

Inhaltsverzeichnis

Tabellenübersicht	17
Videoübersicht	18
Teil 1 Einführung in die CNC-Technik	19
1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung	21
1.1 Erste Nachkriegsjahre	21
1.2 Wiederaufbau der Werkzeugmaschinenindustrie	22
1.3 Die Werkzeugmaschinenindustrie in Ostdeutschland	22
1.4 Weltweite Veränderungen	24
1.5 Weiterentwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie	24
1.6 Der japanische Einfluss	27
1.7 Die deutsche Krise	27
1.8 Ursachen und Auswirkungen	28
1.9 Flexible Fertigungssysteme	29
1.10 Weltwirtschaftskrise 2009	30
1.11 Situation und Ausblick	33
1.12 Fazit	34
2 Meilensteine der NC-Entwicklung	37
3 Was ist NC und CNC?	41
3.1 Der Weg zu NC	41
3.2 Hardware	42
3.3 Software	43
3.4 Steuerungsarten	44
3.5 NC-Achsen	46
3.6 SPS, PLC	49
3.7 Anpassteil	49
3.8 Computer und NC	50
3.9 NC-Programm und Programmierung	52
3.10 Dateneingabe	55
3.11 Bedienung	55
3.12 Programmierung	57
3.13 Zusammenfassung	59
Teil 2 Funktionen der CNC	65
1 Weginformationen, Wegmessung	67
1.1 Einführung	67
1.2 Achsbezeichnung	67
1.3 Lageregelkreis	70
1.4 Positionsmessung	73

1.5	Einfache Diagnose von Messgeräten	86
1.6	Kompensationen	88
2	Schaltfunktionen	103
2.1	Erläuterungen	103
2.2	Werkzeugwechsel	104
2.3	Werkzeugwechsel bei Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren	104
2.4	Werkzeugwechsel bei Drehmaschinen	108
2.5	Werkzeugplatzcodierung	108
2.6	Werkstückwechsel	109
2.7	Drehzahlwechsel	113
2.8	Vorschubgeschwindigkeit	113
2.9	Zusammenfassung	114
3	Betriebsfunktionen	117
3.1	Definition	117
3.2	CNC-Grundfunktionen	117
3.3	CNC-Sonderfunktionen	123
3.4	Kollisionsvermeidung	127
3.5	Integrierte Sicherheitskonzepte für CNC-Maschinen	136
3.6	Zustandsüberwachung und Maschinendatenerfassung	158
3.7	Anzeigen in CNCs	163
3.8	Touch-Bedienung der CNC	166
3.9	CNC-Bedienoberflächen ergänzen	167
3.10	Elektronische Schüsselsysteme für die sichere Betriebsartenwahl	171
3.11	Offene Steuerungen	173
3.12	Einsatz von OPC UA in der CNC-Werkzeugmaschine	176
3.13	Preisbetrachtung	178
3.14	Vorteile neuester CNC-Entwicklungen	180
3.15	Zusammenfassung	181
4	SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen	185
4.1	Definition	185
4.2	Entstehungsgeschichte der SPS	185
4.3	Aufbau und Wirkungsweise der SPS und SPS-Module	186
4.4	Datenbus und Feldbus	189
4.5	Vorteile von SPS	194
4.6	Programmierung von SPS und Dokumentation	194
4.7	Programm	197
4.8	Programmspeicher	198
4.9	SPS, CNC und PC im integrierten Betrieb	199
4.10	SPS-Auswahlkriterien	200
4.11	Zusammenfassung	202
4.12	Tabellarischer Vergleich CNC/SPS	202
5	Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine	207
5.1	Maschinenkonfiguration	207
5.2	Maschinengestelle	209
5.3	Führungen	210

