych cech, do których zaliczyć można:

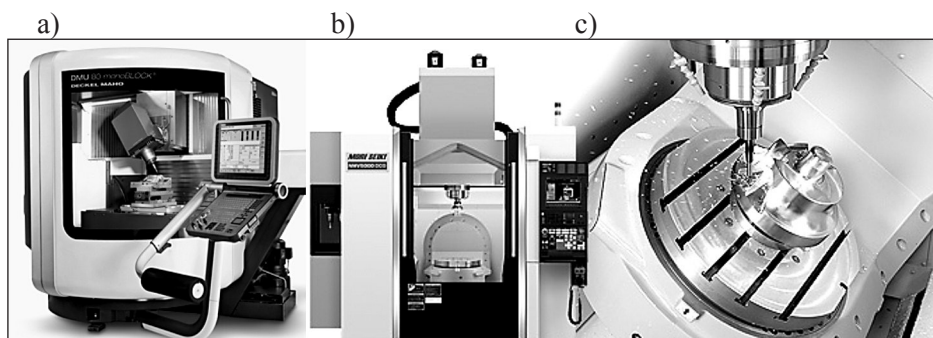
- wiele osi sterowanych numerycznie,
- osobny, niezależny napęd osi przesuwu i wrzeciona, suportów i uchwytów przedmiotów obrabianych (pośredni lub bezpośredni),
- serwonapędy i elektrowrzeciona,
- urządzenie wejścia z numerycznymi danymi wejściowymi informacji sterowniczych, zapisanymi na nośniku informacji (na kartach pamięci, dyskach twardej, itp.),
- systemy pomiarowe i kontrolne (pośrednie i bezpośrednie), służące do przekazywania informacji zwrotnej o położeniu narzędzi i przedmiotu obrabianego do komputera sterującego,
- przekładnie i pary kinematyczne toczne z kulkowymi, krążkowymi, wałeczkowymi lub stożkowymi elementami tocznymi (śruby toczne, wózki jezdne toczne, prowadnice toczne),
- automatyczne urządzenia do wymiany narzędzi oraz przedmiotów obrobionych,
- proste i efektywne systemy programowania z dynamiczno-interaktywną symulacją procesów obróbki,
- graficzne systemy diagnozowania błędów obrabiarek sterowanych komputerowo lub całego systemu obróbkowego.

Dzięki maszynom CNC możliwe jest osiągnięcie większej wydajności obróbki poprzez większą szybkość obróbki, krótkie czasy główne, pomocnicze i przygotowawczo-zakończeniowe. Szczególne znacznie mają takie czynniki jak:

- przesunięcie odpowiedzialności za programowanie na biuro technologiczne,
- możliwość programowania ręcznego bezpośredniego na obrabiarence,
- postęp w dziedzinie materiałów i narzędzia oraz optymalne obciążenie stanowiska CNC,

- zapisywanie typowych przypadków obróbki specyficznych przedmiotów w formie podprogramów,
- możliwość optymalizacji programów sterowania cyfrowego w systemie,
- automatyczne dosuwanie narzędzia do osiągnięcia wymaganego wymiaru,
- automatyczne uruchamianie wszystkich funkcji obrabiarki i bezpośrednia interwencja po stwierdzeniu błędów i zakłóceń,
- automatyczny nadzór nad obróbką wykonywany przez sam układ sterowania (automatyczny pomiar i kontrola),
- uniwersalne zastosowanie narzędzi w systemach uchwytów,
- możliwość ustawienia narzędzi poza obrabiarką bez wpływu na czas pracy maszyny.

Dzięki wysokiej dokładności podstawowej obrabiarki (pomiar z dokładnością 1/1000 mm) możemy uzyskać wyższą i powtarzalną dokładność obróbki przy niewielkim udziale przedmiotów wadliwych.

