



SPIS TREŚCI

WSTĘP	11
-------------	----

CZĘŚĆ I. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

1. OBRABIARKI W PROCESIE WYTWARZANIA	17
1.1. Wprowadzenie	17
1.2. Wiadomości podstawowe	19
1.2.1. Klasyfikacja ruchów w obrabiarkach	20
1.2.2. Osie współrzędnych w obrabiarkach sterowanych numerycznie	21
1.3. Parametry procesu roboczego obrabiarki	23
1.3.1. Parametry podstawowe	23
1.3.2. Technologiczna charakterystyka obciążenia obrabiarki	25
1.4. Trendy rozwojowe w obróbce skrawaniem	29
1.4.1. Obróbka z dużymi prędkościami — HSC	30
1.4.2. Obróbka wysokowydajna — HPC	32
1.4.3. Obróbka kompletna	33
1.5. Kierunki rozwoju nowoczesnych obrabiarek	34
1.5.1. Niskie koszty inwestycyjne	36
1.5.2. Wysoka produktywność i wydajność	38
1.5.3. Elastyczność technologiczna	39
1.5.4. Automatyzacja	40
1.5.5. Większa dokładność	40
1.5.6. Bezpieczeństwo pracy	41
1.5.7. Ergonomia i ekologia	42
2. PODSTAWY BUDOWY OBRABIAREK	45
2.1. Modułowa budowa obrabiarek	45
2.1.1. Istota i zasady budowy modułowej	45
2.1.2. Aspekty modułowej budowy obrabiarek	47

2.1.3.	Obrabiarki przekształcalne (rekonfigurowalne)	49
2.2.	Podstawowe własności obrabiarek	51
2.2.1.	Dokładność geometryczna i dokładność pozycjonowania	51
2.2.2.	Szttywność statyczna obrabiarek	55
2.2.3.	Drgania w obrabiarkach	57
2.2.4.	Stabilność termiczna	62
2.3.	Obrabiarka sterowana numerycznie jako obiekt mechatroniczny	64

CZĘŚĆ II. ELEMENTY, MECHANIZMY I KOMPONENTY OBRABIAREK

3.	KORPUSY OBRABIAREK	71
3.1.	Określenia podstawowe	71
3.2.	Korpusy żeliwne	73
3.3.	Korpusy stalowe spawane	74
3.4.	Korpusy polimerobetonowe	75
3.5.	Korpusy kompozytowe	78
4.	POŁĄCZENIA PROWADNICOWE	83
4.1.	Podstawowe wymagania i klasyfikacja	83
4.2.	Połączenia prowadnicowe ślizgowe	85
4.2.1.	Tarcie w połączeniach prowadnicowych ślizgowych	85
4.2.2.	Połączenia prowadnicowe ślizgowe z nakładkami z tworzyw sztucznych	88
4.3.	Połączenia prowadnicowe hydro- i aerostaticzne	94
4.4.	Połączenia prowadnicowe toczne	96
4.4.1.	Klasyfikacja	96
4.4.2.	Szynowe zestawy prowadnicowe	99
4.5.	Podsumowanie	109
5.	NAPEĘDY GŁÓWNE	111
5.1.	Wymagania i klasyfikacja napędów głównych w obrabiarkach	111
5.2.	Wrzeciona obrabiarek. Podstawowe wymagania	116
5.3.	Łożyskowanie wrzecion	117
5.3.1.	Łożyskowanie toczne	118
5.3.1.1.	Łożyska hybrydowe z elementami tocznymi z ceramiki	119
5.3.1.2.	Smarowanie łożysk tocznych	120
5.3.2.	Łożyskowanie ślizgowe	123
5.3.2.1.	Łożyskowanie hydrodynamiczne	123
5.3.2.2.	Łożyskowanie hydrostatyczne	124
5.3.2.3.	Łożyskowanie aerostaticzne	126
5.3.3.	Łożyskowanie magnetyczne	127
5.3.4.	Porównawcze zestawienie cech różnych sposobów łożyskowania wrzecion	129
5.4.	Końcówki wrzecion i oprawki narzędziowe	130
5.4.1.	Rozwiązania tradycyjne	130
5.4.2.	Oprawki HSK	132
5.4.3.	Mocowanie oprawek	136
5.5.	Mechaniczne przekładnie ruchu obrotowego	136
5.5.1.	Przekładnie pasowe	137
5.5.2.	Mechaniczne przekładnie bezstopniowe	138
5.6.	Wrzecienniki	139
5.7.	Elektrowrzeciona (motowrzeciona)	141
5.8.	Uwagi dla użytkowników obrabiarek	150