5.4	Maschinenverkleidung	212
5.5	Kühlmittelversorgung	213
5.6	Späneabfuhr	213
5.7	Zusammenfassung	213
Teil 3 Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen		215
1	Antriebsregelung für CNC-Werkzeugmaschinen	217
1.1	Definition	217
1.2	Achsmechanik	218
1.3	Analoge Regelung	219
1.4	Analoge vs. Digitale Regelung	220
1.5	Digitale intelligente Antriebstechnik	221
1.6	Reglertypen und Regelverhalten	223
1.7	Kreisverstärkung und K_V -Faktor	225
1.8	Vorsteuerung	226
1.9	Frequenzumrichter	226
1.10	Zusammenfassung	231
2	Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	235
2.1	Anforderungen an Vorschubantriebe	236
2.2	Arten von Vorschubantrieben	237
2.3	Die Arten von Linearmotoren	243
2.4	Vor-/Nachteile von Linearantrieben	245
2.5	Anbindung der Antriebe an die CNC	246
2.6	Messgeber	248
2.7	Zusammenfassung	249
3	Hauptspindelantriebe	253
3.1	Anforderungen an Hauptspindelantriebe	253
3.2	Arten von Hauptspindelantrieben	254
3.3	Bauformen von Hauptspindelantrieben	255
3.4	Ausführungen von Drehstrom-Synchronmotoren	258
3.5	Vor- und Nachteile von Synchronmotoren	258
4	Dimensionierung von Antrieben für Werkzeugmaschinen	261
4.1	Vorgehensweise	261
4.2	Dimensionierung von Hauptspindelantrieben	266
4.3	Zusammenfassung	268
5	Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter	271
5.1	Motorenauswahl	271
5.2	Lagerung	272
5.3	Schmierung	273
5.4	Bearbeitungsprozesse	273
5.5	Anforderungen an die Hauptspindel bezüglich Industrie 4.0	278

Teil 4	Numerisch gesteuerte Maschinen und Fertigungssysteme	283
1	CNC-Werkzeugmaschinen	285
1.1	Bearbeitungszentren, Fräsmaschinen	285
1.2	Drehmaschinen	298
1.3	Schleifmaschinen	305
1.4	Verzahnmaschinen	314
1.5	Bohrmaschinen	322
1.6	Sägemaschinen	324
1.7	Laserbearbeitungsanlagen	326
1.8	Stanz- und Nibbelmaschinen	333
1.9	Rohrbiegemaschinen	338
1.10	Funkenerosions-maschinen	339
1.11	Elektronenstrahl-Maschinen	342
1.12	Wasserstrahlschneidmaschinen	344
1.13	Multitasking-Maschinen	346
1.14	Messen und Prüfen	358
1.15	Zusammenfassung	362
2	Additive Fertigungsverfahren	367
2.1	Einführung	367
2.2	Definition	368
2.3	Verfahrenskette	370
2.4	Einteilung der generativen Fertigungsverfahren	374
2.5	Die wichtigsten Schichtbauverfahren	375
2.6	Vorteile der Additiven Fertigungsverfahren	385
2.7	Anwendungen	388
2.8	Neuere Verfahren	388
2.9	Arbeits-Vorbereitung	391
2.10	Einbindung in die Fertigung	392
2.11	Zusammenfassung	393
3	Flexible Fertigungssysteme	395
3.1	Definition	395
3.2	Flexible Fertigungszellen	398
3.3	Flexible Fertigungssysteme	398
3.4	Technische Kennzeichen von FFS	405
3.5	FFS-Einsatzkriterien	406
3.6	Fertigungsprinzipien	408
3.7	Maschinenauswahl und -anordnung	410
3.8	Werkstücktransportsysteme	411
3.9	FFS-Anforderungen an CNCs	419
3.10	FFS-Leitrechner	420
3.11	Wirtschaftliche Vorteile von FFS	422
3.12	Probleme und Risiken bei der Auslegung von FFS	423
3.13	Flexibilität und Komplexität	425
3.14	Simulation von FFS	428
3.15	Produktionsplanungssysteme (PPS)	432

