

# Rozwój układów sterowania i zespołów wrzecionowych czynnikiem determinującym postęp w budowie obrabiarek skrawających

dr hab. inż. S. Horyashchenko, dr hab. inż. M. Matuszewski, dr hab. inż. I.L. Oborsky,  
prof. dr hab. inż. M. Styp-Rekowski

Obrabiarki skrawające tworzą najliczniejszą grupę wśród szeroko pojętych maszyn technologicznych. Trudno sobie dzisiaj wyobrazić gałąź przemysłu, w której nie stanowiłyby one istotnego ogniwa, niezbędnego do realizacji przyjętych przez przedsiębiorstwo zadań. Występują one począwszy od firm wytwarzających wszelkiego rodzaju maszyny, urządzenia bądź elementy do nich (a więc realizujące zasadnicze dla danej branży procesy technologiczne), poprzez zakłady realizujące naprawy i remonty, do przedsiębiorstw utrzymujących je w zdatości eksploatacyjnej. Z tego powodu rozważania w tym opracowaniu przeprowadzono właśnie na przykładzie tej grupy maszyn.

## Wprowadzenie

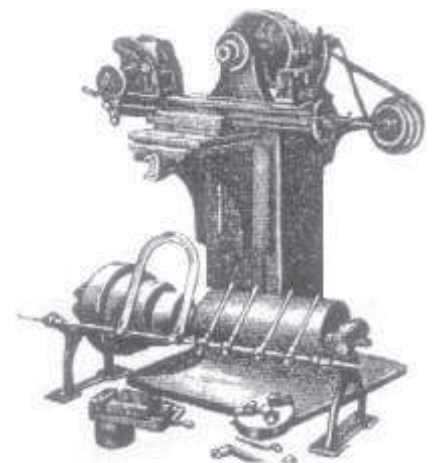
Strukturę konstrukcyjną obrabiarek skrawających tworzą zespoły realizujące podczas obróbki różne zadania. Każdy z tych zespołów ma wpływ na efekt obróbki, przy czym jest on w dużym stopniu zróżnicowany. Dążenie do osiągnięcia najlepszych rezultatów obróbki jest jednym z czynników różnego zaangażowania producentów obrabiarek w badania mające na celu doskonalenie funkcjonowania poszczególnych zespołów. Najwięcej uwagi i środków poświęca się tym zespołom, które mają największy wpływ na wydajność, dokładność i powtarzalność obróbki.

Celem niniejszego opracowania jest usystematyzowanie wiadomości dotyczących cech funkcjonalnych wybranych zespołów funkcyjnych obrabiarek, świadczących o ich innowacyjności. Zbiór tych informacji może być przydatny przy wyborze obrabiarek przewidzianych do realizacji określonych procesów produkcyjnych.

## Etapy rozwoju systemów sterowania obrabiarek

Współczesne obrabiarki – nawet jednego typu – są konstrukcyjnie bardzo zróżnicowane. Wynika to z niezbędnej elastyczności w zakresie zaspokajania potrzeb, dla których zostały zaprojektowane i wykonane. Takie ujęcia problemu można zaobserwować porównując obrabiarki wykorzystywane głównie w procesach naprawczych i w produkcji powtarzalnej. Pierwsze z nich powinny charakteryzować się dużą uniwersalnością, przy niekoniecznie wysokim poziomie ich automatyzacji. Z kolei obrabiarki wykorzystywane w produkcji seryjnej nie muszą być bardzo uniwersalne. Istotne jest natomiast to, aby były w maksymalnym stopniu zautomatyzowane i programowalne. Dzięki temu zapewniona zostaje duża wydajność i powtarzalność obróbki na takich obrabiarkach – cechy bardzo istotne w produkcji seryjnej.

W rezultacie zachodzącego postępu technicznego cechy konstrukcyjne obra-



Rys. 1. Frezarka z 1865 roku

biarek skrawających zmieniały się. Porównując obrabiarki przedstawione na rys. 1 i 2 można stwierdzić, że w swojej strukturze konstrukcyjnej mają one zespoły spełniające takie same lub bardzo podobne funkcje. Bardzo istotnie różnią się natomiast rozwiązaniami konstrukcyjnymi tych zespołów. Sposób realizacji



funkcji i zakres realizowanych przez nie zadań jest z tego powodu inny.