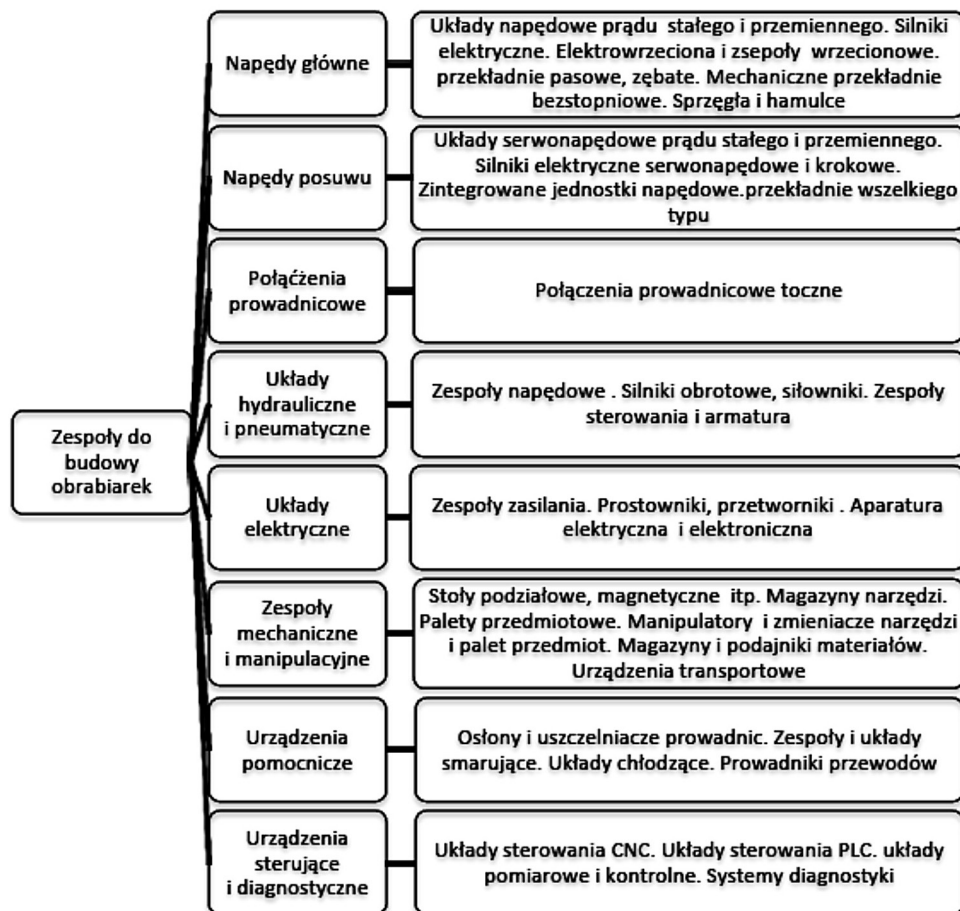


**Rys. 1.** Obrabiarki sterowane numerycznie CNC: a) DMU 80 MonoBLOCK firmy DMG, b) NMV 3000 firmy Mori Seiki, c) przykład możliwości technologicznych kształtowania na obrabiarce pięcioosiowej

Stosowanie maszyn CNC pozwala na realizację krótkich cykli produkcyjnych, dzięki wysokiej elastyczności maszyn CNC, lepszej organizacji i połączenia rozproszonych czynności produkcyjnych. Daje to zwiększoną elastyczność produkcji poprzez zastosowanie systemów obróbkowych i racjonalne wykonywanie mniejszych serii lub pojedynczych przedmiotów o wysokim stopniu złożoności.

## ZESPOŁY FUNKCJONALNE OBRABIAREK CNC

Obrabiarki to złożone układy konstrukcyjne obejmujące szereg funkcjonalnych zespołów umożliwiających realizację złożonej kinematyki oraz możliwości kształtowania części maszyn. Podstawowe zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC przedstawiono na rysunku 2.



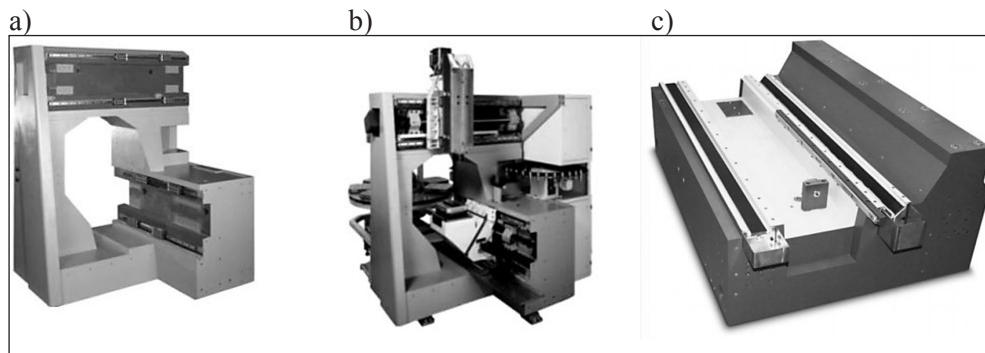
Rys. 2. Podstawowe zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC

Do zespołów tych należą: korpusy, zespoły napędowe, połączenia przewodnicowe, układy hydrauliczne, pneumatyczne i elektryczne, zespoły mechaniczne i manipulacyjne, urządzenia sterujące i diagnostyczne oraz wymienione na rysunku 2 urządzenia pomocnicze, rozszerzone o roboty, manipulatory, zmieniacze, itp.

## KORPUSY OBRABIAREK CNC I NAPĘDY

Korpusy obrabiarek CNC stanowią jedno z podstawowych zespołów funkcjonalnych maszyny technologicznej. Muszą spełniać szereg zadań pozwalających na funkcjonowanie obrabiarki. Stanowią bazę dla pozostałych podzespołów, łączą w jedną konstrukcyjną całość elementy maszyny. Obrabiarka CNC zazwyczaj posiada kilka korpusów, z których jeden jest główny, nieruchomy, stanowiący konstrukcję

nośną obrabiarki, pozostałe zaś – to korpusy pomocnicze (korpusy zespołów służących do ustawienia, zamocowania i podtrzymywania przedmiotów obrabianych lub narzędzi oraz korpusy zespołów napędowych). Przykład korpusu głównego oraz widok obrabiarki CNC złożonej z wielu korpusów przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3.** Polimerobetonowy korpus obrabiarki Mikron HPM 600 (36000 obr/min, 32 kW) a) nie uzbrojony, b) uzbrojony, c) przykładowy korpus główny z polimerobetonu szlifierki firmy Studer

