

Aufgaben und Verfahren in der Oberflächenbehandlung

Neuere Entwicklungen in der Oberflächentechnik

Dr.-Ing. J. H. Kerspe

J. Eisenlohr

Prof. Dr.-Ing. J. Feßmann

Dipl. Phys. Winfried Gräfen

Dr.-Ing. W. Lerche

Dipl.-Ing. F. Leyendecker

Dr. E. Pflüger

Dr. A. Savan

Dr. A. Schröer

Mit 258 Bildern, 50 Tabellen und 227 Literaturstellen



Kontakt & Studium

Band 588

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz

Technische Akademie Esslingen

Weiterbildungszentrum

DI Elmar Wippler

expert verlag

expert  **verlag**®

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

A	Übersicht und Einführung in die Thematik	1
1	Aufgaben der Oberflächenbehandlung Begriffbestimmungen und Verfahrenssystematik	1
	J. H. Kerspe	
1.1	Einteilung der Verfahren	1
1.1.1	Begriffsbestimmungen	1
1.1.2	Einteilung der beschichtenden Fertigungsverfahren	3
1.1.2.1	Einteilung in Anlehnung an den Aggregatzustand	3
1.1.2.2	Verfahrenstechnische Einteilung	3
1.2	Kurzdarstellung einiger Beschichtungs- und Oberflächenbehandlungsverfahren	5
1.3	Wirtschaftliche Bedeutung der Oberflächentechnik	14
1.4	Verschleißarten	17
1.4.1	Versuch einer Definition	17
1.4.2	Einige Zusammenhänge aus Tribologie- und Verschleißuntersuchungen	22
1.4.3	Prüfmethoden zur Verschleißuntersuchung	23
1.4.4	Beispiele für Oberflächenschichten zur Verschleißreduktion	26
1.5	Bewertungs- und Prüfkriterien für Oberflächenschichten	30
1.5.1	Definition von Oberflächeneigenschaften	30
1.5.2	Einige gängige Prüftechniken	32
1.6	Literatur	35
2	Verbesserter Informationsfluß durch Rapid Engineering in der Oberflächen- und Schichttechnik	36
	F. Leyenecker	36
2.1	Einführung	36
2.1.1	Definition Rapid Engineering	36
2.2	Aufbau und Strukturen des Rapid Engineering	37
2.2.1	Engineering-Teil	37
2.2.2	Definition des Anforderungsprofils	37
2.2.3	Definition des Leistungsprofils	37
2.3	Aufbau und Struktur der Qualitätsdatenbank	39
2.4	Zusammenfassung	40

B	Verfahren der Oberflächenbehandlung	47
3	Reinigung und Oberflächenbehandlung	47
	J. Feßmann	
3.1	Verschmutzungen und Werkstoffe	49
3.2	Reinigungsmittel	50
3.2.1	Wässrige Reinigungsmittel	50
3.2.2	Chlorierte Lösemittel (CKW-Reiniger)	57
3.2.3	Nichtchlorierte Lösemittel-Reiniger	59
3.3	Anlagentechnik und Badpflege bei der Reinigung	63
3.4	Qualitätssicherung der Oberflächenreinheit	67
3.4.1	Meßverfahren zur Überwachung der Badqualität von Reinigungsanlagen	67
3.4.2	Meßverfahren zur Überwachung der Oberflächenreinheit	68
3.5	Praxisbeispiele	72
3.5.1	Reinigen vor dem Elektronenstrahlschweißen	72
3.5.2	Reinigung von Kupferbauteilen	74
3.5.3	Hochdruckreinigung von Aluminium-Gehäusen	76
3.6	Zusammenfassung	77
3.7	Literatur	77
4	Plasmabehandlung und Ionenätzen	78
	J. Eisenlohr / J. Feßmann	
4.1	Physikalische Aspekte des Plasmas - Teilchen- und Potentialverteilung im Plasma	78
4.2	Chemische Aspekte des Plasmas - Reaktionen im Gasraum und an Oberflächen	83
4.3	Plasmaquellen und Anlagentechnik	87
4.4	Plasmaanwendungen (außerhalb der Halbleitertechnik)	91
4.4.1	Ionenätzen vor einer Vakuumbeschichtung	91
4.4.2	Plasmabehandlung zur Aktivierung von Kunststoffen	93
4.4.3	Plasmareinigung von organischen Verschmutzungen	97
4.4.4	Plasmaätzen in der Elektronikfertigung	98
4.5	Zusammenfassung	100
4.6	Literatur	104
5.1	Thermo-Chemische Behandlung durch Einsatzhärten	105
	W. Lerche	
5.1.1	Einführung	105
5.1.2	Kennzeichnung der Werkstoffzustände im Randbereich	105
5.1.2.1	Werkstoffliche Zielsetzung	105
5.1.2.2	Vorgänge bei der gezielten Werkstoffveränderung im Randbereich	106

