

SCHRIFTENREIHE GALVANOTECHNIK
UND OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

Prof. Dr.-Ing. Dr. habil. Nasser Kanani

Chemische Vernicklung

Nickel-Phosphor-Schichten
Herstellung • Eigenschaften • Anwendungen

1. Auflage

EUGEN G.
LEUZE
VERLAG

105 JAHRE 1902 – 2007

BAD SAULGAU
GERMANY

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	21
1.1 Nickel-Phosphor-Phasendiagramm	21
1.2 Nickel-Phosphor-Schichten	25
1.2.1 Begriffsbestimmung	25
1.2.2 Ni-Ni ₃ P-Phasendiagramm	25
1.3 Herstellung	27
1.4 Klassifizierung	28
1.4.1 Nach dem Phosphorgehalt	28
1.4.2 Nach der Mikrostruktur	29
1.4.3 Nach der Zusammensetzung	30
1.5 Eigenschaften	31
1.5.1 Abgeschiedener Zustand	32
1.5.2 Wärmebehandelter Zustand	33
1.5.3 Optimierung	36
1.6 Anwendungsgebiete	37
1.7 Marktsituation	42
2 Nickel-Phosphor-Elektrolyte	45
2.1 Hypophosphit-Elektrolyte	47
2.1.1 Saure Hypophosphit-Elektrolyte	47
2.1.2 Alkalische Hypophosphit-Elektrolyte	48
2.2 Elektrolytbestandteile	53
2.2.1 Nickelsalze	54
2.2.2 Reduktionsmittel	54
2.2.3 Komplexbildner	56
2.2.4 Stabilisatoren	60
2.2.5 Beschleuniger	63
2.2.6 pH-Regulator	63
2.2.7 Netzmittel	64
2.2.8 Funktionen und Wechselwirkungen	66
2.3 Standzeit der Nickel-Phosphor-Elektrolyte	67
2.3.1 Limitierende Faktoren	68
2.3.1.1 Orthophosphit-Anreicherung	69
2.3.1.2 Natriumsulfat-Anreicherung	71

2.3.2	Möglichkeiten der Verlängerung	74
2.3.2.1	Alternative Nickelquelle	75
2.3.2.2	Selektive Ausfällung	76
2.3.2.3	Austausch von Anionen	77
2.3.2.4	Elektrodialyse	78
3	Abscheidung von Ni/P-Schichten	84
3.1	Außenstromlose Metallabscheidung	85
3.1.1	Mechanismen der Nickel-Phosphor-Abscheidung	89
3.1.1.1	Kritische Würdigung	91
3.1.1.2	Theoretisches Modell	93
3.1.1.3	Erstellung eines Expertensystems	95
3.2	Abscheidungsprozess	97
3.2.1	Abscheidungsgeschwindigkeit	99
3.2.2	Schichtzusammensetzung	100
3.3	Einfluss verschiedener Parameter	100
3.3.1	Elektrolytbestandteile	101
3.3.1.1	Nickel-Ionen	101
3.3.1.2	Reduktionsmittel	102
3.3.1.3	Komplexbildner	104
3.3.1.4	Stabilisatoren	108
3.3.1.5	Andere Badzusätze	109
3.3.1.6	Kontaminationen	109
3.3.2	Elektrolytparameter	111
3.3.2.1	Temperatur	111
3.3.2.2	pH-Wert	116
3.3.2.3	Literbelastung	122
3.3.3	Elektrolytbewegung	125
3.3.3.1	Baddurchwirbelung	126
3.3.3.2	Lufteinblasung/Rühren/Umpumpen	126
3.3.3.3	Ultraschall	127
3.3.4	Elektrolytalter	128
3.3.4.1	Abscheidungsgeschwindigkeit	128
3.3.4.2	Phosphorgehalt der Schicht	130
4	Entstehung von Ni/P-Schichten	131
4.1	In-situ Beobachtung	131
4.1.1	Rastersondenmikroskopie	132
4.1.1.1	Rastertunnelmikroskopie	132
4.1.1.2	Rasterkraftmikroskopie	138
4.1.2	Kinetik der Keimbildung	146
4.1.2.1	Kugelförmige Keime	146
4.1.2.2	Scheibenförmige Keime	146
4.1.2.3	Ellipsoidförmige Keime	148

