Handbuch Klebtechnik

Bearbeitet von
Manfred Rasche

1. Auflage 2012. Buch. XVIII, 616 S.
ISBN 978 3 446 42402 9
Format (B x L): 20,7 x 27,7 cm
Gewicht: 1887 g

Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik > Fertigungstechnik

Zu Leseprobe

schnell und portofrei erhältlich bei

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Manfred Rasche

Handbuch Klebtechnik

ISBN (Buch): 978-3-446-42402-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43198-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42402-9

sowie im Buchhandel.

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort V

1 Allgemeine Grundlagen 1

1.1 Verbindungen 3
1.1.1 Stoffschlüssige Verbindungen 4
1.1.2 Stoffschlüssige Verbindungstechniken 5
1.1.3 Verbindungsformen beim Kleben 6
1.1.4 Tragfähigkeit von Verbindungen 6
1.1.5 Spannungsverteilung in Verbindungen 7
1.1.6 Fügetechnik und Kerbwirkung 10
1.1.7 Gestaltung stoffschlüssiger Verbindungen 14
1.1.8 Vergleich des Klebens mit anderen Fügeverfahren 17
1.1.9 Praxisbeurteilung des Klebens 17

1.2 Kurzabriss der geschichtlichen Entwicklung der Klebtechnik 19

1.3 Anwendungen der Klebtechnik 21
1.3.1.1 Maschinen- und Apparatebau 21
1.3.1.2 Feinwerktechnik und Elektronik 21
1.3.1.3 Fahrzeugbau 21
1.3.1.4 Bauindustrie 21
1.3.1.5 Holz- und Möbelindustrie 22
1.3.1.6 Bekleidung, Leder etc. 22
1.3.1.7 Papier- und Verpackungsindustrie 22
1.3.1.8 Medizinischer Bereich 22
1.3.1.9 Einige interessante Anwendungen der Klebtechnik 22

1.4 Vor- und Nachteile der Klebtechnik 23
1.4.1 Vorteile der Klebtechnik 23
1.4.2 Nachteile der Klebtechnik 24

1.5 Arbeits- und Umweltschutz beim Kleben 26
1.5.1 Anforderungen der Gefahrstoffverordnung an den Klebstoffanwender 28
1.5.1.1 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung 28
1.5.1.2 Schutzstufen 29
1.5.1.3 Grenzwerte beim Arbeitsschutz 29
1.5.2 Schutzmaßnahmen beim Kleben 30
1.5.2.1 Der Klebarbeitsplatz 30

1.5.2.2 Persönliche Schutz 30
1.5.3 Umweltschutz beim Kleben 31

1.6 Zusammenstellung klebtechnischer Normen 32
1.6.1 Begriffsbestimmungen der Klebtechnik sowie allgemeine physikalische und chemische Prüfverfahren 32
1.6.1.1 Deutsche Normen 32
1.6.1.2 Europäische Normen 32
1.6.1.3 Internationale Normen 33
1.6.2 Normen für Strukturklebstoffe: 33
1.6.2.1 Deutsche Normen 33
1.6.2.2 Europäische Normen 33
1.6.2.3 Internationale Normen 34
1.6.3 Normen für Klebstoffe für thermoplastisch Rohrsysteme 34
1.6.3.1 Europäische Normen 34
1.6.3.2 Internationale Normen 34
1.6.4 Normen für Klebstoffe im Bereich Holz und Nutzholzprodukte 35
1.6.4.1 Europäische Normen 35
1.6.5 Normen für Klebstoffe im Bereich Leder- und Schuhwerkstoffe 35
1.6.5.1 Europäische Normen 35
1.6.6 Normen für Klebebänder 36
1.6.6.1 Europäische Norm 36
1.6.7 Normen für den Einsatz von Klebstoffen im Bereich Papier, Pappe, Verpackungen und Hygieneprodukte 37
1.6.7.1 Europäische Normen 37
1.6.8 Normen für Klebstoffe im Bereich Haushalt, Hobby und Büro 37
1.6.8.1 Europäische Normen 37
1.6.8.2 Internationale Normen 38
1.6.9 Normen für Bauklebstoffe 38
1.6.9.1 Europäische Normen 38
1.6.10 Normen für Mörtel und Klebstoffe für Fliesen und Platten 38
1.6.10.1 Europäische Normen 38
1.6.11 Normen bez. der Qualität der Innenluft 39

