
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einordnung in das Normensystem	2
	Literatur	3
2	Funkenerosives Abtragen (EDM)	5
2.1	Grundlagen	6
2.1.1	Physikalisches Prinzip	6
2.1.2	Verfahrensvarianten	30
2.1.3	Aufbau von EDM-Werkzeugmaschinen	36
2.2	Technologie	41
2.2.1	Einstellgrößen	41
2.2.2	Dielektrika	58
2.2.3	Elektrodenwerkstoffe	60
2.2.4	Werkstückwerkstoffe	67
2.2.5	Vergleich Senkerosion und Drahterosion	83
2.3	Prozess- und Werkzeugauslegung	84
2.3.1	Prozessparameter in der Funkenerosion	84
2.3.2	Modellkonfigurationen für Technologieprozesse	86
2.3.3	Vernetzung, Digitalisierung und adaptive Fertigung	91
2.3.4	Prozesssteuerungs- und Prozessüberwachungseinrichtungen in der EDM-Bearbeitung	94
2.3.5	Regelkreiskonzepte in der Funkenerosion	98
2.3.6	Datenbasierte Prozessmodelle in der EDM-Bearbeitung und Optimierungsstrategien	102
2.3.7	Lokalisierung von Entladungen	111
2.3.8	Bildung von pyrolytischem Grafit als Verschleißschutz des Werkzeugs	112
2.3.9	Bildung von Titankarbid bei der Bearbeitung von Titanlegierungen	114

2.3.10	Entladekräfte während der Funkenerosion	116
2.3.11	Schallemissionsanalyse zur Prozessüberwachung	120
2.4	Anwendungsbeispiele und weitere Verfahrensvarianten	124
2.4.1	Allgemeines	124
2.4.2	Funkenerosives Senken (SEDM)	124
2.4.3	Mikro-Senkerosion	129
2.4.4	Mikro-Bahnerosion	134
2.4.5	Drahtfunkenerosion (WEDM)	136
2.4.6	Mikrodraht-EDM	144
2.4.7	Hybridprozesse und weitere Anwendungen	156
	Literatur	156
3	Chemisches Abtragen	169
3.1	Einteilung	170
3.2	Ätzabtragen	170
3.3	Thermisch-chemisches Entgraten	172
3.4	Chemisch-thermisches Abtragen	175
	Literatur	176
4	Elektrochemisches Abtragen (ECM)	177
4.1	Allgemeines	178
4.2	Grundlagen	179
4.2.1	Klassifizierung	179
4.2.2	Prinzip der anodischen Metallauflösung	180
4.2.3	Aufbau von EC-Senkanlagen	187
4.3	Technologie	191
4.3.1	Allgemeines	191
4.3.2	Maschinenparameter	193
4.3.3	Gepulste EC-Bearbeitung	199
4.3.4	Elektrolyte	203
4.3.5	Werkzeugwerkstoffe	204
4.3.6	Werkstückwerkstoffe	205
4.4	Werkzeugauslegung	208
4.4.1	Allgemeines	208
4.4.2	Heuristische Auslegungsmethoden	208
4.4.3	Numerische Auslegungsmethoden	210
4.5	Anwendungsbeispiele und weitere Verfahrensvarianten	216
4.5.1	Anwendungsbeispiele für das elektrochemische Senken	216
4.5.2	Bahn-EC-Bearbeitung	222
4.5.3	Endbearbeitung funkenerodierter Bauteile durch ECM-Technologien	222
4.5.4	Elektrochemische Bohrverfahren	224
4.5.5	Elektrochemisches Entgraten	226