Wynika to w sposób oczywisty z różnicy czasu, w jakim porównywane obrabiarki powstały. Szczegółowa analiza różnic wykazuje, że w największym stopniu różnią się one sterowaniem i to zarówno ruchu narzędzi jak też przemieszczania się obrabianego przedmiotu.

W pierwszym przypadku, a więc obrabiarki sprzed prawie dwóch stuleci, był to układ sterowania całkowicie ręcznego, w drugim zaś – obrabiarki współczesnej – w pełni automatycznego (CNC). Stwierdzone zmiany nie nastąpiły skokowo, lecz ewolucyjnie.

Przyczyną postępu w zakresie automatyzacji było dążenie człowieka przede wszystkim do wytwarzania produktów w sposób powtarzalny, co w przypadku sterowania ręcznego było to praktycznie nieosiągalne. Śledząc postęp w zakresie automatyzacji można zidentyfikować poniższe zdarzenia, które w istotny sposób postęp ten determinowały:

rok 1805 – zastosowanie przez Josepha Jacquarda kart perforowanych w krosnach tkackich. Pozwalało to tworzyć wielobarwną tkaninę o powtarzalnym wzorze. Przyjmuje się, że było to pierwsze techniczne zastosowanie prymitywnego jeszcze, lecz sterowania programowego. Stosowano w nim układy mechaniczne: krzywkowe w połączeniu z dźwignio-  
wymi;

rok 1858 – pojawienie się taśm perforowanych w rezultacie prac nad doskonale-  
niem telegrafu. Obie wyżej wymienionej formy zapisu w dalszych latach, aż do lat 80-tych XX wieku, funkcjonowały równolegle, przy czym papierowe taśmy perforowane z biegiem czasu zastąpione zostały pojemniejszymi taśmami magnetycznymi;

rok 1942 – zbudowanie na uniwersytecie w Pensylwanii (USA) pierwszego lampowego programowalnego komputera ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). W rezultacie wynalezienia tranzystorów (rok 1947) bardzo znacznie uprościła się struktura jego następców;

rok 1949 – zbudowanie pierwszej obrabiarki numerycznej (USA). Komputerym była maszyna licząca, pracująca w oparciu o taśmę perforowaną. Komputer sterował silnikami dodanymi do tradycyjnej frezarki, umożliwiające obróbkę w trzech

osiach. Obrabiarka obsługiwana była przez człowieka, a komputer obliczał jedynie ustawienie narzędzia aby uzyskać oczekiwany kształt;

rok 1952 – powstanie niezawodnego sterownika serwomechanizmu oraz w 1956 r. – języka programowania APT (Automatic Programmed Tool), dwóch podstawowych elementów układów sterowania numerycznego (NC);

rok 1958 – powstanie pierwszych centrów obróbkowych na bazie frezarek NC;

rok 1970 – zastosowanie po raz pierwszy układów scalonych w układzie sterowania numerycznego obrabiarek;

rok 1972 – po raz pierwszy zastosowano mikrokomputer w obrabiarkowych układach sterowania (CNC).



Rys. 2. Centrum frezarskie ze sterowaniem CNC z 2012 roku

Od lat 80-tych ubiegłego stulecia obserwuje się proces ciągłego doskonalenia układów sterowania obrabiarek ze sterowaniem typu CNC, głównie jednak w zakresie programowania (software).

### Zespół wrzecionowy

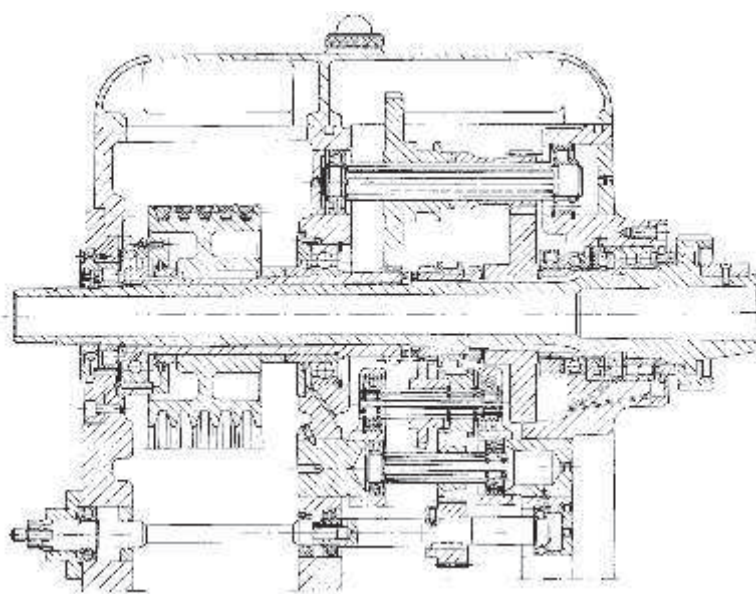
W obrabiarkach skrawających zespół wrzecionowy ma za zadanie nadanie możliwie dużej prędkości obrotowej narzędziu lub przedmiotowi obrabianemu. Zadanie to nie uległo zmianie wraz z rozwojem obrabiarek a działania w tym zakresie dotyczyły głównie łożyskowania wrzeciona.