1.7 Die Klebbarkeit von Bauteilen 40
1.7.1 Die Klebeignung der Werkstoffe 41
1.7.2 Die Klebeignung eines Werkstoffes wird beeinflusst durch: 41
1.7.3 Die Klebmöglichkeit 41
1.7.4 Die Klebstoffe beeinflussen die Klebfestigkeit durch: 42
1.7.5 Klebsicherheit 42

1.8 Lösen von Klebaufgaben 43

1.9 Die Reparaturklebung 50

2 Adhäsion und Haftfestigkeit ... 55

2.1 Haftung an Oberflächen ... 55
2.1.1 Hauptvalenzbindungen ... 59
2.1.2 Nebenvalenzbindungen ... 60
2.1.3 Mechanische Verklammerung ... 60
2.1.4 Diffusion ... 61
2.1.5 Elektrische Doppelschichten ... 62
2.1.6 Dynamische Adhäsion ... 62
2.1.7 Benetzungstheorie ... 62
2.1.8 Kohäsion ... 63
2.1.9 Adhäsion, Haftung, Haftfestigkeit, Kleb- bzw. Abreißfestigkeit ... 63

2.2 Veränderung der Haftung durch Alterung (Enthaftungsvorgänge) ... 66
2.2.1 Alterungsmechanismen ... 70
2.2.2 Alterung des Klebstoffs oder der Beschichtung ... 72
2.2.3 Alterungsvorgänge in der Adhäsionszone ... 73
2.2.4 Blasenbildung ... 74
2.2.5 Bondlinekorrosion ... 75
2.2.6 Alterung der beschichteten bzw. geklebten Werkstoffe ... 77

2.3 Einflussfaktoren auf die Alterung ... 79
2.3.1 Beschichtungs- bzw. Klebstoffeinfluss ... 79
2.3.2 Oberflächeneinfluss ... 82
2.3.3 Werkstoffeinfluss ... 84
2.3.4 Umgebungseinfluss ... 86
2.3.4.1 Luftfeuchtigkeit und Wasser ... 86
2.3.4.2 Temperatureinfluss ... 89
2.3.4.3 Medieneinfluss ... 90
2.3.4.4 Einfluss mechanischer Belastung ... 90
2.3.4.5 Energiereiche Strahlen ... 90
2.3.4.6 Kombinierter Umgebungseinfluss ... 91

2.4 Nassfestigkeit ... 93

2.5 Besteht ein Zusammenhang zwischen Haftung und Benetzung? ... 97
2.5.1.1 Benetzungstheoretische Ansätze ... 97
2.5.1.2 Oberflächenspannung und Haftung ... 98
2.5.1.3 Einfluss des benetzenden Mediums ... 102
2.5.1.4 Erweiterte Anforderungen: gleiche Oberflächenspannungen ... 103
2.5.1.5 Polare und disperse Oberflächenspannungsanteile ... 104
2.5.1.6 Erweiterte Anforderungen nach Wu ... 108
2.5.1.7 Auswertung der Ergebnisse ... 110
2.5.1.8 Problematik der Haftungsmessung ... 111
2.5.1.9 Ansätze der Adhäsionstheorie ... 111
2.5.1.10 Benetzungsmessung ... 111
2.5.1.11 Übertragbarkeit der Benetzungsergebnisse ... 112
2.5.1.12 Zeitabhängige Benetzbarkeit ... 112
2.5.1.13 Oberflächenspannung des Klebstoffs ... 113
2.5.1.14 Oberflächenspannung des Fügeteils ... 114
2.5.1.15 Oberflächenspannung des Klebstoffs ... 114
2.5.1.16 Temperatureinfluss auf die Oberflächenspannung ... 115
2.5.1.17 Berücksichtigung anderer Adhäsionstheorien ... 115

