

Leseprobe

Hans B. Kief, Helmut A. Roschiwal, Karsten Schwarz

CNC-Handbuch 2015/2016

CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen,
CNC-Roboter, Antriebe, Energieeffizienz, Werkzeuge, Industrie 4.0,
Fertigungstechnik, Richtlinien, Normen, Simulation, Fachwortverzeichnis

ISBN (Buch): 978-3-446-44090-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-44356-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44090-6>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenübersicht	14
Teil 1 Einführung in die CNC-Technik	17
1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung	19
1.1 Erste Nachkriegsjahre	19
1.2 Wiederaufbau der Werkzeugmaschinenindustrie	20
1.3 Die Werkzeugmaschinenindustrie in Ostdeutschland	20
1.4 Weltweite Veränderungen	22
1.5 Neue, typische NC-Maschinen	25
1.6 Der japanische Einfluss	25
1.7 Die deutsche Krise	26
1.8 Ursachen und Auswirkungen	26
1.9 Flexible Fertigungssysteme	27
1.10 Weltwirtschaftskrise 2009	28
1.11 Situation und Ausblick	29
1.12 Fazit	31
2 Meilensteine der NC-Entwicklung	33
3 Was ist NC und CNC?	37
3.1 Der Weg zu NC	37
3.2 Hardware	38
3.3 Software	40
3.4 Steuerungsarten	40
3.5 NC-Achsen	42
3.6 SPS, PLC	43
3.7 Anpassteil	45
3.8 Computer und NC	45
3.9 NC-Programm und Programmierung	47
3.10 Dateneingabe	50
3.11 Bedienung	51
3.12 Zusammenfassung	54
Teil 2 Funktionen der CNC-Werkzeugmaschinen	59
1 Weginformationen	61
1.1 Einführung	61
1.2 Achsbezeichnung	61
1.3 Lageregelkreis	64
1.4 Positionsmessung	67
1.5 Kompensationen	81

2	Schaltfunktionen	94
2.1	Erläuterungen	94
2.2	Werkzeugwechsel	95
2.3	Werkzeugwechsel bei Drehmaschinen	95
2.4	Werkzeugwechsel bei Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren	96
2.5	Werkzeugidentifikation	100
2.6	Werkstückwechsel	101
2.7	Drehzahlwechsel	105
2.8	Vorschubgeschwindigkeit	106
2.9	Zusammenfassung	106
3	Funktionen der numerischen Steuerung	111
3.1	Definition	111
3.2	CNC-Grundfunktionen	111
3.3	CNC-Sonderfunktionen	117
3.4	Kollisionsvermeidung	121
3.5	Integrierte Sicherheitskonzepte für CNC-Maschinen	128
3.6	Anzeigen in CNCs	144
3.7	CNC-Bedienoberflächen ergänzen	145
3.8	Offene Steuerungen	148
3.9	Preisbetrachtung	151
3.10	Vorteile neuester CNC-Entwicklungen	153
3.11	Zusammenfassung	154
4	SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen	159
4.1	Definition	159
4.2	Entstehungsgeschichte der SPS	159
4.3	Aufbau und Wirkungsweise von SPS	160
4.4	Datenbus und Feldbus	163
4.5	Vorteile von SPS	168
4.6	Programmierung von SPS und Dokumentation	170
4.7	Programm	172
4.8	Programmspeicher	173
4.9	SPS, CNC und PC im integrierten Betrieb	174
4.10	SPS-Auswahlkriterien	175
4.11	Zusammenfassung	177
4.12	Tabellarischer Vergleich CNC/SPS	177
5	Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine	183
5.1	Maschinenkonfiguration	183
5.2	Maschinengestelle	185
5.3	Führungen	186
5.4	Maschinenverkleidung	188
5.5	Kühlmittelversorgung	189
5.6	Späneabfuhr	189
5.7	Zusammenfassung	189

Teil 3	Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	193
1	Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	195
1.1	Anforderungen an Vorschubantriebe	196
1.2	Arten von Vorschubantrieben	197
1.3	Die Arten von Linearmotoren	204
1.4	Vor-/Nachteile von Linearantrieben	206
1.5	Anbindung der Antriebe an die CNC	206
1.6	Messgeber	209
1.7	Zusammenfassung	210
2	Hauptspindelantriebe	213
2.1	Anforderungen an Hauptspindelantriebe	213
2.2	Arten von Hauptspindelantriebe	214
2.3	Bauformen von Hauptspindelantriebe	216
2.4	Ausführungen von Drehstrom-Synchronmotoren	218
2.5	Vor- und Nachteile von Synchronmotoren	219
3	Prozessadaptierte Auslegung von Werkzeugmaschinenantrieben	221
3.1	Grenzen der Betrachtung	221
3.2	Ausgangspunkt Bearbeitungsprozess	222
3.3	Energiebilanz	224
3.4	Aufbau von Werkzeugmaschinen-Antrieben	225
3.5	Stationäre und dynamische Auslegung von Vorschubantrieben	227
3.6	Linearantriebe	232
3.7	Ableitung der Antriebsauslegung aus Prozesskenngrößen	232
3.8	Universelle/spezifische Auslegung von Maschinen	235
3.9	Auslegung von Vorschubantrieben spanender Werkzeugmaschinen aus Prozessparametern	236
3.10	Systembetrachtung einer Werkzeugmaschine	238
3.11	Zusammenfassung	241
4	Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter	243
4.1	Motorenauswahl	243
4.2	Lagerung	244
4.3	Schmierung	245
4.4	Bearbeitungsprozesse	246
Teil 4	Die Arten von numerisch gesteuerten Maschinen	253
1	CNC-Werkzeugmaschinen	255
1.1	Bearbeitungszentren, Fräsmaschinen	255
1.2	Drehmaschinen	266
1.3	Schleifmaschinen	274
1.4	Verzahnmaschinen	285
1.5	Bohrmaschinen	295

1.6	Sägemaschinen	297
1.7	Laserbearbeitungsanlagen	301
1.8	Stanz- und Nibbelmaschinen	308
1.9	Rohrbiegemaschinen	314
1.10	Funkenerosionsmaschinen	316
1.11	Elektronenstrahl-Maschinen	319
1.12	Wasserstrahlschneidmaschinen	321
1.13	Multitasking-Maschinen	323
1.14	Messen und Prüfen	336
1.15	Zusammenfassung	341
2	Generative Fertigungsverfahren	345
2.1	Einführung	345
2.2	Definition	346
2.3	Verfahrenskette	348
2.2	Einteilung der generativen Fertigungsverfahren	350
2.5	Vorstellung der wichtigsten Schichtbauverfahren	352
2.6	Zusammenfassung	362
3	Flexible Fertigungssysteme	364
3.1	Definition	364
3.2	Flexible Fertigungsinseln	367
3.3	Flexible Fertigungszellen	367
3.4	Technische Kennzeichen Flexibler Fertigungssysteme	370
3.5	FFS-Einsatzkriterien	372
3.6	Fertigungsprinzipien	373
3.7	Maschinenauswahl und -anordnung	375
3.8	Werkstück-Transportsysteme	376
3.9	FFS-geeignete CNCs	386
3.10	FFS-Leitrechner	387
3.11	Wirtschaftliche Vorteile von FFS	389
3.12	Probleme und Risiken bei der Auslegung von FFS	391
3.13	Flexibilität und Komplexität	392
3.14	Simulation von FFS	396
3.15	Produktionsplanungssysteme (PPS)	398
3.16	Zusammenfassung	399
4	Industrieroboter und Handhabung	402
4.1	Einführung	402
4.2	Definition: Was ist ein Industrieroboter?	403
4.3	Aufbau von Industrierobotern	404
4.4	Mechanik/Kinematik	405
4.5	Greifer oder Effektor	407
4.6	Steuerung	407
4.7	Safe Robot Technologie	410
4.8	Programmierung	413

4.9	Sensoren	415
4.10	Anwendungsbeispiele von Industrierobotern	416
4.11	Einsatzkriterien für Industrieroboter	420
4.12	Vergleich Industrieroboter und CNC-Maschine	421
4.13	Zusammenfassung und Ausblick	422
5	Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung	425
5.1	Einführung	425
5.2	Was ist Energieeffizienz?	425
5.3	Werkhallen	425
5.4	Maschinenpark	426
5.5	Sonderfall Bearbeitungszentren	426
5.6	Energieeffiziente NC-Programme	427
5.7	Möglichkeiten der Maschinenhersteller	428
5.8	Möglichkeiten der Anwender	429
5.9	Blindstrom-Kompensation	431
5.10	Zusammenfassung	434
5.11	Ausblick	434
Teil 5	Werkzeuge in der CNC-Fertigung	437
1	Aufbau der Werkzeuge	439
1.1	Einführung	439
1.2	Anforderungen	439
1.3	Gliederung der Werkzeuge	442
1.4	Maschinenseitige Aufnahmen	446
1.5	Modulare Werkzeugsysteme	452
1.6	Einstellbare Werkzeuge	453
1.7	Gewindefräsen	457
1.8	Sonderwerkzeuge	459
1.9	Werkzeugwahl	464
2	Werkzeugverwaltung (Tool Management)	466
2.1	Motive zur Einführung	466
2.2	Evaluation einer Werkzeugverwaltung	468
2.3	Lastenheft	468
2.4	Beurteilung von Lösungen	469
2.5	Einführung einer Werkzeugverwaltung	469
2.6	Gliederung	469
2.7	Integration	470
2.8	Werkzeugidentifikation	470
2.9	Werkzeuge suchen	472
2.10	Werkzeugklassifikation	473
2.11	Werkzeugkomponenten	473
2.12	Komplettwerkzeuge	475
2.13	Werkzeuglisten	477

