Projektowanie i konstrukcja obrabiarek

Pojęcie obrabiarki obejmuje znaczeniowo większość maszyn technologicznych budowanych w przemyśle elektromaszynowym lub ciężkim. Obrabiarki skrawające do metalu stanowią w tym pojęciu osobną grupę maszyn o specyfice obejmującej wiele zagadnień technicznych i fizycznych, i pewnym podejściu do budowy, projektowania i konstruowania tych maszyn.

Aleksander Łukomski

Projektowanie obrabiarek różni się od konstruowania. Jest procesem, w którym bierze się pod uwagę zakres oddziaływania projektowanej obrabiarki na bliższe i dalsze jej otoczenie, a także bardziej szczegółowo analizuje się jej możliwości wykonawcze i możliwe konfiguracje różnych rozwiązań obrabiarki. Natomiast konstruowanie jest jednym z elementów projektowania i obejmuje działania prowadzące w efekcie do wytworzenia dokumentacji technicznej, umożliwiającej wykonanie i eksploatację obrabiarki. Konstrukcja jest poprzedzona projektowaniem. Jest wiele rozważań i prób zdefiniowania tych procesów, które można znaleźć w odpowiedniej literaturze technicznej. Jednak poprzez analogię do budownictwa – do pracy architekta i konstruktora budowli – łatwiej jest te pojęcia wyodrębnić.

Proces projektowania może obejmować większy lub mniejszy zakres działań analitycznych, natomiast efektem konstruowania jest konkretna dokumentacja, której zakres jest zawsze znany i wynika z pewnych aktów prawnych i norm, oraz zasad obowiązujących w fizyce i technice. Bardzo często projektowanie przenika się z konstruowaniem i jest dokonywane przez ten sam zespół projektowo-konstrukcyjny lub tego samego projektanta – konstruktora. Obrabiarki ze względu na swoją złożoność prawie zawsze projektowane i konstruowane są przez zespół osób. Działania projektanta sprowadzają się w zasadzie do analizy i optymalizacji rozwiązań prowadzących do wyboru jednej z wielu koncepcji. Wielokrotne poddawanie ocenom i dokonywanie wyborów jest charakterystyczne dla procesu projektowego. Najczęściej ocenę całości projektu, często w stadium projektu wstępnego, dokonują kolegialne zespoły ekspertów i rzeczoznawców, np. komisje oceny lub rady techniczne, również z udziałem inwestora, który zleca wykonanie obrabiarki. Prawie zawsze działanie to dotyczy obrabiarki lub linii obróbczej specjalnej. Oceny dokonuje się wg pewnych ustalonych kryteriów, aby uniknąć ocen subiektywnych i arbitralnych. Kryteria te są zawarte w pogrupowanych zbiorach. Najważniejsze, przykładowe podano poniżej:

Kryteria działania, w których występują:

- dokładność obróbki, czyli jedno z najbardziej podstawowych kryteriów;
- wydajność obróbki, kryterium podstawowe dla doboru parametrów technologicznych;
- sztywność, kryterium decydujące o kształtach i wymiarach obrabiarki;
- trwałość, a nade wszystko trwałość dokładności;
- sprawność, która dotyczy zespołów przekładniowych i par ciernych.

Kryteria użytkowe:

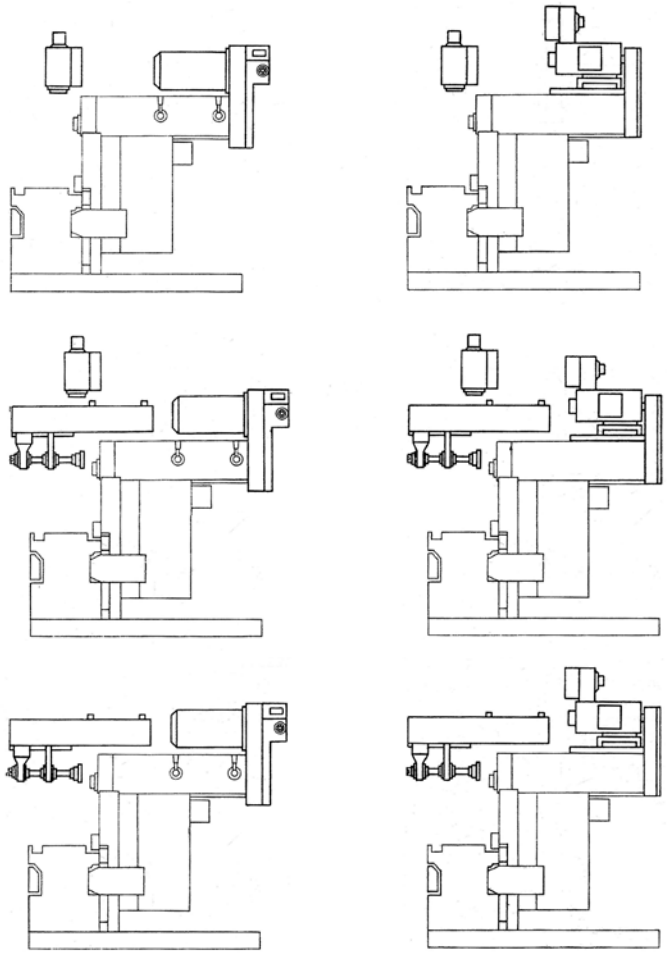
- wymiary przestrzeni roboczej, ustalane na podstawie przeznaczenia i zadań obróbkowych obrabiarki;
- zakres zadań obróbkowych, ustalany często na podstawie wymagań odbiorców;
- niezawodność, przedwczesna utrata zdolności produkcyjnych; ma szczególne znaczenie w obrabiarkach automatycznych i o złożonych cyklach pracy;
- pracochłonność przygotowania programów obróbczych i przezbrojenia obrabiarki, a także wymiana narzędzi;
- ergonomiczność, optymalizacja relacji między człowiekiem a obrabiarką, BHP, wygoda pracy, estetyka wyglądu zewnętrznego;
- pracochłonność i materiałochłonność napraw oraz eksploatacji.

Kryteria ekonomiczne:

- oszczędność materiałów i energii, prowadząca do minimalizacji użycia materiałów i energii;
- koszt wytwarzania, który powinien być współmierny do dokładności i wydajności obrabiarki;
- koszty eksploatacji, dążenie do minimalizacji tych kosztów, stosownie do przeznaczenia i efektów pracy obrabiarki;
- zajmowana powierzchnia, która może wywierać wpływ na układ nośny obrabiarki, np. pozioma lub pionowa;
- atrakcyjność i konkurencyjność, a więc wprowadzenie nieznanych dotąd rozwiązań.

Kryteria wytwórcze, w tym:

- technologiczność konstrukcji, polegająca na poprawnym technologicznie konstruowaniu, co ma wpływ na koszt wykonania i później utrzymaniu obrabiarki w trakcie eksploatacji;
- możliwości wykonania przy użyciu dostępnych środków technicznych, wymagająca od konstruktora znajomości dostępnych środków wytwórczych, takich jak obrabiarki, wydziały i zakłady;
- udział zespołów i części gotowych, normalnych i typowych, co upraszcza proces projektowania i konstruowania, sprzyja zwiększeniu niezawodności oraz zmniejsz koszty wykonania.