6.	NAPĘDY RUCHU POSUWOWEGO	153
6.1.	Klasyfikacja i charakterystyka napędów ruchu posuwowego	153
6.2.	Mechaniczne przekładnie ruchu obrotowego	159
6.2.1.	Przekładnie pasowe z pasem zębatym	160
6.2.2.	Przekładnie zębate	161
6.3.	Przekładnie przekształcające ruch obrotowy na postępowy	163
6.3.1.	Przekładnie śrubowe toczne	163
6.3.2.	Przekładnie śrubowe hydrostatyczne	172
6.4.	Podsumowanie i perspektywy rozwoju napędów posuwowych w obrabiarkach	173
7.	ELEKTRYCZNE UKŁADY NAPĘDOWE	175
7.1.	Układy napędowe prądu stałego	176
7.1.1.	Komutatorowe silniki prądu stałego	176
7.1.2.	Tyristorowe układy napędowe	180
7.1.3.	Napędy prądu stałego z silnikami bezkomutatorowymi	186
7.2.	Układy napędowe prądu przemiennego	187
7.2.1.	Obrotowe silniki prądu przemiennego	188
7.2.2.	Liniowe silniki prądu przemiennego	193
7.2.3.	Sterowanie częstotliwościowe	198
7.3.	Cyfrowe układy napędowe	200
7.3.1.	Cechy napędów cyfrowych	200
7.3.2.	Przykłady cyfrowych układów napędowych	202
8.	UKŁADY SENSORYCZNE	207
8.1.	Wprowadzenie	207
8.2.	Układy pomiarowe położenia i przemieszczenia	208
8.2.1.	Enkoder inkrementalny	210
8.2.2.	Liniały optoelektroniczne inkrementalne	212
8.2.3.	Selsyn przelicznikowy (rezolwer)	216
8.2.4.	Induktosyn liniowy i obrotowy	217
8.2.5.	Tarcze i liniały kodowe	219
8.2.6.	Interferometr laserowy	221
8.3.	Układy pomiarowe prędkości	223
8.4.	Układy sensoryczne zmysłu dotyku	223
8.4.1.	Czujniki stykowe	224
8.4.2.	Czujniki dotykowe	225
8.4.3.	Sondy pomiarowe	225
8.4.4.	Czujniki sił i naprężeń	229
8.5.	Układy sensoryczne zmysłu wzroku	233
8.6.	Układy kodowania palet i narzędzi	235

CZĘŚĆ III. STEROWANIE OBRABIAREK I SYSTEMÓW OBRABIAREK

9.	PODSTAWY STEROWANIA AUTOMATYCZNEGO OBRABIAREK	241
9.1.	Podział układów sterowania obrabiarek	241
9.2.	Programowalne sterowniki logiczne PLC	248
9.3.	Układy sterowania adaptacyjnego AC	254