2.5.1.18 Anfangshaftung und Alterung ... 115
2.5.1.19 Resümee ... 115
2.5.1.20 Qualitätssicherung ... 116

3 Haftungsverbesserung durch Vorbehandlung ... 119

3.1 Warum Vorbehandeln? ... 121

3.2 Oberflächenvorbehandlungen ... 125
3.2.1 Beurteilungskriterien für die Oberflächenvorbehandlung ... 130
3.2.2 Liegezeit ... 132
3.2.3 Entwicklungstendenzen ... 135
3.2.4 Charakterisierung der Oberflächenvorbehandlung ... 135

3.3 Die Oberfläche ... 136
3.3.1 Metalloberflächen ... 136
3.3.2 Kunststoffoberflächen ... 137
3.3.3 Oberflächen verstärkter und gefüllter Kunststoffe ... 138
3.3.4 Glasoberflächen ... 140
3.3.5 Mit der Zeit veränderliche Oberflächen ... 140
3.3.6 Beschichtete Oberflächen ... 141
3.3.7 Geometrische Struktur der Oberfläche ... 141

3.4 Reinigen ... 142
3.4.1 Reinigungsverfahren ... 144
3.4.1.1 Lappenreinigung ... 144
3.4.1.2 Badreinigung ... 145
3.4.1.3 Reinigen im Ultraschallbad ... 146
3.4.1.4 Spritzreinigen ... 147
3.4.1.5 Reinigen mit Reinigungssprays ... 147
3.4.1.6 Dampfentfetten ... 147
3.4.2 Reinigungsmittel ... 148
3.4.2.1 Reinigungsmittel für Kunststoffe ... 149
3.4.2.2 Umweltproblematik der Reinigungsmittel ... 151
3.4.2.3 Arbeitsschutz beim Umgang mit Reinigungsmitteln ... 152
3.4.2.4 Organische Lösemittel ... 153
3.4.2.5 Wässrige Reiniger ... 153
3.4.2.6 Regeneration und Beseitigung erschöpfter Reinigungsmittel ... 155
3.4.3 Reinigen im Plasma ... 156
3.4.4 Reinigen mit CO_2 bzw. Trockeneis ... 157
3.4.5 Reduzieren von Oxyden im Niederdruckplasma ... 157
3.4.6 Entstauben ... 158
3.4.7 Bewertung der gereinigten Oberfläche ... 158
3.4.8 Betaute Oberflächen ... 159

3.5 Mechanische Vorbehandlung ... 161
3.5.1 Wirkungsmechanismus ... 162
3.5.2 Weitere Effekte der mechanischen Vorbehandlung ... 163
3.5.3 Zusammenhang zwischen Haftfestigkeit und Rauhtiefe ... 163
3.5.4 Werkstoffeinfluss ... 165
3.5.5 Umwelt- und Arbeitsschutz ... 165
3.5.6 Schmirgeln ... 166

3.5.7 Bürsten ... 166
3.5.8 Strahlen ... 167
3.5.9 Einflussparameter beim Strahlen ... 169
3.5.10 Strahlmittel ... 169
3.5.11 Trockeneisstrahlen ... 171
3.5.12 Rocatec-Verfahren, Saco-Verfahren ... 172
3.5.13 Strahlanlagen ... 174
3.5.14 Mechanische Bearbeitung ... 175

3.6 Chemische Vorbehandlung ... 177
3.6.1 Beizen ... 177
3.6.2 Verfahrensablauf ... 178
3.6.3 Beizen von Polymeren ... 178
3.6.4 Das Beizen von Metall ... 182
3.6.5 Beizen anderer Werkstoffe ... 185
3.6.6 Beizmittel ... 185
3.6.7 Reaktive Gase ... 185

