

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

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 przechwytyjącym 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
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