10.	STEROWANIE NUMERYCZNE	259
10.1.	Podstawy sterowania numerycznego	259
10.1.1.	Struktura funkcjonalna układów sterowania numerycznego	259
10.1.2.	Interpolator	261
10.1.3.	Sterownik położenia napędu	267
10.2.	Sterowanie komputerowe obrabiarek	268
10.2.1.	Wprowadzenie	268
10.2.1.1.	Dedykowane układy sterowania CNC	268
10.2.1.2.	Otwarte układy sterowania CNC	270
10.2.2.	Struktura sprzętowa układów komputerowych CNC	271
10.2.3.	Oprogramowanie systemowe układów komputerowych CNC	277
10.3.	Podstawy programowania układów sterowania numerycznego	283
10.3.1.	Programowanie wg instrukcji ISO	285
10.3.2.	Programowanie interaktywne	291
10.4.	Podsumowanie	293
11.	BEZPOŚREDNIE I ROZPROSZONE STEROWANIE NUMERYCZNE DNC	297
11.1.	Wprowadzenie do sterowania DNC	297
11.2.	Architektura systemów sterowania produkcją	299
11.3.	Topologia komputerowych sieci przemysłowych	306
11.4.	Technologie transmisji danych	309
11.4.1.	Technologie DNC	310
11.4.2.	Technologie ProfiBus	313
11.5.	Podsumowanie	317

CZĘŚĆ IV. PRZEGLĄD GRUP OBRABIAREK

12.	FREZARKI I FREZARSKIE CENTRA OBRÓBKOWE	323
12.1.	Tendencje rozwojowe w budowie obrabiarek do części korpusowych	324
12.2.	Klasyfikacja frezarek i centrów frezarskich	327
12.3.	Trzy- i czteroosiowe frezarki i centra frezarskie oraz ich cechy użytkowe	328
12.3.1.	Magazyny narzędziowe, wymiana i kodowanie narzędzi	334
12.3.2.	Centra obróbkowe spaletyzowane	341
12.3.3.	Przeгляд wybranych rozwiązań frezarek i centrów frezarskich	343
12.4.	Pięcioosiowe frezarki i centra frezarskie	347
12.5.	Obrabiarki do obróbki szybkościowej — HSC	352
12.6.	Centra frezarskie do obróbki z pręta	356
12.7.	Frezarki do stosowania w produkcji wielkoseryjnej i masowej	358
12.8.	Frezarki o zamkniętych strukturach kinematycznych	359
13.	TOKARKI I CENTRA TOKARSKIE	369
13.1.	Tendencje rozwojowe w budowie tokarek	370
13.2.	Klasyfikacja tokarek i centrów tokarskich	371
13.3.	Możliwości technologiczne tokarek i centrów tokarskich	373
13.4.	Tokarki poziome uchwyty i kłowe	380
13.4.1.	Modułowa budowa tokarek	380
13.4.2.	Układy strukturalne i charakterystyka tokarek uchwytych i kłowo-uchwytych	382

13.4.3.	Uchwytowe tokarki czołowe	389
13.5.	Centra obróbkowe tokarskie	390
13.6.	Tokarki pionowe	391
13.7.	Tokarki do obróbki z pręta (automaty tokarskie)	396
13.8.	Tokarki do toczenia na twardo	400
14.	SZLIFIERKI	405
14.1.	Wprowadzenie	405
14.2.	Rozwój technologii szlifowania	406
14.3.	Tendencje rozwojowe w budowie szlifierek	409
14.3.1.	Klasyfikacja szlifierek	409
14.3.2.	Techniczne rozwiązania w budowie współczesnych szlifierek	409
14.3.3.	Układy sterowania numerycznego szlifierek	412
14.3.4.	Układy kontroli wymiarowo-jakościowej przedmiotu	416
14.3.5.	Układy dynamicznego wyważania ściernicy	419
14.3.6.	Modułowa budowa szlifierek	420
14.4.	Szlifyerki do zewnętrznego i wewnętrznego szlifowania walcowego	421
14.5.	Szlifyerki do płaszczyszyn	425
15.	OBRABIARKI REALIZUJĄCE HYBRYDOWE TECHNOLOGIE WYTWARZANIA	429
15.1.	Wprowadzenie	429
15.2.	Obrabiarki do obróbki hybrydowej ze wspomaganie laserowym	430
15.2.1.	Wspomaganie procesu skrawania wiązką laserową	430
15.2.2.	Laserowe drążenie	431
15.2.3.	Laserowe cięcie i wykrawanie	434
15.2.4.	Laserowe strukturyzowanie i hartowanie powierzchni	435
15.3.	Obrabiarki do obróbki hybrydowej ze wspomaganie ultradźwiękowym	437
15.4.	Obrabiarki do obróbki hybrydowej łączące elektrodrążenie z frezowaniem lub szlifowaniem	438