Rozwiązanie konstrukcyjne zespołu wrzecionowego tokarki z lat 60 ubiegłego stulecia przedstawiono na rys. 3. Zmiana prędkości obrotowej i kierunku obrotów odbywała się dzięki licznym parom kół zębatach.

Dzięki zastosowaniu szybkoobrotowych łożysk wrzecionowych stworzono warunki do zwiększenia prędkości skrawania, możliwe do realizacji w wyniku zastosowania na ostrza skrawające nowych materiałów narzędziowych i pokryć [3].

### Kierunki rozwoju zespołów funkcyjnych obrabiarek

Poniżej przedstawiono przykłady znaczących kroków w ewolucji dwóch wybranych zespołów funkcyjnych, przy czym wybrano te, których rozwój zdaniem autorów przyczynił się w największym



Rys. 3. Przykład budowa wrzeciennika tradycyjnej tokarki kłowej [6]

stopniu do zwiększenia produktywności procesów wytwarzania.

### Zespół sterowania

Rozwój układów sterowania obrabiarek odbywa się dwutorowo. Pierwszy z obserwowanych kierunków wynika z dynamicznego rozwoju mikrokomputerów, np. w rezultacie stosowania coraz doskonalszych układów scalonych, wykorzystywania nowych nośników informacji. Są to zmiany w zakresie hardware. Postęp jest także rezultatem wdrażania nowych, coraz bardziej uniwersalnych języków programowania, któremu początek dał znany do dzisiaj, tzw. G-kod (software). Dużo uwagi zwraca się na to aby nowe wersje były kompatybilne z dotychczas używanymi. Działania te zwiększają w znaczący sposób możliwości, wydajność i jakość pracy obrabiarki.

Drugi kierunek rozwoju układów wynika z równie dynamicznego postępu w zakresie elementów wykonawczych, a więc stosowanie nowych typów silników elektrycznych, doskonalenie systemów mocowania, zarówno narzędzi jak również przedmiotów obrabianych, stosowanie nowych materiałów w procesach ich wytwarzania. Działania te przyczyniają się do zwiększenia dokładności i powtarzalności wytwarzanych produktów.

Współczesne, obrabiarkowe układy sterowania CNC charakteryzują się dwiema podstawowymi cechami [4]:

– są to układy sterowania programowego, w programie których w formie alfanumerycznej opisano parametry technologiczne realizowanego procesu technologicznego, np.: prędkość skrawania, jego głębokość, posuw, oraz funkcji pomocniczych, jak: włączanie i wyłączanie mediów chłodząco-smarujących, obrót stołu. Program zawiera także wartości cech geometrycznych produktu dotyczące jego wymiarów i kształtów. Program jest więc planem pracy obrabiarki, w rezultacie której wykonany zostanie element o zdefiniowanych kształtach i wymiarach, a także o oczekiwanej strukturze powierzchni (chropowatość i kierunkowość);

– są to układy charakteryzujące się elastycznością programu sterującego. Dla sterowania CNC wymieniony wyżej wymóg sterowania programowego jest zatem jedynie warunkiem koniecznym, lecz nie wystarczającym. Tym drugim wa-

runkiem jest możliwość szybkiej modyfikacji programu, np. w celu skorygowania zauważonych błędów lub zmiany wymiarów obrabianego elementu.

