

*Walter Brockmann, Paul Ludwig Ceiß,
"Jürgen Klingen, Bernhard Schröder*

Klebtechnik

Klebstoffe, Anwendungen und Verfahren



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhalt

	Vorwort	<i>XI</i>
	Autoren	<i>XIII</i>
1	Position der Klebtechnik im Bereich der Verbindungsverfahren	<i>i</i>
2	Geschichtliche Entwicklung	5
3	Adhäsion	11
3.1	Einführung	11
3.2	Klassische Adhäsionstheorien	15
3.2.1	Polarisationstheorie	18
3.2.2	Diffusionstheorie	20
3.2.3	Chemische Wechselwirkungen bei der Adhäsion	21
3.3	Das Verhalten adhäsiver Verbindungen	26
3.4	Neue Denkansätze zur Adhäsion	27
3.5	Schlussfolgerungen	29
4	Übersicht über Klebstoffe und Primer	31
4.1	Klassifizierung von Klebstoffen	31
4.2	Physikalisch härtende Klebstoffe	<i>}}</i>
4.2.1	Kontaktklebstoffe	33
4.2.2	Plastisole	34
4.2.3	Schmelzklebstoffe	35
4.2.4	Permanent klebrige, nicht härtende Klebstoffe	<i>}\$</i>
4.3	Chemisch härtende Klebstoffe	36
4.3.1	Zweikomponenten-Klebstoffe	<i>JJ</i>
4.3.2	Warmhärtende Einkomponenten-Klebstoffe	37
4.3.3	Kalthärtende Einkomponenten-Klebstoffe	38
4.3.4	Mikroverkapselte Klebstoffe	39
4.4	Primer	<i>}g</i>
4.5	Allgemeine Verarbeitungshinweise	40
5	Aufbau und Eigenschaften der Klebstoffe und Primer	41
5.1	Haftklebstoffe	41
5.1.1	Einführung	41
5.1.2	Chemie der Haftklebstoffe	42

5-i.3	Physikalische Eigenschaften der Haftklebstoffe	45
5.1.4	Zeitabhängiges Verhalten von Haftklebstoffen	45
5.1.5	Klebrigkeit (Tack)	47
5.1.6	Schälwiderstand	47
5.1.7	Kriechverhalten (Creep)	47
5.2	Kontaktklebstoffe	48
5.2.1	Zusammensetzung der Kontaktklebstoffe	48
5.2.2	Verhalten und Anwendungen der Kontaktklebstoffe	49
5.3	Schmelzklebstoffe	30
5.3.1	Thermoplastische Schmelzklebstoffe	51
5.3.2	Heißsiegel-Klebstoffe	52
5.3.3	Plastisole	53
5.3.4	Schmelzkleblacke	33
5.3.5	Reaktive Schmelzklebstoffe auf Polyurethanbasis	53
5.3.6	Reaktive Epoxidharz-Schmelzklebstoffe	54
5.3.7	Trends in der Schmelzklebstoff-Technik	54
5.4	Phenolharz-Klebstoffe	55
5.4.1	Chemie der Phenolharz-Klebstoffe	55
5.4.2	Verhalten und Anwendungen der Phenolharz-Klebstoffe	5.
5.5	Epoxidharz-Klebstoffe	\$g
5.5.1	Chemie der Epoxidharze	\$g
5.5.2	Reaktionen von Epoxidharzen	60
5.5.3	Eigenschaften von Epoxidharz-Klebstoffen	62
5.6	Polyurethanklebstoffe	63
5.6.1	Chemie der Polyurethane	63
5.6.2	Verwendete Rohstoffe	65
5.6.3	Struktur und Eigenschaften der Polyurethanklebstoffe	66
5.6.4	Füllstoffe und Additive bei Polyurethanklebstoffen	67
5.7	Acrylatklebstoffe	67
5.7.1	Physikalisch härtende Acrylate	67
5.7.2	Chemisch härtende Acrylate	68
5.8	Silicone	82
5.8.1	Einkomponenten-Systeme	82
5.8.2	Zweikomponenten-Systeme	83
5.8.3	Kondensationsvernetzung	83
5.8.4	Additionsvernetzung	83
5.9	Klebstoffe auf Naturstoffbasis	84
5.9.1	Einführung	84
5.9.2	Klebrohstoffe aus der Natur	86
5.9.3	Moderne Klebstoffe auf Naturstoffbasis	89
5.9.4	Zukünftige Entwicklungen	91
5.10	Aufbau der Primer und Haftvermittler	g2
5.10.1	Primer	g3
5.10.2	Haftvermittler	g4
5.11	Füllstoffe	g7