5.1.3.	Verfahrenstechnik des Aufkohlens in Atmosphären	115
5.1.3.1	Grundlagen des Gasaufkohlens	115
5.1.3.1.1	Werkstoffliche Grundlagen	115
5.1.3.1.2	Gasreaktionen	117
5.1.3.1.3	Vorgänge im Werkstoffrandbereich	121
5.1.3.2	Prozeßgestaltung beim Aufkohlen	124
5.1.3.2.1	Medienauswahl	124
5.1.3.2.2	Thermo-chemischer Prozeßablauf	127
5.1.3.3	Prozeßkontrolle	129
5.1.3.4	Härteprozeß	131
5.1.3.5	Kennzeichnung des Behandlungsergebnisses	134
5.1.3.6	Prozeßspezifische Besonderheiten	134
5.1.4	Anlagentechnik zum Einsatzhärten	136
5.1.4.1	Medienbereitstellung und Medienentsorgung	136
5.1.4.2	Ofenanlagen	137
5.1.4.2.1	Allgemeine Auswahlkriterien	137
5.1.4.2.2	Mehrzweckkammeröfen	139
5.1.4.2.3	Kontinuierlich betriebene Öfen	141
5.1.4.3	Prozeßsteuerung	143
5.1.5	Zusammenfassung	144
5.1.6	Literatur	145

5.2 Thermo-Chemische Behandlung durch Nitrieren / Nitrocarburieren 147

W. Lerche

5.2.1	Einführung	147
5.2.2	Werkstofftechnische Aufgabenstellungen	147
5.2.3	Eigenschaften von Nitrierschichten	151
5.2.4	Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Erzeugung von Nitrierschichten	157
5.2.4.1	Verfahrenstechnische Grundlagen	157
5.2.4.2	Typische Verfahrensabläufe beim Nitrieren/Nitrocarburieren	160
5.2.4.3	Prozeßüberwachung	161
5.2.5	Kennzeichnung des Behandlungsergebnisses	165
5.2.6	Anlagentechnik zum Nitrieren/Nitrocarburieren	168
5.2.6.1	Medienbereitstellung und -entsorgung	168
5.2.6.2	Stand der Anlagentechnik	170
5.2.6.3	Anforderungen an die Anlagentechnik	173
5.2.6.3.1	Temperaturverteilung im Ofen	173
5.2.6.3.2	Begasung des Ofenraumes	173
5.2.6.4	Reinigung vor dem Nitrieren	173
5.2.6.5	Integration von Nitrieranlagen in Wärmebehandlungslinien	176
5.2.7	Literatur	178