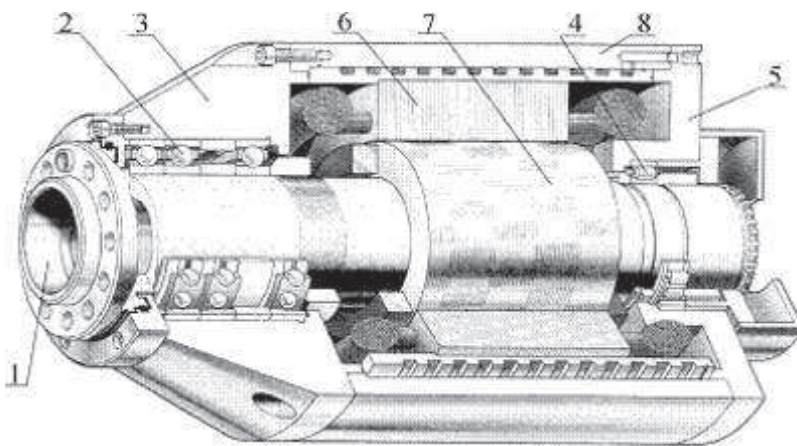
Wymienione wyżej cechy powodują, że obrabiarki ze sterowaniem CNC mogą być wykorzystywane zarówno w produkcji powtarzalnej (mało- i średnioseryjnej) jak również w coraz częściej realizowanej produkcji jednostkowej. W przypadku obróbki jednostkowej obrabiarki te, dzięki swoim cechom, mogą stanowić elementy elastycznych systemów wytwarzania FEM (*Flexible Manufacturing System*) zapewniających realizację procesu w warunkach produkcji powtarzalnej.

Od pewnego czasu układy sterowania wyposażane są w podzespoły monitorujące stan całej obrabiarki a także narzędzia. Dzięki temu zarejestrowanie wartości parametru, przyjętego jako parametr stanu, przekraczającej wartość dopuszczalną powoduje wygenerowanie sygnału przerywającego pracę obrabiarki

szymi wartościami parametrów obróbki. Do tego trendu musieli się dostosować konstruktorzy obrabiarek. Wymagania dotyczące dokładności obróbki oraz dużych prędkości skrawania stanowiły przesłankę dla poszukiwania nowych jakościowo rozwiązań zespołów wrzecionowych. W wyniku tego powstały wrzecienniki kompaktowe – rys. 4.

Elektrowrzeciona wysokoobrotowe posiadają najczęściej łożyska ceramiczne. Dzięki temu znacząco poprawiają się warunki pracy, zmniejsza się temperatura robocza pracującego w ekstremalnych warunkach łożyska, a w efekcie przedłuża się ich trwałość.

Synergiczne wykorzystanie elementów wrzeciennika polega na tym, że korpus pełni dwojakie funkcje. Z jednej strony wyznacza on przestrzeń, w której rozmieszczone są podpory łożyskowe i inne, niezbędne w danym rozwiązaniu konstrukcyjnym elementy wrzeciennika oraz umożliwia trwałe połączenie wrzeciennika z korpusem obrabiarki. Z drugiej



Rys. 4. Postać konstrukcyjna szybkoobrotowego wrzeciennika kompaktowego: 1 – wrzeciono, 2 – zespół łożysk przednich, 3 – podpora przednia, 4 – łożysko tylne, 5 – tylna podpora łożyska, 6 – stator silnika elektrycznego, 7 – rotor silnika (na wrzecionie), 8 – środkowa część korpusu [6]

lub powodującego wymianę zużytego narzędzia.

### Zespół wrzecionowy

Drugim zespołem funkcyjnym obrabiarek, w którym zaszły bardzo istotne zmiany jest zespół wrzeciona obrabiarki. Postęp w zakresie inżynierii materiałowej spowodował, że do obróbki skrawaniem używa się obecnie materiałów pozwalających na obróbkę ze znacząco więk-

strony, wykorzystywany jest on jako obudowa silnika, w której rozmieszczone są uzwojenia statora. Podwójną funkcję spełnia też wrzeciono – oprócz tradycyjnej, jest także wałkiem wirnika silnika z umieszczonymi na nim uzwojeniami rotora. W prezentowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym wrzeciennika kompaktowego wrzeciono i wirnik silnika podparte są na tych samych łożyskach. W sposób istotny zmniejsza to opory ruchu i tym samym ilość ciepła, które może powo-



dować zmianę warunków pracy wrzeciennika.