3.7 Thermische Vorbehandlung ... 191
3.7.1 Verfahrensablauf ... 192
3.7.2 Wirkungsmechanismen ... 192
3.7.3 Beflammungsanlagen ... 194
3.7.4 Brenner ... 195
3.7.5 Das Silicoater-Verfahren ... 195

3.8 Elektrische Vorbehandlung ... 197
3.8.2 Niederdruckplasmabehandlung ... 202
3.8.2.1 Aufbau einer Niederdruckplasmaanlage ... 202
3.8.2.2 Ablauf der Niederdruckplasmabehandlung ... 203
3.8.2.3 Einflussfaktoren auf das Ergebnis einer Niederdruckplasmabehandlung ... 204
3.8.2.4 Einfluss der Behandlungsdauer ... 204
3.8.2.5 Werkstoffabtrag von der Oberfläche ... 206
3.8.2.6 Einfluss der Gasart ... 207
3.8.2.7 Erregerfrequenz ... 208
3.8.2.8 Plasmaleistung ... 209
3.8.2.9 Kammerdruck und Gasdurchfluss ... 209
3.8.2.10 Spaltgängigkeit ... 209
3.8.2.11 Kosten ... 210
3.8.2.12 Vor- und Nachteile ... 210
3.8.2.13 Geeignete Werkstoffe ... 210
3.8.2.14 Plasmapolymerisation ... 211
3.8.2.15 Plasmapolymerisation eines Primers ... 211
3.8.3 Coronaentladung ... 212
3.8.3.1 Verfahrensablauf ... 212
3.8.3.2 Einflussparameter ... 214
3.8.3.3 Behandlungsenergie ... 214
3.8.3.4 Elektrodenform und -werkstoff ... 216
3.8.3.5 Umgebungseinfluss ... 218
3.8.3.6 Formelektrode ... 219
3.8.3.7 Freistrahlelektrode ... 219
3.8.3.8 Nachführelektrode ... 222
3.8.4 Behandlung im Plasmastrom ... 222
3.8.5 Vorbehandelbare Werkstoffe ... 226

3.8.6 Coronabeschichten ... 227

3.9 Beschichten ... 230
3.9.1 Metallische Beschichtungen ... 231
3.9.2 Anorganische Beschichtungen (Phosphatieren) ... 232
3.9.3 Passivieren ... 232
3.9.4 Organische Beschichtungen (Farbe, Lack) ... 233
3.9.5 Haftvermittler, Primer ... 233

3.10 Energiereiche Strahlen ... 239

3.11 Kombinierte Vorbehandlungsverfahren ... 245

3.12 Peel-Ply oder Abreißgewebe ... 246

3.13 Einarbeiten klebfähiger Bereiche in Bauteile ... 247

3.14 Weitere Oberflächenvorbehandlungsmöglichkeiten ... 248

3.15 Möglichkeiten und Grenzen des Klebens unsauberer (verölter) Oberflächen ... 249

3.16 Werkstoffbezogene Vorbehandlungsverfahren und Möglichkeiten des Diffusionsklebens ... 255
3.16.1 Vorbehandlung von Metallen ... 256
3.16.2 Vorbehandlung von Kunststoffen ... 261
3.16.3 Vorbehandlung von Holz und Papier ... 268
3.16.4 Vorbehandlung von Glas und Keramik Etc. ... 269
3.16.5 Vorbehandlung von Naturstoffen ... 270

4 Klebstoffe ... 273

4.1 Allgemeines ... 275

4.1.1 Kriterien zur Klebstoffauswahl ... 275
4.1.2 Klebstoffkenndaten ... 277
4.1.3 Klebfestigkeiten ... 278
4.1.4 Vergleiche von mechanischen Klebstoffeigenschaften ... 279
4.1.5 Haftungs- und Abbindevorgänge beim Kleben ... 279
4.1.6 Abbindeverhalten und Klebstoffverarbeitung ... 281
4.1.7 Zusammensetzung der Klebstoffe ... 283
4.1.8 Schrumpfen beim Abbinden der Klebstoffe ... 284
4.1.9 Wärmebeständigkeit ... 285
4.1.11 Klebstoffviskosität ... 286
4.1.12 Klebstoffsteifigkeit ... 286
4.1.13 Toxizität ... 287
4.1.14 Elastische Klebstoffe ... 287