4.1.3	Kinetik des Keimwachstums	151
4.2	Ex-situ Untersuchung	153
4.2.1	Transmissions-Elektronenmikroskopie	153
4.2.2	Rutherford-Rückstreu-Spektroskopie	157
5	Mikrostruktur und Gefüge von Ni/P-Schichten	161
5.1	Mikrostruktur	161
5.1.1	Mikrokristallin	163
5.1.2	Röntgenamorph	163
5.1.3	Bestimmungsmethoden	164
5.1.3.1	Elektronenbeugung	164
5.1.3.2	Röntgendiffraktometrie	167
5.2	Gefüge	170
5.2.1	Bestimmungsmethoden	171
5.2.1.1	Querschliffverfahren	171
5.2.2	Aufbau	173
5.2.3	Fehler	176
6	Allgemeine Merkmale von Ni/P-Schichten	179
6.1	Aussehen	179
6.2	Oberflächenmorphologie	180
6.2.1	Oberflächenrauheit	186
6.3	Schichtdicke	188
6.3.1	Bestimmungsmethoden	188
6.3.1.1	Wägeverfahren	189
6.3.1.2	Messuhrverfahren	190
6.3.1.3	Magnetisches Verfahren	190
6.3.1.4	Wirbelstromverfahren	191
6.3.1.5	Coulometrisches Verfahren	193
6.3.1.6	Beta-Rückstreuverfahren	196
6.3.1.7	Röntgenfluoreszenzverfahren	198
6.3.1.8	Metallographisches Verfahren	200
6.3.1.8.1	Querschliff	200
6.3.1.8.2	Schrägschliff	201
6.3.2	Schichtdickenverteilung	204
6.4	Porosität	206
6.4.1	Schichtdickenabhängigkeit	208
6.4.2	Bestimmungsmethoden	209
6.5	Haftfestigkeit	209
6.5.1	Haftung auf Metallen	210
6.5.1.1	Diffusionstheorie	210
6.5.2	Testmethoden	213
6.5.2.1	Biegen	213
6.5.2.2	Dornbiegetest	213

6.5.2.3	Tiefungstest.....	214
6.5.2.4	Stirnabzugstest.....	215
6.5.2.5	Thermoschocktest.....	215
6.5.2.6	Zugversuch.....	215
6.5.2.7	Ultraschalltest.....	217
6.5.3	Untersuchungsergebnisse.....	218
6.5.4	Haftung auf Polymeren.....	219
6.5.4.1	„Druckknopf“-Theorie.....	219
6.5.4.2	Benetzungstheorie.....	220
6.5.5	Testmethoden.....	221
6.5.5.1	Schältest.....	221
6.6	Phosphorgehalt.....	222
6.6.1	Chemische Bestimmung.....	223
6.6.1.1	Colorimetrisch.....	223
6.6.1.2	Volumetrisch.....	224
6.6.1.3	Atomabsorptionsspektroskopie.....	225
6.6.2	Physikalische Bestimmung.....	226
6.6.2.1	Röntgendiffraktometrie.....	226
6.6.2.2	Mikroanalyse.....	228
6.6.2.2.1	Punktanalyse.....	229
6.6.2.2.2	Linienanalyse.....	230
6.6.2.2.3	Flächenanalyse.....	232
6.6.2.3	Eichkurvenmethode.....	233
6.6.2.4	Glimmentladungs-Spektroskopie.....	234
7	Physikalische Eigenschaften von Ni/P-Schichten.....	237
7.1	Schmelzpunkt.....	240
7.2	Reflexionsvermögen.....	242
7.3	Dichte.....	251
7.3.1	Bestimmung mit Pyknometer.....	252
7.3.2	Bestimmung mit hydrostatischer Waage.....	253
7.4	Thermischer Ausdehnungskoeffizient.....	254
7.5	Elektrische Eigenschaften.....	255
7.5.1	Spezifischer elektrischer Widerstand.....	255
7.5.2	Spezifische elektrische Leitfähigkeit.....	257
7.5.3	Kontaktwiderstand.....	258
7.6	Thermische Leitfähigkeit.....	259
7.7	Magnetische Eigenschaften.....	259
7.7.1	Magnetisierung.....	261
7.7.2	Koerzitivfeldstärke.....	263
7.7.3	Curie-Temperatur.....	264

