

Maciej Szafarczyk *

WKŁAD POLSKICH INŻYNIERÓW I PRZEMYSŁU OBRABIARKOWEGO W ROZWÓJ AUTOMATYZACJI I POMIARÓW

Przemysł obrabiarkowy ma w ciągu ostatniego półwiecza szczególny wkład w rozwój automatyzacji i pomiarów. Poza technikami kosmicznymi i zbrojeniowymi, które były pod "szczególnym nadzorem", to właśnie przemysł obrabiarkowy przodował we wprowadzaniu nowych rozwiązań i nowych koncepcji w automatyce maszyn i pomiarach ruchów. W obrabiarkach narodziło się sterowanie numeryczne, NC, które wprowadziło symboliczny zapis zadań oraz złożone układy elektroniczne do ich realizacji. W wyniku rozwoju NC technika komputerowa przeniknęła zarówno do sterowania jak projektowania maszyn i procesów technologicznych. Warszawscy inżynierowie i warszawski przemysł obrabiarkowy odegrali tu szczególną rolę w skali całego kraju.

1. Wprowadzenie

Szybkie postępy w automatyzacji są oczywiste dla wszystkich, nawet, jeżeli są to osoby niezajmujące się bezpośrednio techniką. Wystarczy porównanie urządzeń powszechnego użytku produkowanych obecnie z takimi samymi urządzeniami wyprodukowanymi kilkadziesiąt lat temu. Odkurzacze, roboty kuchenne, radia i telewizory, nie mówiąc o samochodach, są znacznie bardziej zautomatyzowane a często są nawet określane jako „inteligentne”, ze względu na to, że zastępują człowieka w podejmowaniu szeregu eksploatacyjnych decyzji.

Jeżeli chodzi o wszelkiego rodzaju maszyny to sterowanie automatyczne dotyczy, przede wszystkim, poszczególnych ruchów i powiązań między nimi. Nowoczesne sterowanie automatyczne i związany z nim indywidualny napęd poszczególnych ruchów spowodowały rewolucję w budowie maszyn. Maszyny z tworów mechanicznych stały się tworami mechaniczno-elektryczno-elektronicznymi, a często jeszcze zawierają dodatkowo układy hydrauliczne i/lub pneumatyczne. Często określa się obecnie, że są to twory mechatroniczne. Taka „politechnizacja” spowodowała rewolucję zarówno w osiągalnych parametrach i sposobie eksploatacji jak w projektowaniu, budowie i produkcji maszyn.

Naturalnie również dawniej dążono do ujednolicenia poszczególnych zespołów konstrukcyjnych, daje to przecież wyraźne korzyści ekonomiczne przy produkcji maszyn oraz znacznie ułatwia późniejszą obsługę serwisową. Możliwości ujednolicenia były jednak przy strukturach czysto mechanicznych bardzo ograniczone ze względu na bezpośrednie „sztywne” powiązania między nimi. Automatyzacja i indywidualny napęd ruchów stworzył możliwość konstrukcji modułowych. Poszczególne moduły można zestawiać w pożądaną strukturę, gdyż współpracują one ze sobą dzięki, łatwym do tworzenia, połączeniom informatycznym. Potrzebna jest jedynie standaryzacja łączenia korpusów. Konstrukcja modułowa i standaryzacja połączeń spowodowały powstanie szeregu wyspecjalizowanych producentów i całego rynku modułów. Powoduje to dalszą obniżkę kosztów produkcji, ułatwienia serwisu oraz optymalizację konstrukcji.

Dodatkowym wynikiem nowoczesnej automatyzacji jest często rozszerzenie zakresu funkcji spełnianych przez maszynę, dzięki czemu staje się ona bardziej uniwersalna. Wynika to, przede wszystkim, z praktycznie nieograniczonych możliwości rozbudowywania automatycznych cykli pracy przy, powszechnie obecnie stosowanych układach sterowania o strukturze komputerowej. Automatyzację można rozbudowywać i

rozszerzać, bądź przez dodawanie funkcji do coraz bardziej uniwersalnej maszyny, bądź przez wspólną automatyzację integrującą kompleks prostszych maszyn, które stanowią wówczas jeden system połączony wspólnym sterowaniem.