4.2 Diffusionskleben ... 289
4.2.1 Ablauf des Diffusionsklebens ... 289
4.2.2 Lösemittelhaltige Diffusionsklebstoffe ... 290
4.2.3 Diffusionskleben mit Reaktionsklebstoffen ... 294
4.2.4 Werkstoffe zum Diffusionskleben ... 294
4.2.5 Spannungsrissbildung ... 294

4.3 Adhäsionsklebstoffe ... 296
4.3.1 Haftklebstoffe ... 296
4.3.2 Schmelzklebstoffe ... 301
4.3.3 Lösemittel- und Dispersionsklebstoffe ... 311
4.3.4 Kontaktklebstoffe ... 312
4.3.5 Plastisole ... 314

4.4 Reaktionsklebstoffe ... 316
4.4.1 Cyanacrylatklebstoffe ... 316
4.4.2 Anaerobe Klebstoffe ... 321
4.4.3 Methacrylat- und „No-mix“ Klebstoffe ... 324
4.4.4 Strahlen- und strahleninduziert abbindende Klebstoffe ... 326
4.4.5 Epoxidharzklebstoffe ... 330
4.4.5.1 Allgemeines ... 330
4.4.5.2 Abbindemechanismus ... 330
4.4.5.3 Eigenschaften ... 332
4.4.5.4 Klebstofflieferform ... 333
4.4.5.5 Klebstoffverarbeitung ... 333
4.4.5.6 Arbeits- und Umweltschutz ... 334
4.4.6 Polyurethan-Klebstoffe ... 334
4.4.7 Phenolharzklebstoffe ... 339
4.4.8 Polyimidklebstoffe ... 339
4.4.9 Silikonklebstoffe ... 339
4.4.10 MS-Polymere ... 342
4.4.11 Polysulfidklebstoffe ... 343
4.4.12 Klebstoffe auf natürlicher Basis ... 343
4.4.13 Anorganische Klebstoffe ... 344
4.4.15 Flüssigmetall, Plastikstahl, Epoxi-Flüssigmetall usw. ... 347
4.4.16 Holzleime ... 348
4.4.17 Sonderformen der Klebstoffe ... 349

5 Klebstoffverarbeitung ... 351

5.1 Begriffe zur Klebstoffverarbeitung ... 353
5.1.1 Topfzeit ... 353
5.1.2 Offene Zeit, Nassklebzeit, Kontaktklebzeit, offene Wartezeit ... 353
5.1.3 Abbindezeit ... 354
5.1.4 Viskosität, Thixotropie, Auftragverhalten ... 354
5.1.5 Nassklebfestigkeit ... 357
5.1.6 Klebrigkeit ... 358

5.2 Lagern von Klebstoffen ... 359
5.2.1 Lagerdauer ... 359
5.2.2 Entmischen (Sedimentieren, Separieren) ... 359

5.3 Auftragsverfahren für Klebstoffe ... 361
5.3.1 Spatelauftrag ... 362
5.3.2 Pinselauftrag ... 362
5.3.3 Rakelauftrag ... 362
5.3.4 Auftrag aus dem Liefergebinde ... 363
5.3.5 Kartuschenauftrag ... 363
5.3.6 Rund- und Schlitzdüsenauftrag ... 364

5.3.7 Spritz- oder Sprühauftrag ... 364
5.3.8 Roboterauftrag ... 366
5.3.9 Stempeltechnik ... 366
5.3.10 Siebdruck ... 367
5.3.11 Walzenauftrag ... 369