8	Mechanische Eigenschaften von Ni/P-Schichten.....	266
8.1	Elastizitätsmodul.....	269
8.2	Zugfestigkeit.....	270
8.2.1	Einfluss des Phosphorgehalts.....	271
8.3	Duktilität.....	272
8.3.1	Messmethoden.....	273
8.3.1.1	Biegeversuch.....	273
8.3.1.2	Mikrodornmethode.....	274
8.3.1.3	Tiefungsversuch.....	276
8.3.2	Einflussgrößen.....	277
8.3.2.1	Phosphorgehalt.....	277
8.3.2.2	Elektrolytalter.....	279
8.4	Eigenspannungen.....	280
8.4.1	Eigenspannungsarten.....	281
8.4.1.1	Eigenspannungen I. Art.....	282
8.4.1.2	Eigenspannungen II. Art.....	282
8.4.1.3	Eigenspannungen III. Art.....	282
8.4.2	Makro-Eigenspannungen.....	283
8.4.2.1	Eigendruckspannungen.....	284
8.4.2.2	Eigenzugspannungen.....	284
8.4.2.3	Wirkungsweise.....	284
8.4.3	Messverfahren.....	285
8.4.3.1	Zweistreifen-Methode.....	287
8.4.3.2	Spiralkontraktometer.....	289
8.4.3.3	Disk-Tensometer.....	292
8.4.3.4	IS-Meter™.....	294
8.4.3.5	MSM 200.....	296
8.4.4	Einflussgrößen.....	297
8.4.4.1	Phosphorgehalt.....	298
8.4.4.2	pH-Wert.....	299
8.4.4.3	Elektrolytalter.....	299
8.4.4.4	Grundwerkstoff.....	300
8.4.5	Auswirkungen.....	301
8.5	Mikrohärte.....	302
8.5.1	Messmethoden.....	303
8.5.1.1	Vickers-Verfahren.....	303
8.5.1.2	Knoop-Verfahren.....	305
8.5.1.3	Instrumentierte Eindringprüfung.....	307
8.5.1.3.1	Martenshärte.....	310
8.5.1.3.2	Eindringhärte.....	312
8.5.1.3.3	Eindringmodul.....	312
8.5.1.3.4	Verformungsarbeit.....	313

8.5.2	Einflussgrößen.....	314
8.5.2.1	Phosphorgehalt.....	314
8.5.2.2	Prüfkraft.....	317
9	Tribologische Eigenschaften von Ni/P-Schichten.....	320
9.1	Reibung.....	321
9.1.1	Reibungszahl.....	322
9.1.2	Reibungszustände.....	323
9.1.2.1	Festkörperreibung.....	323
9.1.2.2	Flüssigkeitsreibung.....	324
9.1.2.3	Grenzreibung.....	324
9.1.2.4	Mischreibung.....	324
9.1.2.5	Gasreibung.....	324
9.1.2.6	Stribeck-Kurve.....	324
9.1.3	Maßnahmen zur Reibungsverminderung.....	326
9.1.4	Untersuchungsergebnisse.....	327
9.2	Verschleiß.....	328
9.2.1	Verschleißbetrag.....	329
9.2.1.1	Verschleiß-Messgrößen.....	329
9.3	Verschleißmechanismen.....	330
9.3.1	Adhäsion.....	331
9.3.2	Abrasion.....	332
9.3.3	Tribooxidation.....	333
9.3.4	Oberflächenzerrüttung.....	334
9.3.5	Erscheinungsformen.....	334
9.4	Verschleißprüfung.....	336
9.4.1	Modellversuche.....	337
9.4.1.1	Falex-Tester.....	337
9.4.1.2	Taber-Abraser.....	338
9.4.1.3	Gekreuzte Zylinder.....	339
9.4.1.4	Stift-Scheibe-Tribometer.....	340
9.4.1.5	TOG-Prüfstand.....	342
9.4.1.6	Messergebnisse.....	344
10	Chemische Eigenschaften von Ni/P-Schichten.....	348
10.1	Anlaufbeständigkeit.....	348
10.1.1	Salpetersäure-Test.....	349
10.2	Chemische Beständigkeit.....	349
10.2.1	Einfluss des Phosphorgehalts.....	350
10.2.2	Einfluss des pH-Werts.....	357
10.2.3	Beständigkeit im Meerwasser.....	358
10.2.4	Beständigkeit in Nahrungsmitteln.....	359
10.2.5	Beständigkeit in anderen Medien.....	361

