

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Begriffsdefinition	1
1.2 Industrielle Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaus	4
2 Entwicklung der Produktionstechnik und der Werkzeugmaschinen	7
2.1 Die handwerkliche Phase der Produktionstechnik	7
2.2 Die Entstehung des Werkzeugmaschinenbaus zur Zeit der Industrialisierung	8
2.3 Von der mechanischen zur rechnergestützten Automatisierung	12
3 Anforderungen an Werkzeugmaschinen	19
3.1 Bewertungskriterien für Werkzeugmaschinen	19
3.2 Verbesserung der Arbeitsgenauigkeit	20
3.2.1 Arbeitsgenauigkeit und Fertigungsgenauigkeit	20
3.2.2 Verlagerung durch Kräfteinfluß	21
3.2.3 Verlagerung durch Wärmeeinfluß	22
3.2.4 Verlagerung durch Verschleiß	23
3.3 Erhöhung der Mengenleistung	24
3.3.1 Definition der Mengenleistung	24
3.3.2 Mengenleistung und Fertigungskosten	25
3.3.3 Konstruktive Maßnahmen zur Verkürzung der Belegungszeit	26
3.3.4 Überlagerung von Teilzeiten der Belegungszeit	27
3.4 Verbesserung der Flexibilität und der Integrationsfähigkeit	28
3.5 Senkung der Fertigungskosten	31
3.6 Weitere Anforderungen an Werkzeugmaschinen	32
4 Grundlagen der Zerspanung	33
4.1 Einleitung	33
4.2 Kinematik und Geometrie des Zerspanvorganges	34
4.2.1 Bewegungen beim Spanen	34
4.2.2 Eingriffs- und Spanungsgrößen	35
4.3 Schneidteilgeometrie	37
4.3.1 Bezugssysteme	37
4.3.2 Flächenbezeichnungen	42
4.3.3 Schneidenbezeichnung	42
4.3.4 Winkel am Werkzeug	42
4.4 Spanbildung, Spanarten und Spanformen	46
4.4.1 Übersicht	46

4.4.2 Spanbildung	46
4.4.3 Spanarten	46
4.4.4 Spanformen	48
4.5 Mechanische Beanspruchung	51
4.6 Thermische Beanspruchung	55
4.6.1 Energieumwandelungsprozeß	55
4.6.2 Temperaturverteilung und Temperaturabhängigkeit	60
4.7 Verschleiß und Standgrößen	61
4.7.1 Verschleißmechanismen	61
4.7.2 Verschleißformen und Verschleißmeßgrößen	64
4.7.3 Standgrößen	66
4.8 Schneidstoffe	69
4.8.1 Übersicht	69
4.8.2 Metallische Schneidstoffe	69
4.8.2.1 Unlegierte und legierte Werkzeugstähle	69
4.8.2.2 Schnellarbeitsstähle	70
4.8.2.3 Hartmetalle	72
4.8.3 Keramische Schneidstoffe	72
4.8.4 Diamant und kubisches Bornitrid	73
4.9 Kühlschmiermittel	74
4.9.1 Aufgabe von Kühlschmierstoffen	74
4.9.2 Kühlschmiermittelarten	74
4.10 Wirtschaftliche Schnittbedingungen	76
5 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen	79
5.1 Übersicht	79
5.2 Beschreibung des dynamischen Verhaltens, Modalanalyse	80
5.2.1 Dynamische Steifigkeit	80
5.2.2 Experimentelle Modalanalyse	83
5.2.3 Rechnerische Modalanalyse	90
5.3 Schwingungserscheinungen an Werkzeugmaschinen	99
5.3.1 Freie Schwingungen	99
5.3.2 Fremderregte Schwingungen	100
5.3.3 Selbsterregte Schwingungen	101
5.4 Beeinflussung des dynamischen Verhaltens	108
5.4.1 Allgemeines	108
5.4.2 Beeinflussung des dynamischen Verhaltens über die Maschineneigenschaften	109
5.4.3 Beeinflussung des dynamischen Verhaltens über den Zerspanprozeß	112
6. Gestelle	117
6.1 Beanspruchungen von Gestellen	117
6.1.1 Allgemeines	117
6.1.2 Statische Beanspruchung des Gestells	117
6.1.3 Steifigkeitsgerechte Konstruktion	121
6.1.4 Dynamische Beanspruchung des Werkzeugmaschinengestells	129
6.1.5 Thermische Beanspruchung des Werkzeugmaschinengestells	131