CZĘŚĆ V. ELASTYCZNE STACJE I SYSTEMY OBRÓBKOWE

16.	ELASTYCZNE STACJE I SYSTEMY OBRÓBKOWE	443
16.1.	Wprowadzenie do elastycznej automatyzacji wytwarzania	443
16.2.	Ekonomiczne efekty automatyzacji wytwarzania	446
16.3.	Środki elastycznej automatyzacji wytwarzania	449
16.3.1.	Autonomiczne stacje i gniazda obróbkowe (ASO)	450
16.3.2.	Elastyczne systemy wytwarzania	453
16.4.	Podsumowanie	456

CZĘŚĆ VI. WYBRANE ZAGADNIENIA EKSPLOATACJI OBRABIAREK

17.	DIAGNOSTYKA, NADZOROWANIE I BADANIA OBRABIAREK	461
17.1.	Ogólna charakterystyka metod diagnostyki technicznej	461
17.1.1.	Podstawowe określenia i terminologia	461

17.1.2.	Metody diagnostyki technicznej	463
17.1.3.	Zadania układów nadzorowania i diagnostyki w obrabiarkach	463
17.2.	Nadzorowanie i diagnostyka obrabiarek	466
17.2.1.	Znaczenie i zadania nadzorowania i diagnostyki obrabiarek	466
17.2.2.	Nadzorowanie poprawności działania	468
17.2.3.	Diagnostyka stanu technicznego zespołów i elementów obrabiarek	469
17.2.3.1.	Badania dokładności geometrycznej obrabiarek	470
17.2.3.2.	Badania dokładności obrabiarek CNC szybkim testem QC-10	472
17.2.3.3.	Badanie dokładności pozycjonowania obrabiarek sterowanych numerycznie	476
17.2.3.4.	Badania dokładności frezarek 5-osiowych	481
17.2.3.5.	Diagnostyka stanu łożysk tocznych	483
17.2.3.6.	Telediagnostyka obrabiarek	484
17.3.	Nadzorowanie narzędzi	487
17.3.1.	Informacje wstępne	487
17.3.2.	Bezpośrednie metody nadzorowania stanu ostrza	489
17.3.3.	Pośrednie metody nadzorowania stanu ostrza	490
17.4.	Nadzorowanie i diagnostyka procesu obróbki	493
17.5.	Nadzorowanie dokładności przedmiotów obrabianych	494
18.	MODERNIZACJA OBRABIAREK	497
18.1.	Przesłanki modernizacji obrabiarek	497
18.2.	Techniczno-ekonomiczne warunki modernizacji	499
18.2.1.	Modernizacja obrabiarek konwencjonalnych	500
18.2.2.	Modernizacja obrabiarek sterowanych numerycznie	501
18.3.	Normy bezpieczeństwa a modernizacja obrabiarek	503
19.	METODYKA DOBORU OBRABIAREK	507
19.1.	Wprowadzenie	507
19.2.	Zdefiniowanie minimalnych wymogów i wybór wstępny	508
19.3.	Dobór obrabiarek metodą punktacji wagowej	510
19.3.1.	Podstawy metody	510
19.3.2.	Przykład zastosowania metody punktacji wagowej do doboru tokarki	511
19.4.	Dobór obrabiarek metodą wnioskowania rozmytego	515
19.4.1.	Podstawy wnioskowania rozmytego	515
19.4.2.	Idea doboru obrabiarek metodą wnioskowania rozmytego	517
19.5.	Dobór obrabiarek za pomocą systemu ekspertowego	519
LITERATURA	523