Do podstawowych wymagań stawianych korpusom obrabiarek CNC należy zaliczyć:

- utrzymanie niezmienności kształtów i wymiarów korpusu przez cały okres eksploatacji obrabiarki,
- duża sztywność statyczna i dynamiczna korpusu,
- mała odkształcalność termiczna,
- wysoka zdolność do tłumienia drgań,
- wysoka dokładnością powierzchni przeznaczonych na prowadnice,
- mała masa korpusów przemieszczających się (zazwyczaj pomocniczych) w celu zapewnienia jak najmniejszej bezwładności ruchowej tych podzespołów,
- możliwość odprowadzania wiórów,
- bezpieczeństwo obsługi (ergonomiczne rozwiązanie korpusu) i estetyczny wygląd,
- niskie koszty wytwarzania.

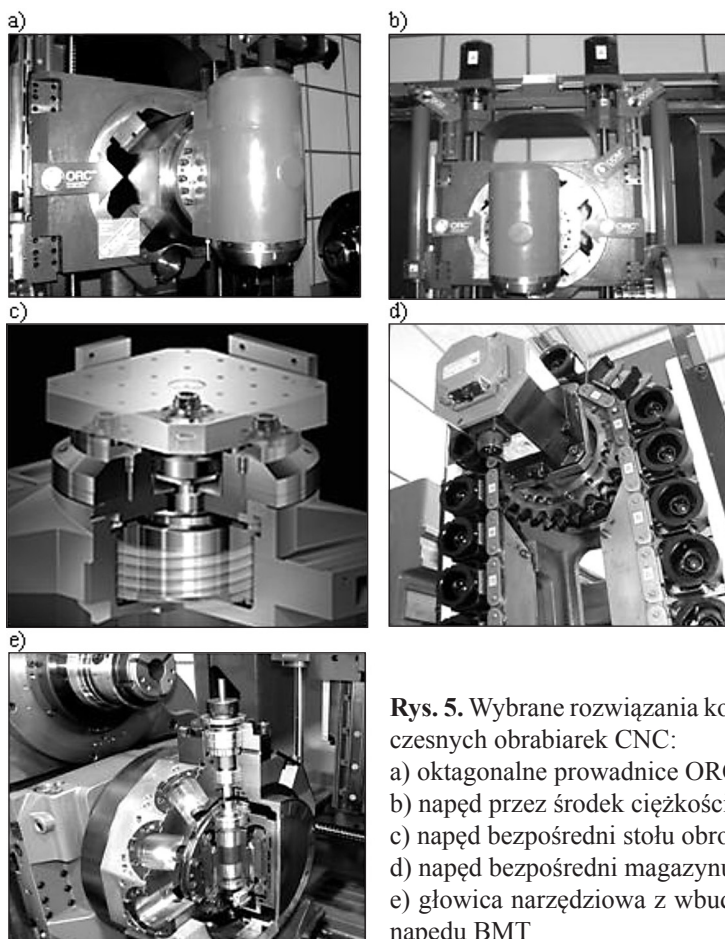
Przykład innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych obrabiarki z wieloma korpusami przedstawiono na rysunku 4.

Do tych rozwiązań należy zaliczyć: oktagonalne prowadnice ORC, napęd przez środek ciężkości DCG, napędy bezpośrednie wszystkich narzędzi obrotowych w wielopozycyjnej głowicy narzędziowej DDM, głowice narzędziowe z wbudowanym silnikiem napędu BMT, itp. (rys. 5).

Oktagonalna konstrukcja ramy ORC (rys. 5a) zapewnia: symetryczne odkształcenia, lepsze odprowadzanie ciepła podczas szybkich przesuwów osi, dużą dokład-



Rys. 4. Innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne obrabiarki z wieloma korpusami (opr. własne)



Rys. 5. Wybrane rozwiązania konstrukcyjne współczesnych obrabiarek CNC:

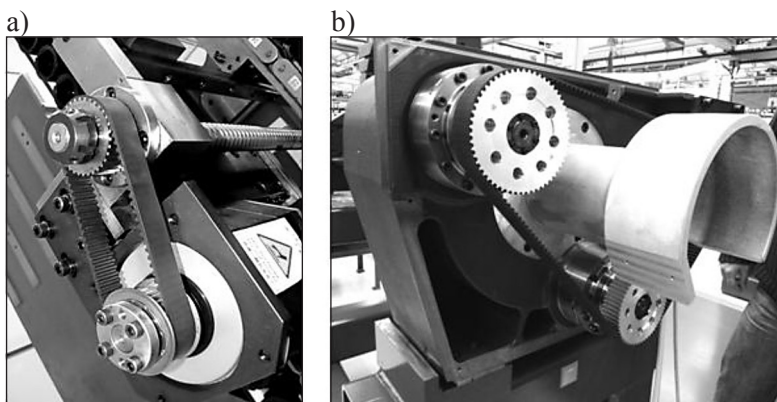
- a) oktagonalne prowadnice ORC,
- b) napęd przez środek ciężkości DCG,
- c) napęd bezpośredni stołu obrotowego DDM,
- d) napęd bezpośredni magazynu narzędziowego,
- e) głowica narzędziowa z wbudowanym silnikiem napędu BMT

ność realizowanych przemieszczeń, wysoką jakość obrabianych powierzchni (głównie w obróbce wykańczającej) oraz dobrą dynamikę ruchu gdyż środek ciężkości układu leży w tej samej pozycji.