Dzięki synergicznemu wykorzystaniu elementów tradycyjnego wrzeciennika oraz zastosowaniu łożysk szybkoobrotowych, uzyskuje się dwa, bardzo istotne dla wrzecion, parametry na satysfakcjonującym, wysokim poziomie: prędkość obrotową wrzeciona – do  $1700 \text{ s}^{-1}$  oraz sztywność –  $460 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$  [1]. Wartości obydwóch tych wielkości bezpośrednio świadczą o wysokim poziomie jakości obrabiarki, a dodatkowo, wynikająca z konstrukcji mała podatność na drgania, zapewnia dużą dokładność realizowanej na niej obróbki. Sterowanie prędkością odbywa się za pomocą podzespołów elektronicznych, najczęściej za pomocą przemienników częstotliwości, tzw. falowników. Zmiany w tym kierunku powodują, że sterowanie tym parametrem jest łatwiejsze i bardziej efektywne.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy prowadzi się ponadto badania mające na celu doskonalenie uchwytów mocujących we wrzecionie narzędzia lub elementy obrabiane. Znacząco większe prędkości obrotowe wrzeciona to także

większe siły odśrodkowe, które mogą powodować zmniejszenie siły docisku w uchwycie [2].

### Podsumowanie

Prezentowano wyżej tylko wybrane trendy jakie obserwuje się w obrabiarkach skrawających. Należy zauważyć, że ich rozwój następuje harmonicznie, tzn. zmianom ulegają wszystkie zespoły funkcyjne tworzące strukturę obrabiarki, jednak intensywność tych zmian jest różnicowana.

W rezultacie działań we wszystkich przedstawionych wyżej sferach powstają maszyny, których praca zależna jest od człowieka jedynie na etapie ich programowania, a efektem tego są warunki do uproszczenia procesu produkcyjnego, przy jednoczesnej poprawie całościowego wyniku techniczno-ekonomicznego przedsiębiorstwa, w którym maszyny ze sterowaniem CNC zastosowano.

### Literatura

[1] Cebalo R., Goja Ż., Husnjak M.: Steifigkeit von Hochgeschwindigkeits-

Motorspindeln. Werkstatt und Betrieb No. 11, 2009, pp. 66÷69.

[2] Hyży J., Stós J., Kasprzak A.: Model obszaru bezpiecznego użytkowania uchwytów tokarskich. Zeszyty Naukowe Wydz. Mech. Politechniki Koszalińskiej nr 28. Koszalin 2001.

[3] Madej M., Ozimina D, Kowalczyk J., Pawelec K.: Morfologia powłok TiCN nanoszonych techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD). Obróbka Metalu, nr 3/2017, s. 25-28.

[4] Sterowania CNC FANUC – mózg niezawodnych obrabiarek. Biuletyn FANUC Polska, No. 003. Wrocław 2017.

[5] Styp-Rekowski M.: Konstrukcyjne i technologiczne aspekty modułowej budowy obrabiarek. Inżynieria Maszyn, vol. 11, z. 1/2006, s. 45-55.

[6] Styp-Rekowski M.: Problemy tribologiczne w eksploatacji obrabiarek skrawających. w: Ozimina D. (red.): Eksploatacja systemów tribologicznych, t. 2: Tarcie zużycie, smarowanie wybranych węzłów tribologicznych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013, s. 255-282. ■

reklama



rok zał. 1973

## FATPOL TOOLS

**Producent oprzyrządowania technologicznego do obrabiarek CNC i automatów tokarskich**

**NOWOŚCI W OFERCIE:**

- Sprzedaż, regeneracja i serwis głowic rewolwerowych SAUTER Feinmechanik GmbH
- Oprawki napędzane BMT od SAUTER Feinmechanik GmbH
- Wysokiej jakości frezy pełnowęglkowe VHM
- Tuleje zaciskowe DIN6343 SUPERGRIP
- Tuleje podające do podajników: FMB, LNS, TURBO, TRAUB, INDEX
- Tuleje gumowo-stalowe BZI do automatów wielowrzecionowych INDEX oraz SCHUTTE
- Kły tokarskie

**Zapraszamy do odwiedzenia naszego stoiska na jesiennych targach:**  
3 - 5.10 TOOLLEX, Sosnowiec - **Pawilon A-318** oraz 14 - 16.11 WARSAW INDUSTRY WEEK, Warszawa - **Stoisko 77B**

POSTAW NA JAKOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ!

**FATPOL TOOLS**  
Oficjalny dystrybutor w Polsce:



ZENTRA





FATPOL TOOLS  
ul. Powstańców Wielkopolskiego 1  
58-320 Strzałno

Tel.: +48(52) 318 94 07  
Fax: +48(52) 318 38 48  
E-mail: handel@fatpol.pl

www.fatpol.pl