3.16	Planung flexibler Fertigungssysteme	433
3.17	Zusammenfassung	435
4	Industrieroboter und Handhabung	439
4.1	Einführung	439
4.2	Definition: Was ist ein Industrieroboter?	440
4.3	Aufbau von Industrierobotern	440
4.4	Mechanik/Kinematik	442
4.5	Greifer oder Effektor	442
4.6	Steuerung	444
4.7	Safe Robot Technologie	447
4.8	Programmierung	449
4.9	Sensoren	451
4.10	Anwendungsbeispiele von Industrierobotern	452
4.11	Anbindung von Robotern an Werkzeugmaschinen	454
4.12	Roboter mit CNC-Anforderungen	456
4.13	Einsatzkriterien für Industrieroboter	456
4.14	Zusammenfassung und Ausblick	458
5	Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung	461
5.1	Einführung	461
5.2	Was ist Energieeffizienz?	461
5.3	Werkhallen	461
5.4	Maschinenpark	462
5.5	Sonderfall Bearbeitungszentren	462
5.6	Energieeffiziente NC-Programme	463
5.7	Möglichkeiten der Maschinenhersteller	464
5.8	Möglichkeiten der Anwender	465
5.9	Blindstrom-Kompensation	467
5.10	Zusammenfassung	469
5.11	Ausblick	469
Teil 5	Werkzeuge in der CNC-Fertigung	471
1	Aufbau der Werkzeuge	473
1.1	Einführung	473
1.2	Anforderungen	473
1.3	Gliederung der Werkzeuge	476
1.4	Maschinenseitige Aufnahmen	481
1.5	Modulare Werkzeugsysteme	485
1.6	Einstellbare Werkzeuge	486
1.7	Gewindefräsen	490
1.8	Sonderwerkzeuge	492
1.9	Werkzeugwahl	499
2	Werkzeugverwaltung (Tool Management)	501
2.1	Motive zur Einführung	501
2.2	Evaluation einer Werkzeugverwaltung	502

2.3	Lastenheft	503
2.4	Beurteilung von Lösungen	504
2.5	Einführung einer Werkzeugverwaltung	504
2.6	Gliederung	504
2.7	Integration	505
2.8	Werkzeugidentifikation	505
2.9	Werkzeuge suchen	506
2.10	Werkzeugklassifikation	507
2.11	Werkzeugkomponenten	508
2.12	Komplettwerkzeuge	510
2.13	Werkzeuglisten	511
2.14	Arbeitsgänge	512
2.15	Werkzeu gvoreinstellung	512
2.16	Werkzeuglogistik	514
2.17	Elektronische Werkzeugidentifikation	518
2.18	Zusammenfassung	526
3	Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung	529
3.1	Einführung	529
3.2	Ansatzpunkte für die Prozessregelung	529
3.3	Einsatzbereiche von Werkstück- und Werkzeugmesssystemen	530
3.4	Werkstückmesssysteme für Werkzeugmaschinen	536
4	Maschinenintegrierte Werkstückmessung in der Serienfertigung	545
4.1	Einführung	545
4.2	Bohrungsmessköpfe für kürzeste Messzeiten bei der Bohrungsherstellung	546
4.3	Rauheitsmessgeräte für die automatisierte Prüfung von Oberflächen	547
4.4	DIGILOG-Messtaster für digitale und analoge Messwerterfassung	548
4.5	Höchste Produktivität durch simultanes Messen	550
4.6	Zusammenfassung	550
5	Lasergestützte Werkzeugüberwachung	553
5.1	Einführung	553
5.2	Bruchüberwachung	554
5.3	Einzelschneidenkontrolle	554
5.4	Werkzeugmessung	555
5.5	Messung von HSC-Werkzeugen	555
5.6	Kombinierte Lasermesssysteme	556
5.7	Zusammenfassung	557
Teil 6	NC-Programm und Programmierung	559
1	NC-Programm	561
1.1	Definitionen	561
1.2	Struktur der NC-Programme	562
1.3	Programmaufbau, Syntax und Semantik	563
1.4	Schaltbefehle (M-Funktionen)	564
1.5	Weginformationen	566