Napęd przez środek ciężkości DCG (rys. 5b) pozwala na: minimalizacja drgań: dużą dokładność realizowanych przemieszczeń, wysoką jakość obrabianych powierzchni (głównie w obróbce wykańczającej), dobrą dynamikę ruchu oraz wydłużenie czasu życia narzędzia.

Napęd bezpośredni DDM (rys.5c, d) pozwala na: eliminację luzów (brak przekładni i elementów pośredniczących), poprawę dokładności pozycjonowania, dobrą dynamikę ruchu, itp. Dotyczy takich zespołów obrabiarki jak: wrzeciono narzędziowe, wrzeciono przedmiotowe, stoły obrotowe, napędzane narzędzia w głowicach wielonarzędziowych.

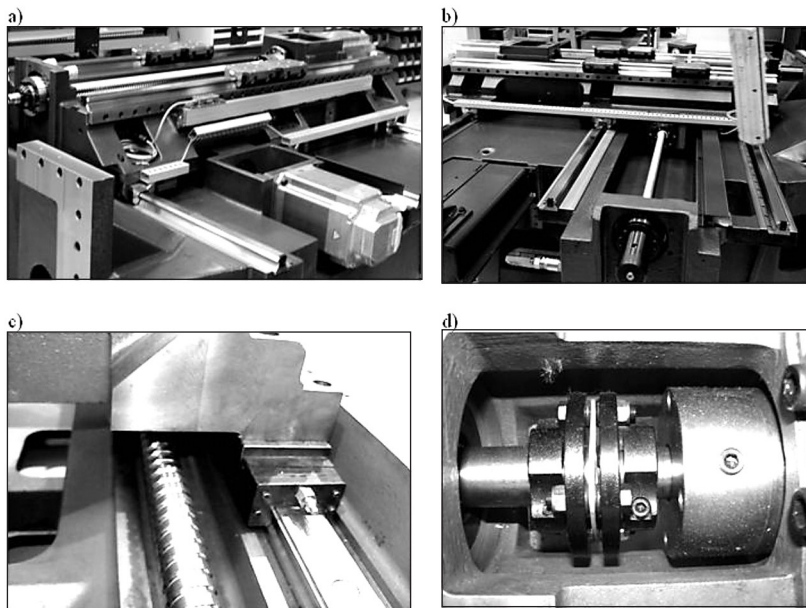
Innymi innowacyjnymi rozwiązaniami są: głowice narzędziowe z wbudowanym silnikiem napędu BMT (rys. 5e), pozwalające na: minimalizacja drgań, minimalizacja generowanego ciepła, dobra dynamika ruchu, wzrost efektywności przekazywanej mocy na narzędzie, a zatem poprawa charakterystyk pracy.



**Rys. 6.** Napędy pośrednie z przekładnią kinematyczną paskową:  
a) chwytaka zmieniacza narzędziowego, b) wrzeciona

Dotychczas, często jedynym – głównie ze względów finansowych był napęd pośredni (rys. 6), w którym moment obrotowy przenoszony był za pośrednictwem kół zębatach i paska uźębionego. Rozwiązanie to również i dzisiaj jest wykorzystywane, szczególnie w obrabiarkach tańszych o ograniczonych możliwościach kinematycznych napędu ruchu głównego (stosunkowo niskie prędkości obrotowe).

Obecnie, zespoły prowadnicowe obrabiarki CNC to układy z napędem śrubowotocznym w każdej z osi sterownej numerycznie oraz prowadnice i wózek jezdne. Przykład takiego rozwiązania zaprezentowano na rysunku 7.



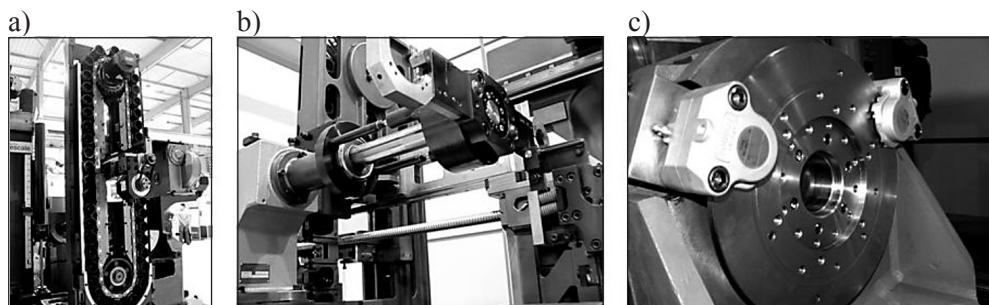
Rys. 7. Zespoły prowadnicze obrabiarki CNC z napędem śrubowo-tocznym:

a) napęd osi Y, b) napęd osi X, c) śruba toczna  
oraz prowadnica i wózek jezdny, d) sprzęgło

## MAGAZYNY NARZĘDZIOWE I ZMIENIACZE NARZĘDZI

We frezarkach i centrach frezarskich spotyka się bardzo wiele rozwiązań konstrukcyjnych magazynów narzędziowych. Można je podzielić ze względu na miejsce zajmowane w obrabiarce na: magazyny wolno stojące lub magazyny zintegrowane z konstrukcją obrabiarki (rys. 8).