Rys 1 Różne rozwiązania konstrukcyjne tej samej frezarki uniwersalnej

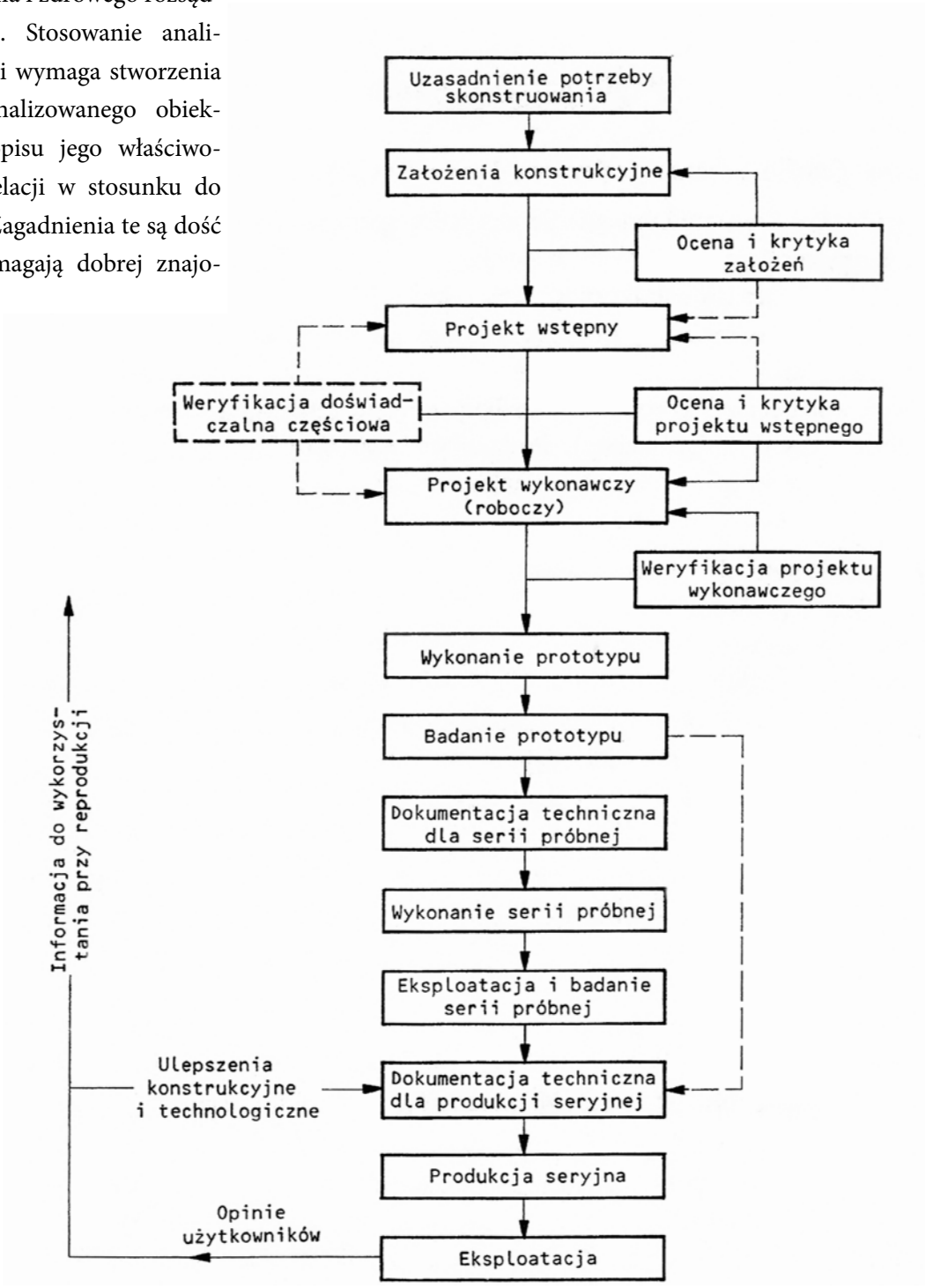
Powyżej podane kryteria mogą być uzupełniane lub modyfikowane. Za każdym z tych kryteriów kryje się odpowiednia procedura oceny obejmująca wyliczenia, tworzenie wykresów, analizy porównawcze, tu ze względu na ramy artykułu, jej zakres i omówienie pominięto.

Oceny konstrukcji obrabiarki według podanych kryteriów służą optymalizacji konstrukcji. Optymalizacja oznacza działania zmierzające do takiego rozwiązania problemu, które jest najlepsze ze względu na wybrane kryteria i spełnia zadane ograniczenia. Optymalny (łac. *optimus*), znaczy najlepszy, z określonych powodów. Rozwiązanie nie może być najlepsze w ogóle, może być jedynie optymalne ze względu na określone kryteria. Optymalizacja w procesie projektowania, to zabiegi metodyczne polegające na doborze cech konstrukcji tak, żeby uzyskać wytwór najlepiej spełniający przyjęte kryteria. Każdy problem konstrukcyjny jest możliwy do

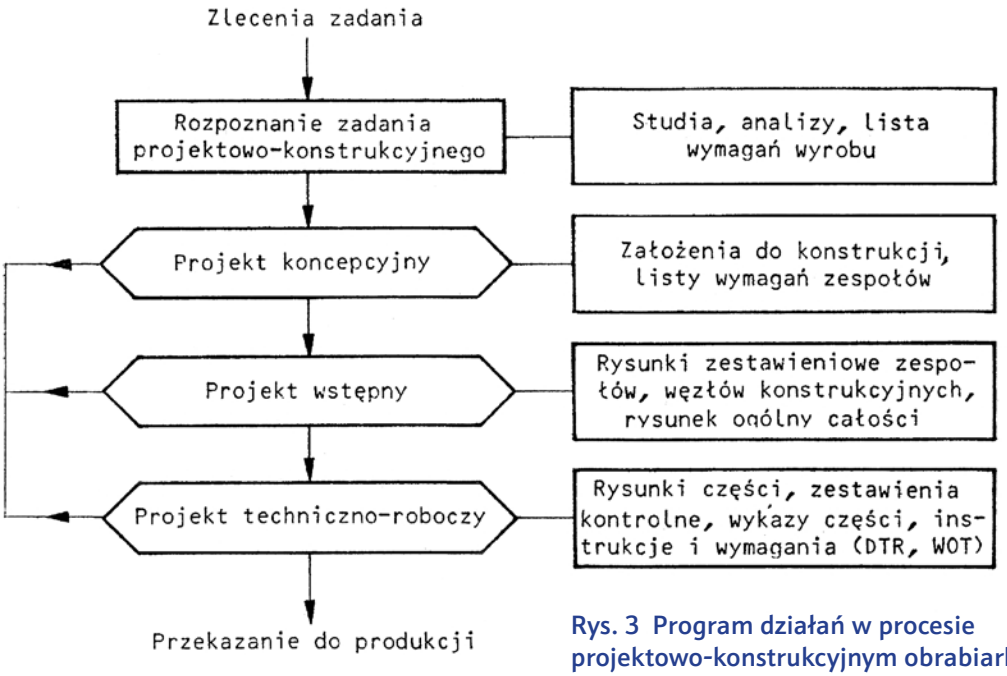
rozwiązania wieloma różnymi sposobami. Są różne metody optymalizacji, które występują w dwóch podstawowych grupach: heurystycznej i analitycznej. Metody heurystyczne są to wszelkie uporządkowane w jakiejś mierze wskazania, które pomagają w rozwiązaniu problemów bez przesądzania z góry osiągnięcia zamierzonego wyniku. Wymaga to rzetelnej wiedzy, doświadczenia i zdrowego rozsądku projektanta-konstruktora. Stosowanie analitycznych metod optymalizacji wymaga stworzenia matematycznego modelu analizowanego obiektu, czyli matematycznego opisu jego właściwości: cech strukturalnych i relacji w stosunku do oddziaływań zewnętrznych. Zagadnienia te są dość trudne i obszerne oraz wymagają dobrej znajomości matematyki wyższej, jak również umiejętności graficznego przetwarzania wyników optymalizacji.