10.3	Korrosionsbeständigkeit.....	362
10.3.1	Einfluss des Phosphorgehalts	363
10.3.2	Einfluss der Schichtdicke	364
10.3.3	Einfluss von Poren.....	364
10.3.3.1	Schichtdickenabhängigkeit	365
10.3.3.2	Nachweismethoden	366
10.3.3.2.1	Ferroxyl-Test	366
10.3.3.2.2	Salzsprühnebelprüfung.....	367
10.3.3.2.3	Kesternich-Test.....	368
10.3.3.2.4	Acrylamid-Gel-Test.....	369
10.3.3.2.5	Untersuchungsergebnisse	371
10.3.4	Bewertungskriterien	372
10.3.4.1	Betriebsbedingungen	372
10.3.4.1.1	Messergebnisse.....	372
10.3.4.2	Praxisnahe Bedingungen.....	373
10.3.4.2.1	Messergebnisse.....	375
10.3.4.3	Laborbedingungen	380
10.3.4.3.1	Messergebnisse.....	381
10.3.5	Formen des Korrosionsangriffs	385
10.3.5.1	Gleichmäßige Korrosion.....	387
10.3.5.2	Lochfraßkorrosion	388
10.3.5.3	Spannungsrisskorrosion.....	400
10.3.5.4	Schwingungsrisskorrosion	401
10.3.5.5	Kavitationskorrosion.....	401
11	Technologische Eigenschaften von Ni/P-Schichten	403
11.1	Benetzung und Benetzbarkeit.....	403
11.1.1	Young'sche Gleichung	404
11.2	Lötbarkeit	406
11.2.1	Prüfmethoden	408
11.2.1.1	Benetzungswaage.....	409
11.2.2	Einflussgrößen.....	412
11.2.2.1	Phosphorgehalt.....	412
11.2.2.2	Komplexbildner	413
11.2.2.3	Stabilisatoren	413
11.2.2.4	Hypophosphitgehalt	414
11.2.2.5	pH-Wert	415
11.2.2.6	Temperatur	416
11.2.2.7	Auslagerung.....	417
11.2.2.8	Oberflächenmorphologie	417
11.2.2.9	Verunreinigungen.....	417
11.2.2.10	Resümee.....	418
11.3	Schweißbarkeit	419
11.4	Bondbarkeit	419

12 Optimierung durch Wärmebehandlung	423
12.1 Mikrostrukturelle Veränderungen.....	423
12.1.1 Elektronenbeugungsuntersuchungen.....	424
12.1.2 Röntgenbeugungsuntersuchungen.....	427
12.1.3 Dynamische Wärmestrom-Differenz-Kalorimetrie.....	430
12.1.4 Dilatometrische Messungen	432
12.1.5 Übergang röntgenamorph/kristallin	435
12.1.5.1 Einfluss der Glüh Temperatur	435
12.1.5.2 Einfluss der Glühdauer.....	435
12.1.5.3 Einfluss des Phosphorgehalts	437
12.2 Allgemeine Merkmale.....	437
12.2.1 Aussehen	438
12.2.2 Phosphorverteilung	440
12.2.3 Schichtdicke	442
12.2.4 Porosität.....	442
12.2.5 Haftfestigkeit.....	443
12.3 Physikalische Eigenschaften	445
12.3.1 Dichte	445
12.3.2 Elektrische Eigenschaften	445
12.3.2.1 Spezifischer elektrischer Widerstand	445
12.3.3 Magnetische Eigenschaften.....	446
12.3.3.1 Magnetisierung	446
12.3.3.2 Koerzitivfeldstärke.....	447
12.4 Mechanische Eigenschaften	447
12.4.1 Elastizitätsmodul	448
12.4.2 Zugfestigkeit	449
12.4.3 Duktilität	450
12.4.4 Eigenspannungen	451
12.4.5 Härte.....	452
12.4.5.1 Einfluss der Glühdauer.....	452
12.4.5.2 Einfluss des Phosphorgehalts	453
12.4.5.3 Einfluss der Glüh Temperatur	454
12.5 Tribologische Eigenschaften	458
12.5.1 Reibungszahl.....	458
12.5.2 Verschleißfestigkeit	459
12.6 Chemische Eigenschaften	473
12.6.1 Anlaufbeständigkeit	474
12.6.2 Korrosionsbeständigkeit.....	475
12.6.2.1 Lochfraßkorrosion	478
12.6.2.2 Kavitationskorrosion.....	479
12.6.2.3 Prüfverfahren	479