2.14	Arbeitsgänge	477
2.15	Werkzeuvoreinstellung	478
2.16	Werkzeuglogistik	480
2.17	Elektronische Werkzeugidentifikation	482
2.18	Zusammenfassung	489
3	Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung	495
3.1	Einführung	495
3.2	Ansatzpunkte für die Prozessregelung	495
3.3	Einsatzbereiche von Werkstück- und Werkzeugmesssystemen	496
3.4	Werkstückmesssysteme für Werkzeugmaschinen	501
4	Lasergestützte Werkzeugüberwachung	509
4.1	Einführung	509
4.2	Bruchüberwachung	510
4.3	Einzelschneidenkontrolle	510
4.4	Messung von HSC-Werkzeugen	511
4.5	Kombinierte Laser-Messsysteme	512
4.6	Mit Bohrungsmessköpfen nah am Prozess	513
4.7	Aktorische Werkzeugsysteme	514
4.8	Mechatronische Werkzeugsysteme	514
4.9	Geschlossene Prozesskette	517
4.10	Zusammenfassung	519
Teil 6	NC-Programm und Programmierung	521
1	NC-Programm	523
1.1	Definition	524
1.2	Struktur der NC-Programme	524
1.3	Programmaufbau, Syntax und Semantik	527
1.4	Schaltbefehle (M-Funktionen)	528
1.5	Weginformationen	529
1.6	Wegbedingungen (G-Funktionen)	532
1.7	Zyklen	535
1.8	Nullpunkte und Bezugspunkte	539
1.9	Transformation	544
1.10	Werkzeugkorrekturen	547
1.11	DXF-Konverter	554
1.12	Zusammenfassung	557
2	Programmierung von CNC-Maschinen	559
2.1	Definition der NC-Programmierung	559
2.2	Programmiermethoden	559
2.3	CAM-basierte CNC-Zerspanungsstrategien	567
2.4	Arbeitserleichternde Grafik	573
2.5	Auswahl des geeigneten Programmiersystems	575
2.6	Zusammenfassung	576

3	NC-Programmiersysteme	581
3.1	Einleitung	581
3.2	Bearbeitungsverfahren im Wandel	582
3.3	Der Einsatzbereich setzt die Prioritäten	583
3.4	Eingabedaten aus unterschiedlichen Quellen	585
3.5	Leistungsumfang eines modernen NC-Programmiersystems (CAM)	585
3.6	Datenmodelle auf hohem Niveau	586
3.7	CAM-orientierte Geometrie-Manipulation	586
3.8	Nur leistungsfähige Bearbeitungsstrategien zählen	587
3.9	Adaptives Bearbeiten	588
3.10	3D-Modelle bieten mehr	589
3.11	3D-Schnittstellen	589
3.12	Innovativ mit Feature-Technik	590
3.13	Automatisierung in der NC-Programmierung	591
3.14	Werkzeuge	594
3.15	Aufspannplanung und Definition der Reihenfolge	595
3.16	Die Simulation bringt es auf den Punkt	595
3.17	Postprozessor	596
3.18	Erzeugte Daten und Schnittstellen zu den Werkzeugmaschinen	597
3.19	Zusammenfassung	597
4	Fertigungssimulation	599
4.1	Einleitung	599
4.2	Qualitative Abgrenzung der Systeme	600
4.3	Komponenten eines Simulationsszenarios	603
4.4	Ablauf der NC-Simulation	606
4.5	Integrierte Simulationssysteme	610
4.6	Einsatzfelder	610
4.7	Zusammenfassung	614
Teil 7	Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0	617
1	DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control	619
1.1	Definition	619
1.2	Aufgaben von DNC	619
1.3	Einsatzkriterien für DNC-Systeme	620
1.4	Datenkommunikation mit CNC-Steuerungen	621
1.5	Technik des Programmanforderns	622
1.6	Heute angebotene DNC-Systeme	623
1.7	Netzwerktechnik für DNC	625
1.8	Vorteile beim Einsatz von Netzwerken	627
1.9	NC-Programmverwaltung	627
1.10	Vorteile des DNC-Betriebes	628
1.11	Kosten und Wirtschaftlichkeit von DNC	632

1.12	Stand und Tendenzen	632
1.13	Zusammenfassung	633
2	LAN – Local Area Networks	636
2.1	Einleitung	636
2.2	Local Area Network (LAN)	636
2.3	Was sind Informationen?	637
2.4	Kennzeichen und Merkmale von LAN	638
2.5	Gateway und Bridge	646
2.6	Auswahlkriterien eines geeigneten LANs	647
2.7	Schnittstellen	648
2.8	Zusammenfassung	651
3	Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM ..	656
3.1	Einleitung	656
3.2	Begriffe und Geschichte	657
3.3	Digitale Produktentwicklung	662
3.4	Digitale Fertigung	667
3.5	Zusammenfassung	672
4	Industrie 4.0	675
4.1	Grundlagen	675
4.2	Kernelemente der Industrie 4.0	677
4.3	Industrie 4.0 in der Fertigung	680
4.4	Ein MES als Baustein der Industrie 4.0	680
4.5	Herausforderungen und Risiken von Industrie 4.0	684
5	Anwendung der durchgängigen Prozesskette in der Dentalindustrie	686
5.1	Einleitung	686
5.2	Einfluss des Medizinproduktgesetzes	686
5.3	Dentale Fertigung im Wandel	687
5.4	Anforderungen an den Informationsfluss in der dentalen Fertigung	689
5.5	Das durchgängige Informationssystem für die Dentalindustrie	693
Teil 8	Anhang	697
	Richtlinien, Normen, Empfehlungen	699
	1. VDI-Richtlinien	699
	2. VDI/NCG-Richtlinien	701
	3. DIN – Deutsche Industrie Normen	703
	NC-Fachwortverzeichnis	707
	Stichwortverzeichnis	753
	Empfohlene NC-Literatur	764
	Inserentenverzeichnis	766

Vorwort

In fast 40 Jahren ist das CNC-Handbuch unter dem Gründer und langjährigen Herausgeber Hans B. Kief zu einem Standardwerk für Ausbildung und Praxis mit einem deutlichen Alleinstellungsmerkmal geworden. Stets aktuell gehalten, fühlen wir uns als Verlag und Herausgeber diesem Anspruch weiterhin verpflichtet. Daher begrüßen wir mit großer Freude Herrn Karsten Schwarz, den wir als zusätzlichen Herausgeber und Autor für dieses Buch gewinnen konnten.

Nach erfolgreich absolvierten Studium der Gerätetechnik an der TU Karl-Marx-Stadt, heute Chemnitz, begann er seinen Berufsweg beim renommierten Hersteller von Werkzeugmaschinen Heckert in Chemnitz. Seit 1990 arbeitet er im Bereich der Automatisierungstechnik für Werkzeugmaschinen in verschiedenen Positionen und leitet seit 2007 das Technologie- und ApplikationsCenter im Siemens-Stammhaus in Erlangen.

Dr. Hermann Riedel Helmut A. Roschiwal

Lieber Leser,

das CNC-Handbuch hat seit 1976 die schnelle Entwicklung der NC zur CNC-Steuerung und die Entstehung neuer Technologien begleitet und Neuentwicklungen zeitnah beschrieben. Wir sehen es auch weiterhin als eine interessante Aufgabe, den Lesern sowohl das notwendige Grundwissen verständlich zu vermitteln, als auch einen Gesamtüberblick über das große Gebiet und den aktuellen Stand der digitalen Fertigungstechnik zu geben.

Gegenüber der letzten Auflage enthält die **Ausgabe 2015/2016** eine große Anzahl von neuen und aktualisierten Beiträgen:

- Die Beiträge über Positionsmessung, Kompensationen und Kollisionsvermeidung wurden wesentlich erweitert.
- „Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen“ wurde in Teil 3 zusammengefasst und durch Details zur prozess-spezifischen Auslegung ergänzt.
- Das Kapitel „Arten von CNC-Maschinen“ wurde aktualisiert und durch „Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung“ ergänzt.
- Die Kombination verschiedener Zerspanungstechnologien wird an sechs „Multitasking-Maschinen“ gezeigt.
- „Maschinenintegrierte, prozessnahe Werkstückmessungen und Prozessregelung“ wurde aktualisiert.
- Mit dem Kapitel „Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0“ und einem Anwendungsbeispiel aus der Dentalindustrie wird ein Blick in die Zukunft gewagt.

Unser besonderer Dank gilt allen Autoren für die engagierte Unterstützung bei der Ausarbeitung der neuen Kapitel, sowie für die Aktualisierungen von Text- und Bildmaterial. Auch den Rezensenten sei für ihre Anregungen gedankt, die zur ständigen Verbesserung der Neuauflagen beigetragen haben.

Hans B. Kief

Helmut A. Roschiwal

Karsten Schwarz

3

Funktionen der numerischen Steuerung

Numerische Steuerungen wurden durch die Integration der Rechnertechnik immer kleiner, schneller, leistungsfähiger und bedienungsfreundlicher. Seit der Entwicklung der ersten CNCs ab 1975 kamen ständig neue Funktionen und Aufgaben hinzu, insbesondere mit dem Ziel, den Automatisierungsgrad und die Zuverlässigkeit der CNC-Maschinen zu verbessern. Steuerungen auf Rechnerbasis machen die Maschinen, die sie steuern und die Menschen, die sie nutzen durch umfangreiche Funktionen produktiver.

3.1 Definition

Unter CNC versteht man eine numerische Steuerung, die einen oder mehrere **Mikroprozessoren** für die Ausführung der Steuerungsfunktionen enthält. Äußeres Kennzeichen einer CNC sind der Bildschirm und die Tastatur (*Bild 3.1*). Das Betriebssystem der Steuerung, auch kurz als **CNC-Software** bezeichnet, umfasst alle erforderlichen Funktionen, wie Interpolation, Lage- und Geschwindigkeitsregelung, Anzeigen und Editor, Datenspeicherung und -verarbeitung. Zusätzlich bedarf es eines **Anpassprogrammes** an die zu steuernde Maschine, das der Maschinenhersteller erstellt und in der Anpasssteuerung (SPS) integriert. Darin sind alle maschinenbezogenen Verknüpfungen und Verriegelungen für spezielle Funktionsabläufe festgelegt, wie z. B. für Werkzeugwechsel, Werkstückwechsel und die Achsbegrenzungen.

Die werkstückabhängige Steuerung der Maschinenbewegungen bei der Bearbeitung erfolgt durch die **Teileprogramme**. Diese erstellt der Anwender der Maschine und sie zählen **nicht** zur CNC-Software.