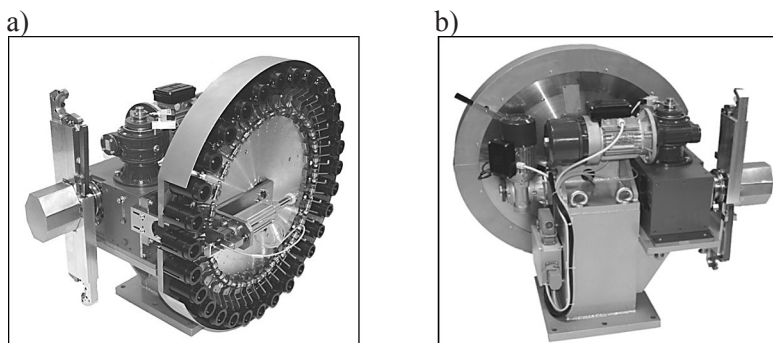
Magazyny wolno stojące stanowią samodzielne konstrukcje z własnymi układami manipulacji i sterowania. Są to zazwyczaj magazyny o bardzo dużej liczbie



Rys. 8. Wybrane zespoły obrabiarki CNC: a) magazyn narzędziowy, b) chwytak zmieniacza narzędziowego, c) hamulec wrzeciona przechwytyjącego



narzędzi, które mogą podlegać ciągłej rozbudowie. Magazyny narzędziowe zintegrowane z obrabiarką są najczęściej spotykanym rozwiązaniem. Stanowią jednolitą, funkcjonalną strukturę, z którą zintegrowany jest również zmieniacz narzędzi. Ze względu na konstrukcję i zasadę działania magazyny narzędziowe można podzielić na: łańcuchowe, talerzowe, pierścieniowe, kasetowe, równoległe (podłużne).



Rys. 9. Magazyn narzędziowy talerzowy ze zmieniaczem dwuchwytkowym [25]

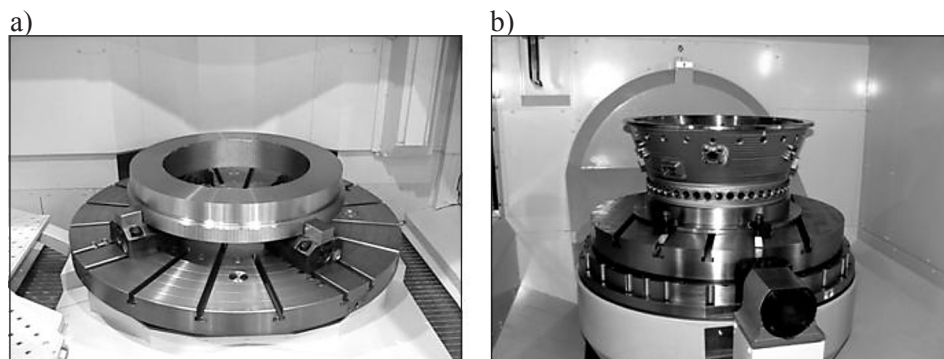
Do najważniejszych cech magazynów narzędziowych w sensie wpływu na ich konstrukcję należy zaliczyć: zajmowaną przestrzeń, liczbę możliwych do zamocowania narzędzi, kształt i masa całkowita wszystkich przechowywanych narzędzi, moc i dynamika napędu magazynu i zmieniacza narzędzi (głównie jedno lub dwuchwytkowego), czas wymiany narzędzia, pozycja narzędzia w uchwycie, sposób identyfikacji narzędzi w magazynie (kodowanie mechaniczne, elektroniczne, inne).



Rys. 10. Obrotowe głowice wielonarzędziowe

## STOŁY OBROTOWE I OBROTOWO UCHYLNE

Na rysunku 11 zaprezentowano wybrane rozwiązania konstrukcyjne stołów obrotowych i obrotowo-uchylnych, stosowanych w obrabiarkach CNC.



Rys. 11. Stół obrotowy (a) i obrotowo uchylny (b) obrabiarki CNC

Ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest równoległe połączenie stołu obrotowo uchylnego ze stołem płaskim (w poziomie) (rys. 12). Pozwala to na połączenie możliwości kinematyczno technologicznych oraz wszystkich cech obrabiarki trzy i pięcioosiowej.