Wszystkie te kierunki oddziaływania nowoczesnej automatyzacji są wyraźnie widoczne w technikach wytwarzania. Obrabiarki skrawające do metali były często pierwszą dziedziną techniki, w której określona metoda automatyzacji została wymyślona, wypróbowana i zastosowana. W Polsce sterowanie obrabiarek wiąże się, przede wszystkim, z okręgiem warszawskim a w nim zwłaszcza z CBKO-Pruszków [1, 2]. CBKO powstało w roku 1950 jako Centralne Biuro Konstrukcji Obrabiarek, aby potem zmienić nazwę na Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek. Zachowano jednak nazwę-akronim i zachowano zakres prac zajmując się cały czas pracami badawczymi, projektowymi i wdrożeniami obrabiarek skrawających do metali z uwypukleniem ich automatycznego sterowania.

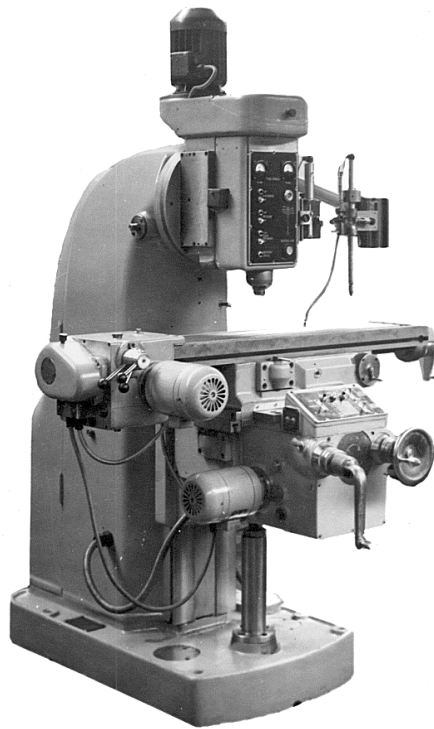
2. Automatyczne obrabiarki nie sterowane numerycznie

W przypadku nie-numerycznego sterowania automatycznego żądane kształty i wymiary obrabianego przedmiotu są zadawane w sposób bezpośredni – geometryczny (mechaniczny). W przypadkach zadań ustawiania w określone położenia, bez żadnych wymagań odnośnie do toru ruchu (tzw. sterowanie punktowe), oraz w przypadkach zadań wymagających ruchu po torze składającym się z odcinków określonych strukturą kinematyczno-ruchową obrabiarki (tzw. sterowanie odcinkowe) żądane wymiary przedmiotu są zadawane przez odpowiednio ustawione zderzaki działające na łączniki drogowe w żądanych położeniach. W przypadku złożonych kształtów przedmiotu uzyskiwanych poprzez odpowiednie sumowanie elementarnych ruchów obrabiarki (tzw. sterowanie kształtowe) żądane wymiary i kształty przedmiotu są zadawane mechanicznym wzorcem-kopiałem, którego kształt odtwarzany jest następnie w czasie obróbki.

Układy sterowania zderzakowego obejmowały w niektórych przypadkach całe, wielostanowiskowe linie obrabiarkowe i były budowane z kilkuset przekaźników elektromagnetycznych. W CBKO sterowaniami tego typu zajmowała się wyspecjalizowana pracownia, kierowana przez Andrzeja Mystkowskiego, autora książki omawiającej sterowania zestykowe. Obecnie do sterowania sygnałami przełączającymi (sygnałami jednobitowymi, on-off) wykorzystywane są programowalne sterowniki logiczne, PLC (Programable Logic Controllers). Układy takie mają strukturę komputerową, przy czym procesor ma za zadanie wykonywać działania logiczne na sygnałach jednobitowych zgodnie z programem zapisanym w pamięci. Działanie w czasie rzeczywistym, niezbędne przy sterowaniu, uzyskuje się przez ciągłe obliczanie zadania sterowania, zapisanego w pamięci PLC.

