

Spis treści

Wykaz akronimów	IX
1. Wstęp	1
2. CNC-komputerowe sterowanie numeryczne	5
2.1. Definicja i cechy układu sterowania CNC	5
2.2. Budowa i funkcje układu CNC	7
2.3. Sposoby wprowadzania danych/programu sterującego do układu CNC	9
2.4. Wykorzystanie informacji z sygnałów generowanych przez sensory	10
Literatura	13
3. Metody programowania obrabiarek CNC	15
3.1. Definicja i klasyfikacja metod programowania	15
3.2. Programowanie ręczne i wspomagane komputerowo	19
3.3. Programowanie CNC Manual	22
3.4. Programowanie automatyczne (maszynowe)	25
3.5. Programowanie zorientowane warsztatowo (WOP)	27
3.6. Programowanie interaktywne (w systemie CAD/CAM)	28
3.7. Programowanie wspomagane sztuczną inteligencją	31
Literatura	34
4. Rodzaje układów sterowania obrabiarek CNC	35
4.1. Sterowanie punktowe	35
4.2. Sterowanie odcinkowe	36
4.3. Sterowanie kształtowe (ciągłe)	37
4.4. Sterowanie wirtualne i inteligentne	40
Literatura	44

VI Spis treści

5. Wyposażenie obrabiarek i systemów obróbkowych sterowanych numerycznie	46
5.1. Wyposażenie tokarek i centrów tokarskich	46
5.1.1. Ustalanie i mocowanie przedmiotów obrabianych	46
5.1.2. Mocowanie narzędzi	48
5.1.3. Systemy narzędziowe do centrów tokarskich	51
5.2. Wyposażenie frezarsko-wytaczarskich centrów obróbkowych	56
5.2.1. Elementy mocujące narzędzia	56
5.2.2. Narzędzia	57
5.2.3. Elementy ustalające i mocujące przedmiot obrabiany na frezarkach i centrach obróbkowych CNC	60
5.3. Narzędzia do obróbki form i matryc	65
5.4. Narzędzia wielofunkcyjne do obróbki kompletnej	69
5.5. Wyposażenie obrabiarek hybrydowych	71
5.5.1. Głowice laserowe	72
5.5.2. Moduły kształtowania laserowego	73
Literatura	76
6. Zasady programowania obróbki na obrabiarkach CNC	79
6.1. Struktura programów sterujących	79
6.1.1. Struktura budowy programu NC	80
6.1.2. Definicje słów programu sterującego	81
6.2. Układy współrzędnych maszyny i przedmiotu obrabianego	87
Literatura	90
7. Programowanie układów CNC	91
7.1. Technika pomiarowa w obrabiarkach CNC	91
7.1.1. Pomiar, ustawianie i zapamiętywanie wymiarów narzędzi	91
7.1.2. Zasady pomiarów za pomocą sondy pomiarowej	95
7.1.3. Programowanie i symulacja pracy sondy pomiarowej	97
7.2. Programowanie obszaru bezpiecznego	98
7.3. Cykle ustalone	99
7.4. Korekcja narzędzia	104
7.4.1. Korekcja narzędzia tokarskiego	106
7.4.2. Korekcja narzędzia frezarskiego	107
7.5. Podprogramy	110
7.6. Programowanie parametryczne	113
7.6.1. Edycja instrukcji parametrycznych	116
7.6.2. Tworzenie sparametryzowanego programu dla nowej części	118
Literatura	120
8. Techniki wspomagania programowania obrabiarek CNC	121
8.1. Zastosowanie symulacji i wizualizacji	121
8.2. Zastosowanie technik wirtualnej rzeczywistości (VR)	124
8.3. Zastosowanie inżynierii odwrotnej	129
8.4. Zastosowanie symulacji numerycznej procesu obróbki metodą MES/FEM	131

