

Verschleißhemmende Schichten

Grundlagen des Verschleißverhaltens von Eisenwerkstoffen
und praktische Maßnahmen zur Verschleißminderung

Dr.-Ing. Helmut Kunst

Obering. H. Freller
Prof. Dr.-Ing. K.-H. Habig
Dr.-Ing. Kuno Kirner
Dr.-Ing. Dieter Liedtke
Dipl.-Ing. A. Oldewurtel
Dr. rer. nat. Wolfgang Riedel
Dipl.-Ing. Georg Wahl

Mit 208 Bildern und 122 Literaturstellen



Kontakt & Studium
Band 436

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz
Technische Akademie Esslingen
Weiterbildungszentrum
DI Elmar Wippler
expert verlag

experttty] verlag

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort
Autoren-Vorwort

1.	Grundlagen des Verschleißes von Werkstoffen und Richtlinien zur Bearbeitung von Verschleißfällen	1
	K.-H. Habig	
1.1	Einleitung	1
1.2	Systemanalyse von Verschleißvorgängen	1
1.2.1	Technische Funktion von Tribosystemen	3
1.2.2	Beanspruchungskollektiv	4
1.2.3	Struktur von Tribosystemen	6
1.2.4	Reibungs- und Verschleiß-Kenngrößen	15
1.3	Einfluß von Werkstoffeigenschaften auf das Reibungs- und Verschleißverhalten	16
1.4	Maßnahmen zur Einschränkung des Wirkens der Verschleißmaßnahmen	20
1.5	Checkliste zur Bearbeitung von Verschleißproblemen	20
2.	Randschichtverfahren Einsatzhärten • Carbonitrieren • Nitrieren • Nitrocarburieren und deren Anwendung	23
	G. Wahl	
2.1	Einleitung	23
2.2	Einsatzhärten und Carbonitrieren	23
2.2.1	Aufkohlungsverfahren	28
2.2.1.1	Aufkohlung in Pulver oder Granulat	28
2.2.1.2	Aufkohlung in Salzbadern	29
2.2.1.3	Aufkohlen im Gas	29
2.2.1.4	Aufkohlen unterhalb Atmosphärendruck	31
2.2.1.5	Plasmaaufkohlung	32
2.2.1.6	Abhärtung in Salzwarmbadern nach der Aufkohlung	32
2.2.2	Carbonitrieren	34
2.2.2.1	Carbonitrieren unter A_1	35

2.2.2.2	Carbonitrieren oberhalb A,	36
2.3	Nitrieren und Nitrocarburieren von Eisenwerkstoffen	37
2.3.1	Nitrieren	37
2.3.1.1	Gasnitrieren	38
2.3.1.2	Drucknitrieren	39
2.3.1.3	Plasmanitrieren	39
2.3.2	Nitrocarburieren	39
2.3.2.1	Salzbadnitrocarburieren	40
2.3.2.2	Nitrocarburieren in Gas	41
2.3.2.3	Plasmanitrocarburieren	42
2.3.3	Aufbau von Nitrocarburierschichten	42
2.3.3.1	Verbindungsschicht	42
2.3.3.2	Diffusionsschicht	43
2.3.4	Eigenschaften von nitrocarburierten Bauteilen	47
2.3.4.1	Oberflächenhärte und Kernfestigkeit	47
2.3.4.2	Verschleißwiderstand und Laufeigenschaften	47
2.3.4.3	Verbesserung des Korrosionswiderstandes	49
2.3.4.4	Temperaturbeständigkeit der Verbindungsschicht	52
2.3.4.5	Erhöhung der Dauerschwingfestigkeit und Wälzfestigkeit	54
2.4	Praktische Anwendung von thermochemischen Randschnittverfahren	55
2.4.1	Nitrieren und Nitrocarburieren	55
2.4.2	Einsatzhärten und Carbonitrieren	60
2.5	Zusammenfassung	60
3.	Boridschichten auf Eisenwerkstoffen	64
	H. Kunst	
3.1	Einleitung	64
3.2	Grundlagen	64
3.3	Eigenschaften der Boridschicht und des Verbundes Schicht-Grundwerkstoff	65
3.4	Werkstoffe	70
3.5	Durchführung des Verfahrens	71
3.6	Vor- und Nacharbeiten	74
3.7	Anwendungsbeispiele	75
4.	PVD-Verfahren und ihre Anwendung beim Herstellen verschleißhemmender Schichten	77
	H. Freiler	
4.1	Einleitung	77
4.2	PVD-Oberflächentechnik	79

4.2.1	Verfahrensvarianten zum Ionenplattieren	80
4.2.2	Substrate und Vorbehandlung	82
4.2.3	Schichten	85
4.3	Prüfungen an Schichtverbunden	88
4.3.1	Schichtdicke, Härte, Adhäsion	89
4.3.1.1	Schichtdickenmessung	89
4.3.1.2	Härtemessungen	92
4.3.1.3	Beurteilung der Schichtadhäsion	93
4.3.2	Porosität und Schichtmorphologie	97
4.3.3	Tribologische Untersuchungen	97
4.4	Anwendungen und fertigungsnahe Erprobung	100
4.4.1	Spanende Bearbeitung	102
4.4.2	Blechbearbeitung	105
4.4.3	Umformtechnik mineralstoffgefüllter organischer Massen	109
4.5	Zusammenfassung und Ausblick	111