W zakresie sterowań punktowych i odcinkowych, poza układami przekaźnikowymi wykorzystywanymi tradycyjnie do przetwarzania sygnałów przełączających, zastosowano w Polsce własnej konstrukcji CBKO (w 1961r pod kierunkiem Janusza Jakubowskiego) programowalny układ oparty o wybieraki telefoniczne, zwany w przemyśle niezbyt prawidłowo sterowaniem sekwencyjnym. W rzeczywistości był to programowalny w prosty sposób sterownik krokowy. Wkładając wtyki w określone miejsca szachownicy gniazd można było wybierać, oraz łatwo zmieniać, sygnały działające w poszczególnych krokach cyklu. Położenia zespołów obrabiarki, w których kroki miały się zmieniać, określano nadal za pomocą zderzaków.

Jeżeli chodzi o „pre-numeryczne” sterowanie kształtowe to stosowano wówczas najczęściej hydrauliczne układy kopiujące. W CBKO opracowano i wprowadzono do produkcji szereg hydraulicznych układów kopiujących, przede wszystkim, do tokarek kopiarek. Prace te prowadził Andrzej Zieliński, autor podstawowych książek z hydraulicznego sterowania i napędu obrabiarek. Jednym z istotnych parametrów układów kopiujących była siła nacisku trzpienia kopiującego na kopiał. W CBKO postanowiono zmniejszyć tę siłę do zera i pod kierunkiem Jerzego Mierzejewskiego opracowano układ kopiujący z czujnikiem bezdotykowym. W układzie tym zarówno kopiał jak trzpień kopiujący były wykonane z materiałów przewodzących elektryczność i podłączone do napięcia. Napięcie było tak dobrane, aby przy pożądanej szczelinie między trzpieniem a kopiałem przeskakiwały iskry. Układ sterujący starał się utrzymać wielkość szczeliny, przy której występują wyładowania, lecz nie dochodzi do zwarcia.



Rys.1. Frezarka FGC 25A z bezdotykowym układem kopiującym

Opatentowany układ kopiujący zastosowano w 1959 r. do niedużej frezarki pionowej FGC 25A, przedstawionej na rys.1. W tym przypadku układ elektroniczny został jeszcze zbudowany w technice lampowej, a do napędu ruchu kopiującego wykorzystano elektromagnetyczne sprzęgła proszkowe własnej konstrukcji. Jako chwytliwą reklamę opracowanego układu na Międzynarodowych Targach Poznańskich pokazano kopiowanie piany mydlanej jako wzorca.

3. Układy sterowania numerycznego

Sterowanie numeryczne, NC (Numerical Control), zostało wynalezione w USA w końcu lat pięćdziesiątych do obróbki łopat helikopterów. W ciągu minionych pięćdziesięciu lat stosowane rozwiązania techniczne ulegały wielu gruntownym zmianom, tworząc kolejne „generacje” układów NC, od układów lampowych działających, w dużej mierze, na sygnałach analogowych, do układów opartych o specjalizowane komputery z systemami operacyjnymi czasu rzeczywistego. Koncepcja działania NC pozostała jednak ta sama wprowadzając rewolucyjne zmiany do budowy i użytkowania obrabiarek, a także do przygotowywania obróbki i sterowania jej przebiegiem. Dzięki NC znacznemu rozszerzeniu uległo stosowanie komputerów w technice, wprowadzając również w innych dziedzinach rewolucyjne zmiany. Przykładem takich rewolucyjnych zmian może być konstruowanie ze wsparciem komputerowym, CAD, eliminujące deski kreślarskie i umożliwiające tworzenie i „inteligentne” przekształcanie konstruowanych struktur przestrzennych.

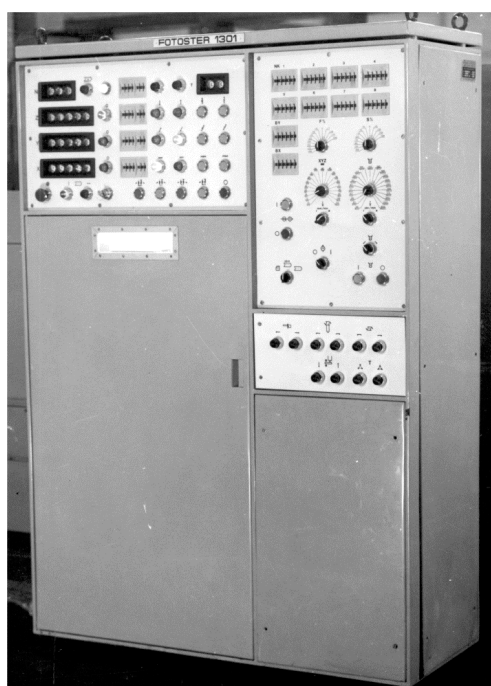
Rewolucyjność sterowania numerycznego wynika z nowej koncepcji formułowania żądań dotyczących kształtów i wymiarów przedmiotu obrobionego oraz nowej metody wprowadzania ich do układu sterującego ruchami obrabiarki. Zamiast przekazywać żądania do obrabiarki w postaci bezpośredniej, mechanicznej (za pomocą zderzaków lub kopiałów) zastosowano zapis symboliczny, w postaci programu składającego się ze znaków alfanumerycznych, i w tej postaci żądania są przekazywane do układu sterującego obrabiarki.