Projektowanie obrabiarki powinno zakończyć się dokumentacją przynajmniej w stadium koncepcji. Powinien powstać rysunek obrabiarki z pokazaniem ważnych i istotnych zespołów i wymiarami gabarytowymi, oraz wymiarami głównych zespołów i przestrzeni roboczej. Powinny być podane parametry technologiczne obrabiarki i opis sposobu działania. Na tym etapie powinna być również przynajmniej wstępna ocena zgodności z zasadniczymi wymaganiami oraz innymi wymaganiami prawnymi, np. rozporządzeniami branżowymi i innymi przepisami. Również obliczenia przynajmniej wstępne geometryczne, kinematyczne i wytrzymałościowe oraz schematy – kinematyczny, hydrauliczny i pneumatyczny oraz smarowania. Także opisany wstępnie system sterowania oraz wyniki analiz.

Często zdarza się, że zespół projektantów opracowujący projekt obrabiarki kontynuuje później wykonanie dokumentacji technicznej



Rys. 2 Przykładowy algorytm działań przy powstawaniu nowej obrabiarki powszechnego użytku



Rys. 3 Program działań w procesie projektowo-konstrukcyjnym obrabiarki

i wykonawczej. Wtedy do zatwierdzenia projektu obrabiarki lepiej jest, jeżeli jest ona w stadium projektu wstępnego, który charakteryzuje się już szczegółowym rysunkiem zestawieniowym (złożeniowym) oraz doborem newralgicznych zespołów specjalnych i handlowych.

Projektowanie obrabiarek, niezależnie czy jest to obrabiarka powszechnego użytku, czy sterowana numerycznie, specjalna, czy też jest to linia obróbcza, podlega pewnej metodologii. Żeby o niej mówić najpierw trzeba zapoznać się z algorytmem powstawania obrabiarki. Doprowadzenie do produkcji seryjnej obrabiarki przebiega w wielu etapach, z których każdy umożliwia stopniowe zbliżenie się do ostatecznego celu, jakim jest skutecznie działający środek techniczny. Taki algorytm powstawania obrabiarki przedstawiono na rysunku 2. Występuje tu wiele elementów i działań, których szczegółowe opisanie przerasta ramy tego tekstu. Warto jednak wspomnieć o kilku z nich. Weźmy na przykład finansowanie całego procesu. Jeżeli mamy do czynienia z klientem zewnętrznym, to sprawa jest prosta. On przedstawia lub akceptuje warunki opracowania, a także główne założenia. Najkorzystniej jest, gdy klient dostał ofertę i ją zaakceptował, lub podpisał umowę. Jeżeli nowy projekt budowy obrabiarki realizowany jest przez fabrykę obrabiarek jako praca rozwojowa, to powinna być sporządzona wycena wszystkich etapów realizacji i wystawione zlecenie wewnętrzne, oraz zabezpieczone finansowanie, wytypowani projektanci, konstruktorzy i rzemieślnicy, oraz środki techniczne dla wszystkich etapów takiego działania. Można przyjąć, że prace związane z powstaniem nowej obrabiarki do czasu uruchomienia produkcji seryjnej trwają około trzech lat. Zlecenie wewnętrzne oraz prowadzenie odpowiedniej księgowości niekiedy przydaje się, gdy z jakiegoś powodu projekt nie został dokończony. Wtedy można dotychczas poniesione koszty nieudanego projektu (pracy badawczo-rozwojowej) przenieść w koszty firmy lub straty. Podobnie gdy zadanie kończy się prototypem lub obrabiarką czy maszyną technologiczną jednostkową, np. obrabiarką specjalną, dostarczaną klientowi zewnętrznemu. Można zawrzeć w umowie pewne ograniczenia z tytułu gwarancji, czy nieosiągnięcia np. założonych parametrów, co się przecież zdarza. Jest jeszcze wiele innych działań, które wynikają z przedstawionego algorytmu.

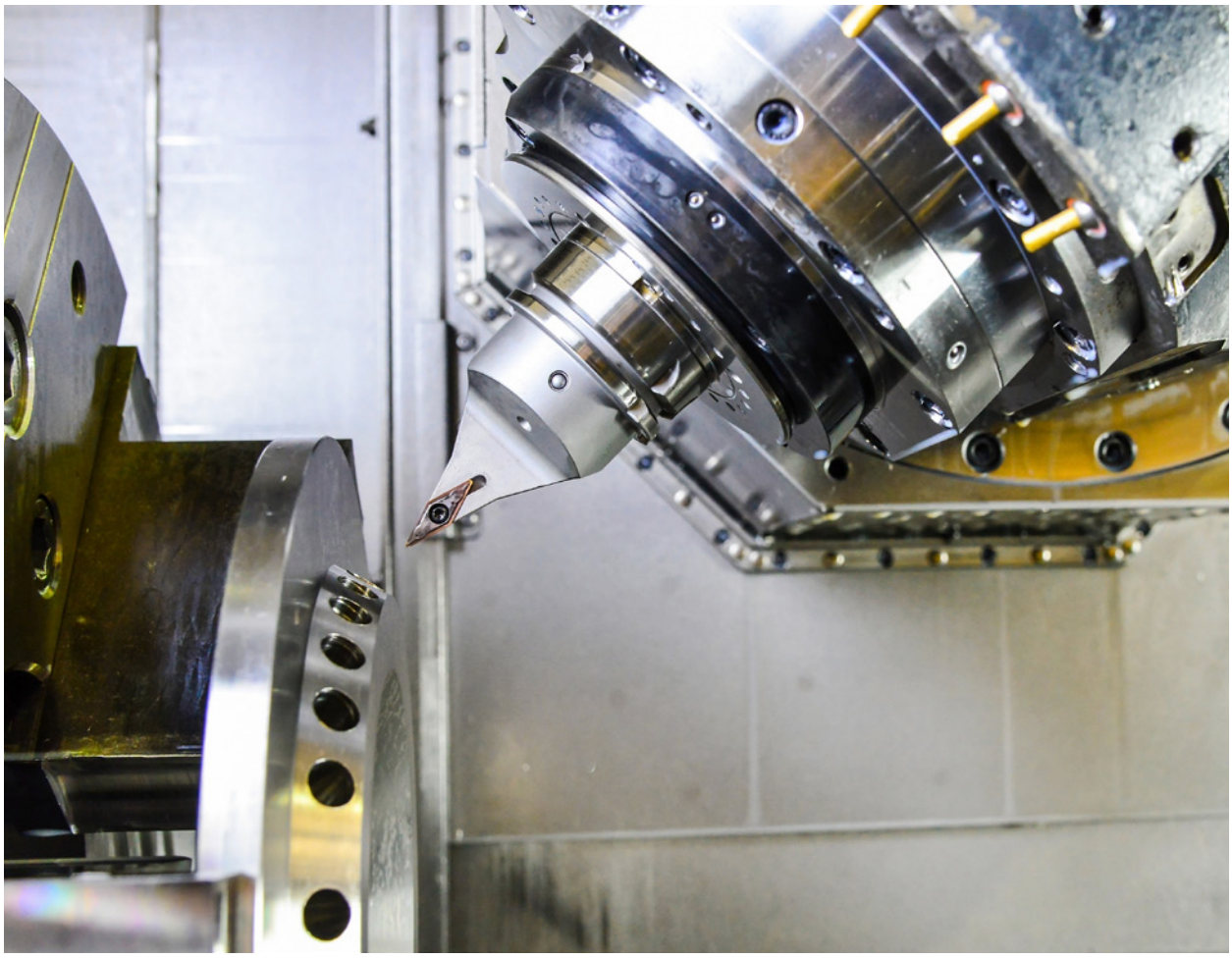
Na rysunku 3 pokazano program działań projektowo-konstrukcyjnych, który powstał na podstawie dużego doświadczenia osób i instytucji zajmujących się tworzeniem nowych obrabiarek. Jest on bardzo pomocny przy dokonywaniu uzgodnień pomiędzy