3.2 CNC-Grundfunktionen

Neben der klassischen Aufgabe der numerischen Steuerung, die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück einer Werkzeugmaschine präzise zu steuern, kommen immer neue Aufgaben und Funktionen hinzu. Während einige davon im „Hintergrund“ ablaufen und beispielsweise die Sicherheit überwachen, erfordern andere die Aufmerksamkeit und gelegentliche Eingriffe des Bedieners. Deshalb muss die Steuerung übersichtlich und einfach zu bedienen sein. Denn mit der CNC wurden aus einfachen, zahlenverstehenden Steuerungen komplexe, datenverarbeitende Prozessrechner mit völlig neuen Funktionen. Diese sollen vorgestellt und kurz erläutert werden.

Zu der **Grundausrüstung** einer CNC zählen heute beispielsweise

- ein großer, farbiger **Grafik-Bildschirm** (*Bild 3.1*) für Anzeige, Programmierung, Simulation, Betrieb und Diagnosefunktionen,
- die **Bedienerführung im interaktiven**



Bild 3.1: Sinumerik 840 D sl, 19 Zoll CNC-Bedientafel mit Ansicht 3-D-Simulation (Quelle: Siemens AG)

Dialog in mindestens 2 umschaltbaren Sprachen

- ein **Programmspeicher** für mehrere Teileprogramme, Korrekturwerte, Werkzeugdaten, Nullpunkttabellen und Zyklen,
- eine **busgekoppelte oder integrierte SPS** mit hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit zum Steuern der Schaltfunktionen,
- **programmierbare Software-Endbegrenzungen** der NC-Achsen als Ersatz mechanischer Endschalter und der erforderlichen Verdrahtung,
- **BDE/MDE** (Betriebs- und Maschinen-daten-Erfassung) und ein automatisches Logbuch zur Dokumentation von Bedienungsfehlern, Störungsmeldungen, Funktionsabläufen, Warnungen und manuellen Eingriffen.

Hinzu kommen **Funktionen**, um die Maschinen genauer, zuverlässiger und bedienerfreundlicher zu machen, wie z. B.:

- **Temperaturfehler-Kompensation** wärmeabhängiger Maschinenungenauigkeiten,
- **variable Platzcodierung** der Werkzeuge zur Beschleunigung der Such- und Wechsellvorgänge,
- **Werkzeugbruch- und Standzeitüberwachung** für den automatischen Betrieb,
- automatisches Einlesen der **Werkzeugdaten** in den Korrekturwertspeicher,
- simultane Steuerung synchroner **Haupt-** und asynchroner **Nebenachsen** ohne Wartezeiten,
- Eingabe von **Maschinenparameterwerten** über Tastatur anstelle mühevoller Abgleicharbeiten bei der Inbetriebnahme u. v. a. m.

Für den automatischen Fertigungsablauf übernimmt die numerische Steuerung viele **zusätzliche Funktionen und Aufgaben**. Diese Funktionen werden heute als selbstverständlich vorausgesetzt.

Hier sollen einige dieser Sonderfunktionen aufgezählt und erläutert werden. Die gleichen Funktionen können jedoch in unterschiedlichen Steuerungsfabrikaten andere Bezeichnungen haben, anders ablaufen oder vom Leistungsumfang her differieren.

Achsen sperren

Gezieltes Stillsetzen einzelner oder aller CNC-Achsen, um an der Maschine ein CNC-Programm ohne Bewegung dieser Achsen auf Programmfehler im Schnelldurchlauf testen zu können. Wahlweise und zur Zeitersparnis können auch Werkzeugwechsel, Palettenwechsel, Kühlmittel und die Hauptspindel gesperrt werden.

Angetriebene Werkzeuge

So werden bei Drehmaschinen eingesetzte Werkzeuge wie Bohrer oder Fräser bezeichnet, die das stehende Werkstück bearbeiten und deshalb einen eigenen Antrieb benötigen. Dazu muss die Hauptspindel bahngesteuert werden (C-Achse).

Asynchrone Achsen

Hilfs- oder Nebenachsen, die nicht mit den Hauptachsen interpolieren und von diesen unabhängig verfahren (z.B. Werkzeug- oder Werkstück-Handlingeräte in einer Maschine).

Datenschnittstellen (Bild 3.2)

Schnittstelle zum Anschluss der CNC an übergeordnete Rechner, um Daten auszu-

tauschen oder Fernsteuerfunktionen ausführen zu können. Auch die automatische Werkstück- und Werkzeugerkennung benötigen solche Schnittstellen.

Diagnose-Software

Permanente oder programmierbar zu aktivierende Überwachungsfunktionen für Maschinen- und Steuerungsverhalten zwecks automatischer Dokumentation von Fehlern und deren Ursachen. Dazu nutzt die CNC die Bildschirmdarstellung der Messwerte als Kurven, Diagramme oder in digitaler Form. Alle Daten sind auch über Schnittstelle ausgebar.

Neben der Fehlerdiagnose bieten Steuerungshersteller auch spezielle Diagnose-Software an, die den Anwender bei der Optimierung seiner Teileprogramme unterstützt. Damit ist es möglich, die Abarbeitungszeit (Taktzeit) signifikant zu verringern.

Beispiel: Wenn die SPS einen Werkzeugbruch feststellt, kann mit einem asynchronen Unterprogramm zum Werkzeugwechsel gefahren werden. Dort wird das beschädigte Werkzeug gegen ein neues ausgetauscht und die Bearbeitung an der letzten Position fortgesetzt.

Energieeffizienz

Einige aktuelle CNC-Systeme verfügen über Programme zur Analyse des Energieverbrauchs. So kann über die Schaltzeiten der Versorgungsmodule deren Energieverbrauch ermittelt und aufgezeichnet werden. Den Maschinenhersteller kann dies bei der korrekten Dimensionierung der Versorgungsmodule für einen konkreten Anwendungsfall unterstützen. Dem Anwender bietet sich die Möglichkeit, Arbeitsabläufe und Teileprogramme so zu optimieren, dass nicht unnötig Energie verbraucht wird. Dies macht sich besonders bei der Großserienfertigung bezahlt.

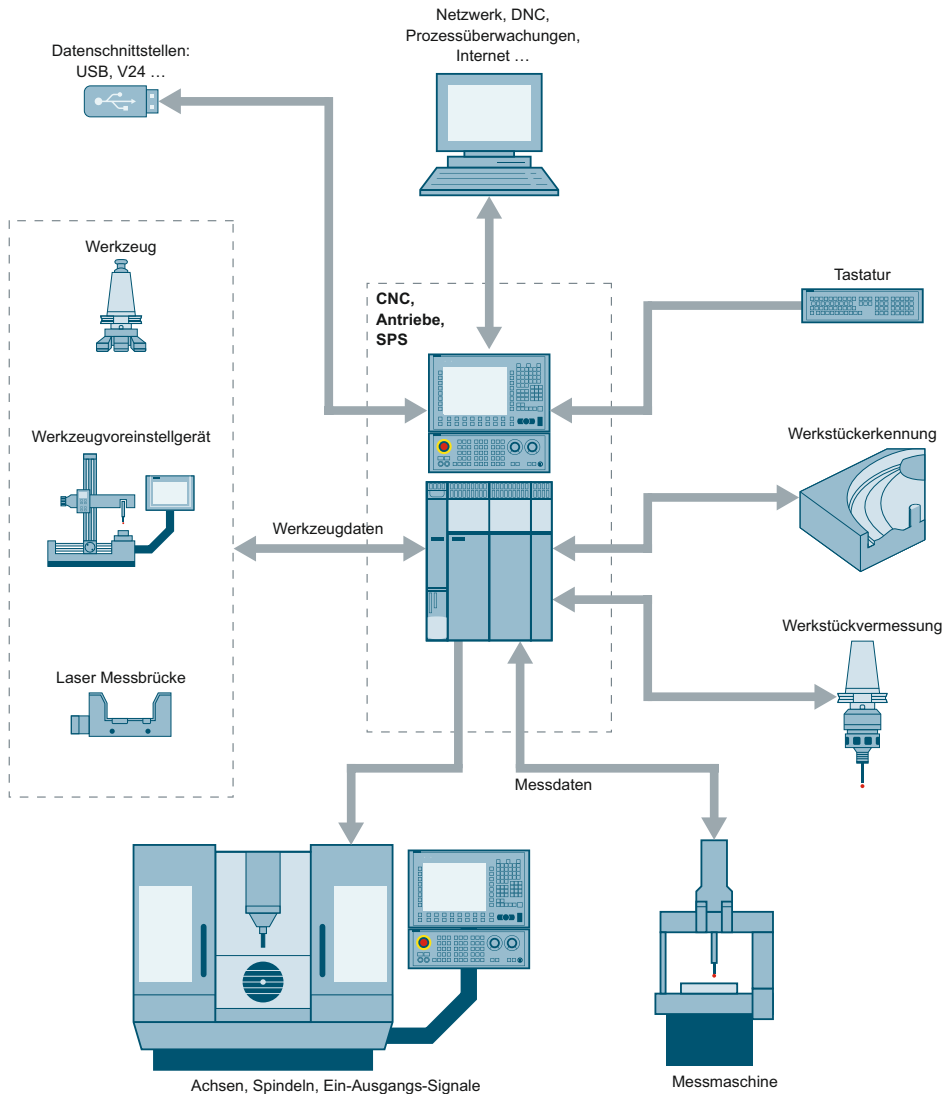


Bild 3.2: Datenschnittstellen einer CNC/SPS zur Übertragung unterschiedlicher, fertigungsrelevanter Daten.

Freischneiden

Am Ende einer Bearbeitung bleibt der Vorschub bei weiterdrehender Spindel für eine programmierbare Zeit stehen, bevor das Werkzeug zurückgezogen wird.

Handeingabe

Manuelles Eintippen und Korrigieren eines NC-Programmes über die Tastatur der CNC bis zur rechnergestützten Programmierung an der Maschine unter Verwendung

von Grafik und interaktiven Dialogen einer WOP-Steuerung.