Polscy inżynierowie, w CBKO-Pruszków, a później również w Instytucie Elektrotechniki, w ERA i w wielu zakładach przemysłowych, wcześniej tworzyli własne układy NC. Byliśmy w europejskiej czołówce wprowadzającej rozwiązania prototypowe i serie próbne układów sterowania numerycznego. Brak fotografii przedstawiających pierwsze rozwiązania. Na rys.2 przedstawiono już bardziej zaawansowany technicznie układ

NUMEROBLOK 31FO2, a na rys.3 układ FOTOSTER 1301.



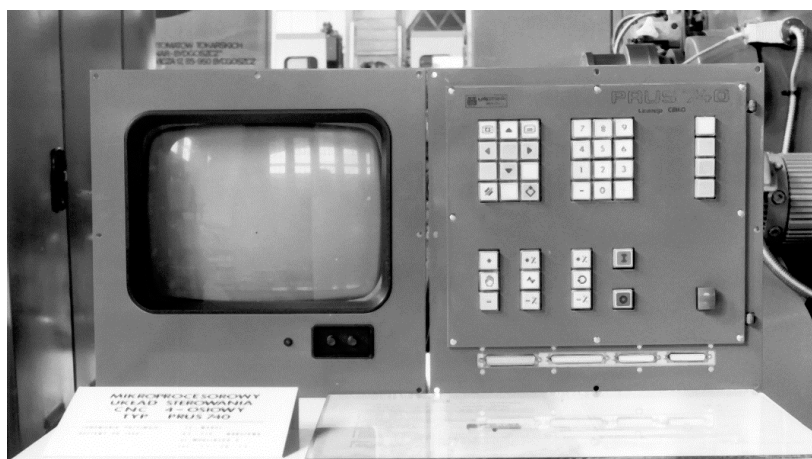
Rys.2 Układ sterowania numerycznego 3-osiowy kształtowy NUMEROGLOK 31FO2



Rys.3. Układ sterowania numerycznego punktowego i odcinkowego FOTOSTER 1301

Były to już układy tranzystorowe, budowane z poszczególnych elementów i zespołów w małej skali integracji, podobnie jak układy NC budowane wówczas zagranicą. Układy takie zajmowały jednak nadal duże szafy sterujące a pulpity operatora przeznaczone do kontaktów między człowiekiem a układem sterującym składały się z licznych pokręteł, przełączników, lampek sygnalizacyjnych i wyświetlaczy cyfrowych. Program sterujący obrabiarką przy konkretnym przypadku obróbki był wprowadzany poprzez czytnik z taśmy dziurkowanej wykonywanej w biurze technologicznym. W porównaniu do układów NC stosowanych obecnie rozwiązania takie były znacznie mniej wygodne przy obsłudze maszyny oraz znacznie trudniejsze były modyfikacje obróbki.

Tak jak wszędzie na świecie, z szybkim postępem w elektronice i technice komputerowej, polskie układy sterowania numerycznego ulegały zmianom. Znacznie mniejszy i wygodniejszy w obsłudze był już układ PRUS740, przedstawiony na rys.4.



Rys.4 Mikroprocesorowy układ sterowania numerycznego PRUS740

W układzie PRUS740 zastosowano mikroprocesor, co znacznie uprościło budowę elektroniczną i zwiększyło możliwości sterowania oraz ułatwiło wprowadzanie zmian do programu obróbki. Znacznie wygodniejsza stała się również obsługa operatorska poprzez wprowadzenie monitora ekranowego oraz zestawu przycisków o charakterze alfanumerycznym.