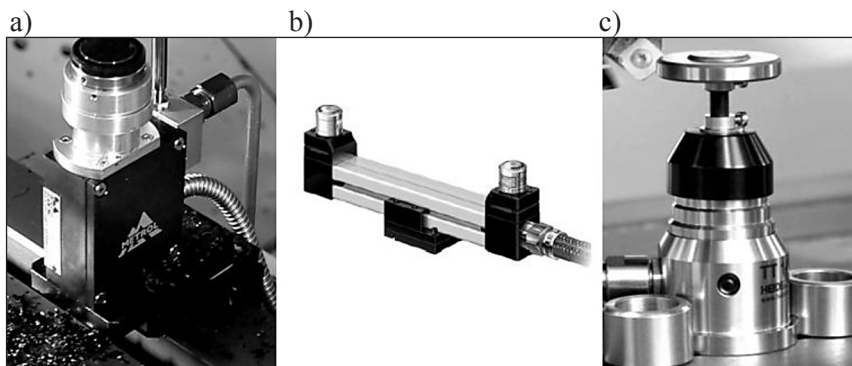
Rys. 12. Stół obrotowy (a) i obrotowo uchylny (b) obrabiarki CNC

## SONDY NARZĘDZIOWE I PRZEDMIOTOWE

Układy sensoryczne we frezarkach i centrach frezarskich stosowane są do pomiaru przedmiotów obrabianych przed i w trakcie obróbki, pomiarów narzędzi oraz do sterowania parametrami obróbki. Identyfikacji i kontrola ustawienia przedmiotów obrabianych na stołach obrabiarek realizowana jest przez sondy przedmiotowe, zaś pomiarów i kontroli narzędzi skrawających dokonuje się z wykorzystaniem sond narzędziowych.

## SONDY NARZĘDZIOWE

Drugą grupą są układy kontroli narzędzia czyli sondy narzędziowe. Przy pomocy tych sond istnieje możliwość pomiaru narzędzia przed obróbką, w celu wprowadzenia korektorów do programu obróbki, a także pomiar narzędzi w trakcie procesu, w celu kompensacji zużywającego się ostrza. Na rysunku 13a widoczna jest sonda narzędziowa z przetwornikiem optycznym. Pomimo, że jest to sonda stykowa, dzięki specjalnej konstrukcji możliwy jest pomiar narzędzia będącego w ruchu.



**Rys. 13.** Wybrane sondy narzędziowe obrabiarek sterowanych numerycznie CNC:  
 a) sonda dotykowa METROL, b) sonda laserowa NC4 Renishaw,  
 c) sonda dotykowa z przetwornikiem optycznym TT 140 firmy Heidenhain

Do układów kontroli narzędzi na szeroką skalę o wykorzystywane są bezstykowe sondy optyczne. Najczęściej wykorzystywany czujnikiem tego typu jest czujnik laserowy. Zasada działania takiego układu detekcji polega na zjawisku przesłonięcia promienia świetlnego. Obecnie wykrywane są także zmiany poziomu oświetlenia co pozwala na dokładniejsze pomiary narzędzi obracających się z dużymi prędkościami.

Jako przykład tego typu rozwiązania można wskazać system NC4 firmy Renishaw (rys. 13b). Jest to dwuosiowy bezdotkowy system ustawiania narzędzi na obrabiarkach CNC. Pozwala na pomiar średnicy narzędzia przy obracającym się wrzecionie i detekcję uszkodzeń narzędzi o średnicy minimalnej  $d = 0,2$  mm. System wyposażony jest w tryb eliminacji kropli, pozwalający na odrzucenie sygnałów pochodzących od przypadkowych kropli chłodziwa padających na wiązkę laserową.

## SONDY PRZEDMIOTOWE

Najpowszechniej stosowane sondy przedmiotowe to sondy stykowe z przetwornikiem elektrostykowym. Pomiar odbywa się przez odczyt współrzędnych obrabiarki w chwili styku końcówki pomiarowej z przedmiotem mierzonym. Sondy tego typu

mocowane są w oprawkach narzędziowych we wrzecionie frezarki. W korpusie sondy znajdują się trzy pryzmy izolowane od korpusu, rozmieszczone na okręgu co  $120^\circ$ . W chwili zetknięcia końcówki pomiarowej z przedmiotem mierzonym następuje przerwanie styku i wysłanie sygnału. Następuje wtedy odczytanie wartości współrzędnych punktu i zatrzymanie napędów maszyny. Dokładność pomiaru sond z przetwornikiem elektrostatycznym oscyluje w granicach  $1 \mu\text{m}$ . Budowane są również sondy z przetwornikiem tensometrycznym. Dokładność pomiaru zwiększa się dwukrotnie przy zastąpieniu przetwornika elektrostatycznego przetwornikiem piezoelektrycznym lub optycznym.