Hochsprachenelemente (Abfragen, Schleifen, Variablen)

Heutige CNCs verfügen über BASIC- oder C-ähnlichen Sprachen zur Programmierung und Berechnung komplexer Abläufe.

So können Abfragen (IF..THEN..ELSE..END-IF) und Schleifen (FOR..TO..NEXT, WHILE..DO..END) implementiert werden. Zum Teil können sogar Zugriffe auf das Dateisystem (z.B. Log-Datei speichern) in dieser Hochsprache geschrieben werden.

Achtung! Diese Hochsprachenelemente sind herstellerspezifisch und nicht standardisiert. Somit lassen sich Programme, die solche Elemente enthalten, nicht einfach zwischen CNCs unterschiedlicher Hersteller austauschen.

Korrekturwerte

Für jedes in der Maschine befindliche Werkzeug werden aktuelle Werkzeugdaten (z.B. Durchmesser, Länge, Radius, Standzeit) gespeichert, die beim Abarbeiten des NC-Programms zu berücksichtigen sind. Auch Messfehlerkompensationen, Nullpunktverschiebungen, Spanntoleranzen oder Verschleißwerte sind Korrekturwerte und werden in dafür vorgesehenen Datenspeichern zum Abruf bereitgehalten.

Makros

Durch Makros können Elemente der Programmiersprache zusammengefasst und undefiniert werden. So können bspw. unverständliche G-Codes durch leicht lesbare Worte ersetzt oder bestehende Sprachenelemente überblendet werden. Damit kann bspw. durch programmieren eines einzel-

nen G-Codes eine ganze Reihe von Umschaltungen erfolgen.

Offset

Auf deutsch **Versatz**: Elektronische Kompensation von Spanntoleranzen des Werkstückes oder der Werkzeuge, die das genaue mechanische Ausrichten oder Einstellen ersparen.

Polarkoordinaten

Zwei- bzw. dreidimensionales Koordinatensystem zur Darstellung winkelabhängiger Funktionen oder winkelbezogener Zeichnungen. Für die Bearbeitung auf Maschinen mit linearen Achsen müssen die programmierten Polarkoordinatenmaße in kartesische Koordinatenmaße umgerechnet werden, und zwar entweder beim programmieren oder in der CNC.

Position setzen

Der Bediener richtet den Spindel-Mittelpunkt mittels Messuhr oder anderer Hilfsmittel an einem Fixpunkt des Werkstückes oder der Vorrichtung aus und setzt die Achsen-Positionen auf die in der Zeichnung oder im CNC-Programm angegebenen Werte. Ein schaltender Taster ist heute Standard.

Programmtest

Beschleunigtes Abarbeiten eines CNC-Programms mit erhöhten Vorschubwerten oder im Eilgang zwecks Prüfung auf grobe Programmierfehler, Kollisionen und andere Fehler. Als Werkstoff wird dazu nicht Metall, sondern ein spezieller, leicht zu zerspanender Kunststoff verwendet.

Reset (Zurücksetzen)

Mit Betätigung des Taster Reset auf der Maschinensteuertafel wird die Bearbeitung des aktuellen Programms unterbrochen. Die CNC-Steuerung bleibt synchron mit der Maschine. Sie ist in der Grundstellung für einen neuen Programmablauf, beginnend vom Programmanfang. Eventuell ausstehende NC-Programmfehler werden gelöscht.

Ruckbegrenzung (Slope)

Einstellbares Beschleunigungs- und Abbremsverhalten der CNC-Achsen, um Schläge zu vermeiden und die Mechanik zu schonen. Wichtig ist die Einstellung aller Achsen auf den gleichen Wert, damit keine Bahnabweichungen entstehen.

Satz ausblenden (Block Delete, Skip Block)

Beim Abarbeiten eines NC-Programms werden Sätze, die mit einem Schrägstrich vor der Satznummer gekennzeichnet sind (/N147 X...Y...), wahlweise je nach Schalterstellung ausgeführt oder übersprungen (= *skip*), um programmierte Messzyklen oder den Befehl „Maschine-Stopp“ zu aktivieren. Ist die Funktion ausgeschaltet, werden diese Sätze übersprungen und die Werkstücke ohne diese Unterbrechungen bearbeitet.

Satz Vorlauf

Eine zeitsparende Möglichkeit nach Programm-Unterbrechung, um das Programm bis zu einer vorwählbaren Satz-Nr. ohne Maschinenbewegung schnell durchlaufen zu lassen, sodass am vorgewählten Wiedereintritt in das Programm das richtige Werkzeug mit allen Korrekturwerten, die richtige Vorschubgeschwindigkeit und die

richtige Spindeldrehzahl zur Verfügung stehen.

Scannen

Zeilenweises **Abtasten** einer Formfläche mit einem Taster oder einem Laserstrahl und gleichzeitiges, fortlaufendes Abspeichern der Messwerte zwecks anschließender Nutzung der Daten zur Herstellung eines identischen oder vergrößerten bzw. verkleinerten Werkstückes. Setzt entsprechend große Datenspeicher in der CNC voraus.

Simulation

Graphische Darstellung des Bearbeitungsvorgangs (Verfahrwege der Werkzeuge) und des Endwerkstücks unter Berücksichtigung der Werkzeugkorrekturen und der Rohteilgeometrie. Abhängig vom Steuerungstyp kann der komplette Arbeitsablauf simuliert und als 3-Ebenenansicht oder Volumenmodell dargestellt werden. Durch die komplette Berechnung des Programms können vorab Fehlerquellen erkannt und die Bearbeitungszeit abgeschätzt werden. Die Simulation wird direkt an der Maschine mit der CNC durchgeführt.

Spiegeln, Drehen, Verschieben

Die programmierten Weginformationen können an einer vorgegebenen Achse gespiegelt und gedreht bzw. um einen bestimmten Weg verschoben werden. Dies erleichtert bspw. die Programmierung von Teilen mit sich wiederholenden Geometrien.

Synchrone Achsen

Alle CNC-Achsen einer Maschine, die simultan interpolieren und koordiniert verfahren. Dies sind in der Regel alle Haupt-

achsen einer Maschine (Gegenteil: Asynchrone Achsen).

Unterprogramme/Zyklen

Permanent gespeicherte Programme wie Lochmuster, Bohr-, Gewinde- und Fräszyklen, die mit den erforderlichen Daten (Parameterwerten) ergänzt und beliebig oft aufgerufen und ausgeführt werden können (auch als parametrisierbare Unterprogramme bezeichnet).

Wiederanfahren an die Kontur (Bild 3.3)

Nach Werkzeugbruch oder Nothalt während der Bearbeitung muss das Werkzeug vor der Bruchstelle wieder in das unterbrochene Programm eintreten und die Bearbeitung ohne Markierungen im Werkstück fortsetzen. Hierbei sind auch die neuen Werkzeug-Korrekturwerte zu berücksichtigen.

Die genaue Funktionsbeschreibung ist jeweils der Dokumentation der betreffenden CNC zu entnehmen.

3.3 CNC-Sonderfunktionen

Grundsätzlich legt der Hersteller die Leistungs- und Ausbaufähigkeit einer CNC schon während der Konzeption und mit der Entwicklung fest. Neue CNC-Konzepte haben darüber hinaus eine **offene Software-Schnittstelle** zur CNC-Systemsoftware und bieten dadurch dem Maschinenhersteller und dem Anwender die Möglichkeit, spezielle Funktionen oder eigenes Know-how auch nachträglich noch zu integrieren. Dazu verfügt die CNC über eine spezielle Programmier-Software, mit deren Hilfe solche Sonderlösungen integrierbar sind. Sogar der Zugriff auf die Grafik der Steuerung ist damit möglich, um beispielsweise Bedienerhilfen, Auswahlménüs oder dynamische Simulationen grafisch darstellen zu

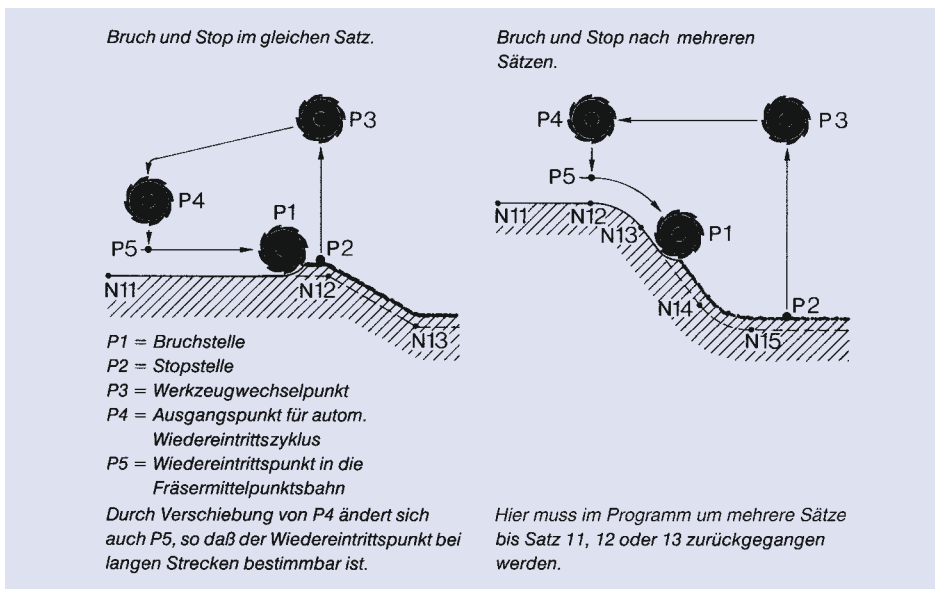


Bild 3.3: Wiederanfahren an die Kontur, automatischer Wiedereintrittszyklus nach Fräserbruch

können. So ist es auch kein Problem, eine CNC für Werkzeugmaschinen zur Leitsteuerung für ein Paletten-Transportsystem umzufunktionieren. Dem Maschinen-Hersteller bietet sich damit auch eine Möglichkeit, seine neuen Entwicklungen schon in einem frühen Stadium zu testen, ohne den CNC-Hersteller informieren zu müssen.