4. Obrabiarki sterowane numerycznie

Tak jak już wspomniano sterowanie numeryczne wprowadziło również rewolucyjne zmiany w budowie samych obrabiarek. Konstruktorzy obrabiarek musieli zmienić gruntownie swoje przyzwyczajenia i opanować nowe techniki konstruowania. Zamiast zintegrowanej konstrukcji mechanicznej obrabiarki, która musiała być przez konstruktora rozpatrywana jako nierozdzielna całość, w obrabiarkach NC pojawiły się moduły poruszane serwonapędami i współdziałające ze sobą dzięki układowi sterowania. W miarę rozwoju obrabiarek NC pojawiły się wyspecjalizowane zakłady produkujące typowe moduły obrabiarkowe, na przykład tokarskie głowice rewolwerowe. Obecnie nawet duże firmy produkujące obrabiarki nie budują same takich modułów, lecz kupują je i dołączają do własnej obrabiarki. Skraca to okres potrzebny na wyprodukowanie obrabiarki i upraszcza obsługę serwisową. Obsługa serwisowa stała się jednym z ważniejszych i trudniejszych zadań ze względu na umiędzynarodowienie rynku obrabiarkowego.

Drugą rewolucyjną zmianą w budowie obrabiarek stała się konieczność zmiany podejścia do konstrukcji z czysto mechanicznego na mechatroniczne i wynikające z tego konsekwencje. Wprowadzenie serwonapędów, których uchyby mają decydujący wpływ na uzyskiwane dokładności obróbki, spowodowało powszechne stosowanie nowych rozwiązań podstawowych elementów konstrukcyjnych, jakimi w obrabiarkach są prowadnice prostoliniowe i przekładnie śrubowe. Ponieważ na wartości uchybów mają decydujący wpływ luzy i charakter tarcia, powstały prowadnice i przekładnie śrubowe toczne. Wprowadzenie elementów toczonej między poruszającymi się powierzchniami znacznie zmniejszyło współczynnik tarcia pozwalając na kasowanie

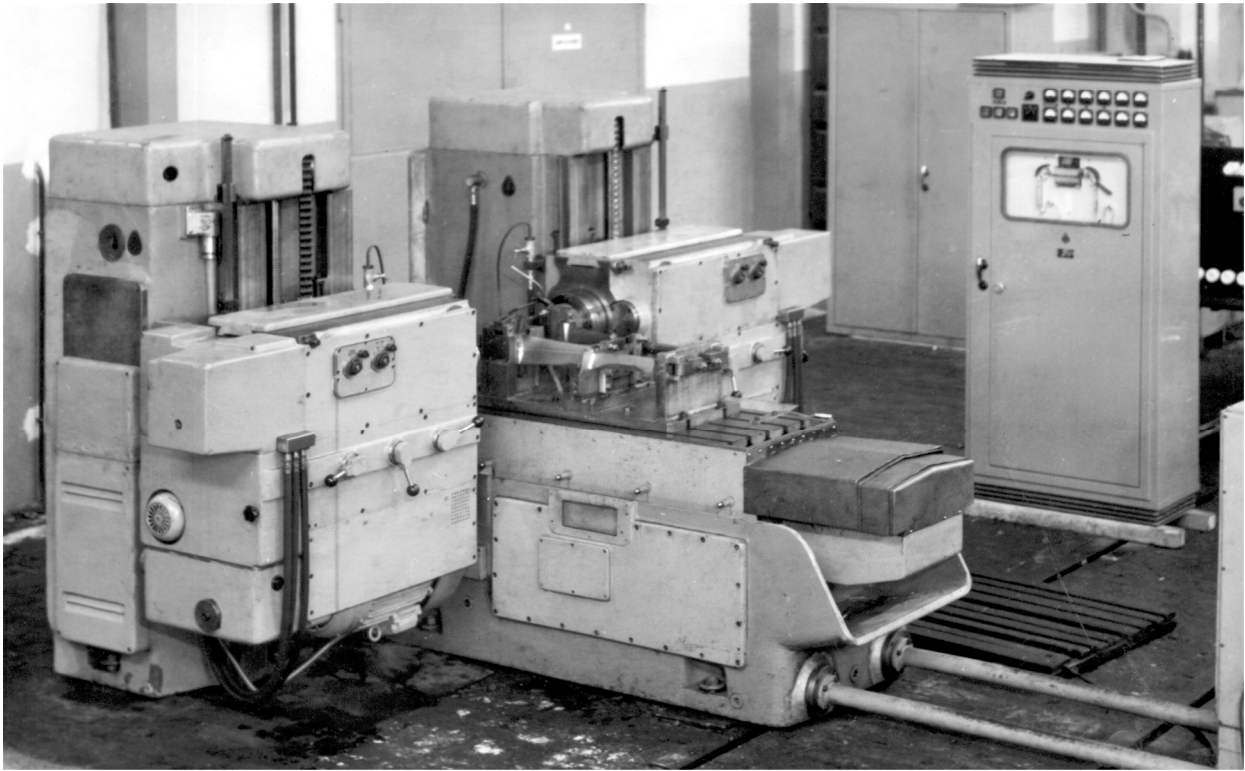
luzów i wprowadzenie napięcia wstępnego. Zmniejszyło też znacznie tarcie spoczynkowe, które trzeba pokonać przy rozpoczynaniu ruchu. Ponieważ w latach sześćdziesiątych byliśmy zamknięci na technikę światową nowe rozwiązania elementów prowadnic i przekładni śrubowych tocznych musiały powstać samodzielnie w naszym przemyśle.