zleceniodawcą, a projektantem i konstruktorem. Podobnie jak to wspomniano poprzednio, za przedstawionymi hasłowo działaniami kryje się duża liczba szczegółowych zagadnień. Przykładowo w ramach studiów i analiz, które zaliczane są do działań wyprzedzających, zbiera się i przetwarza informacje pomocne do identyfikacji układów kryteriów, w postaci list wymagań wyrobu i jego składowych zespołów. Najlepiej jeżeli wymagania te są określane ilościowo, w sformułowaniach ustalających konkretne wartości, zakres wartości lub wartości graniczne, np. nie mniej, nie więcej niż. Często też wymagania dzieli się na obligatoryjne i pożądane. Należy też stworzyć listę uporządkowanych wymagań z bardziej szczegółowym ich przykładowym określeniem w odniesieniu do obrabiarek. Lista wymagań jest podstawą do rozpoczęcia prac koncepcyjnych i jest integralną częścią założeń konstrukcyjnych. Przykładową listę wymagań przedstawiono w tabeli 1.

Potem następuje tworzenie koncepcji, której podstawą są kryteria nowości i oryginalności, a według nich rozróżnia się:

- Koncepcję przystosowania-modyfikacji, polegającą na dokonaniu zmian w konstrukcji znanej;
- Koncepcję kompilowaną, powstałą przez wykorzystanie fragmentów rozwiązań znanych i złożenie z nich nowej całości;
- Koncepcję udoskonaloną tzn. zmienioną w stosunku do koncepcji poprzedniej;
- Koncepcję oryginalną, opartą o nowe podstawy, dotyczące przede wszystkim sposobu działania. Tu spełnienie kryteriów nowości jest podstawą do uznania jej jako wynalazku.

W konstrukcji obrabiarki wykorzystane są w zasadzie wszystkie rodzaje koncepcji. Obecnie w czasach wysokiego poziomu techniki rozwój obrabiarek opiera się na koncepcjach ustawicznie doskonalonych. Opracowywanie koncepcji powinno odbywać się według zaprogramowanego toku działania,



Tab. 1 Przykładowa pogrupowana lista wymagań dla obrabiarek

Grupa wymagań	Określenie wymagań (przykładowo)
Określenie działania i przeznaczenia wyrobu	Nazwa wyrobu lub działania, określenie przeznaczenia, np. zakresu zadań technologicznych obrabiarki
Cechy geometryczne	Geometryczne wielkości znamionowe obrabiarki, wymiary przestrzeni roboczej lub graniczne wymiary obrabianych przedmiotów; dla zespołów – podstawowe parametry, ograniczenia wymiarowe, wymiary przyłączeniowe itp.
Cechy kinematyczne	Rodzaje i kierunki ruchów, prędkości, przyspieszenia; sposób zmiany prędkości (stopniowo czy bezstopniowo); powiązania ruchów (np. w obrabiarkach do uzębień lub do obróbki gwintów)
Obciążenia siłowe	Dla obrabiarek mogą być zadane lub wymagające obliczenia na podstawie przewidywanych zadań obróbkowych; kierunki działania i wartości graniczne sił, częstość działania sił, obciążenia grawitacyjne, siły zacisku, zakłócenia siłowe itp.
Energia – zasilanie, przepływ, zjawiska	Źródła zasilania w energię, moc napędu, sprawność, opory tarcia, dopuszczalna temperatura, chłodzenie, ciśnienie zasilania
Materiały – wejście, przepływ, wyjście	Stan wyjściowy przedmiotów do obróbki (kształty, masy); podawanie, mocowanie i odbiór przedmiotów obrobionych; odprowadzenie wiórów, obieg i regeneracja chłodziwa; obieg oleju w układzie hydraulicznym
Narzędzia	Asortyment stosowanych narzędzi (normalne, specjalne), materiały ostrzy narzędzi, mocowanie narzędzi (ręczne, automatyczne), wymiana narzędzi (ręczna, automatyczna z magazynu)
Sterowanie	Określenie rodzaju sterowania i jego podstawowych cech (przygotowanie programów obróbki, wyjścia informacyjne, techniczne rozwiązanie układu sterowania), kontrola procesu, diagnostyka itp.
Bezpieczna technika i higiena pracy	Zabezpieczenia techniczne, bezpieczeństwo pracy, ochrona zdrowia i środowiska otaczającego
Wymagania ergonomiczne	Obsługa, rozmieszczenie elementów obsługi i sterowania, stanowisko obsługi, oświetlenie, forma zewnętrzna.
Ograniczenia wykonawcze	Ograniczenia ze strony zakładu wytwórcy (np. dostosowanie konstrukcji do możliwości technologicznych), preferowane technologie i środki produkcji, możliwe do uzyskania dokładności wykonania, ograniczenia materiałowe itp.
Transport	Sposob opakowania do wysyłki, ograniczenia ze względu na środki transportu (dot. szczególnie obrabiarek ciężkich), instalowanie na stanowisku pracy
Wymagania eksploatacyjne	Poziom hałasu, trwałość, niezawodność, utrzymanie w ruchu (konserwacja; przeglądy, naprawy)
Koszty	Maksymalna cena wyrobu, koszty narzędzi, inwestycje związane (np. zasilanie w energię, fundamentowanie), amortyzacja
Terminy	Harmonogram prac, czas dostawy przez producenta