Rys. 14. Przykład kalibracji sondy pomiarowej przedmiotowej

## UKŁADY STEROWNIA NUMERYCZNEGO

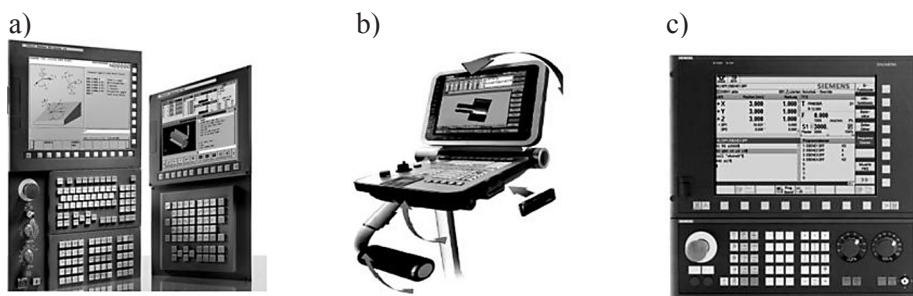
Podstawowym zadaniem sterowania numerycznego jest przetwarzanie danych numerycznych, niosących informacje o programie pracy, na wielkości sterujące pracą obrabiarki [6]. Typowym układem struktury sterowania numerycznego współczesnych obrabiarek jest układ automatycznego sterowania zamkniętego, składającego się z określonej liczby niezależnie działających osi sterowanych numerycznie [4]. Na rynku producentów sterowań wyróżniają się firmy wyspecjalizowane w produkcji zarówno całych obrabiarek, jak i samych sterowań. Jednym z takich producentów jest firma Siemens, oferująca szereg rozwiązań systemów sterowania CNC o nazwie SINUMERIK. W zależności od potrzeb użytkownika firma oferuje zaawansowane systemy sterowania, obsługi i wizualizacji składające się, jak na rysunku 15, z modułów: zintegrowanego komputera przemysłowego, panelu operatorskiego, serwonapędów różnych typów oraz kart złączy komunikacyjnych.

Komunikacja w sterowaniu SINUMERIK Solution Line odbywa się za pośrednictwem typowych złączy komunikacyjnych: przemysłowego Ethernet, PROFINET i PROFIBUS-D. Drugą firmą zajmującą się sterowaniami obrabiarek CNC jest firma HEIDENHAIN oferująca sterowania kształtowe TNC dla frezarek i centrów obróbkowych. Tworzą one zwartą paletę produktów: od sterowania trzyosiowego TNC



**Rys. 15.** Podzespoły systemu sterowania SINUMERIC Solution Line firmy Siemens [http://www.automatyka.siemens.pl]

310, poprzez TNC 410 (czteroosiowe), TNC 426/430 (5 lub 9 osi), aż do iTNC 530 (9 osi plus wrzeciono) (rys. 16). Według tego co prezentuje firma, sterowania TNC są wszechstronne: prostotą obsługi odpowiadające wymogom pracy w warsztacie, ale i programowalne z zewnątrz – nadające się do pracy w zautomatyzowanych liniach produkcyjnych.



**Rys. 16.** Pupity operatorskie układów sterowania numerycznego współczesnych obrabiarek sterowanych numerycznie: a) FANUC Series 30i, b) HEIDENHAIN iTNC 530, c) Sinumeric 840D sl Siemens

Kolejną firmą zajmującą się budową obrabiarek i sterowań jest firma Fanuc oferująca rodzinę produktów obejmujących systemy sterowania CNC dla maszyn klasy podstawowej, jak i systemy sterowania dla złożonych aplikacji. Systemy sterowania CNC FANUC znane są na całym świecie z wysokiej niezawodności, wysokiej precyzji, dużej szybkości i łatwości obsługi.

## PODSUMOWANIE

Od powstania pierwszej obrabiarki minęło przeszło 50 lat. Od tamtej pory do dnia dzisiejszego niemal każdy element konstrukcyjny obrabiarki przeszedł ogromną ewolucję. Od obrabiarek, w których systemy sterowania zajmowały często więcej miejsca niż sama maszyna obrabiarki skrawające zmieniły się w konstrukcje o dowolnych rozmiarach, w zależności od potrzeb, mogące realizować pojedyncze klasyczne metody obróbki jak toczenie czy frezowanie lub łączone sposoby jak np. frezotoczenie.

Proces obróbki może być realizowany z takimi dużymi prędkościami obrotowymi i posuwu, które kilkadziesiąt lat wydawały się wręcz niemożliwe do osiągnięcia. Ponadto wraz ze zwiększającymi się prędkościami wzrasta dokładność obrabianych przedmiotów. Proces ewolucji obrabiarek jest niezmiernie szybki. Dosłownie z dnia na dzień powstają coraz to nowe rozwiązania i technologie, które jeszcze niedawno wydawały się niemożliwe do wykonania. Tak szybki rozwój tej gałęzi przemysłu spowodowany jest w głównej mierze wymogami rynku, w którym jest zapotrzebowanie na jak najszybszą, najwydajniejszą oraz co w dzisiejszych jest sprawą priorytetową – elastyczną produkcję związaną z coraz krótszym cyklem życia produktu.