13 Optimierung durch Dispersionsteilchen	481
13.1 Arten von Dispersionsteilchen	482
13.1.1 Hartstoffe	482
13.1.2 Trockenschmierstoffe	485
13.2 Ni/P-Dispersionsschichten	485
13.2.1 Außenstromlose Abscheidung	486
13.2.2 Abscheidungsmechanismus	489
13.2.2.1 Modellvorstellungen	489
13.2.3 Allgemeine Eigenschaften	491
13.2.4 Ni/P+Hartstoff-Schichten	491
13.2.4.1 Ni/P+Diamant-Schichten	492
13.2.4.2 Ni/P+SiC-Schichten	495
13.2.4.3 Ni/P+Al ₂ O ₃ -Schichten	504
13.2.5 Ni/P+Trockenschmierstoff-Schichten	509
13.2.5.1 Ni/P+Graphit-Schichten	509
13.2.5.2 Ni/P+PTFE-Schichten	510
13.2.5.3 Ni/P+Polyethylen-Schichten	520
14 Optimierung durch Legierungselemente	522
14.1 Ni/P-Legierungsschichten	522
14.1.1 Elektrolyte	522
14.1.2 Mikrostruktur	523
14.2 Ternäre Legierungsschichten	524
14.2.1 Ni/P+B-Schichten	526
14.2.2 Ni/P+Cd-Schichten	528
14.2.3 Ni/P+Co-Schichten	529
14.2.4 Ni/P+Cr-Schichten	533
14.2.5 Ni/P+Cu-Schichten	533
14.2.6 Ni/P+Fe-Schichten	537
14.2.7 Ni/P+Mo-Schichten	539
14.2.8 Ni/P+Re-Schichten	545
14.2.9 Ni/P+Sn-Schichten	546
14.2.10 Ni/P+W-Schichten	551
14.2.11 Ni/P+Zn-Schichten	554
14.3 Quaternäre Legierungsschichten	556
14.3.1 Ni/P+Co+Mn-Schichten	556
14.3.2 Ni/P+Cu+B-Schichten	556
14.3.3 Ni/P+Cu+PTFE-Schichten	557
14.3.4 Ni/P+Cu+Sn-Schichten	557
14.3.5 Ni/P+Fe+B-Schichten	558
15 Anwendungsgebiete	560
15.1 Ni/P-Schichten	560
15.1.1 Automobilindustrie	566
15.1.2 Bergbau	570

15.1.3	Chemische Industrie.....	571
15.1.4	Druckindustrie.....	573
15.1.5	Elektrotechnik, Elektronik und Computerindustrie	574
15.1.6	Erdöl- und Gasindustrie	580
15.1.7	Kunststoffindustrie	582
15.1.8	Luft- und Raumfahrt	584
15.1.9	Maschinenbau	587
15.1.10	Textilindustrie.....	592
15.1.11	Sonstige Industriezweige.....	593
15.2	Ni/P-Dispersionsschichten	598
15.2.1	Ni/P+Diamant-Schichten	599
15.2.2	Ni/P+SiC-Schichten	601
15.2.3	Ni/P+PTFE-Schichten.....	601
15.3	Ni/P-Legierungsschichten	605
15.3.1	Ni/P+Co-Schichten	605
16	Vorbehandlung von Bauteilen.....	606
16.1	Art des Grundwerkstoffs	606
16.1.1	Eigenkatalytisch	606
16.1.2	Fremdkatalytisch	607
16.2	Oberflächenreinigung	608
16.3	Oberflächenvorbehandlung.....	609
16.3.1	Metallische Werkstoffe.....	610
16.3.1.1	Eisenmetalle.....	610
16.3.1.1.1	Niedriglegierte Stähle.....	610
16.3.1.1.2	Hochlegierte Stähle	612
16.3.1.1.3	Gusseisen.....	613
16.3.1.2	Nichteisenmetalle	615
16.3.1.2.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	616
16.3.1.2.2	Kupfer und Kupferlegierungen.....	623
16.3.1.2.3	Magnesium und Magnesiumlegierungen	624
16.3.1.2.4	Nickel und Nickellegierungen.....	628
16.3.1.2.5	Titan und Titanlegierungen.....	630
16.3.1.2.6	Zink und Zinklegierungen	630
16.3.2	Nichtmetallische Werkstoffe	631
16.3.2.1	Kunststoffe	632
16.3.2.2	Glas	651
16.3.2.3	Keramik	652
17	Industrielle Verfahren der chemischen Vernicklung.....	655
17.1	Verfahren	656
17.1.1	Verfahren der 1. Generation	656