6.2 Konzepte für Werkzeugmaschinenestelle	135
6.2.1 Einflußgrößen auf das Gestellkonzept und Vorgehensweise für die Konzeption	135
6.2.2 Wahl einer geeigneten Kinematik	136
6.2.3 Übliche Gestellkonzepte	138
6.2.4 Fertigungstechnische Gesichtspunkte	139
6.2.5 Werkstoffe für Werkzeugmaschinenestelle	143
6.3 Berechnung von Gestellbauteilen - Finite-Elemente-Methode (FEM)	145
7 Führungen	153
7.1 Anforderungen und Auslegung	153
7.2 Klassifizierung von Werkzeugmaschinenführungen	156
7.2.1 Einleitung	156
7.2.2 Einteilung nach Funktionsweise	157
7.2.3 Einteilung nach Führungsbahngeometrie	158
7.2.3.1 Flachführungen	158
7.2.3.2 V- und Dachprismenführungen	158
7.2.3.3 Schwalbenschwanzführungen	159
7.2.3.4 Rundführungen	159
7.3 Hydrodynamische Gleitführungen	159
7.3.1 Tribologie	159
7.3.2 Hydrodynamische Schmierdruckbildung	160
7.3.3 Stribeck-Kurve	161
7.3.4 Ruckgleiten	162
7.3.5 Werkstoffe für hydrodynamische Gleitführungen	164
7.3.6 Reibungsverhalten	165
7.3.7 Verschleißverhalten	167
7.3.8 Einfluß der Flächenpressung	169
7.3.9 Schmierung	171
7.3.10 Paßleisten	171
7.4 Hydrostatische Gleitführungen	173
7.4.1 Funktionsweise	173
7.4.2 Berechnungsgrundlagen	175
7.4.3 Konstruktive Ausführungsformen	178
7.5 Aerostatische Führungen	181
7.5.1 Funktionsweise, Grundbegriffe, Merkmale	181
7.5.2 Konstruktive Ausführungsformen	182
7.6 Wälzführungen	183
7.6.1 Wälzkörper- und Wälzbahngeometrie	183
7.6.2 Fesselung der Wälzkörper	184
7.6.3 Steifigkeit und Dämpfung	185
7.6.4 Konstruktive Ausführung	186
7.7 Fertigung, Montage und Umbauteile von Führungen	186
7.7.1 Fertigung und Montage	187
7.7.2 Umbauteile	188
7.8 Gegenüberstellung der Führungsprinzipien	189
7.8.1 Herstellkosten	191
7.8.2 Auswahlkriterien	192

8 Hauptspindeln	195
8.1 Anforderungen	195
8.2 Steifigkeit von Hauptspindeln	198
8.2.1 Kräfte an einer Spindel	198
8.2.2 Statische Steifigkeit	198
8.2.3 Dynamische Steifigkeit	203
8.2.4 Thermische Steifigkeit	206
8.3 Lagerung von Hauptspindeln	210
8.3.1 Allgemeines	210
8.3.2 Hauptspindeln mit Wälzlagern	212
8.3.2.1 Allgemeines	212
8.3.2.2 Laufgenauigkeit	213
8.3.2.3 Lagerungsarten	215
8.3.2.4 Schmierung	219
8.3.2.5 Motorspindeln	221
8.3.3 Hauptspindeln mit Gleitlagern	222
8.3.3.1 Allgemeines	222
8.3.3.2 Hydrodynamische Gleitlager	222
8.3.3.3 Hydrostatische Gleitlager	223
8.3.3.4 Weitere Lagerbauarten	224
9 Hauptantriebe	227
9.1 Einleitung	227
9.2 Anforderungen und Auslegung	228
9.2.1 Bearbeitungsgerechte Bemessung	228
9.2.1.1 Drehzahlbereich und Drehzahlverstellung	228
9.2.1.2 Leistung und Drehmoment	230
9.3 Wirkungsgrad	232
9.4 Schwingungsverhalten	233
9.5 Anlauf- und Bremsverhalten	234
9.6 Antriebsmotoren	236
9.6.1 Übersicht	236
9.6.2 Gleichstrommotor	237
9.6.2.1 Aufbau und Wirkungsweise	238
9.6.2.2 Betriebseigenschaften	239
9.6.2.3 Drehzahlverstellung	242
9.6.3 Asynchronmotor	244
9.6.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	244
9.6.3.2 Betriebseigenschaften	245
9.6.3.3 Drehzahlverstellung	246
9.6.4 Auslegung und Auswahl eines Hauptantriebmotors	247
9.6.4.1 Drehmoment- und Drehzahlverhalten	248
9.6.4.2 Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit	250
9.6.4.3 Thermisches Verhalten	252
9.6.4.4 Bauformen und Anordnung des Hauptantriebmotors	252
9.6.4.5 Geräusch- und Schwingungsverhalten	254
9.7 Drehzahleinstellung	254
9.7.1 Stufenlose Drehzahleinstellung	254