Na rys.5 przedstawiono frezarkę wspornikową pionową FYA41 sterowaną układem NC, który powstał w Instytucie Elektrotechniki.



Rys.5 Frezarka wspornikowa FYA41 z układem sterowania numerycznego kształtowego SPF 100

Na rysunku widać jak dużo miejsca zajmowały ówczesne układy NC. Szafa sterująca była często większa niż sama obrabiarka. Dużą trudnością było również wprowadzenie obrabiarki sterowanej numerycznie do produkcji. Trudności wynikały ze względu na potrzebę gruntownego przeszkolenia zarówno operatorów i służby utrzymywania ruchu jak technologów przygotowujących procesy obróbkowe. Niewątpliwym sukcesem było zastosowanie w Elblągu frezarek dwuwrzecionowych do obróbki łopatek turbin, rys.6.



Rys.6 Frezarka FEA50N ze sterowaniem NUMEROBLOK do obróbki łopatek turbin

W ciągu kilkudziesięciu lat rozwoju powstało w Polsce wiele obrabiarek sterowanych numerycznie o coraz bardziej dojrzałej konstrukcji i z coraz lepszymi układami sterowania numerycznego. Postanowiono jednak przyspieszyć ten rozwój i zakupiono licencje na centrum obróbkowe japońskiej firmy Mitsui Seiki i zastosowane do niego szwedzkie sterowanie numeryczne.

Centra obróbkowe powstały na świecie w wyniku dążenia do koncentracji obróbki automatycznej przedmiotów na jednej obrabiarence. Koncentracja taka jest korzystna zarówno ze względu na wydajność (uniknięcie czasów potrzebnych na mocowanie i odmocowywanie oraz transport przedmiotów) oraz na dokładność (obróbka wielu powierzchni przedmiotu bez zmiany baz). Automatyczna wymiana narzędzi z magazynu, charakterystyczna dla centrów obróbkowych, oraz koncentracja obróbki stała się możliwa dzięki praktycznie nieograniczonym możliwościom rozbudowywania automatycznego cyklu pracy w przypadku sterowania numerycznego. Na rys.7 pokazano centrum obróbkowe poziome zbudowane na licencji Mitsui Seiki.



