
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fertigungsmesstechnik und Werkstückqualität	5
2.1	Fertigungsstörungen und Fertigungshistorie	6
2.2	Messen und Prüfen	12
2.2.1	Messfehler	12
2.2.2	Makro- und Mikrogeometrie von Bauteilen	14
2.3	Längenprüfmittel	16
2.3.1	Maßverkörperungen	16
2.3.2	Lehren	17
2.3.3	Anzeigende Messgeräte	19
2.4	Oberflächenprüfung	27
2.4.1	Oberflächenkenngrößen	27
2.4.2	Subjektive Oberflächenprüfung	31
2.4.3	Oberflächenmessung	33
2.5	Prüfung der Werkstückrandzone	36
2.5.1	Oberflächenschichten	37
2.5.2	Prüfung der oberflächennahen Randschicht	41
3	Grundlagen der Zerspanung	47
3.1	Der Schneidteil – Begriffe und Bezeichnungen	48
3.2	Bezugssysteme	50
3.3	Grundlegende Verfahrensvarianten	55
3.4	Spanbildung	56
3.4.1	Der Schnittvorgang	57
3.4.2	Verschiedene Arten der Spanbildung	60
3.5	Kinematische Oberflächenrautiefe	65
3.6	Mechanische und thermische Beanspruchung des Schneidteils	65
3.6.1	Einfluss der Geometrie des Schneidteils	81
3.7	Verschleiß	84
3.7.1	Verschleißmechanismen	84

3.7.2	Verschleißursachen	87
3.7.3	Verschleißformen und -messgrößen	99
3.8	Zerspanungstheorie	100
3.8.1	Die Theorie der Scherebene	100
3.8.2	Anwendung der Plastizitätslehre bei der Zerspanung	109
4	Schneidstoffe und Werkzeuge	113
4.1	Schneidstoffübersicht	115
4.1.1	Klassifizierung der harten Schneidstoffe	116
4.2	Werkzeugstähle	119
4.2.1	Kaltarbeitsstähle	119
4.2.2	Schnellarbeitsstähle	120
4.3	Hartmetalle	129
4.3.1	Geschichtliche Entwicklung	130
4.3.2	Herstellung der Hartmetalle	132
4.3.3	Komponenten der Hartmetalle und ihre Eigenschaften	134
4.3.4	Gefügeausbildung	136
4.3.5	Einteilung der Hartmetalle	137
4.3.6	Unbeschichtete Hartmetalle und Cermets	142
4.3.7	Funktionsgradienten-Hartmetalle (FGHM)	143
4.3.8	Beschichtete Hartmetalle und Cermets	147
4.4	Beschichtungen	147
4.4.1	Beschichtungsverfahren	149
4.4.2	Spezifische Eigenschaften von Hartstoffschichten	174
4.4.3	Substratvorbehandlung	188
4.5	Keramische Schneidstoffe	188
4.5.1	Schneidkeramiken	189
4.5.2	Hochharte nichtmetallische Schneidstoffe	201
4.6	Werkzeugausführungen	215
4.6.1	Massiv-Werkzeuge	216
4.6.2	Werkzeuge mit Schneidplatte	217
4.7	Aufbereitung von Werkzeugen	226
5	Schneidkantenpräparation	229
5.1	Ziele	230
5.2	Charakterisierung von Schneidkanten	231
5.2.1	Kenngößen	231
5.2.2	Messtechnik	232
5.3	Präparationsverfahren	235
5.3.1	Schleppscheifen	236
5.3.2	Bürsten	237
5.3.3	Flakkotieren	239
5.3.4	Strahlen	240

5.3.5	Magnetfinishing	242
5.3.6	Alternative Verfahren	243
5.4	Einfluss der Schneidkantenpräparation auf den Zerspanprozess	244
5.4.1	Grundlegende Einflüsse	244
5.4.2	Werkzeugverschleiß und -standzeit	246
6	Kühlschmierstoffe (KSS)	251
6.1	Aufgaben der Kühlschmierstoffe	252
6.2	Arten von Kühlschmierstoffen	252
6.2.1	Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe	253
6.2.2	Wassergemischte Kühlschmierstoffe	254
6.3	Gebrauchshinweise für Kühlschmieremulsionen	255
6.4	Auswirkungen des KSS auf den Zerspanprozess	257
6.5	Auswahl von Kühlschmierstoffen	260
6.6	Kühlschmierstrategien	262
6.6.1	Trockenbearbeitung	262
6.6.2	Minimalmengenkühlschmierung (MMKS)	265
6.6.3	Konventionelle Überflutungskühlung	269
6.6.4	Hochdruck-KSS-Zufuhr	272
6.6.5	Kryogene Prozesskühlung	277
7	Standvermögen	281
7.1	Ermittlung der Standgrößen	284
7.2	Zerspanbarkeit	284
7.2.1	Standzeit	285
7.2.2	Zerspankraft	288
7.2.3	Oberflächengüte	290
7.2.4	Spanform	293
7.2.5	Schnittgeschwindigkeit	294
7.3	Zerspanbarkeit von Stahlwerkstoffen	295
7.3.1	Gefügebestandteile	295
7.3.2	Kohlenstoffgehalt	298
7.3.3	Legierungselemente	300
7.3.4	Wärmebehandlungsarten	303
7.4	Zerspanbarkeit unterschiedlicher Stahlwerkstoffe	310
7.4.1	Automatenstähle	310
7.4.2	Einsatzstähle	313
7.4.3	Vergütungsstähle	315
7.4.4	Nitrierstähle	316
7.4.5	Werkzeugstähle	317
7.4.6	Gehärtete Stähle	319
7.4.7	Nichtrostende Stähle	323