5.4 Bauelemente von Klebstoffverarbeitungsanlagen ... 370
5.4.1 Klebstoffbehälter ... 370
5.4.2 Behälterpumpen ... 371
5.4.3 Klebstoffförderpumpen ... 372
5.4.4 Pumpenantriebe ... 373
5.4.5 Klebstoffauftragsventile ... 373
5.4.6 Auftragsdüsen ... 373
5.4.7 Innenbenetzung von Bohrungen ... 374
5.4.8 Steuereinrichtungen ... 374
5.4.9 Mechanisierter Klebstoffauftrag ... 374
5.4.10 Überwachungseinrichtungen ... 375

5.5 Verarbeiten von Klebebändern ... 376

5.6 Verarbeiten von Diffusionsklebstoffen ... 378

5.7 Verarbeiten von Schmelzklebstoffen ... 381
5.7.1 Verarbeitung von Schmelzklebstoffen ... 381
5.7.2 Auftragseinheiten ... 385
5.7.3 Verarbeiten von Schmelzklebstoffpulvern ... 386
5.7.4 Verarbeiten von Schmelzklebstofffolien und -netzen ... 388
5.7.5 Verarbeiten von feuchtigkeitsnachvernetzenden Schmelzklebstoffen ... 392
5.7.6 Verarbeiten von Haftschmelzklebstoffen ... 392
5.7.7 Foam-Melt ... 393
5.7.8 Fügen durch Wiederaufschmelzen des Klebstoffes ... 393
5.7.9 Fügen durch HF-Schweißen ... 393

5.8 Verarbeiten von 1-K-Klebstoffen ... 394
5.8.1 Klebstoffförderung aus dem Liefergebinde ... 394
5.8.2 Tankdosiergeräte ... 395
5.8.3 Kartuschendosiergerät ... 396
5.8.4 Reaktionsklebstofffolien ... 397
5.8.5 Klebstoffformstücke ... 398
5.8.6 Reaktionsklebstoffpulver ... 398
5.8.7 Strahlenhärtende Klebstoffe ... 399

5.9 Verarbeiten von 2-K-Klebstoffen ... 401
5.9.1 Abbindevorgang ... 402
5.9.2 Topfzeit ... 403
5.9.3 Zusammenhang zwischen Abbindezeit und Topfzeit ... 407
5.9.4 Manuelles Mischen von 2-K-Klebstoffen ... 407
5.9.5 Maschinelles Mischen von 2-K-Klebstoffen ... 408
5.9.6 Statische und dynamische Mischer ... 410
5.9.7 Misch- und Dosieranlagen für 2-K-Klebstoffe ... 413

5.10 Klebstoffauftragskontrolle ... 417

5.11 Druckanwendung beim Kleben ... 418
5.11.1 Pressdruck ... 418
5.11.2 Kontaktdruck ... 419
5.11.3 Aufbringen des Druckes ... 419

5.12 Das Warmabbinden von Klebstoffen ... 420
5.12.1 Abbindebedingungen und Klebfestigkeit ... 420
5.12.2 Wärmezufuhr ... 422
5.12.3 Erwärmungsmöglichkeiten ... 424
5.12.4 Warmabbinden beim Kleben unterschiedlicher Werkstoffe ... 427
5.12.5 Auswirkungen auf die Klebstoffauswahl ... 428

5.13 Positionieren und Fixieren der Fügeteile beim Kleben ... 429

5.14 Reinigen von Klebstoffverarbeitungsgeräten ... 430

5.15 Trennen von Klebverbindungen ... 431

5.16 Kosten von Klebverbindungen ... 432

5.17 Vibrationskleben oder Schmelzkleben ohne Klebstoff ... 433

6 Prüftechnik ... 435

6.1 Einführung in die Haftungsprüfung ... 437
6.1.1 Problematik der Haftungsprüfung ... 437
6.1.2 Allgemeine Grundsätze ... 443
6.1.3 Versuchsprotokoll für den Zugscherversuch (Muster) ... 445