Reguły	Konstrukcja powinna być: – jednoznaczna – prosta – bezpieczna			
Zasady	1	Zasada optymalnego stanu obciążenia	1.1	równomierna wytrzymałość postaciowa
			1.2	najkrótszy obwód siłowy
			1.3	równomierne obciążenie
			1.4	wyrównoważone siły
	2	Zasada optymalnego rozdziału funkcji	2.1	łączenie funkcji
			2.2	rozdzielenie funkcji
	3	Zasada samoadaptacji	3.1	przez wzmocnienie
			3.2	przez regulację odkształceń
			3.3	przez zabezpieczenie przed zniszczeniem
	4	Zasada stabilności	4.1	zachowanie stabilności
			4.2	wymuszona niestabilność
Wytyczne	Konstrukcja powinna być poprawna	— ze względu na odkształcenia cieplne — ze względu na zjawiska pełzania i relaksacji — ze względu na zabezpieczenie przed korozją — normalizacyjnie — ze względu na wytwarzanie — ze względu na montaż i naprawy		

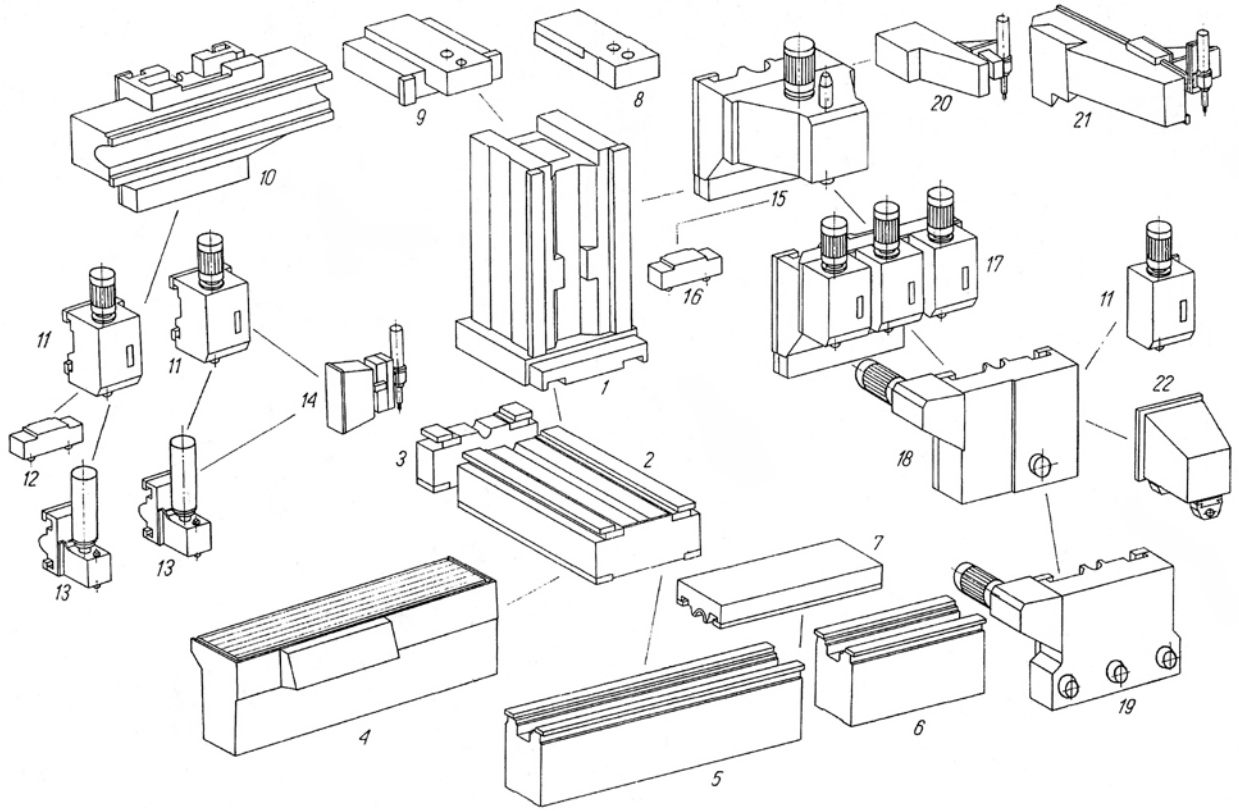
Rys. 4 Reguły, zasady i wytyczne poprawnego konstruowania wg G. Pabla i W. Beitza

ustalającego ciągi działań ujętych w formie programów logicznych lub matematycznych, możliwych do zrealizowania z użyciem komputerów.

Tworzenie koncepcji nowej obrabiarki związane jest z szeregiem różnych innych działań, wśród których wymienić można:

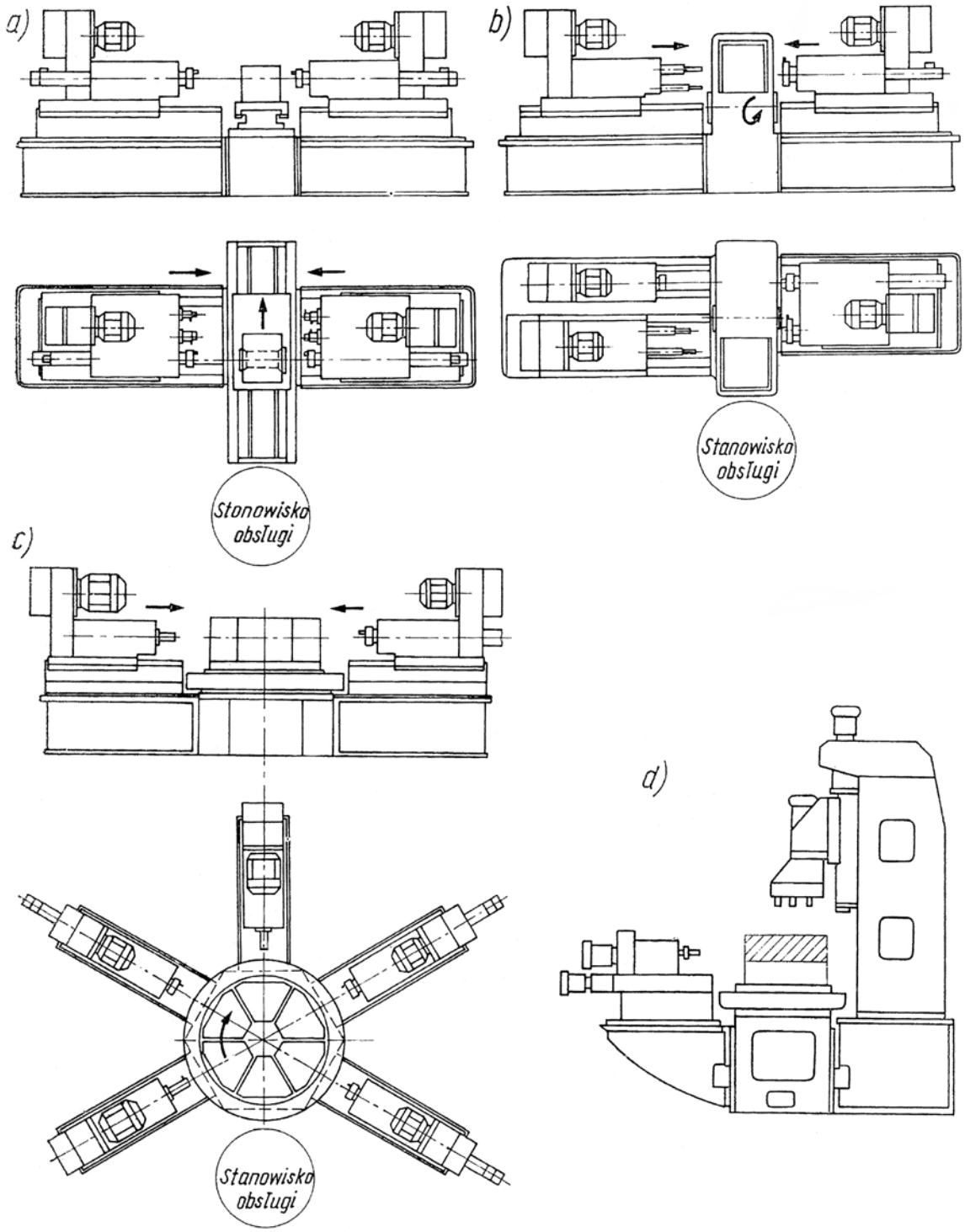
- Analizę i tworzenie struktur funkcjonalnych;
- Metody koncypowania; tu np. metoda intuicyjna, dyskusja 66, metoda synektyczna (Gordona), analiza zjawisk fizycznych, analiza wartości i wiele innych;
- Reguły, zasady i wytyczne poprawnego konstruowania (Rys. 4).