6	Gestaltung, Herstellung und Qualitätssicherung von Klebinverbindungen <i>gg</i>
6.1	Gestaltung und Dimensionierung <i>gg</i>
6.1.1	Wechselwirkung von Polymerverhalten und Spannungszustand 100
6.1.2	Gestaltung von Klebinverbindungen 102
6.1.3	Dimensionierung von Klebinverbindungen 105
6.2	Oberflächenvorbehandlung 10 <i>g</i>
6.2.1	Mechanische Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung 110
6.2.2	Chemische Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung 111
6.2.3	Physikalische Verfahren 113
6.2.4	Voraussetzungen für die Entstehung der Adhäsion 313
6.2.5	Schutz der behandelten Oberflächen 314
6.3	Applikationsverfahren 134
6.3.1	Verarbeitungskonzepte für Klebstoffe 335
6.3.2	Qualitätssicherung 322
7	Prüfverfahren und Eigenschaften von Klebinverbindungen 325
7.1	Einleitung 125
7.2	Prüfverfahren für strukturelle Klebinverbindungen 325
7.2.1	Zug- und Druckversuch 126
7.2.2	Prüfung unter Scherbelastung 127
7.2.3	Schälbeanspruchung und Rissausbreitungsversuche 328
7.2.4	Biegeprüfung 330
7.2.5	Prüfung der Schlagfestigkeit 330
7.2.6	Bruchbildbewertung 332
7.2.7	Thermomechanische Kennwerte von Klebstoffen 334
7.2.8	Beständigkeitsprüfung von Klebinverbindungen 336
7.3	Prüfverfahren für Haftklebstoffe 140 *
7.3.1	Einführung 340
7.3.2	Probenherstellung 343
7.3.3	Einfluss der Viskoelastizität von Haftklebstoffen 342
7.3.4	Übersicht über standardisierte Prüfverfahren für die Haftkraft 142
7.3.5	Schlussfolgerung 150
7.4	Mechanisches Verhalten von Klebinverbindungen 150
7.4.1	Zugscherfestigkeit unter zügiger Beanspruchung 353
7.4.2	Zugscherfestigkeit unter langfristig ruhender und wechselnder Bean- spruchung 356
7.4.3	Schälfestigkeit 358
7.4.4	Schlagfestigkeit 160
7.5	Langzeitverhalten von Klebinverbindungen 363
7.5.1	Aluminiumklebungen 162
7.5.2	Stahlklebungen 383
7.5.3	Glasklebungen 387

VIII *Inhalt*

7.5.4	Kunststoffklebungen	388
7.6	Ergebnisse aus Schadensuntersuchungen	389 •
7.6.1	Ablösung der Blattschenverklebung an Rotorblättern	igo
7.6.2	Vollständiger Abriss des Rotorblattprofils	392
7.6.3	Bondline Corrosion in der Wabenstruktur von Tragflügeln	ig4
7.6.4	Delamination einer Luftfahrzeug-Heckleitwerkbeplankung	395
7.6.5	Temperaturschaden an der Flügelbeplankung eines Heckrotors	397
7.6.6	Temperaturbedingte Delamination eines Glasfaser-Patches	398
7.6.7	Konstruktionsfehler einer Verklebung von Filterelementen	399
7.6.8	Mängel der Peel-Ply-Oberflächenvorbehandlung	200
8	Anwendungen der Klebtechnik	205
8.1	Einleitung	205
8.2	Transportwesen	205
8.2.1	Flugzeugbau	206
8.2.2	Kraftfahrzeugbau	222
8.2.3	Kleben im Eisenbahnwesen	237
8.2.4	Schiffbau	239
8.3	Bauwesen	23g
8.3.1	Flächenklebstoffe	240
8.3.2	Einsatz von Klebstoffen in der Befestigungstechnik des Bauwesens	242
8.3.3	Verbund-Spreizdübel	244
8.3.4	Bauwerksverstärkung durch geklebte Oberflächenbewehrung	245
8.3.5	Strukturelles Kleben im Stahl- und Fassadenbau	245
8.4	Kleben im Holzbau	247
8.4.1	Einleitung	247
8.4.2	Holzstruktur	24g
8.4.3	Konsequenzen der Holzstruktur	250
8.4.4	Grenzschicht	253
8.4.5	Klebstoffsysteme	252
8.4.6	Klebstoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe	252
8.4.7	Holzverbunde	256
8.4.8	Die Königsdisziplin: Konstruktiver Holzleimbau (Ingenieur-Holzbau)	257
8.4.9	Vorgefertigte Elemente	260
8.5	Kleben in der Papier und Verpackungsindustrie	262
8.5.1	Einleitung	262
8.5.2	Packmittelherstellung	263
8.5.3	Aufrichten und Verschließen von Trays und Kartons	273
8.5.4	Palettensicherung	276
8.5.5	Etikettierung	277
8.5.6	Zigarettenherstellung	284