6.1	Plasmaaufkohlen	179
	W. Gräfen	
6.1.1	Einführung	179
6.1.2	Theoretische Grundlagen	179
6.1.2.1	Das Plasma	179
6.1.2.2	Die Glimmentladung	181
6.1.2.3	Das Entladungsgefäß	184
6.1.3	Die Einsatzhärtung mittels der Plasmaaufkohlung	185
6.1.3.1	Ziele der Einsatzhärtung	185
6.1.3.2	Die Plasmaaufkohlung	185
6.1.3.2.1	Der Plasmaaufkohlungszyklus	185
6.1.3.2.2	Die Regelung der Plasmaaufkohlung	187
6.1.3.2.3	Modell für die Kohlenstoffübertragung	192
6.1.4	Ofentechnik für die Plasmaaufkohlung	193
6.1.4.1	Die Einkammer-Technik	193
6.1.4.2	Die Zweikammer-Technik	195
6.1.4.3	Die Mehrkammer-Technik	197
6.1.5	Vor- und Nachteile der Plasmaaufkohlungstechnik	198
6.1.5.1	Qualitative Gesichtspunkte	198
6.1.5.2	Verfahrenstypische Eigenschaften	199
6.1.5.3	Umweltaspekte	199
6.1.5.4	Nachteile der Plasmaaufkohlung	199
6.1.6	Literatur	200
6.2	Plasmanitrieren	201
	W. Gräfen	
6.2.1	Einführung	201
6.2.2	Theoretische Grundlagen	201
6.2.3	Die Nitrierung in der Glimmentladung	201
6.2.3.1	Ziele der Nitrierung	201
6.2.3.2	Die Plasmanitrierung	202
6.2.3.2.1	Der Plasmanitrierzyklus	202
6.2.3.2.2	Die Regelung der Plasmanitrierung	204
6.2.3.2.3	Modell der Stickstoffübertragung	207
6.2.4	Ofentechnik für Plasmanitrierung	208
6.2.5	Vor- und Nachteile der Plasmanitrierung	211
6.2.5.1	Qualitative Gesichtspunkte	211
6.2.5.2	Verfahrenstypische Eigenschaften	212
6.2.5.3	Umweltaspekte	213
6.2.5.4	Nachteile der Plasmanitrierung	213
6.2.6	Literatur	213

C	Verfahren der Oberflächenbeschichtung	215
7	Thermisches Spritzen zur Erzeugung dicker Verschleißschutzschichten	215
	J. Kerspe	
7.1	Verfahrenseinteilung	215
7.1.1	Flammspritzen	217
7.1.2	Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen	218
7.1.3	Lichtbogen-Spritztechnologie	220
7.1.4	Plasmaspritzen	222
7.2	Verarbeitbare Werkstoffe und erreichbare Schichteigenschaften	224
7.2.1	Im Flamm- und Hochgeschwindigkeitsflammspritzverfahren erzeugte Schichten	224
7.2.2	Im Lichtbogenspritzverfahren erzeugte Schichten	229
7.2.3	Im Plasmaspritzverfahren erzeugte Schichten	230
7.3	Literatur	232
8	Innovative Entwicklungen in der Galvanotechnik	234
	F. Leyendecker	
8.1	Einführung	234
8.2	Innovative Entwicklungen in der Galvanotechnik	235
8.2.1	Entwicklungstendenzen in der Verfahrenstechnik	235
8.2.1.1	Geschlossene Anlagentechnik	235
8.2.2	Neue Prozeßtechniken	236
8.2.2.1	Abscheidung von Goldschichten für Verblendkronen	236
8.2.2.2	Aprotische Abscheidung	237
8.2.2.3	Mikrosystemtechnik	237
8.2.2.4	Strukturchrom (Topocrom)	238
8.2.2.5	Prozeßüberwachung	241
8.2.2.6	Anodische Beschichtungen von Leichtmetallen	242
8.2.2.7	Kathodische Magnesium-Beschichtungen	245
8.2.2.8	Zinklegierungsschichten	246
8.2.2.9	Abwassertechnik	246
8.3	Ausblick	247
8.3	Literatur	247
9	Minimierung des adhäsiven Verschleißes durch die Beschichtung von Umformwerkzeugen	248
	J. Kerspe	
9.1	Einführung und Begriffsbestimmung	248
9.2	Grundlagen der CVD-Technik	253
9.2.1	Theoretische Grundlagen	255
9.2.2	Verfahrenstechnik	256
9.2.3	Beeinflussung der Eigenschaften von CVD-Hartstoffschichten	257
9.2.4	Vor- und Nachteile von CVD-Schichten	259