9.7.1.1 Elektrische Getriebe	255
9.7.1.2 Hydraulische Getriebe	255
9.7.1.3 Mechanische Getriebe	259
9.7.2 Gestufte mechanische Drehzahleinstellung	263
9.7.2.1 Auslegung	263
9.7.2.2 Bauformen mechanischer Getriebe	267
10 Vorschubantriebe	271
10.1 Einleitung	271
10.1.1 Forderungen an Vorschubantriebe	273
10.1.2 Prinzipielle Möglichkeiten für den Aufbau von Vorschubantrieben	274
10.2 Mechanische Vorschubantriebe	276
10.3 Hydraulische Vorschubantriebe	278
10.4 Elektrische Vorschubantriebe	282
10.4.1 Einleitung	282
10.4.2 Antriebsmotoren	283
10.4.2.1 Gleichstrommotoren (konventionell mit Bürsten und Kommutator)	284
10.4.2.2 Bürstenloser Gleichstrommotor	288
10.4.2.3 Synchronmotor	291
10.4.2.4 Asynchronmotor	291
10.4.2.5 Betriebsverhalten der einzelnen Antriebe im Vergleich	292
10.4.2.6 Linearantriebe	293
10.4.2.7 Die Drehzahlmessung	294
10.4.3 Mechanische Baugruppen	295
10.4.3.1 Allgemeines	295
10.4.3.2 Zahnriemen	297
10.4.3.3 Möglichkeiten zum Wandeln der Rotationsbewegung in die Translationsbewegung	298
10.4.3.4 Führungen	301
10.5 Der Lageregelkreis	301
10.6 Auslegung von Vorschubantrieben	306
11 Weg- und Winkelmeßsysteme	315
11.1 Anforderungen	315
11.2 Begriffe	316
11.3 Funktionsstruktur	317
11.4 Meßverfahren	318
11.4.1 Direktes und indirektes Meßverfahren	318
11.4.2 Analoges und digitales Meßverfahren	319
11.4.3 Absolutes und relatives Meßverfahren	320
11.5 Meßprinzipien	322
11.5.1 Photoelektrisches Meßprinzip	322
11.5.2 Induktives Meßprinzip	324
11.5.3 Laserinterferometer	327
12. Steuerungstechnik und Informationsverarbeitung	329
12.1 Übersicht	329
12.1.1 Forderungen an Werkzeugmaschinensteuerungen	330

12.1.2 Grundbegriffe des Steuerns und Regeln	330
12.1.3 Einteilung von Steuerungen	332
12.2 Realisierungsformen verbindungsprogrammierter Steuerungen	336
12.2.1 Mechanische Steuerungen	336
12.2.2 Pneumatische und hydraulische Steuerungen	339
12.2.3 Elektrische Steuerungen	343
12.2.4 Nachformsteuerungen	345
12.3 Speicherprogrammierbare Steuerungen	347
12.3.1 Aufbau und Funktionsweise	348
12.3.2 Integration in Werkzeugmaschinen	351
12.3.3 Programmierung	351
12.4 Numerische Steuerungen	353
12.4.1 Aufbau und Funktionsweise	353
12.4.2 Integration in Werkzeugmaschinen	359
12.4.3 Programmierung	361
12.4.4 Trends	365
12.5 Rechnergestützte Steuerdatenverteilung	367
12.5.1 DNC-Systeme	368
12.5.2 CAM-Systeme	370
Literaturverzeichnis	375
Sachwortverzeichnis	389