Sehen wir uns nun eine Auswahl solcher Sonderlösungen an, die sich mit modernen CNCs realisieren lassen.

Achsentauschen (Bild 3.4)

Ermöglicht die Verarbeitung von CNC-Programmen, die für Fräsmaschinen mit ver-

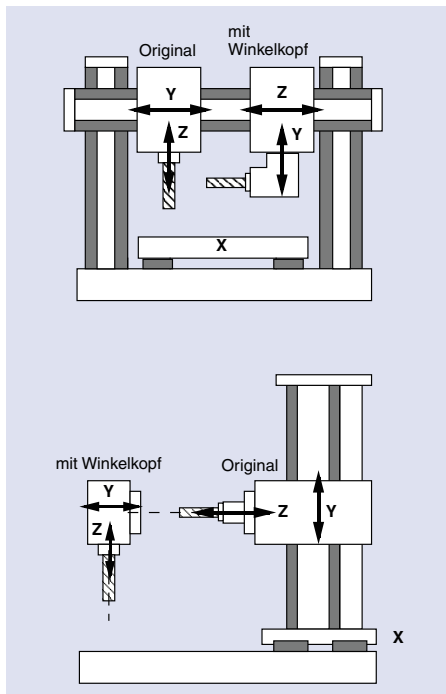


Bild 3.4: Achsen tauschen. Bei vorgesetztem Winkelkopf können Y- und Z-Achse getauscht werden, um NC-Programme verwenden zu können, die für eine vertikale Z-Achse erstellt wurden

tikaler Spindel programmiert sind, auf Maschinen mit horizontaler Spindel und vorgesetztem Winkelkopf (Tauschen von Y- und Z-Achse).

Arbeitsraumbegrenzung

Durch die Programmierung der unteren und oberen Begrenzungswerte jeder Achse wird der freigegebene Arbeitsraum einer CNC-Maschine vorübergehend begrenzt. Die Eingabe von Wegmaßen, die außerhalb dieser „Software-Limits“ liegen, löst ein Fehlersignal aus und die Maschine bleibt sofort stehen.

Beispiel:

N1 G25 X100 Y255 Z70 \$

= untere Grenzwerte für X-, Y- und Z-Achse

N2 G26 X440 Y321 Z129 \$

= obere Grenzwerte für X-, Y- und Z-Achse

Asynchrone Unterprogramme

In der CNC kann ein (kleines) Teileprogramm definiert werden, welches die normale Abarbeitung unterbricht und Sonderfunktionen ausführt. Dieses Teileprogramm wird bspw. durch die SPS oder einen anderen Kanal ausgelöst.

Beispiel 1: Zwei Arbeitseinheiten einer Maschine haben einen überlappenden Arbeitsraum. Wenn die eine in den Arbeitsraum der anderen muss, so kann diese mittels asynchronem Unterprogramm ihre Arbeit unterbrechen und aus dem Weg fahren und an der letzten Position weitermachen, wenn die erste Einheit ihren Arbeitsraum wieder verlassen hat.

Beispiel 2: Wenn die SPS einen Werkzeugbruch feststellt, kann mit einem asynchronen Unterprogramm zum Werkzeugwechsel gefahren werden. Dort wird das beschädigte Werkzeug gegen ein neues ausgetauscht und an der letzten Position weitergearbeitet.

Automatische Werkzeuglängenmessung (Bild 3.5)

Nach dem Einsetzen eines Werkzeuges wird zuerst ein Messzyklus ausgeführt, der durch Anfahren eines Messtasters die absolute Werkzeuglänge feststellt und abspeichert.

Automatische Systemdiagnosen

Eine spezielle Software zur Umschaltung des CNC-Bildschirms auf Oszilloskop-Betrieb.

Damit können NC-Programme getestet und eventuell vorhandene Fehler in der Programmierung oder während der Bearbeitung komfortabel gefunden werden.

Die Systemdiagnose beantwortet u. a. folgende Fragen:

- Wo im Programm trat der Fehler zum ersten Mal auf?
- Welche Auswirkungen hat der Fehler auf das Programm?
- Wie sind die Auswirkungen auf andere Variablen bzw. Programmteile?

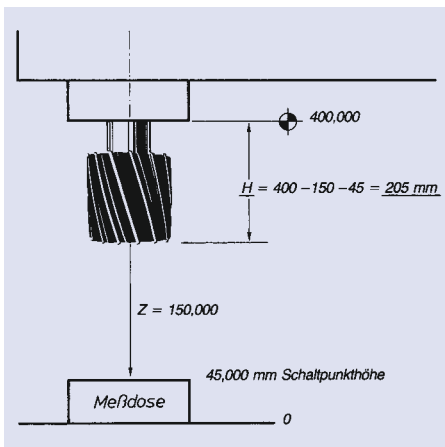


Bild 3.5: Automatische Werkzeuglängenmessung mittels schaltender Messdose

- Welche Wichtigkeit hat der Fehler für das Programm?

Blockzykluszeit (Bild 3.6 und 3.7)

Für eine hohe Oberflächenqualität und Konturgenauigkeit muss die CNC das CNC-Programm sehr schnell und ohne Vorschubschwankungen abarbeiten. Ist die Abarbeitungszeit eines Satzes kürzer als die Vorbereitungszeit für den folgenden Satz, kommt es zu Vorschubeinbrüchen. Deshalb muss die CNC über eine hohe Rechengeschwindigkeit und einen ständigen Vorrat vorbereiteter Sätze verfügen. Ein dynamischer Pufferspeicher, der ständig nachgefüllt wird, hält eine ausreichende Anzahl vorbereiteter Sätze bereit und ver-

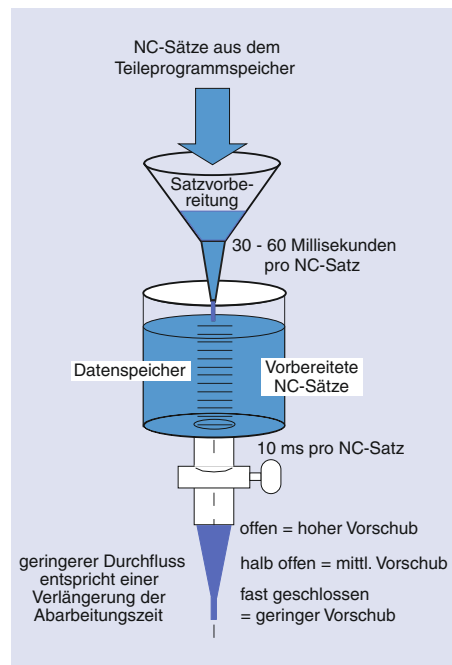
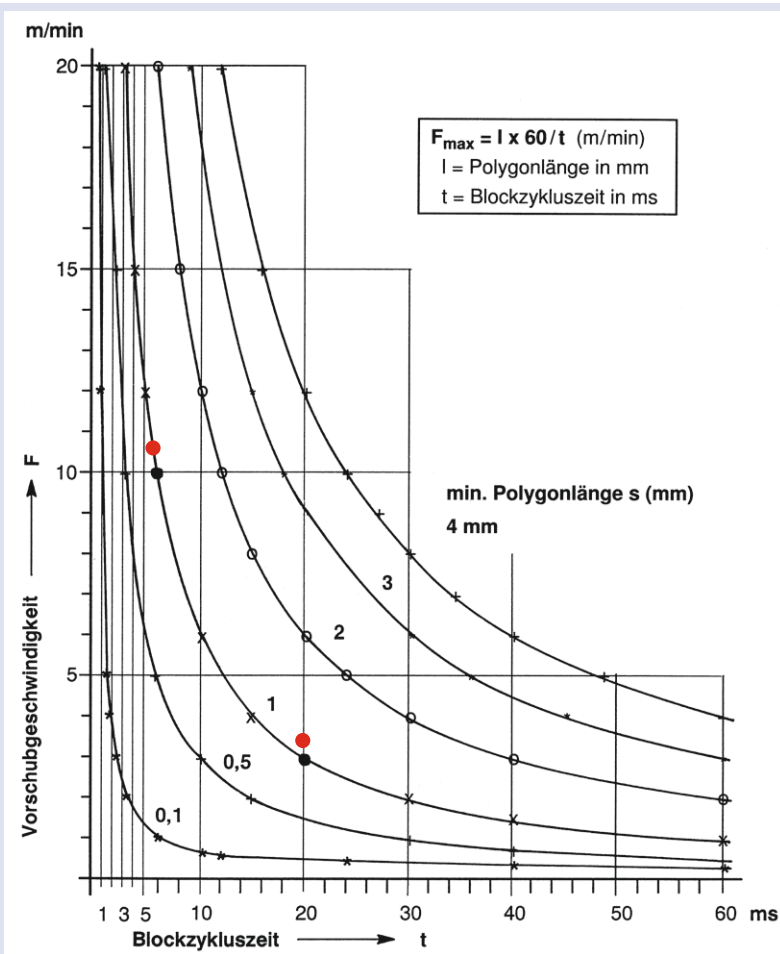


Bild 3.6: Dynamischer Daten-Puffer-Speicher mit kurzer Übertragungszeit zur Sicherstellung kurzer Blockzykluszeiten (Funktionsprinzip)



Beispiel: Bei einer Zykluszeit von 20 ms und einem Kurvenzug mit 1 mm Polygonlänge beträgt die max. erreichbare Vorschubgeschwindigkeit 3 m/min. Um 10 m/min zu erreichen, darf die Zykluszeit nicht länger als 6 ms sein.

Bild 3.7: Abhängigkeit der maximal erreichbaren Vorschubgeschwindigkeit F_{\max} von der Polygonlänge s einer Kurve und der Blockzykluszeit t der Steuerung

hindert somit das ruckelnde „Achsen-Stottern“.

Reicht der Vorrat trotzdem nicht aus, dann muss die Vorschubgeschwindigkeit solange reduziert werden, bis die Achse zwar langsamer, aber kontinuierlich fährt. Den Zusammenhang zwischen Blockzyk-

luszeit, Polygonlänge und Vorschubgeschwindigkeit zeigt (Bild 3.7).