8.5. Zastosowanie uczenia maszynowego (ML) oraz sztucznej inteligencji (AI)	135
8.5.1. Uczenie maszynowe (ML) i głębokie uczenie maszynowe (DML)	136
8.5.2. Wirtualne modelowanie systemu obróbkowego z użyciem cyfrowego bliźniaka (DT)	140
Literatura	144
9. Zastosowanie sensorów i współrzędnościowych systemów pomiarowych	147
9.1. Stykowe i bezstykowe głowice pomiarowe	147
9.2. Zasady integracji z układem sterowania CNC	149
9.3. Sensory w obrabiarkach CNC	152
9.4. Monitorowanie i diagnostyka	154
9.5. Struktura i funkcje inteligentnej obrabiarki	157
Literatura	161
10. Interaktywny system programowania Mastercam 2024	163
10.1. Ogólna charakterystyka programu	163
10.2. Struktura programu i wybrane funkcje obróbkowe	166
10.3. Zasady definiowania środowiska projektu CAM	173
10.4. Przykłady programowania operacji toczenia	178
10.5. Przykłady programowania operacji frezowania	223
Literatura	274
11. Interaktywny system programowania EDGECAM	275
11.1. Ogólna charakterystyka programu	275
11.2. Struktura programu i dostępne funkcje obróbkowe	276
11.3. Zasady definiowania geometrii obrabianego przedmiotu	279
11.4. Przykłady programowania operacji frezowania	280
11.4.1. Wykorzystanie geometrii 2D	280
11.4.2. Wykorzystanie geometrii 3D	285
11.5. Przykłady programowania operacji toczenia	288
11.6. Przykłady i weryfikacja programowania obróbki na tokarce z wrzecionem przechwytyującym z możliwością toczenia i frezowania	291
Literatura	294
12. Programowanie obróbki wieloosiowej i wielofunkcyjnej	296
12.1. Zasady programowania obróbki 5-osiowej	296
12.2. Programowanie obróbki symultanicznej	302
12.3. Przykłady zastosowania typowych rozwiązań	308
12.4. Programowanie wieloosiowych/wielofunkcyjnych centrów frezarsko-tokarskich	314
Literatura	323
13. Programowanie obróbki hybrydowej	325
13.1. Obróbka wspomagana laserem (LAM)	325
13.2. Kształtowanie przyrostowo-ubytkowe (AM +SM)	327
13.2.1. Programowanie kształtowania przyrostowo-ubytkowego z użyciem techniki SLM/DED	327

VIII Spis treści

13.2.2. Programowanie kształtowania przyrostowego z użyciem techniki PBF	331
13.2.3. Naprawy części wybrakowanych i regeneracja części zużytych	332
13.3. Programowanie z użyciem interfejsu STEP-NC	335
13.4. Sekwencyjna obróbka ubytkowa i nagniatanie (SM+B)	337
13.5. Przykład programowania obróbki hybrydowej (AM+SM) w module APlus programu Mastercam	338
Literatura	350
14. Programowanie obróbki niekonwencjonalnej	351
14.1. Ogólna charakterystyka metod i programowania obróbki	351
14.2. Struktura programów i wybrane funkcje obróbkowe	355
14.3. Zasady definiowania środowiska projektu CAM	358
14.4. Przykłady programowania operacji EDM w programie Mastercam	363
14.5. Przykłady programowania operacji EDM w programie EDGE CAM	368
Literatura	373
15. Kierunki rozwoju programowania obrabiarek CNC	375
15.1. Automatyzacja i optymalizacja programowania obróbki CNC	375
15.2. Symulacja procesu w czasie rzeczywistym	383
15.3. Automatyzacja projektowania procesu wiercenia i frezowania oparta na rozpoznawaniu cech przedmiotu	385
15.4. Rozwój oprogramowania do wirtualnego sterowania cyfrowego	389
15.5. Rozwój i zastosowania interfejsu STEP-NC	391
15.6. Programowanie inteligentnych obrabiarek	394
Literatura	398