Po zakończeniu prac projektowych i konstrukcyjnych sporządza się dokumentację – Projekt techniczno-roboczy, który stanowi formalne zamknięcie całego procesu projektowo-konstrukcyjnego oraz Instrukcję użytkowania według obowiązującego wykazu poszczególnych instrukcji, zawartą w załączniku do Zasadniczych wymagań i przekazywaną później użytkownikowi obrabiarki. Niekiedy opracowuje się jeszcze Warunki techniczne wykonania i odbioru oraz instrukcję szczegółowe montażu oraz karty pomiarowe. Konieczne jest też wykonanie Oceny zgodności i wydanie przez producenta obrabiarki Deklaracji zgodności WE, którą z reguły zamieszcza się w Instrukcji użytkowania. Dokumentacji z oceny zgodności nie przekazuje się użytkownikowi, ale musi ona znaleźć się w egzemplarzu archiwalnym PTR do ewentualnego wglądu służbom nadzoru rynku lub użytkownika obrabiarki. Powinny tam znaleźć się też wszelkie obliczenia, wyniki analiz i koncepcje, czy projekt wstępny. Forma przechowywania dokumentacji w archiwum zależy od organizacji w konkretnym przedsiębiorstwie. Postępowanie z dokumentacją konstrukcyjną w przedsiębiorstwie zostało wcześniej opisane w naszym czasopiśmie.



Rys. 5 Zespoły zunifikowane do budowy rodziny frezarek łożowych, umożliwiające budowę wielu odmian tych frezarek, poprzez zastosowanie różnych zestawów i konfiguracji tych zespołów

Opisana powyżej skrótowo metodyka tworzenia nowej obrabiarki powszechnego użytku, przeznaczonej do seryjnej produkcji, nie sprawdziłaby się w budowie obrabiarek specjalnych, zwłaszcza produkowanych w większej liczbie obrabiarek zespołowych. Obrabiarki zespołowe powstają zawsze na zlecenie klienta zewnętrznego i w przeważającej większości w bardzo krótkim czasie. Stąd idea budowy tych obrabiarek ze zunifikowanych zespołów. Zleceniodawca nie może czekać trzy lata na zbudowanie prototypu. Potrzebuje tę obrabiarkę np. za trzy miesiące lub nawet za kilka tygodni. Jednak nie jest prawdziwe twierdzenie, że obrabiarkę zespołową składa się z gotowych zespołów. W budowie obrabiarek zespołowych wykorzystuje się głównie zunifikowane podstawy, kolumny pionowe, stoły podziałowe oraz niekiedy inne zunifikowane zespoły jak posuwowe, niekiedy wrzecienniki jednowrzecionowe, np. wytaczarskie, czy poszczególne urządzenia, jak np. rozdzielacz obrotowy, lub też zespół do toczenia stożków. Zdecydowana większość wrzecienników wiertarskich, frezarskich jest projektowana jako specjalne. Także przyrządy mocujące zawsze są wykonywane jako specjalne. Duża liczba narzędzi jest wykonana jako specjalna, choć to prawda, że niekiedy udaje się wykorzystać istniejące części do budowy tych narzędzi, takie jak np. wkładki ostrzowe. Zawsze nowe jest sterowanie hydrauliczne i elektryczne, na nowo trzeba zaprojektować układ centralnego smarowania, co prawda z katalogowych zespołów, ale musi powstać dokumentacja takiego zespołu. Jest więc tych elementów obrabiarki do zaprojektowania i wykonania dużo. Biorąc pod uwagę, że przeciętna obrabiarka zespołowa np. „karuzelówka", zbudowana w oparciu o stół sześciopozycyjny, ma pięć stanowisk obróbczych, czyli de facto pięć obrabiarek, każda z innym wrzeciennikiem i innymi narzędziami, niekiedy bardzo skomplikowanymi i specjalnymi. Kompletna dokumentacja konstrukcyjno-wykonawcza powinna powstać najdalej w ciągu miesiąca, potem przez kilka dni jest ona weryfikowana, kiedy sprawdza się dokumentację pod względem rażących błędów, następne dwa tygodnie – w dziale technologii i dalsze



Rys. 6. Różne układy obrabiarek zespołowych; a) ze stołem podziałowym wzdłużnym, b) ze stołem bębnowym, c) ze stołem obrotowym podziałowym, d) ze stołem stałym. Najkrótsze takty technologiczne występują w rozwiązaniu a) i c). W rozwiązaniu d) możliwa jest obróbka detalu z pięciu stron jednocześnie