5. Möglichkeiten der Verschleißprüfung in Betrieb und Labor **114**

K.-H. Habig

5.1	Einführung	114
5.2	Kategorien der Reibungs- und Verschleißprüfung	115
5.2.1	Betriebsversuche, Kategorie I	115
5.2.2	Prüfstandsversuche mit Aggregat oder Baugruppe, Kategorie III	115
5.2.3	Modellversuche, Kategorie VI	117
5.3	Reibungs- und Verschleißprüfungen zur Charakterisierung des tribologischen Verhaltens von Werkstoffen	118
5.4	Simulation von Reibungs- und Verschleißprozessen tribotechnischer Systeme	120
5.5	Folgerungen	127

6. Galvanisch aufgebrachte Schichten zur Verschleißminderung **128**

W. Riedel

6.1	Allgemeines	128
6.2	Möglichkeiten und Grenzen der elektrolytischen und chemischen Metallabscheidung	129
6.3	Tribologie von Überzügen	132
6.4	Weiche Überzüge	133
6.5	Harte Überzüge	137

6.6	Kontaktwerkstoff-Überzüge	143
6.7	Zusammenfassung	145

7.	CVD-Beschichtung von Werkzeugen und Bauteilen	145
	A. Oldewurtel	

7.1	Einleitung	145
7.2	Grundlagen der CVD-Technik	146
7.3	Fertigungsablauf bei der Herstellung von beschichteten Werkzeugen und Bauteilen	153
7.4	Erstwärmebehandlung	155
7.5	Beschichtungsanlagen	158
7.5.1	Beheizungssystem	160
7.5.2	Reaktionsgefäße	160
7.5.3	Chargierhilfen	161
7.6	Beschichtbare Werkstoffe	161
7.7	Oberflächenausführung	170
7.8	Schichtstärken	175
7.9	Zweitwärmebehandlung	176
7.10	Toleranzen von beschichteten Werkzeugen	178
7.11	Haftung von CVD-Schichten	183
7.12	Qualitätssicherung der Beschichtung	184
7.13	CVD-Beschichtung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten	189
7.14	Anwendungsbeispiele für CVD-Beschichtungen	191
7.15	Zusammenfassung	198

8.	Auftragen von Schutzschichten auf technische Teile mit Hilfe thermischer Spritzverfahren	200
	K. Kirner	

8.1	Geschichtlicher Rückblick und Überblick	200
8.2	Flammspritzverfahren	202
8.3	Lichtbogenspritzen	203
8.4	Plasmaspritzen	204
8.5	Plasmaspritzen in Vakuumkammern	207
8.6	Plasmaspritzen unter Wasser	208
8.7	Plasmabrenner für großflächiges Arbeiten	209
8.8	Hochgeschwindigkeitsflammspritzen	209
8.8.1	Flammschockspritzen	209
8.8.2	Hochgeschwindigkeitsflammspritzen HVOF	211
8.8.3	Anlagenkomponenten	213

9.	Hinweise zur Auswahl verschleißhemmender Schichten in Abhängigkeit von den Anforderungen einer praktischen Anwendung für Bauteile und Werkzeuge	214
	D. Liedtke	
9.1	Einleitung	214
9.2	Möglichkeiten zur Beeinflussung des Verschleißverhaltens	215
9.2.1	Maßnahmen gegen Adhäsion	215
9.2.2	Maßnahmen gegen Abrasion	216
9.2.3	Maßnahmen gegen Randschichtzerrüttung (Wälzverschleiß)	216
9.2.4	Maßnahmen gegen Tribooxidation	217
9.3	Verfahren zur Herstellung verschleißfester Schichten	217
9.4	Vorgehensweise bei der Auswahl verschleißhemmender Schichten	225
9.4.1	Werkstoffeignung/Werkstoffauswahl	225
9.4.2	Beeinflussung des Ausgangszustands	226
9.4.3	Schichtdicke	226
9.4.4	Werkstückform und -abmessung	227
9.4.5	Beeinträchtigung der Gebrauchseigenschaften	227
9.4.6	Örtlich begrenzte Schichtherstellung	228
9.4.7	Abstützung der Funktionsschicht	229
9.4.8	Schichthaftung	229
9.4.9	Maß- und Formänderungen	229
9.4.10	Reproduzierbarkeit von Schichtdicke und -qualität	230
9.4.11	Schicht-Herstellkosten	231
9.5	Beispiele für die Anwendung verschleißhemmender Schichten	231
9.1	Ausblick	235
	Literaturverzeichnis	236
	Sachregister	242
	Autorenverzeichnis	246