

Fritz Klocke · Wilfried König

Fertigungsverfahren 3

Abtragen, Generieren
Lasermaterialbearbeitung

4., neu bearbeitete Auflage

Mit 226 Abbildungen

Inhalt

Inhalt	IX
Formelzeichen und Abkürzungen	XIII
Einleitung	1
2 Funkenerosives Abtragen (EDM)	3
2.1 Grundlagen	3
2.1.1 Physikalisches Prinzip	3
2.1.2 Prinzipieller Aufbau von Funkerosionsanlagen.....	7
2.1.3 Verfahrensvarianten.....	17
2.1.4 Modelle zur Funkerosion	27
2.2 Technologie	37
2.2.1 Funkerosives Senken	37
2.2.2 Funkerosives Schneiden mit ablaufender Drahtelektrode ...	47
2.2.3 Oberflächenbeschaffenheit	63
2.3 Elektrodenmaterialien und Elektrodenherstellung.....	77
2.4 Arbeitssicherheit und Umweltschutz.....	83
2.4.1 Arbeitssicherheit.....	83
2.4.2 Umweltschutz	85
2.5 Anwendungsbeispiele.....	86
2.5.1 Senken	86
2.5.2 Schneiden	95
2.5.3 Funkerosives Abrichten von Schleifwerkzeugen.....	100
2.6 Mikروفunkerosion	103
2.6.1 Mikrosenken	103
2.6.2 Mikrodrahterosion	109
3 Chemisches Abtragen	127
3.1 Ätzabtragen.....	127
3.2 Thermisch-chemisches Entgraten	128

4 Elektrochemisches Abtragen (ECM)	133
4.1 Grundlagen	133
4.1.1 Prinzip der anodischen Metallauflösung	134
4.1.2 Aufbau von EC-Senkanlagen	142
4.2 Technologie	146
4.2.1 Maschinenparameter.....	147
4.2.2 Elektrolyte	152
4.2.3 Werkstoffe	153
4.2.4 Gepulste EC-Bearbeitung.....	156
4.2.5 Bahn-EC-Bearbeitung	158
4.3 Arbeitssicherheit und Umweltschutz.....	159
4.4 Anwendungsbeispiele für das elektrochemische Senken	161
4.5 Sonderverfahren der elektrochemischen Bearbeitung.....	167
4.5.1 EC-Endbearbeitung funkenrodierter Bauteile.....	167
4.5.2 Elektrochemische Bohrverfahren	168
4.5.3 Elektrochemisches Entgraten	171
4.6 Elektrochemisches Oberflächenabtragen.....	173
4.7 EC-Abrichten feinkörniger Schleifwerkzeuge.....	178
4.7.1 Electrolytic In-Process Dressing (ELID).....	178
4.7.2 Electrochemical In-Process Controlled Dressing (ECD).....	182
4.7.3 Electro Chemical Discharge Machining (ECDM).....	183
4.8 Elektrochemische Mikrobearbeitung.....	184
5 Galvanotechnik	187
5.1 Grundlagen	187
5.2 Technologie	190
5.2.1 Anlagentechnik.....	190
5.2.2 Sonderverfahren	191
5.3 Arbeitssicherheit und Umweltschutz.....	192
5.4 Anwendungsbeispiele	193
5.4.1 Galvanisch beschichtete EDM-Drähte	193
5.4.2 Galvanisch gebundene Schleifscheiben.....	194
5.4.3 Werkzeugherstellung mit dem LIGA-Verfahren.....	198
6 Lasermaterialbearbeitung	201
6.1 Grundlagen der Bearbeitung mit Lasern.....	202
6.1.1 Erzeugung und Charakterisierung von Laserstrahlung.....	202
6.1.2 Laserstrahlquellen.....	216
6.1.3 Aufbau von Laseranlagen	229
6.2 Sicherheitsmaßnahmen bei der Lasermaterialbearbeitung	239
6.2.1 Gefahr für Auge und Haut.....	239

6.2.2 Schutzmaßnahmen	243
6.3 Technologie	246
6.3.1 Laserstrahlschneiden	246
6.3.2 Laserstrahlfügen	252
6.3.3 Laserstrahloberflächenbehandlung	258
6.3.4 Laserstrahlabtragen.....	263
6.3.5 Laserunterstützte Bearbeitung	269
6.4 Anwendungsbeispiele	280
6.4.1 Laserstrahlschneiden	280
6.4.2 Laserstrahlfügen	283
6.4.3 Laserstrahloberflächenbehandlung	288
6.4.4 Laserstrahlabtragen.....	292
6.4.5 Laserunterstützte Bearbeitung	296
6.5 Entwicklungstendenzen	301
7 Materialbearbeitung mit Elektronenstrahlen (EBM)	305
7.1 Grundlagen	305
7.1.1 Physikalisches Prinzip	305
7.1.2 Elektronenstrahlanlage	306
7.2 Leistungsfähigkeit und Einsatzbereiche	308
7.2.1 Kunststoffbearbeitung mit dem Elektronenstrahl	308
7.2.2 Elektronenstrahlhärten.....	309
7.2.3 Umschmelzveredeln	309
7.2.4 Elektronenstrahlschweißen	311
7.2.5 Perforieren, Bohren, Fräsen, Gravieren	314
7.2.6 Polieren.....	315
8 Materialbearbeitung mit Hochdruckwasserstrahl	321
8.1 Grundlagen	321
8.1.1 Wirkmechanismen des Wasserstrahlschneidens.....	321
8.1.2 Systemkomponenten.....	322
8.2 Technologie	326
8.3 Anwendung und Einsatzgebiete	328
8.4 Entwicklungstendenzen	331
9 Ultraschallschwinglappen	333
9.1 Grundlagen	333
9.1.1 Verfahrensbeschreibung und Abtragprinzip.....	333
9.1.2 Aufbau von USM-Anlagen.....	335
9.2 Technologie	338
9.2.1 Prozessparameter	338
9.2.2 Läppmittel.....	342

9.2.3 Formzeug.....	344
9.2.4 Prozessüberwachung mittels Acoustic Emission.....	350
9.2.5 Prozessvariante – Ultraschallbahnbearbeitung.....	352
9.2.6 Werkstoffe	353
9.3 Bearbeitungsbeispiele.....	356
Literatur	361
Normen, Richtlinien und Internetadressen	381
Sachwortverzeichnis	383