4.5.6	Elektrochemisches Oberflächenabtragen	228
4.5.7	Jet-ECM	232
4.5.8	Elektrochemisches Drahtschneiden (WECM)	234
4.5.9	Laserinduzierte thermochemische Materialbearbeitung (LCM)	234
4.5.10	EC-Abrichten feinkörniger Schleifwerkzeuge	235
4.5.11	Elektrochemische Mikrobearbeitung	240
4.5.12	Plasmagestützte Oberflächenkonversion	241
4.5.13	Hybridprozesse	249
	Literatur	249
5	Galvanische Beschichtungen	259
5.1	Allgemeines	260
5.2	Grundlagen	260
5.3	Technologie	263
5.3.1	Allgemeines	263
5.3.2	Anlagentechnik	263
5.3.3	Sonderverfahren	264
5.4	Anwendungen	265
5.4.1	Anwendungsbereiche	265
5.4.2	Galvanisch beschichtete EDM-Drähte	265
5.4.3	Galvanisch gebundene Schleifscheiben	266
5.4.4	Werkzeugherstellung mit dem LIGA-Verfahren	272
	Literatur	273
6	Materialbearbeitung mit Laserstrahl	275
6.1	Allgemeines	276
6.2	Grundlagen	277
6.2.1	Erzeugung und Charakterisierung von Laserstrahlung	277
6.2.2	Laserstrahlquellen	286
6.2.3	Aufbau von Laseranlagen	298
6.3	Technologie	308
6.3.1	Laserstrahlschneiden	308
6.3.2	Laserstrahlfügen	312
6.3.3	Laserstrahl-Oberflächenbehandlung	319
6.3.4	Laserstrahlabtragen	326
6.3.5	Laserunterstützte Fertigungsprozesse	333
6.3.6	Freies Biegen mit Laserstrahlung	346
6.4	Anwendungsbeispiele und Verfahrensvarianten	350
6.4.1	Laserstrahlschneiden	350
6.4.2	Laserstrahlfügen	352
6.4.3	Laserstrahloberflächenbehandlung	356

6.4.4	Laserstrahlabtragen	360
6.4.5	Laserunterstützte Bearbeitung	366
6.4.6	Laserunterstütztes Freies Biegen	372
	Literatur	374
7	Materialbearbeitung mit Elektronenstrahlen (EBM)	379
7.1	Grundlagen	380
7.1.1	Physikalisches Prinzip	380
7.1.2	Elektronenstrahlanlage	380
7.2	Technologie	385
7.2.1	Allgemeines	385
7.2.2	Kunststoffbearbeitung mit dem Elektronenstrahl	386
7.2.3	Elektronenstrahlhärten	386
7.2.4	Elektronenstrahlumschmelzen	387
7.2.5	Elektronenstrahlschweißen	388
7.2.6	Perforieren, Bohren, Fräsen, Gravieren	388
7.2.7	Polieren	389
7.3	Anwendungsbeispiele	391
7.3.1	Kunststoffbearbeitung mit dem Elektronenstrahl	391
7.3.2	Elektronenstrahlhärten	391
7.3.3	Elektronenstrahlumschmelzen	391
7.3.4	Elektronenstrahlschweißen	393
7.3.5	Perforieren, Bohren, Fräsen, Gravieren	396
7.3.6	Polieren	397
	Literatur	398
8	Materialbearbeitung mit Hochdruckwasserstrahl	401
8.1	Allgemeines	402
8.2	Grundlagen	402
8.3	Verfahrensmerkmale	405
8.3.1	Verfahrensvarianten	405
8.3.2	Systemkomponenten	408
8.4	Technologie	411
8.4.1	Wasser-Abrasivestrahlschneiden	411
8.4.2	Abtragen von Materialschichten	413
8.4.3	Qualitätsmerkmale	417
8.4.4	Leistungsfähigkeit verschiedener Abrasiv-Materialien	419
8.4.5	Zusammenfassung – Übersicht	420
8.5	Anwendungsbeispiele	421
8.5.1	Wasserstrahlschneiden	421
8.5.2	Wasserstrahlabtragen	425
8.5.3	Sonderanwendungen	425
	Literatur	426

9	Technologievergleiche und Verfahrenskombinationen	429
9.1	Einteilung	430
9.2	Herstellen von Blade Integrated Disks	431
9.2.1	Allgemeines	431
9.2.2	Technologieanalyse	433
9.2.3	Wirtschaftlichkeitsanalyse	437
9.2.4	Prozesskombinationen	439
9.3	Herstellen von Tannenbaum-Nutprofilen	451
9.4	Herstellen von Verdichter-Laufrädern aus Titanaluminid	458
9.5	Bearbeitung von polykristallinem Diamant	459
9.6	Abrichten von metallisch gebundenen Schleifscheiben	465
9.7	Prototypenfertigung von Verzahnungen	468
9.8	Anwendungen im Werkzeugbau	472
9.8.1	Technologiebeispiele	472
9.8.2	Oxidationsbeständigkeit als Oberflächenfunktionalität	475
9.8.3	Technologie-Benchmark	479
9.9	Anwendungen in der Medizintechnik	481
9.10	Prozesssignaturen	484
9.10.1	Allgemeines	484
9.10.2	Energiedissipation	485
9.10.3	Herstellen von dünnwandigen Grafitelektroden mit großem Aspektverhältnis	488
9.10.4	Elektrochemische Metallbearbeitung	491
	Literatur	495