17.1.2	Verfahren der 2. Generation	657
17.1.2.1	Kanigen [®] -Verfahren.....	657
17.1.2.2	Durnicoat [®] -Verfahren	658
17.1.3	Verfahren der 3. Generation	659
17.2	Anlagen	661
17.2.1	Apparative Bestandteile	661
17.2.1.1	Behälterwanne	662
17.2.1.1.1	Kunststoff	662
17.2.1.1.2	Stahl.....	662
17.2.1.2	Heizelemente	664
17.2.1.3	Pumpen	665
17.2.1.4	Filter.....	665
17.3	Arbeitsweise	666
17.3.1	Diskontinuierlich.....	667
17.3.2	Kontinuierlich.....	667
17.3.3	Vollautomatisch.....	667
17.4	Elektrolyt.....	671
17.4.1	Überwachung	672
17.4.1.1	Temperatur	672
17.4.1.2	pH-Wert	673
17.4.1.3	Nickelgehalt.....	675
17.4.1.3.1	Komplexometrische Bestimmung	675
17.4.1.3.2	Photometrische Bestimmung.....	676
17.4.1.4	Reduktionsmittelgehalt	676
17.4.1.4.1	Jodometrische Methode.....	676
17.4.1.4.2	Kupfer(II)chlorid-Methode	676
17.4.1.4.3	Ionenaustauschchromatographie	677
17.4.1.5	Orthophosphitgehalt	677
17.4.1.5.1	Jodometrische Methode.....	677
17.4.1.6	Komplexbildnergehalt.....	678
17.4.1.6.1	Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie	678
17.4.1.7	Stabilisatorengehalt.....	678
17.4.1.7.1	Flamm-Atomabsorptionsspektroskopie	678
17.4.1.7.2	Polarographie.....	679
17.4.1.8	Gehalt an Verunreinigungen	679
17.4.2	Automatische Badkontrolle.....	679
17.5	Badpflege.....	683
17.6	Stationär betriebene Bäder	685
17.7	Chemisch vernickelbare Teile.....	686
17.7.1	Massenware.....	686
17.7.2	Gestellware.....	688

17.8	Qualitätssicherung durch Prozessstrukturierung.....	689
17.8.1	Entwicklung wissensbasierter Systeme.....	690
17.8.2	Wissensakquisition.....	692
17.8.3	Modellierung der Prozessabläufe.....	694
17.8.4	Automatische Überwachungs- und Steuerungssysteme.....	699
17.9	Troubleshooting.....	699
17.10	Nachbehandlung chemisch vernickelter Teile.....	704
17.10.1	Thermisch.....	704
17.10.2	Chemisch.....	704
17.10.3	Beschichtungstechnisch.....	705
17.11	Entsorgung chemischer Vernicklungsbäder.....	705
17.12	Abwasserfragen.....	707
17.12.1	Abwasser von Reinigungsbädern.....	708
17.12.2	Abwasser von Vernicklungsbädern.....	708
17.12.3	Abwasser von Spülbädern.....	709
18	Einfluss der chemischen Vernicklung auf Bauteileigenschaften.....	710
18.1	Wasserstoffversprödung.....	711
18.1.1	Mechanismen.....	712
18.1.2	Gegenmaßnahmen.....	715
18.2	Dauerwechselfestigkeit.....	716
18.2.1	Wöhler-Kurve.....	718
18.3	Korrosionsverhalten.....	720
19	Strippen von Ni/P-Schichten.....	723
19.1	Ungetemperte Schichten.....	724
19.1.1	Strippen vom Stahl.....	724
19.1.2	Strippen von Aluminiumlegierungen.....	725
19.1.3	Strippen von Kupferlegierungen.....	725
19.1.4	Strippen von Nickellegierungen.....	726
19.2	Getemperte Schichten.....	726
Anhang	.....	727
Literaturverzeichnis	.....	729
Abkürzungen	.....	761
Sachwortverzeichnis	.....	765
Namensverzeichnis	.....	771
Firmen-Inserentenverzeichnis	.....	778