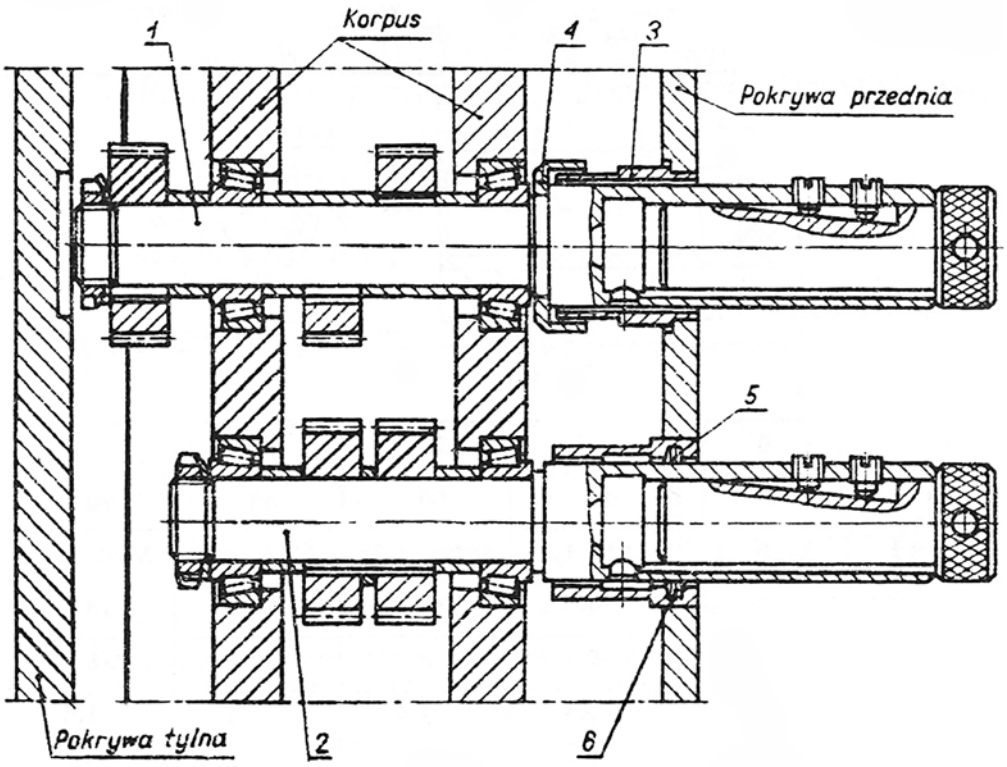
tygodnie w przygotowaniu produkcji (a więc zakupy, odlewy itp.). Cykl do uruchomienia produkcji zamyka się w trzech miesiącach. Znany jest wyjątkowy przypadek ekspresowego zaprojektowania takiej obrabiarki. Dziesięciu konstruktorów powołanych w tym celu do zespołu stworzyło kompletną dokumentację konstrukcyjną obrabiarki zespołowej, na specjalne zamówienie, w ciągu dwóch dni – w sobotę i niedzielę... W poniedziałek o godz. 12:00 klient odbierał dokumentację.

Ażeby sprawne i efektywne projektowanie obrabiarek było możliwe, w biurze konstrukcyjnym wśród konstruktorów były specjalizacje. Biuro podzielone było na pracownie: wrzecienników, przyrządów,

Tab. 2 Przykładowa strona z opracowania Koprotech „Parametry skrawania" umożliwiająca szybkie zsumowanie mocy skrawania i sił posuwu

Posuw po mm/obr		Średnica wiertła d (mm)						
		10	13	16	20	24	26	32
0,18	v (m/min)	17,6	19,4	20,3	22,4	23,2	25,4	26,5
	n (obr/min)	560	475	400	355	315	300	265
	F (N)	2530	3320	4200	5100	6150	7150	8200
	M (Nm)	6,9	11,2	16,7	25,5	33,0	48,2	82,0
	P (kW)	0,496	0,662	0,855	1,160	1,450	1,460	2,100
0,20	v (m/min)	16,7	17,4	18,7	20,7	22,6	24,5	25,2
	n (obr/min)	530	425	375	330	300	280	250
	F (N)	2730	3540	4400	5500	6500	7700	8800
	M (Nm)	7,4	12,2	18,1	27,7	39,1	52,3	82,0
	P (kW)	0,520	0,665	0,870	1,170	1,510	1,879	2,150
0,22	v (m/min)		15,3	16,9	19,5	21,2	22,0	23,7
	n (obr/min)		375	335	315	280	250	236
	F (N)		3810	4700	5350	7030	8200	9400
	M (Nm)		13,9	20,7	31,6	44,6	59.6	77,0
	P (kW)		0,570	0,860	1,276	1,660	1,910	2,330
0,25	v (m/min)			15,8	18,9	21,2	22,0	23,7
	n (obr/min)			315	300	280	250	236
	F (N)			5120	6400	7030	8200	9400
	M (Nm)			21,5	33,1	44,6	59.6	77,0
	P (kW)			0,817	1,272	1,660	1,910	2,330
0,28	v (m/min)				15,7	18,9	19,7	20,1
	n (obr/min)				265	250	221	200
	F (N)				6850	8350	9450	11120
	M (Nm)				38,5	51,6	69.0	89,1
	P (kW)				1,240	1,655	1,930	2,202
0,32	v (m/min)					16,8	17,7	19,1
	n (obr/min)					274	209	180
	F (N)					9150	10500	12200
	M (Nm)					57,4	77,3	99,8
	P (kW)					1,640	2,000	2,300

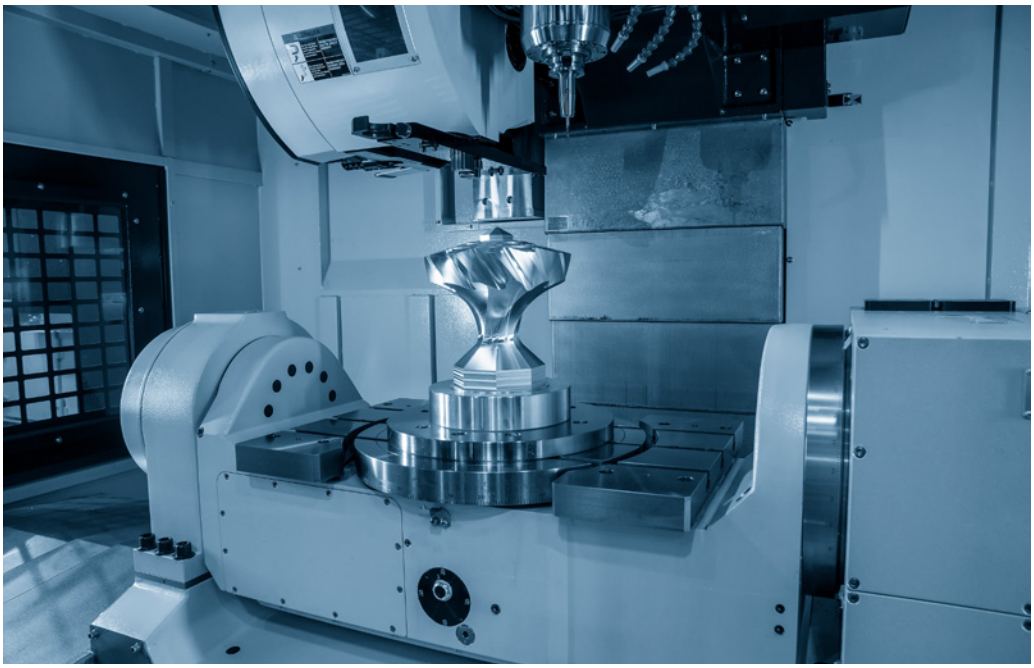
narzędzi, sterowań, tzw. wiodące, gdzie dokonywano rozrysowanie obrabiarki i ustalano podstawowe wielkości geometryczne i technologiczne, tworzono plan technologiczny obrabiarki, a potem na końcu, jak już powstały wszystkie zespoły, tworzyło się rysunek złożeniowy obrabiarki. Była też pracownia ofert i analiz rynku, w której powstawały szczegółowe oferty z wstępnym planem technologicznym, a więc sprawdzeniem wykonania żądanych przez zleceniodawcę programów produkcji obrabiarki i innymi wyliczeniami, wykazem wszystkich zespołów, z wyceną specjalnych odlewów itp. Taka oferta miała wiele stron (i często analizy wydajnościowe i niekiedy ekonomiczne), tworząc sporą broszurę, gdyż często wykorzystywana była do przedstawienia jej w banku dla uruchomienia finansowania.