Dlatego tak ważne jest aby wykonywać przedmioty coraz szybciej i dokładniej. Aby tego dokonać potrzebne są innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne, np. koncepcja magnetycznej prowadnicy prostoliniowej może znacznie przyczynić się do znacznego postępu technologicznego w zakresie konstrukcji nowoczesnych obrabiarek CNC. Konstrukcja bazująca na zjawisku lewitacji magnetycznej polegająca na wytworzeniu tak silnego pola magnetycznego, aby każdy znajdujący się na niej element pozostawał w zawieszeniu na poduszce magnetycznej posiada wiele zalet. Można do nich zaliczyć takie właściwości jak: praktycznie zerowy współczynnik tarcia czy wysoki współczynnik tłumienia drgań. Obecnie istnieją już konstrukcje oparte o zjawisko lewitacji magnetycznej jak np. kolej magnetyczna czy łożyska magnetyczne. Prowadnica magnetyczna ze względu na brak styku z powierzchnią szyny prowadzącej znacznie wolniej ulegnie zużyciu w porównaniu to prowadnic tocznych. Również dzięki brakowi styku możliwe są do osiągnięcia większe prędkości posuwowe. Zastosowanie sprzężenia zwrotnego w układzie sterowania pozwala na precyzyjną kontrolę utrzymania stabilnej pozycji. Implementacja koncepcji prowadnicy magnetycznej w obrabiarkach skrawających CNC może przyczynić się do przejścia do nowego etapu w zakresie nowoczesnych konstrukcji maszyn skrawających CNC.

## BIBLIOGRAFIA

1. Honczarenko J.: Obrabiarki sterowane numerycznie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2008.
2. Kosmol J.: Automatyzaacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2000.

3. Kosmol J.: Obrabiarki na Światowych Targach EMO 2005 – spostrzeżenia i refleksje. *Mechanik 2*, 2006: 94–96
4. Kosmol J.: Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2001.
5. Kulawik E.: Konstrukcje nośne – korpusy, zespoły przewodnicowe.
6. Heimann B., Gerth W., Popp K.: Mechatronika. Komponenty, metody, przykłady. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2001.
7. Iżykowski S., Górski P.: Modelowanie numeryczne maszyny o kinematyce równoległej. *Przegląd Mechaniczny 10*, 2006: 32–35.
8. Leonowicz M., Wysłocki J.: Współczesne magnesy. Technologie, mechanizmy koercji, zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2005.
9. Nieszporek T.: Kierunki rozwoju obrabiarek na przykładzie obrabiarek wielozadaniowych Integrez firmy MAZAK. *Mechanik 10*, 200: 796–798.
10. Nikiel G.: Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej.
11. Oczó K.E.: Forum obrabiarek skrawających – przykłady nowych rozwiązań. Część I. *Mechanik 12*, 2007: 971–981.
12. Oczó K.E.: Forum obrabiarek skrawających – przykłady nowych rozwiązań. Część II. *Mechanik 1/2008*: 5–15.
13. Oczó K.E.: Obrabiarki rekonfigurowalne. *Mechanik 1*, 2007: 7-16.
14. Oczó K.E.: Obrabiarki skrawające – stan obecny na tle prognozy rozwoju. Część I. *Mechanik 12*, 2005: 973–983.
15. Oczó K.E.: Obrabiarki skrawające – stan obecny na tle prognozy rozwoju. Część II. *Mechanik 01*, 2006: 28–35
16. Oczó K.E.: Obróbka wysokowydajna – HPC. *Mechanik 11*, 2004: 701–709
17. Oczó K.E.: Postęp w obróbce skrawaniem. I. Obróbka z dużymi prędkościami (High Speed Machining). *Mechanik 3*, 1998: 109–123.
18. Oczó K.E.: Rozwój obrabiarek skrawających – przykłady nowych konstrukcji. *Mechanik 12*, 2009: 967–976.
19. Oczó K.E.: Wybrane trendy i innowacje prezentowane na 17. Światowych Targach Obrabiarek i Obróbki Materiałów – EMO 2007 w Hanowerze. *Mechanik 10*, 2007: 719–732.
20. Oczó K.E.: Zwiększanie efektywności obrabiarek skrawających. Część I. *Mechanik 2*, 2004: 49–56.
21. Oczó K.E.: Zwiększanie efektywności obrabiarek skrawających. Część II. *Mechanik 3*, 2004: 126–131.
22. Staszyński M.: Raport: obrabiarki CNC cz. I. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 3, 2008: 12–36.
23. Staszyński M.: Raport: obrabiarki CNC cz. II. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 9, 2008: 18–26.
24. Szafarczyk M., Niedbała M., Ratyński M., Śniegulska D.: Obrabiarki modułowe, przeksztalcalne, przestawiane. *Mechanik 12*, 2003: 719–721.
25. Szafarczyk M.: Aktywne przewodnice magnetyczne w obrabiarence. *Mechanik*.
26. Tomczuk B., Zimon J.: Łożysko magnetyczne jako ekologiczny element napędu. Analiza pola i weryfikacja pomiarowa. *Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia 1-2*, 2005: 65–69.

## **SELECTED DESIGN FEATURES OF NUMERICALLY CONTROLLED MILLING MACHINES AND MACHINING CENTERS**

### **Summary**

This paper presents some construction solutions of modern numerical controlled CNC machine tools. The paper presented the stream of development trends in innovation construction of CNC machine tools, its functionality and rich kinematic possibilities. This paper is based on the fair and presented at the meeting for study design companies solutions. Includes discussion of selected synthetic functional groups of CNC machine tools, their main characteristics, disadvantages and advantages. This paper was created for young adepts of science, and indeed brings the basic but extremely important - innovative design of CNC machine tools.

**Keywords:** CNC machine tools, housings, drives, measuring systems, tool magazines, spindles, tool changers.