9.3	Anwendungsfälle und die Anforderungen an die Beschichtung	260
9.4	Was ist bei der Werkzeugauslegung und Beschichtungsauswahl zu beachten?	262
9.4.1	Verfahrensablauf bei der CVD-Beschichtung von Umformwerkzeugen	263
9.4.2	Wiederbeschichtung, Reparaturfähigkeit	266
9.4.3	Einige mögliche Fehlerquellen	266
9.4.4	Richtwerte für erreichbare Standzeitenverbesserungen	266
9.4.5	Kosten	268
9.4.6	Beispiele neuerer Entwicklungen und Optimierungsansätze	269
9.5	Literatur	270

10 PVD-Hartstoffschichten zur Verschleißreduzierung 271

A. Schröer / E. Pflüger

10.1	Einführung	271
10.2	Reibung und Verschleiß	271
10.3	Hartstoffschichten	273
10.3.1	Eigenschaften von Hartstoffschichten	273
10.3.2	Festkörperschmierstoffe	278
10.4	Anwendungsbereiche dünner PVD-Schichten	278
10.4.1	Titannitrid	278
10.4.2	Titankarbonitrid	280
10.4.3	Chromnitrid	282
10.4.4.	Titanaluminiumnitrid	283
10.4.5	Diamant, diamantähnliche Schichten	283
10.4.6	Aluminiumoxid	285
10.5	Dekorative Hartstoffschichten	285
10.6	Qualitätssicherung in der Lohnbeschichtung	287
10.6.1	Anforderungen an Oberflächenzustand und Bauteilgeometrien	287
10.6.2	Test- und Prüfkriterien	291
10.7	Literatur	292

11 Reibungs- und Verschleißminderung durch Festschmierstoffe 293

A. Schröer / A. Savan / E. Pflüger

11.1	Einführung	293
11.2	Einteilung und Kurzbeschreibung der Festschmierstoffe	293
11.3	Gründe für den Einsatz von Festschmierstoffen	296
11.4	Konventionelle Beschichtungsmethoden (mit Schwerpunkt MoS ₂)	297
11.5	Hochvakuumbeschichtungsverfahren (mit Schwerpunkt MoS ₂)	298
11.6	Die MoS ₂ -Struktur und ihr tribologisches Verhalten	300
11.7	Anwendung von MoS ₂ -Schichten	303
11.7.1	Raumfahrt-Vakuumtechnologie	303

11.7.2	Industrielle Fertigung	304
11.7.2.1	Bohren	305
11.7.2.2	Fräsen	306
11.7.2.3	Umformen	308
11.7.2.4	Maschinenbau	308
11.8	Ausblick und Neuentwicklungen	309
11.9	Zusammenfassung	313
11.10	Literatur	313
12	Neue Möglichkeiten durch Ionenstrahlunterstützte PVD-Techniken	316
	A. Schröer	
12.1	Einführung	316
12.2	Ionenstrahlverfahren	316
12.2.1	Die Ionenimplantation	316
12.2.2	Das Ionenstrahlmischen	319
12.3	Die Ionenstrahlgestützte Beschichtung	321
12.4	Plasma-Immersion-Ionenimplantation	324
12.5	Vergleich mit klassischen Technologien	329
12.6	Stärken und Schwächen der Ionenstrahlverfahren	329
12.7	Literatur	333
13	Sol-Gel-Beschichtungen - eine neue Verfahrenstechnik	334
	J. Kerspe	
13.1	Sol-Gel und Ormocere - eine Begriffsbestimmung	334
13.1.1	Vorgangsbeschreibung	334
13.2	Allgemein zu erwartende Schichteigenschaften	336
13.3	Stand der Entwicklung	337
13.4	Anforderungen und Schichteigenschaften	337
13.4.1	Allgemeine Angaben zum chemischen Aufbau	337
13.4.2	Verfahrenstechnik	338
13.4.3	Anwendungsbeispiele	340
13.4.3.1	Optische Anwendungen	340
13.4.3.2	Funktions- und Dekorbeschichtungen auf Metallen, Kunststoffen und mineralischen Werkstoffen	343
13.5	Zusammenfassung	348

Stichwortverzeichnis

Die Autoren