Rys. 7 Fragment wrzeciennika wiertarskiego wielowrzecionowego obrabiarki zespołowej; 1, 2 – wrzeciona wiertarskie, 3, 4 – pierścienie uszczelniające, 5,6 – inny rodzaj uszczelnienia pierścieniem filcowym. We wrzecionach są zamontowane oprawki narzędziowe bez wierteł

Konstruktorzy odpowiednich specjalizacji znali na pamięć wiele norm, stąd nie musieli szukać ich w różnych katalogach i normach, były w dużej liczbie maszyny liczące, gdyż niektóre obliczenia trzeba było jednak wykonać. Rzadko jednak były to obliczenia wytrzymałościowe, raczej kinematyczne i geometryczne. Wytrzymałość powstawała doświadczalnie. Podstawowym stosowanym podręcznikiem był zbiór normatywów dla obrabiarek zespołowych opracowany przez KOPROTECH. Był to bardzo rozbudowany podręcznik zawierający parametry obróbki różnymi narzędziami, z uwzględnieniem wielu wartości trwałości ostrza, dla doboru zestawu narzędzi do jednoczesnej wymiany w całej obrabiarce. Były tam również podane różne parametry, których nie podaje się w normatywach obrabiarek powszechnego użytku, np. poza szybkościami skrawania i posuwem na obrót lub ostrze freza, były tam podane siły obwodowe, momenty i moce skrawania oraz siły wzdłużne. Ten zbiór normatywów powinien być wzorcem do nowego takiego opracowania uwzględniającego rozwój materiałów obrabianych i narzędzi w postaci programu komputerowego lub choćby dobrego kalkulatora. Jeżeli konstruktor konstruował wrzeciennik wielowrzecionowy, który przykładowo miał wiercić sześć otworów o średnicach od 5-12 mm, to sumował moce skrawania dla tych otworów, dodawał „trochę" na sprawność przekładni zębatej skrzynki przekładniowej wrzeciennika (25-50%) w zależności od liczby stopni przełożenia, i otrzymywał moc silnika elektrycznego napędu wrzeciennika. Ten silnik miał średnicę wałka, którą przyjmowało się jako średnicę pierwszego wałka wejściowego do przekładni wrzeciennika. Silnik łączyło się z wałkiem wrzeciennika poprzez sprzęgło Olhama.

Potem przyjmowano średnice następnych wałków, w zależności od momentów skrawania. Po wprowadzeniu komputerów w biurze konstrukcyjnym, co umożliwiało wykonywanie skomplikowanych obliczeń w skrzynce przekładniowej, położenia osi wałków i korekcji kół zębatych, stosowano często węzły czteroosiowe, co z kolei upraszczało konstrukcję i eliminowało wałki i koła zębate do minimum. Węzeł czteroosiowy polegał na tym, że z jednego wałka pośredniego napędzano np. trzy wrzeciona wiertarskie. Przy pomocy programów komputerowych wyliczano położenie osi wałka pośredniego i korekcję dla wszystkich kół zębatych węzła. Sumowało się też siły poosiowe-wzdłużne dla ustalenia wielkości siłownika hydraulicznego w zespole posuwowym. W taki to uproszczony, ale bardzo szybki sposób tworzyło się konstrukcję niekiedy bardzo skomplikowanego wrzeciennika. Konstrukcja



powstawała w trzy dni dla prostych wrzecienników, do tygodnia dla bardziej skomplikowanych. Ten sam konstruktor detalował wrzeciennik, wykonując przeciętnie 20-30 detali dziennie. Były to proste podkładki, ale też wrzeciona i korpusy wrzeciennika wraz z wiertnikiem. Detali było na ogół kilkadziesiąt. Podobne działania były w innych pracowniach, gdzie stosowano też pewne uproszczenia przyspieszające konstruowanie. W trudnych przypadkach konstrukcyjno-technologicznych, np. przestawne wrzeciona, które wykonywały otwory w rozstawie +/- 0,005 mm, cięcie piłą skomplikowanych kształtów przekroju, albo trudny w modelowaniu i wykonaniu odlew, zwoływano przy desce konstruktora spotkanie konsultacyjne z technologiem, generalnym projektantem i kimś z produkcji, gdzie po omówieniu problemu podejmowano decyzję o odpowiednim rozwiązaniu. W Wiepofamie, w biurze konstrukcyjnym, stosowano też cenniki prac projektowych opracowanych dla biur projektowych, co miało przełożenie na szybkość i ilość powstawania dokumentacji technicznych obrabiarek, gdyż stosowanie tych cenników wiązało ilość dokumentacji z wynagrodzeniem, które z kolei było wysokie lub bardzo wysokie. Trochę więcej o konstrukcji zespołów obrabiarek zespołowych napiszemy w następnych artykułach.

Przy pomocy komputerów zyskuje się jeszcze na zapożyczaniu wielu detali, które dla kolejnych rozwiązań, np. wrzecienników, mogą być takie same. Jednak z doświadczenia wiadomo, że wypracowany kiedyś sposób, a zwłaszcza czas konstruowania obrabiarek zespołowych, trudno jest skrócić, nawet używając komputerów i skomplikowanych programów, gdyż konstrukcje specjalnych wrzecienników i przyrządów oraz niektórych innych zespołów specjalnych są jednostkowe, mało powtarzalne.

Praktycznie nie zdarzały się awarie np. ukręcenie wałka, czy złamanie zęba koła zębatego, czy też inne zdarzenia związane z wytrzymałością, a więc uproszczona metoda poparta dużym doświadczeniem praktycznym zdawała egzamin. Wiele z tych obrabiarek pracowało i pracuje nawet do dzisiaj, po kilkadziesiąt lat.

Przedstawione tutaj skrótowo dwa różne podejścia do projektowania i konstruowania obrabiarek są związane ze specyfiką obrabiarek powszechnego użytku i specyfiką obrabiarek specjalnych.

W obu przypadkach występują duże zbiory zagadnień obejmujących te specyfiki. Obecnie nie ma w naszym kraju fabryki budującej obrabiarki specjalne w dużych ilościach, ponad 100 rocznie, więc opisana metodyka takiego projektowania i konstruowania, może mieć znaczenie historyczne, ale może też być wskazówką organizacyjną, nawet niekoniecznie tylko w przemyśle obrabiarkowym, ale ogólniej także elektromaszynowym, gdzie poza obrabiarkami buduje się inne maszyny i urządzenia technologiczne na większa skalę.

Aleksander Łukomski