8.5.7	Herstellung von Produkten aus Tissuepapier	285
8.5.8	Grafische Anwendungen	290
8.5.9	Briefumschläge und Mailing	302
8.5.10	Wiederverwendung und Recycling von Papier und Verpackungen	304
8.5.11	Gesetzliche Auflagen	309
8.5.12	Ausblick	330
8.6	Kleinindustrie und Handwerk	333
8.6.1	Verbinden	333
8.6.2	Schützen, Spleißen und Maskieren	320
8.6.3	Dämpfen	325
8.6.4	Kennzeichnen	326
8.7	Elektronikindustrie	328
8.7.1	Thermisch leitfähige Klebstoffe	328
8.7.2	Elektrisch leitfähige Klebstoffe	329
8.7.3	Underfill-Materialien	333
8.7.4	Funktionelle Klebebander	333
8.7.5	Spacer	332
8.7.6	Labeling	333
8.8	Optische Industrie	333
8.8.1	Allgemeine Anforderungen an Klebstoffe in der optischen Industrie	333
8.8.2	Befestigungskitte zur Bearbeitung von optischen Bauteilen	334
8.8.3	Optisches Feinkitten	335
8.8.4	Kleben von Optikteilen in Fassungen	337
8.9	Maschinen- und Apparatebau	338
8.9.1	Maschinenbau	338
8.9.2	Haushaltsgeräteindustrie	339
8.9.3	Motoren- und Getriebebau	339
8.9.4	Konstruktionen aus rostfreiem Stahl	343
8.10	Textilindustrie	342
8.10.1	Historisches zu Gummi-Textil-Verbundwerkstoffen	342
8.10.2	Der Anteil der Textilfasern am Lebensstandard der Industriegesellschaft	343
8.10.3	Sektor »Technische Textilien«	343
8.10.4	Kleben von textilem Verstärkungsmaterial für die Kautschukindustrie	344
8.10.5	Besonderheiten des Klebstoffauftrages in Abhängigkeit von der Faser	348
8.10.6	Haftsysteme in der Kautschukmischung (Direkthaftung)	350
8.10.7	Mechanismen der Adhäsion	331
8.10.8	Alterungserscheinungen von RFL-gedippten Textilien	353
8.11	Schuhindustrie	354
8.12	Straßenwesen	356
8.12.1	Verkehrszeichen	357

8.12.2	Fahrbahnmarkierung	35g
8.12.3	Kraftfahrzeugkennzeichen	363
8.13	Oberflächendesign	363
8.13.1	Oberflächendesign und Oberflächenschutz	363
8.13.2	Fahrzeugwerbung	362
8.13.3	Öffentliche Verkehrsmittel	363
8.13.4	Gebäude und Fassaden	365
8.14	Medizin	366
8.14.1	Medizinprodukte mit kurzzeitigem, oberflächlichem Körperkontakt	366
8.14.2	Medizinprodukte mit Körperkontakt bis zu 30 Tagen	367
8.14.3	Medizinprodukte mit Körperkontakt über 30 Tage	367
8.15	Kleben in der Natur	370
8.15.1	Aufbauprinzipien biologischer Verklammerungsstrukturen	370
8.15.2	Kleben bei Lebewesen im Wasser	373
8.15.3	Kleben bei landlebenden Insekten	37g
8.15.4	Haftung und Verklammerung bei Pflanzen	380
8.15.5	Haftung durch Oberflächenreplikation	383
8.16	Wenig bekannte Klebanwendungen	383
8.16.1	Folien für Windkraftrotoren	383
8.16.2	Adhäsive Elastomerverbunde	383
8.16.3	Glühlampen	383
8.16.4	Kleben in der Kunst, Schmuckherstellung und Archäologie	386
8.16.5	Lösbare Klebverbindungen	38g
9	Zukunftstrends	3g\$
9.1	Wirtschaftliche Trends	3g\$
9.2	Technische Trends	3g6
10	Forschung und Entwicklung in der Klebtechnik: Eine Übersicht	3gg
11	Literatur	409
12	Register	419