Beispiel: Bei einer Polygonlänge von 0,1 mm und einer Blockzykluszeit von $t = 2$ ms beträgt der max. Vorschub $F_{\max} = 4$ m/min.

Stichwortverzeichnis

A

Ablaufsprache 172
Abrasiv-Schneiden 321
Abrichten von Schleifscheiben 279
Abrichtgerät 280
Abrichtwerkzeuge 279, 292
Abrichtzyklen 281
ABS-Kupplung 449, 453
absolute Messung 74
Absolutmaße 530
Absolutmaßprogrammierung 531
abstandscodierte Referenzmarken 75
Achsantriebe 428
Achshezeichnung 61
Achsen, asynchrone 113
Achsen sperren 113
Achsen, synchrone 116
Achsen tauschen 118
Achsenpositionen 225
Achsenregelung 409
Achsenrichtung, positive 64
Adaptive Control (AC) 135
Adaptive Feed Control 135
Adaptives Bearbeiten 588
Adaptive Vorschubregelung 135
Additive Manufacturing 664
AGV (Automated Guided Vehicles) 379
Aktorische Werkzeugsysteme 514
angetriebene Werkzeugspindeln 326
angetriebene Werkzeuge 450
Ankratzen 541
Anpassprogramm 111
Anpass-Steuerungen 162

Anpassteil 45
Antriebe, analog/digital 207
Antriebsauslegung aus Prozesskenngrößen 232
Antriebsdimensionierung 241
Antriebsregler 195
Antriebstechnik 221
Anweisungsliste 172
Anzeigen in CNC 144
Apps 147
Äquidistantenkorrektur 549
Arbeiten von der Stange 102
Arbeitsfeldebegrenzung 118
AS 172
Asynchrone Unterprogramme 118
Asynchronmotor 200, 214, 216
Aufspannplanung 595
Ausbildung und Schulung 612
Auslegerbohrmaschinen 295
Ausspindelwerkzeuge 453
Auswertereinheit 485
Automatische Systemdiagnosen 119
Automatisierung 46, 62
- flexible 420
- gleitende 412
AWL 171, 172

B

Bahnsteuerung 41, 260
Bandsägen 298
BDE/MDE 112, 389
Bearbeitung, ergänzende 373
Bearbeitungsstrategien 587

Bearbeitungszeiten 375
 Bearbeitungszentrum 95, 185, 255
 – mehrspindliges 264
 Bedienung 51, 297
 Bedienungspersonal 317
 Beschleunigungen 228
 Betriebssystem 40, 111
 bewegliches Steuergerät 263
 Bezugspunkte 539
 Bildschirm 111, 145
 Big Data 679
 Blindleistung 432
 Blindstrom 431, 432
 Blindstromanteil 429
 Blockzykluszeit 119, 140, 266
 Bohr-Gewindefräsverfahren 459
 Bohrmaschinen 184, 295
 Bohrstangen mit Feindreheinsätzen 454
 Bohrungsmessköpfe 513
 Bohrwerk 295
 Bohrzentren 295
 Bohrzyklen 260, 535
 Bohrzyklen G80 – G89 536
 Bremsenergie 226
 Bremswiderstände 226
 Brennschneiden 305
 Bridge 646
 Bruchüberwachung 510
 Bussysteme 387, 422
 Busverbindungen 163

C

C-Achsbetrieb 218, 250
 C-Achse 268, 270
 CAD 656, 690
 CAD/CAM 523, 687
 CAD/CAM-Systeme 669
 CAD-Daten 567
 CAE-Software 660
 CAM 656, 670, 691
 CAM (Computer Aided Manufacturing) 659
 CAM-orientierte Geometrie-Manipulation
 586
 CAP (Computer Aided Process Planning)
 661
 CAPTO-Aufnahmen 449
 CA-Systeme 658

CBN 446
 CFK-Werkstoffe 264
 Chip 485
 CIM 656
 Closed Loop-Technologie 67
 CNC 111
 CNC, Definition 111
 CNC, FFS-geeignet 386
 CNC für Drehmaschinen 270
 CNC für Messmaschinen 340
 CNC für Sägemaschinen 298
 CNC für Schleifmaschinen 278
 CNC für Verzahmaschinen 288
 CNC-Grundfunktionen 111
 CNC-Maschine 421
 CNC, offene 148
 CNC-Preisentwicklung 152
 CNC-Software 111
 CNC-Sonderfunktionen 117
 CNC-Werkzeugmaschinen 255
 CO₂-Laser 302
 Codeträger 485
 Computer Aided Engineering 660
 Computer und NC 45
 computerunterstützte Programmierung 564
 Cyber-Physical Systems (CPS) 679

D

Datenanreicherung 683
 Datenbus und Feldbus 163
 Dateneingabe 50
 Datenkommunikation mit CNC-Steuerungen
 621
 Datenmodelle 586
 Datenschnittstellen 113, 386
 Datenumwandlung 140
 Daten und Schnittstellen 597
 Diagnosefunktion 209
 Diagnose-Software 113
 Dialogführung 273
 Diamant 446
 Diamantrollenabrichtgerät 281
 Digitalantriebe 225
 digitale Antriebsregelungen 225
 Digitale Fertigung 667
 Digitale Produktentwicklung 662
 Digitalisierte Fertigung 47

Digital Light Processing (DLP) 361
 Dimensionierung von Spindel- und
 Vorschubantrieben 232
 DIN 66025 523, 526, 529
 DIN 66217 62
 DIN/ISO-Programmierung 523
 Diodenlaser 304
 Direktantriebe 202
 direktes Messsystem 209
 DNC 370
 DNC-Betrieb 370
 DNC - Direct Numerical Control 619
 DNC = Distributed Numerical Control 50
 DNC-Schnittstelle 121
 DNC-System 47
 Doppelgreifer 98
 Doppelspindel-Bearbeitungszentren 258
 Drahtelektrode 317
 Dreh-Fräszentren 255, 326, 448, 512
 Drehgeber 68, 69
 Drehmaschinen 266
 - mehrspindlige 273
 Drehmoment 213
 Dreh-Schleifzentren 331
 Drehspindel 249
 Drehstrom Synchronmotoren 218
 Drehtisch 260
 Dreh-Wälzfräszentren 333
 Drehzahlen 213
 Drehzahlvorsteuerung 89
 Drehzahlwechsel 105
 Drehzentrum 255, 328
 Drehzyklen 535
 3D-Bearbeitung 583
 3D-Drucken (3DP) 357
 3D-Messmaschine 338
 3D-Modelle 589
 3D-Simulation 555
 3-Finger-Regel 62
 Dry Run 122
 Durchgangfehlerkompensation 84
 DXF 474, 554, 585
 DXF-Konverter 554
 dynamische Auslegung von Vorschub-
 antrieben 227
 Dynamische Vorsteuerung 81

E

EBM (Electron Beam Melting) 354
 EB-Schweißen 319
 Echtzeit-Ethernet und SERCOS III 165
 Eckenverzögerung 133
 Effektor 407
 Einbaumotoren 243
 Einfahren neuer Programme 610
 Einfluss der CNC 183
 Einflussparameter Zerspanprozess 223
 Eingabegrafik 573
 Einrichtfunktionen 121
 Einsatz der CNC-Werkzeugmaschinen 51
 Einstechschleifprozess 284
 einstellbare Werkzeuge 453
 Einzelsatzbetrieb 123
 Elektronenstrahl-Maschinen 319
 Elektronischer Gewichtsausgleich 81, 89
 elektronisches Getriebe 288
 elektronische Werkzeugidentifikation 482
 endlose Rundachsen 288
 Energiebilanz 224, 429
 Energieeffizienz 113, 425
 Energieverbrauch 427
 Energieverbrauch der Werkzeugmaschinen
 224
 Erodiermaschine 316
 ERP 628, 682
 ERP-Lösung 481
 Erzeugungsrad 293
 Ethernet 163, 165, 207, 626
 Evolvente 285

F

F-Adresse 106
 fahrerlose Flurförderzeuge (AGV) 381
 Fahrständerbauform 256
 Fahrständerbauweise 256
 Fahrständermaschine 297
 Faserlaser 303
 Fast-Ethernet 166
 Feature-Technik 590
 Feinbearbeitung von Bohrungen 453
 Feinverstellköpfe 455
 Feldschwäcbereich 217
 Ferndiagnose 143

Fertigbearbeitung 375
 Fertigungsprinzipien 373
 Fertigungssimulation 599
 Fertigungssysteme, flexible 364
 Fertigungssystem (FFS) 103
 FFS, Auslegung 391
 FFS-Einsatzkriterien 372
 FFS-Leitrechner 387
 FFS, wirtschaftliche Vorteile 389
 Flachbettdrehmaschinen 266
 Flachsleifmaschine 274
 Flexibilität 392
 flexible Bearbeitungszelle 311
 flexible Fertigungsinseln 367
 flexible Fertigungssysteme 364
 – technische Kennzeichen 370
 flexible Fertigungszellen 103, 367
 Formfräsen 286
 Formschleifen 286
 Formverfahren 286
 FRAME 133
 Frames 546
 Fräs-Dreh-Bearbeitungszentrum 324
 Fräs-Drehzentren 512
 Fräserradiuskorrektur 549
 Fräs-Laserzentrum 329
 Fräsmaschinen 185, 255
 Frässpindel 247, 448
 Fräszyklen 535
 Freiformflächen 583
 Freischneiden 114
 Frequenzumrichter 213
 Führungen 186, 274
 Funkerosionsmaschinen 316
 5-Achs-Bearbeitungszentren 261
 5-Achs-Maschinen 259
 5-Seiten-Bearbeitung 259
 Funktionen der NC 111
 Funktionsplan 172
 FUP 171, 172
 Fused Deposition Modeling (FDM) 358