Rys.7 Centrum obróbkowe poziome HP4 na licencji Mitsui Seiki

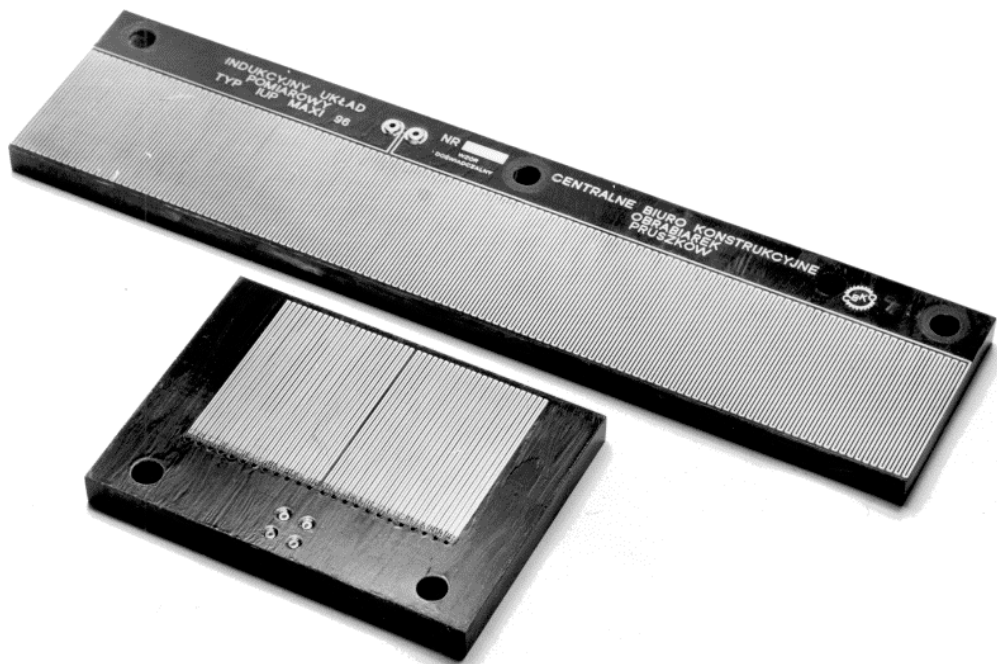
Inne możliwości automatyzacji obróbki powstałe dzięki sterowaniu numerycznemu to tworzenie wielostanowiskowych systemów zwanych elastycznymi systemami obróbkowymi, FMS. W systemach FMS łączy się automatycznym transportem kilka obrabiarek sterowanych numerycznie, aby można było na nich automatycznie obrabiać różne przedmioty. Również w tym zakresie powstały w Polsce prototypowe rozwiązania. Rys.8 przedstawia widok eksperymentalnego elastycznego systemu obróbkowego KOR1.



Rys.8 Elastyczny system obróbkowy KOR1

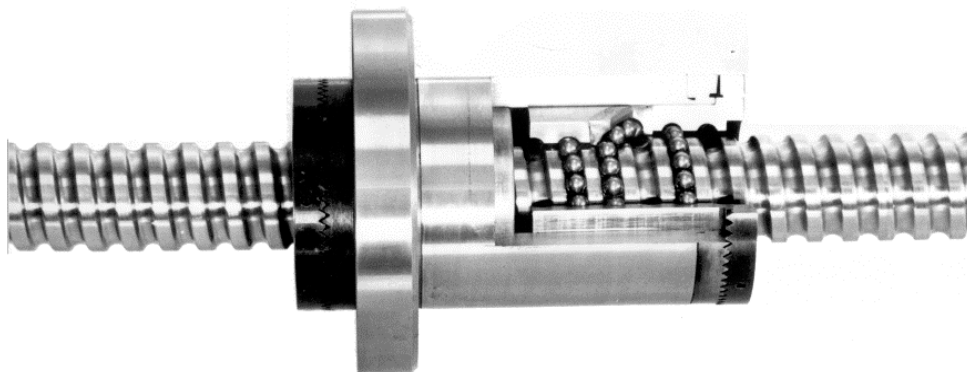
5. Pomiar współrzędnych i typowe zespoły konstrukcyjne obrabiarek NC

Obrabiarki sterowane numerycznie wymagały stosowania czujników pomiarowych określających położenia poszczególnych zespołów przemieszczanych ruchami elementarnymi obrabiarek, które stają się osiami współrzędnych układu NC. Również w tym zakresie powstały w Polsce samodzielne rozwiązania. Na rys.9 pokazano induktosyn służący do bezpośredniego pomiaru współrzędnych liniowych przy wykorzystaniu indukcji wzajemnej między ścieżkami obwodów elektrycznych.