6.2 Der Zugscherversuch ... 446
6.2.1 Einführung ... 446
6.2.2 Probenanordnung, Prüftechnik, Auswertung ... 446
6.2.3 Einflussfaktoren ... 446
6.2.4 Vergleich von Klebfestigkeiten ... 448
6.2.5 Spannungsverteilung in der Zugscherprobe ... 449
6.2.6 Oberflächenprüfung mit dem Zugscherversuch ... 451
6.2.7 Verformung der Fügeteile ... 451
6.2.8 Verformungsfähige Klebverbindungen ... 451
6.2.9 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Anwendungen ... 451
6.2.10 Zusammenfassung und Ausblick ... 452
6.2.11 Genormte Scherversuche ... 452

6.3 Bestimmung des Scherverhaltens struktureller Klebungen ... 454

6.4 Schälversuche ... 458
6.4.1 Einführung ... 458
6.4.2 Schälmöglichkeiten ... 458
6.4.3 Schälwinkel ... 460
6.4.4 Schälkraftverlauf und Auswertung ... 460
6.4.5 Spannungsverteilung ... 461
6.4.6 Einflüsse auf das Prüfergebnis ... 462
6.4.7 Probenherstellung ... 466

6.4.8 Nasser Schälversuch ... 466
6.4.9 Biegeschälversuch ... 467
6.4.10 Keileintreibtest ... 469
6.4.11 Zusammenfassung ... 469
6.4.12 Genormte Schälversuche ... 470

6.5 Druckscherversuche ... 471

6.6 Der Torsionsscherversuch ... 473

6.7 Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen auf Befestigungselemente mit Gewinde ... 474

6.8 Zugversuche ... 475

6.9 Abreißversuch ... 476

6.10 Schlagfestigkeitsprüfung ... 477

6.11 Haftungsprüfung bei Klebebändern und Haftklebstoffen ... 479

6.12 Falt-, Biege- und Umformversuche ... 480

6.13 Haftungsprüfung durch Ritz- und Schnittverfahren ... 481

6.14 Keilberstprüfung ... 482
6.14.1 Einführung ... 482
6.14.2 Probenform und Prüftechnik ... 482
6.14.3 Spannungsverteilung und Belastungsänderung in der Probe ... 483
6.14.4 Prüfergebnis ... 484
6.14.5 Prüfung von Polymeren mit der Keilberstprüfung ... 486
6.14.6 Versuchsbewertung ... 486

6.15 Langzeitbeständigkeit, Zeitstandsversuche ... 488

6.16 Alterungs- und Beständigkeitsprüfung ... 489
6.16.1 Alterung unter realen Bedingungen ... 489
6.16.2 Verkürzte Alterungsprüfung (Adhäsionsbeständigkeitsprüfungen) ... 490
6.16.3 Prüfung bei erhöhter Temperatur ... 494
6.16.4 Temperaturwechseltest ... 495
6.16.5 Lagerung bei erhöhter Luftfeuchtigkeit ... 496
6.16.6 Wasserlagerung, Schwitzwassertest ... 496
6.16.7 Kataplasatest ... 497
6.16.8 Lagerung bei erhöhter Medienbelastung ... 497
6.16.9 Salznebelprüfung ... 497
6.16.10 Klimawechseltest ... 497
6.16.11 Normung ... 498

6.17 Bruchflächenuntersuchung ... 500
6.17.1 Adhäsionsbruch ... 502
6.17.2 Kohäsionsbruch ... 503
6.17.3 Fügeteilbruch ... 503
6.17.4 Mischbrüche ... 505

6.17.5 Klebfehler 505
6.17.6 Repräsentative Bruchbilder 506

6.18 Nichtzerstörende Prüfungen 508
6.18.1 Ultraschallprüfung 508
6.18.2 Akustische Prüfung.... 511
6.18.3 Durchstrahlungsprüfung.... 511
6.18.4 Thermografie.... 512
6.18.5 Shearografie 513
6.18.6 Schwingungsprüfung.... 513