G

G54 ... sG57 542
 Gantry 263
 Gantry-Achsen 63

Gantrybauweise 255
 Gantry-Fräsmaschine 263
 Gateway 646
 generative Fertigungsverfahren 345, 350
 Geometriedaten 266
 geometrische Zuverlässigkeit eines Werkzeugs 440
 Gewichtsausgleich 227
 Gewichtskräfte in Vertikalachsen 232
 Gewindebohren 136
 Gewindebohren ohne Ausgleichsfutter 136
 Gewindefräsen 136, 457
 Gewindecneiden 272
 G-Funktionen 532
 G-Funktionen nach DIN 66 025, Bl. 2 534
 Gleichspannungs-Zwischenkreis 225
 Gleichstrom-Servomotoren 199
 Gleitführungen 186
 Grafik 573
 Greifer 407
 Greifer-Wechselsysteme 407

H

Hakenmaschine 188
 Handeingabe 114
 Handeingabe-Steuerungen 563
 Handhabung 402
 Handshake 649
 Hardware 38
 Hardware-Schnittstellen 649
 Hartfeinbearbeitung 291
 Hartfeinbearbeitungsmaschine 285
 Hart-Zerspanung 264
 Hauptantriebe 215
 Hauptspindel 223, 235, 243
 Hauptspindelantriebe 213, 221, 226, 227, 232, 242
 High-Performance-Cutting 265
 High Speed Cutting (HSC) 246, 448, 524
 Hilfsachsen 139
 Hilfsgrafik 573
 HMI (Human Machine Interface) 145
 Hobelkamm 288
 Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungszentrum 264, 265
 Hochleistungsbearbeitung 265

Hochsprachenelemente 115
 Hohlschaftkegel 246, 448
 Honen 292
 horizontales Bearbeitungszentrum 258
 Horizontalmaschinen 255
 HPC 265
 HSC 448, 568
 HSC-Bearbeitung 456
 HSK-Aufnahmen 448
 HUB 680
 Hülschnittverfahren 286
 Hydraulik 428

I

IGES 349, 586
 Inbetriebnahme 208
 indirektes Messsystem 209
 Industrie 4.0 675, 686
 Industrieroboter 101, 402, 403, 405, 421
 - Aufbau 404
 - Einsatzkriterien 420
 Informationen 637
 inkrementale Messung 74
 Innengewindefräsen 457
 In-Prozess-Messen 138
 Integrierte Simulationssysteme 610
 integrierte Werkzeugkataloge 475
 Interdisziplinarität 677
 Internet der Dinge 679
 Interpolation 139, 213
 Interpolator 41
 IPC 161

J

JT-Modell 590

K

Kanalstruktur 136
 Kantentaster 541
 Karussell-Drehmaschine 297
 Kassettenmagazine 97
 Kegelräder 292
 Kegelradfräsmaschinen 293
 Kegelradherstellung 285

Keramik 446
 Kettenmagazin 97
 Kippmoment 217
 Kollisionserkennung, automatische 608
 Kollisionsüberwachung, dynamische 124
 Kollisionsvermeidung 121
 Kompensation 223
 - beschleunigungsabhängiger Positions-
 abweichungen 81, 91
 - dynamischer Abweichungen 81, 90
 - von Durchhang- und Winkligkeitsfehlern
 81
 Komplettbearbeitung 329
 Komplettwerkzeuge 443, 475
 Komplexität 392
 Konsolbettbauweise 256
 Konsolständerbauweise 256
 Kontaktplan 172
 Koordinatenachsen 62
 Koordinatentransformation 326, 545
 KOP 171, 172
 Körperschallaufnehmer 282
 Körperschallmessung 284
 Korrekturwerte 115
 Korrekturwerttabelle 261
 Kosten und Wirtschaftlichkeit von DNC 632
 Kreissägen 297
 Kreuzgittermessgerät 73
 Kreuztischbauweise 256
 Kugelgewindetriebe 68, 198, 229
 Kühlmittel 189
 Kühlung/Schmierung 440
 Kurzklemmhalter 454
 K_v-Faktor 65, 198, 209, 211, 224

L

Laderoboter 270
 Lageregelkreis 64, 66, 186, 209
 Lageregelung 65, 227
 Lageregler 65
 Lagersysteme 481
 Lagesollwerte 225
 Laminated Object Manufacturing (LOM)
 361
 Langdrehmaschinen 267
 Längenmessgeräte 68, 74

- Längenmesssystem 198
- LAN - Local Area Networks 636
- Laserauftragschweißen 362
- Laserbearbeitungsanlagen 301
- Laserbearbeitungsköpfe 305
- Laserbearbeitungsmaschine 312
- Lasermessung 512
- Lasersintern (LS) 353, 355
- Lasersysteme 512
- Leistungsteile 195, 226, 409
- Leitrechner 370
- Lesestation 485
- Lichtleitfaser 305
- Lichtschranke 509
- Linearantriebe 206
- Lineardirektantrieb in Werkzeugmaschinen 232
- Linearinterpolation 142
- Linearmagazine 97
- Linearmaßstab 209
- Linearmotoren 79, 202, 204
- Linear- oder Geradeninterpolation 42
- Logbuch 628
- Look-Ahead 228, 266
- Look-Ahead-Funktion 266
- Losekompensation 81
- Lünette und Reitstock 268
- Mehrfach-Spannbrücke 259
- Mehrspindelautomaten 267
- MES (Manufacturing Execution System) 680, 683
- Messen 336
- Messgeber 209
- messgesteuertes Schleifen 284
- Messköpfe 503
- Messmaschinen 336
- Messprotokoll 337, 500
- Messsteuergeräte 284
- Messsystem, direktes 232, 431
- Messsystem, indirektes 198
- Messtaster 138, 337, 341, 495, 512, 541
- Messuhr 541
- Messzyklen 138, 336, 499, 541
- M-Funktionen 528
- Minimalmengenschmierung 245
- Mobile Computing 678
- Mockup 664
- modulare Werkzeugsysteme 452
- Montageroboter 406
- Motor 195, 199
- Motorgeber 198, 200
- Motorspindeln 216, 220, 244
- Multitasking-Maschinen 323, 342, 512
- Multi-Touch-Bedienung 146

M

- Makros 115
- Mantelfläche 450
- manuelle Betriebsart 127
- Maschinengestelle 185
- Maschinenmodell 603
- Maschinennullpunkt 541
- Maschinen-Parameterwerte 40
- maschinenseitige Aufnahmen 446
- Maschinen- und Betriebsdatenerfassung 386
- Maschinenverkleidung 188
- Masken-Sintern (MS) 361
- Maßstabfaktor 137
- Maßstabfehler-Kompensation 137
- Master-Slave-Verfahren 643
- MDE/BDE 370, 386, 634
- Medizinproduktegesetz 688

N

- Nachlauffehler 66, 143
- Nano- und Pico-Interpolation 139
- NC-Achsen 42
- NC-Hilfsachsen 139
- NC-Kern, virtueller 143
- NC-Programm 38, 47, 523
- NC-Programmiersysteme 581
- NC-Programmierung 46, 559
- NC-Programmverwaltung 627
- NC-Simulation 606
- NC-Teileprogramm 524
- Nd:YAG-Laser 302
- Netzwerktechnik für DNC 625
- Nibbel-Prinzip 309
- Nick und Gear-Kompensation 81
- Nullpunkte 498, 539
- Nullpunktverschiebung 505, 542

NURBS 140, 266
Nur-Lese-System 483

O

Offene Steuerungen 148
Offenheit einer CNC 148
Offset 115
Open System Architecture 150
Orientierungsachsen 545

P

Palette 102, 103, 376
Palettencodierung 370, 385
Palettenpool 104
Palettenpeicher 103
Paletten-Umlaufsystem 381
Palettenverwaltung 386
Palettenwechsel 103, 258, 260
Parallel-Achsen 63
Parallelkinematik 185
PDM (Product Data Management/
Produktdatenmanagement) 662, 665
PDM-Systeme 659
Pick-Up-Drehmaschinen 266
Pick-up-Verfahren 102, 285
Planungsphase in der Serienfertigung 612
Platzcodierung 100
- variable 100, 112
PLC 160
PLM 656
PLM (Product Lifecycle Management) 662
PMI (Product Manufacturing Information)
659
Pneumatik 428
Polarkoordinaten 115
Portalfräsmaschinen 256, 263
Portal-Tischbauweise 256
Position setzen 115
Postprozessor 48, 262, 524, 566, 596, 600
Preisbetrachtung 151
Prismen-Aufnahme 449
Probelauf 122
Product Data Management 662, 665
Product Lifecycle Management 662, 667
Produktbaukasten 291

Produktdatenmanagement 665
Produktionsplanungssysteme (PPS) 398
Produktionsprozess 611
Produkt-Lebenszyklusverwaltung 662
Profilieren von Schleifscheiben 282
Profilschleifen 292
Profilschleifmaschine 281
Programmänderung im laufenden Betrieb
611
Programmgenerierung, automatische 415
Programmieren von Drehmaschinen 273
Programmieren von Messmaschinen 337
Programmieren von Robotern 408, 413
Programmieren von Rohrbiegemaschinen
315
Programmieren von Schleifprozessen 280
Programmieren von Verzahnmaschinen
294
Programmier-Software 117
Programmiersysteme 260, 282, 575
Programmierung 47, 260
- werkstatorientierte 260, 273
Programmnullpunkt 540
Programmspeicher 173
Programmtest 115, 123
Programmverwaltung 627
Protokoll 644
Prozessadaptierte Auslegung 221
Prozesskette 686
Prozesskräfte 223
prozessnahe Messung 499
Prozessregelung 495
Prozessüberwachung 161
Punktsteuerungen 40

Q

Quadrantenfehler-Kompensation 81, 83

R

Rahmenständerbauweise 256
Rapid Manufacturing 347
Rapid Prototyping 346, 664
Rapid Tooling 347
Rattern 90
Ratterunterdrückung 90