7.5	Zerspanbarkeit von Gusseisen	328
7.5.1	Weißes Gusseisen.	329
7.5.2	Graues Gusseisen.	332
7.6	Zerspanbarkeit von Nichteisenmetallen.	342
7.6.1	Aluminiumlegierungen	342
7.6.2	Magnesiumlegierungen	345
7.6.3	Titanlegierungen	349
7.6.4	Kupferlegierungen	366
7.6.5	Nickellegierungen	373
7.7	Zerspanbarkeit von Nichtmetallen.	389
7.7.1	Graphit	389
7.7.2	Faserverbundwerkstoffe.	394
8	Finite Elemente Methode (FEM)	407
8.1	Grundlegende Konzepte der FEM	408
8.2	LAGRANGESche und EULERSche Betrachtung des Kontinuums.	410
8.3	Explizite und implizite Lösungsverfahren.	410
8.4	Thermo-mechanisch gekoppelte FEA	411
8.5	Nichtlinearitäten.	411
8.6	Werkstoffmodelle.	412
8.6.1	Stoffgesetze für homogene Werkstoffmikrostruktur	412
8.6.2	Stoffgesetze für inhomogene Werkstoffmikrostruktur.	417
8.7	Schädigungsmodelle	421
8.7.1	Makromechanische, zeitunabhängige Schadenskriterien	421
8.7.2	Makromechanische, zeitabhängige Schadenskriterien	422
8.7.3	Mikromechanische Schadenskriterien	423
8.8	Software	425
8.9	Hardware	427
8.10	Phasen einer Finite-Elemente-Analyse (FEA).	427
8.11	Einsatz der FEM in der Zerspantechnik	429
8.11.1	Simulation des Fließspans	429
8.11.2	Simulation eines Scherspans	432
8.11.3	Simulation der Zerspanprozesse	434
9	Prozessauslegung und Prozessüberwachung	441
9.1	Bestimmung wirtschaftlicher Schnittbedingungen	442
9.1.1	Schnittwertgrenzen	442
9.1.2	Optimierung der Schnittwerte	444
9.1.3	Berechnung des Maschinenstundensatzes.	453
9.1.4	Planungsmethoden und Hilfsmittel	454
9.2	Prozessüberwachung	456

9.2.1	Sensoren für die Prozessüberwachung	457
9.2.2	Signalverarbeitung und Überwachungsstrategien	475
9.3	Entwicklung von Prozessmodellen für die Anwendung in der Prozessüberwachung	486
9.3.1	Anforderungen und Randbedingungen für die Modellierung	489
9.3.2	Generierung einer Datenbasis für die Modellbildung	492
9.3.3	Modellerzeugung und Bewertung der Modellgüte	495
10	Werkstückdynamik und Spannsysteme	501
10.1	Werkstückeigendynamik	502
10.2	Prozessanregung der Werkstückschwingungen	505
10.3	Werkstückdynamik im Spannsystem	507
10.4	Dämpfungswirkung von Spannmitteln	509
11	Hartzerspannung mit geometrisch bestimmter Schneide	511
11.1	Einordnung und Einsatzgebiete	512
11.2	Werkzeuge und Werkzeugmaschinen	514
11.2.1	Werkzeuge	514
11.2.2	Werkzeugmaschinen	514
11.3	Technologische Verfahrensgrundlagen	515
11.3.1	Spannbildung	515
11.3.2	Oberflächenausbildung	518
11.3.3	Randzonenbeeinflussung	519
12	Verfahren mit rotatorischer Hauptbewegung	525
12.1	Drehen	526
12.1.1	Plandrehen	528
12.1.2	Runddrehen	529
12.1.3	Schraubdrehen	530
12.1.4	Profildrehen	531
12.1.5	Formdrehen	532
12.1.6	Weitere Verfahrensvarianten	533
12.1.7	Rotationsdrehen	534
12.2	Fräsen	536
12.2.1	Verfahrensvarianten, spezifische Merkmale und Werkzeuge	540
12.3	Bohren	566
12.3.1	Profilsenken	567
12.3.2	Rundbohren	568
12.4	Sägen	596
12.4.1	Bandsägen	596
12.4.2	Hubsägen (Bügelsägen)	599
12.4.3	Kreissägen	600

13 Verfahren mit translatorischer Hauptbewegung	603
13.1 Räumen	604
13.1.1 Plan- und Rundräumen	605
13.1.2 Profilräumen	608
13.1.3 Formräumen	611
13.2 Wälzschaben	615
13.3 Hobeln und Stoßen	619
13.3.1 Planstoßen und Planhobeln	619
13.3.2 Wälzstoßen	621
13.3.3 Wälzhobeln	629
Literatur	631
Patente	665
Normen	667
Richtlinien	671
Internet	673
Stichwortverzeichnis	675