6.19 Benetzungsprüfung.... 515

6.20 Dynamisch-Mechanische-Analyse 516

6.21 Differential Thermoanalyse.... 518

6.22 Pressure-Cooker-Test 519

6.23 Welche Prüfung wofür?....520
6.23.1 Klebstoffkennwerte 520
6.23.2 Klebfestigkeitsprüfungen....520
6.23.3 Spannungs-Dehnungs-Diagramme von Klebschichten....521
6.23.4 Adhäsionsprüfungen mit Schälversuchen 521
6.23.5 Alterungsprüfung....521
6.23.5 Festigkeiten von Beschichtungen etc. 522

6.24 Geprüfte Klebstoffe 523

7 Festigkeit von Klebverbindungen 525

7.1 Festigkeitsvergleich konventioneller und geklebter Verbindungen 527
7.1.1 Festigkeitsvergleich bei quasistatischer Belastung....528
7.1.2 Festigkeitsvergleich bei dynamischer Belastung....529

7.2 Einflüsse auf das Tragverhalten von Klebverbindungen 533

7.3 Mechanische Belastungen von Klebverbindungen 534
7.3.1 Grundsätzliches Klebstoffschichtverhalten 534
7.3.2 Tragverhalten unterschiedlicher Klebverbindungen....536
7.3.3 Einfluss der Belastungsrichtung....537
7.3.4 Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit....538
7.3.5 Statische Langzeitbelastung 539
7.3.6 Dynamische Belastung 541

7.4 Verhalten unter Umgebungseinflüssen.... 544
7.4.1 Temperatureinfluss 544
7.4.2 Feuchtigkeitseinfluss 545
7.4.3 Medieneinfluss....547

7.5 Kombination aus mechanischer- und Umweltbelastung.... 548

7.6 Das Kleben unterschiedlicher Werkstoffe 550
7.6.1 Kleben von Werkstoffen mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften 550
7.6.2 Kleben von Werkstoffen mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten 554
7.6.3 Dynamische Belastungen von Klebverbindungen durch Temperaturwechsel 557
7.6.4 Resümee 558

7.7 Kleben kombiniert mit anderen Verbindungstechniken 560
7.7.1 Kleben kombiniert mit Falzen 560
7.7.2 Punktschweißkleben 565
7.7.3 Kleben kombiniert mit dem Nieten, Stanznieten oder Durchsetzfügen 567
7.7.4 Schrumpfkleben 570

7.8 Einfluss der Klebschichtdicke 572

7.9 Umformverhalten und akustische Eigenschaften geklebter Bleche 574

7.10 Kunststoffklebverbindungen 579

7.11 Klebverbindungen mit Faserverbundwerkstoffen 581

8 Konstruktion und Dimensionierung von Klebverbindungen 585

8.1 Konstruktionen von Klebverbindungen 587
8.1.1 Flachverbindungen 588
8.1.2 Rundverbindungen 590
8.1.3 Vermeiden von abschälenden Effekte 591
8.1.4 Eckstöße (Eckverbindungen) und T-Stöße 592
8.1.5 Versteifungskonstuktionen 592
8.1.6 Schichtbauweise mit Blechen 592
8.1.7 Korrosionsschutz von Klebverbindungen 593
8.1.8 Konstruktionshinweis 593

8.2 Dimensionierung von Klebverbindungen 595
8.2.1 Berechnungsproblematik 595
8.2.2 Dimensionieren von Stahlteilen 595
8.2.3 Dimensionieren von Kunststoffteilen 595
8.2.4 Problematik der Berechnung von Klebverbindungen 597
8.2.5 Berechnungsansätze für überlappte Klebverbindungen 599
8.2.6 Berechnung mit Abminderungsfaktoren 600
8.2.7 Buchse Bolzen Klebverbindungen 603
8.2.8 Berechnung gegen maximal zulässige Dehnung 604
8.2.9 Berechnung mit Restfestigkeiten nach einer Lagerung 604
8.2.10 Finite Elemente Methode (FEM) 604
8.2.11 Berechnung der notwendigen Dehnung 604
8.2.12 Vergleichsspannungen 605
8.2.13 Resümee 605

Stichwortverzeichnis 607