1.6	Wegbedingungen (G-Funktionen)	567
1.7	Zyklen	570
1.8	Nullpunkte und Bezugspunkte	571
1.9	Transformationen	588
1.10	Werkzeugkorrekturen	592
1.11	DXF-Konverter	594
1.12	CNC-Hochsprachenprogrammierung	600
1.13	Zusammenfassung	603
2	Programmierung von CNC-Maschinen	607
2.1	Definition der NC-Programmierung	607
2.2	Programmiermethoden	607
2.3	CAM-basierte CNC-Zerspanungsstrategien	614
2.4	Arbeitserleichternde Grafiken	623
2.6	Auswahl des geeigneten Programmiersystems	625
2.7	Zusammenfassung	626
3	NC-Programmiersysteme	629
3.1	Einleitung	629
3.2	Bearbeitungsverfahren im Wandel	630
3.3	Der Einsatzbereich setzt die Prioritäten	631
3.4	Eingabedaten aus unterschiedlichen Quellen	633
3.5	Leistungsumfang eines modernen NC-Programmiersystems (CAM)	633
3.6	Datenmodelle auf hohem Niveau	633
3.7	CAM-orientierte Geometrie-Manipulation	634
3.8	Nur leistungsfähige Bearbeitungsstrategien zählen	635
3.9	Adaptives Bearbeiten	636
3.10	3D-Modelle bieten mehr	636
3.11	3D-Schnittstellen	637
3.12	Innovativ mit Feature-Technik	637
3.13	Automatisierung in der NC-Programmierung	638
3.14	Werkzeuge	641
3.15	Aufspannplanung und Definition der Reihenfolge	642
3.16	Die Simulation bringt es auf den Punkt	642
3.17	Postprozessor	643
3.18	Erzeugte Daten und Schnittstellen zu den Werkzeugmaschinen	644
3.19	Zusammenfassung	644
4	Fertigungssimulation	647
4.1	Einleitung	647
4.2	Qualitative Abgrenzung der Systeme	648
4.3	Komponenten eines Simulationsszenarios	651
4.4	Ablauf der NC-Simulation	654
4.5	Integrierte Simulationssysteme	656
4.6	Einsatzfelder	656
4.7	Zusammenfassung	661

Teil 7	Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0	665
1	DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control	667
1.1	Definition	667
1.2	Aufgaben von DNC	667
1.3	Einsatzkriterien für DNC-Systeme	668
1.4	Datenkommunikation mit CNC-Steuerungen	669
1.5	Technik des Programmanforderns	670
1.6	Heute angebotene DNC-Systeme	671
1.7	Netzwerktechnik für DNC	672
1.8	Vorteile beim Einsatz von Netzwerken	675
1.9	NC-Programmverwaltung	675
1.10	Vorteile des DNC-Betriebes	679
1.11	Kosten und Wirtschaftlichkeit von DNC	679
1.12	Stand und Tendenzen	680
1.13	Zusammenfassung	680
2	LAN – Local Area Networks	683
2.1	Einleitung	683
2.2	Local Area Network (LAN)	683
2.3	Was sind Informationen?	683
2.4	Kennzeichen und Merkmale von LAN	686
2.5	Gateway und Bridge	693
2.6	Auswahlkriterien eines geeigneten LANs	694
2.7	Schnittstellen	694
2.8	Zusammenfassung	697
3	Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM	701
3.1	Einleitung	701
3.2	Begriffe und Geschichte	702
3.3	Digitale Produktentwicklung	707
3.4	Digitale Fertigung	711
3.5	Zusammenfassung	716
4	Industrie 4.0	719
4.1	Grundlagen	719
4.2	Kernelemente der Industrie 4.0	723
4.3	Industrie 4.0 in der Fertigung	730
4.4	Ein MES als Baustein der Industrie 4.0	732
4.5	Herausforderungen und Risiken von Industrie 4.0	734
5	Der Weg zur Digitalisierung in der CNC-Werkzeugmaschinen-Branche	737
5.1	Auswirkungen der gesellschaftlichen Veränderungen	737
5.2	Digitalisierung der Prozesse in der CNC-Fertigung	739
5.3	Der Digitale Zwilling einer Werkzeugmaschine	748
5.4	Sensorik für CNC-Maschinen als Voraussetzung für I4.0	752

6	Industrie 4.0 im mittelständischen Fertigungsbetrieb	759
6.1	Voraussetzung für Industrie 4.0	759
6.2	Nutzen von Industrie 4.0	761
6.3	Cyber-Physical-Systems (CPS), das „Internet der Dinge“	761
6.4	Sechzehn Fallbeispiele zu Industrie 4.0	761
6.5	Ein Arbeitstag mit Industrie 4.0	767
6.6	Zusammenfassung	768
Teil 8	Anhang	771
	Richtlinien, Normen, Empfehlungen	773
	1. VDI-Richtlinien	773
	2. VDI/NCG-Richtlinien	775
	3. DIN – Deutsche Industrie Normen	777
	NC-Fachwortverzeichnis	781
	Abkürzungsverzeichnis	827
	Stichwortverzeichnis	829
	Empfohlene NC-Literatur	839
	Inserentenverzeichnis	842