Rys.9 Liniał i suwak induktosynu JVP-MAX196

Tak jak już wspomniano sterowanie numeryczne wymagało innych rozwiązań prowadnic i przekładni śrubowych w celu zmniejszenia tarcia i wyeliminowania luzów. Powstały prowadnice toczne i przekładnie śrubowe toczne. W Polsce opracowano konstrukcje i produkowano prowadnicowe bloki toczne oraz przekładnie śrubowe toczne. Rys.10 przedstawia przekładnię śrubową toczną VNB z usuniętą częścią nakrętki w celu pokazania obiegu kulek.



Rys.10 Przekładnia śrubowa toczna VNB

6. Podsumowanie

Obrabiarki skrawające do metali, poprzez wynalezione pięćdziesiąt lat temu sterowanie numeryczne, wniosły istotny wkład do automatyzacji oraz automatycznych pomiarów wielkości geometrycznych. Sterowanie numeryczne spowodowało duże, czasem wręcz rewolucyjne, zmiany bezpośrednio w budowie i użytkowaniu obrabiarek oraz w dziedzinach związanych z wytwarzaniem maszyn, oraz pośrednio zmiany w ogólnych metodach sterowania cyfrowego. Konsekwencjami wprowadzenia sterowania numerycznego są nowe rozwiązania konstrukcyjne poszczególnych zespołów oraz powstanie typowych modułów obrabiarek, produkowanych przez wyspecjalizowane firmy i dostępnych na rynku. W dziedzinach związanych z

wytwarzaniem maszyn sterowanie numeryczne spowodowało wprowadzenie symbolicznego opisu trójwymiarowych kształtów.

Postęp w zakresie automatyzacji to, przede wszystkim, wkład w rozwój i rozpowszechnienie sterowań cyfrowych, zwłaszcza układów programowalnych o strukturze komputerowej. Różne rozwiązania w zakresie działania układów komputerowych w czasie rzeczywistym. Sterowanie numeryczne obrabiarek stworzyło podstawy dla powstania mechatroniki, jako dziedziny spajającej struktury mechaniczne z elektrotechniką, elektroniką i informatyką.

Polscy inżynierowie i polski przemysł obrabiarkowy byli w okresie powstawania sterowania numerycznego odcięci od światowego rynku. Postęp w tym zakresie wymagał w Polsce samodzielnych działań polegających zwykle na odtwarzaniu rozwiązań zagranicznych, o których wiedziano zwykle bardzo niewiele. Już na początku lat sześćdziesiątych powstawały polskie układy sterowania numerycznego obrabiarek oraz obrabiarki NC. Szereg polskich obrabiarek NC został wprowadzony do krajowego przemysłu i sprzedany za granicę. Produkowano centra obróbkowe na licencji japońskiej oraz opracowano konstrukcje i produkowano szereg centrów własnych. Opracowano również eksperymentalne, wielostanowiskowe systemy obróbkowe, FMS.

W związku z koniecznością samodzielnego rozwoju sterowania numerycznego obrabiarek prowadzono również w Polsce badania a na podstawie ich wyników konstruowano i produkowano zespoły potrzebne do budowy układów sterowania numerycznego i obrabiarek NC. Były to, przede wszystkim, zespoły mechaniczne potrzebne do prowadnic i przekładni śrubowych tocznych oraz czujniki do pomiaru współrzędnych.

Bibliografia

- [1] Zacharzewski J.: Kronika Warszawskiej Inżynierii Budowy Obrabiarek do Metali 1875-1996. Oficyna Wydawnicza SIMP, Warszawa, 1998.
- [2] Jakubowski J.: Układy sterowania numerycznego obrabiarek – historyczny przegląd prac prowadzonych w CBKO. Mechanik Nr.4, 1992, str. 133-137

Polish engineers and Polish machine tool industry in development of automatic control

During the last fifty years machine tools changed completely because of development of numerical control, NC. Development of NC influenced also strongly other fields of technique. As an example the use of computers in design (CAD) may be given, which was developed on the basis of NC.

Polish machine tool industry has been relatively strong, but just after the World War II the Polish industry was rather cut off the international developments. Polish machine tool engineers had to develop numerical controllers and NC machine tools by themselves. As the results of the research and development several NC controllers and many NC machine tools were produced in Poland. Polish engineers developed also sensors for measurement of NC coordinates and elements needed for rolling guideways and rolling screw drives.