- Räumen 286
 - Rechnereinheit 409
 - Referenzpunkt 539
 - Regeldifferenz 211
 - Regelkreis 79
 - Reibkompensation 81, 83
 - Relativmaße 530
 - Reset 116
 - Revolver 95, 267, 269, 449, 544
 - RFID 385, 485, 486
 - RFID-Systeme 482, 487
 - Roboter 101
 - Roboterarm 405
 - Roboterbearbeitung 417
 - Robotersteuerung 407
 - Rohrbiegemaschinen 314
 - Rollenbahnen 381
 - rotierende Werkzeuge 442, 446
 - Ruckbegrenzung (Slope) 116
 - Rückspeisung 226
 - Rückzugsbolzen 448
 - Rund- oder Schwenkachsen 63
- S**
- Sachmerkmaliste 444
 - Safe Handling 411
 - Safe Operation 410
 - Safe Robot Technology 410
 - Sägemaschinen 297
 - Satz ausblenden 116
 - Satz Vorlauf 116
 - Säulenbohrmaschinen 295
 - Scannen auf Messmaschinen 116, 340
 - Schälrad 288
 - Schaltbefehle 38
 - Schaltbefehle (M-Funktionen) 528
 - Schaltfunktionen 94
 - Scheibenlaser 302
 - Scheinleistung 432
 - Schleifbänder 277
 - Schleifen 247
 - Schleifen unrunder Formen 282
 - Schleifmaschinen 185, 274
 - Schleifscheiben 277
 - Schleifschnecken 292
 - Schleifspindeln 248, 26
 - Schleifwerkzeuge 277
 - Schleifzyklen 282
 - Schleppabstand 66
 - Schleppfehler 66, 143
 - Schleppfehler-Kompensation 89
 - Schmelzschnneiden 305
 - Schneiderodieren 316, 317
 - Schneidplatten 443
 - Schneidrad 288
 - Schneidstoff 445
 - Schnittdaten 440
 - Schnittgeschwindigkeit 232, 264, 272, 440
 - Schnittstellen 648
 - Schnittwerte 476
 - Schrägbett Drehmaschinen 266
 - Schräglagenüberwachung 263
 - Schrägverzahnung 287, 289
 - Schreib-Lese-System 483
 - Schrittmotoren 200
 - Schutzbereiche 123
 - Schwenkachsen 261
 - Schwenkbarer Drehtisch 259
 - Semi Closed Loop 77
 - Semi-Closed-Loop-Betrieb 73
 - Senkerodieren 316, 317
 - Sensoren 415
 - SERCOS-Bus 163
 - SERCOS III 167
 - SERCOS interface 207
 - Servoantriebe 428
 - Servomotor 195, 197, 199
 - Shiften 290
 - Sicherheitsfunktionen bei Robotern 410
 - Sicherheitskonzepte, integrierte 128
 - Sicherheitstechnik 128
 - sich ersetzende Maschinen 376
 - Simulation 116, 121, 123, 595, 599, 613, 664
 - der Bearbeitung 260
 - des Bearbeitungsablaufs 671
 - dynamische 396
 - Simulationsgrafik 573
 - Simulationssoftware 46
 - Simulation von FFS 396
 - Sinterverfahren 350
 - Smarte Objekte 678
 - Smart Factory 680

Social Media 677
 Software-Schnittstelle 117
 Software 40
 Software-Schnittstelle 650
 Sonderwerkzeuge 459
 Späneförderer 189
 Spannfutter 248
 Spannmittel 604
 speicherprogrammierbare Anpassteuerung 111
 speicherprogrammierbare Steuerung 159
 spezifische Zerspänkkräfte 232
 Spiegeln, Drehen, Verschieben 116
 Spindelantriebe 265
 Spindelbeschleunigungszeit 239
 Spindeldrehzahl 105
 Spindeldrehzahlen beim Fräsen 234
 Spindelkennlinien 235
 Spindelmesstaster 501, 503, 504
 Spindelsteigungsfehlerkompensation 81, 210
 Spindelsteigungskompensation 82
 Spline 140, 142
 Spline-Interpolation 140, 142
 Splines 266
 Sprachumschaltung 143
 SPS 159, 161, 178, 341
 SPS, PLC 43
 Stangenbearbeitungszentrum 324
 Stanzkopf 309
 Stanz-Laser-Maschine 311
 Stanz- und Nibbelmaschinen 308
 stationäre Auslegung 227
 stehende Werkzeuge 442, 448
 Steigungsfehler 68
 Steilkegel 448
 Steilkegelaufnahmen 246
 STEP 349, 585, 586
 STEP (ISO/IEC 10303) 140
 Stereolithografie (STL) 358
 Sternrevolver 450
 Steuerungen, offene 148
 Steuerungsarten 40
 Steuerungsnachbildung 601
 Stirnräder 285
 Stirnseitenbearbeitung 327
 STL 349

Strahlführung 305
 Strahlquellen 302
 Strahlschmelzen 352, 354
 Streckensteuerungen 41
 Sublimierschneiden 305
 Swiss type Lathe 267
 Synchron-Linearmotoren 203
 Synchronmotoren 218, 219
 Synchron-Servoantriebe 200
 Synchron-Servomotoren 200
 Syntax und Semantik 527
 Systembetrachtung einer Werkzeugmaschine 238
 Systemdiagnosen 119

T

Tapping-Center 296
 Taster, messender 340
 Tastkopf 338
 Tauchfräsen (Plunging) 568
 Teach-In/Playback-Verfahren 562
 Teileprogramme 111
 Teilverfahren 286
 Teleservice 143
 Temperaturfehler-Kompensation 112
 Temperaturkompensation 81, 85
 Tiefbohrmaschinen 295
 Token Passing 643
 Token-Prinzip 643
 Torquemotoren 79
 Touch-Bedientafeln 147
 Trägheitsmoment 198, 229
 Transformation 544
 Transponder 487
 Transportsystem 364, 376
 - Auswahl 381
 - Funktionsablauf 384
 - Steuerung 385
 trochoidale Bearbeitung 568
 Trockenbearbeitung 189, 264, 290
 Trockenlauf 122

U

Übertragungsgeschwindigkeit 645
 Übertragung von Daten 154

Überwachung der Werkzeuge
 im Arbeitsraum 482
 Umkehrspanne 67
 Umlenkspiegel 305
 Umschlingungswinkel 568
 Universal-Rundschleifmaschine 274
 universelle Auslegung von Maschinen 235
 Unterflur-Schleppkettenförderer 381
 Unterprogramme 117
 USB-Sticks und USB-Festplatten 50

V

V.24-Schnittstelle 649
 VDI-Halter 449
 Verschleißkompensation 454
 Verstellkopf 454
 Vertikaldrehmaschinen 266, 270
 vertikales Bearbeitungszentrum 257
 Vertikalmaschinen 255
 Verzahnmaschinen 185, 285, 288
 – Programmierung 294
 Verzahnverfahren 286
 Virtualisierung 678
 Virtuelle Maschine 602
 Voll Hartmetall 446
 Volumenkompensation (VCS) 81, 86
 Voreinstellgeräte 479
 Vorschub 440
 Vorschubantriebe 65, 195, 197, 218, 221,
 225, 232, 274, 341
 Vorschub-Begrenzung 143
 Vorschubgeschwindigkeit 106
 Vorsteuerung 143

W

Wälzfräsen 286
 Wälzfräsen von Zahnrädern 288
 Wälzfräser 288
 Wälzfräsmaschinen 285, 289, 290
 Wälzführungen 186
 Wälzhobeln 288
 Wälzmodul 288
 Wälz- oder Hüllschnittverfahren 286
 Wälzschleifen 286
 Wälzstoßen 286, 288

Wasserstrahl-Schneidmaschinen 321
 Wechselrichter 196
 Wegbedingungen (G-Funktionen) 532
 Weginformationen 61, 529
 Wegmesssysteme 341
 Weichvorbearbeitung 288
 Weltwirtschaftskrise 2009 28
 Wendeplatten 443, 446
 Wendeschneidplatten-Feinverstellung 454
 Wendespanner 259
 Werkrad 293
 Werkstattorientierte Programmierung (WOP)
 46
 Werkstückmesstaster 497
 Werkstückmessung 495
 Werkstücknullpunkt 540
 Werkstückspeicher 267
 Werkstück-Transportsysteme 376
 Werkstückverwaltung 386
 Werkstückwechsel 101, 260
 Werkstück-Wechseleinrichtung 260
 Werkzeugaufnahmen 246, 465
 Werkzeugblatt 471
 Werkzeugbruch-Kontrolle 272
 Werkzeugbruchüberwachung 510
 Werkzeugbruch- und Standzeitüberwachung
 112
 Werkzeugcodierung 100
 Werkzeuge 439, 594, 605
 – angetriebene 95, 113, 268
 Werkzeugerkennung 485
 Werkzeugidentifikation 100, 470
 Werkzeugklassifikation 445, 473
 Werkzeugkomponenten 473
 Werkzeugkorrektur, 3-D 144
 Werkzeugkorrekturen 505, 547
 Werkzeugkorrekturwerte 272
 Werkzeuglängenkorrektur 548
 Werkzeuglängen-Messung 119
 Werkzeuglisten 477
 Werkzeuglogistik 480
 Werkzeugmagazin 267
 Werkzeugradiuskorrektur 548
 Werkzeugrechner 485
 Werkzeugrevolver 95, 449
 Werkzeugschleifmaschine 274, 285
 Werkzeugspeicher 260, 367

Werkzeug-Standzeitüberwachung 272
Werkzeugträgerbezugspunkt 544
Werkzeugüberwachung 509
Werkzeugverwaltung (Tool Management)
386, 397, 466
Werkzeugvoreinstellung 478
Werkzeugwechsel 95, 97, 124, 228
Werkzeugwechsellpunkt 543
Werkzeugwechsler 429
Wiederanfahren an die Kontur 117
Winkelkopf 451
Winkligkeitsfehlerkompensation 84
Wirbelfräsen (Trochoidales Fräsen) 135,
568
Wirkleistung 432

WLAN – Wireless Local Area Network 625
WOP – Werkstattorientierte Programmie-
rung 260, 273, 564
Wuchtausgleich, dynamischer 456
WZ-Ident-System 485

Z

Zirkular- oder Kreisinterpolation 42
Zustellung 440
Zwischenkreis 196, 226
Zwischenkreisspannung 216
Zyklen 297, 523, 535
Zykluszeit 167, 173
Zylindermantelflächen 259