

INHALT

	Danksagung	5
	Einleitung	12
	Was bedeutet Materialographie?.	13
1	Einführung in die materialographische Probenpräparation	15
1.1	Allgemeines über das Nasstrennschleifen	15
1.1.1	Probenentnahme (Trennen)	16
1.1.1.1	Trennscheibenauswahl	16
1.1.1.2	Einsatzbereich der Trennscheiben	16
1.1.1.3	Nasstrennschleifmaschinen	18
1.2	Probenfixierung durch Kalt- und Warmeinbetten.	20
1.2.1	Anforderungen beim Einbetten	20
1.2.2	Warmeinbetten	21
3.2.2.1	Warmeinbettmittel und ihre Eigenschaften	22
1.2.3	Kalteinbetten	22
1.2.4	Sonderformen des Kalteinbettens	23
1.2.4.1	Lichthärtendes Einbetten	23
1.2.4.2	Imprägnieren unter Vakuum	24
1.3	Mechanische Probenpräparation	24
1.3.1	Schleifen und Polieren	24
1.3.1.1	Grundlage	24
1.3.1.2	Schleifen.	24
1.3.1.3	Planschleifen	25
1.3.1.4	Feinschleifen	25
1.3.1.5	Polieren	25
1.3.1.5.1	Diamantpolieren	26
1.3.1.5.2	Oxidpolieren	26
1.3.1.5.3	Poliertücher und Polierscheiben.	26
1.4	Elektrolytische Probenpräparation	27
1.4.1	Elektrolytisches Polieren	27
1.4.1.1	Vorteile des Elektropolierens	27
1.4.1.2	Nachteile des Elektropolierens	28
1.5	Bewertung der Präparationsmethoden	28
1.6	Reinigen	28
1.7	Sichtbarmachung der Mikrostruktur durch Ätzen	28
1.7.1	Optisches Ätzen	29
1.7.2	Chemisches Ätzen	29
1.7.3	Niederschlagätzen	29
1.7.4	Physikalische Ätzmethoden	29

2	Thermische und mechanische Probenentnahme und deren Einfluss auf das wahre Gefüge.	31
2.1	Einleitung	31
2.2	Probenbeschreibung.	31
2.3	Thermische Probenentnahmeverfahren	32
2.4	Mechanische Probenentnahmeverfahren.	32
2.31	Plasmaschneiden	32
2.32	Laserschneiden	34
2.33	Drahterodieren	36
2.41	Bandsägen	37
2.42	Nastrennschleifen	38
2.43	Präzisionstrennen	39
2.5	Zusammenfassung	40
3	Artefakte bei der materialographischen Probenpräparation und deren Vermeidung	43
3.1	Trennen	43
3.1.1	Probenentnahme durch das Nastrennschleifen	43
3.1.2	Probenentnahme durch Sägen	46
3.1.2.1	Vortäuschung von falscher Porosität	47
3.1.2.2	Vortäuschung von Gefügestrukturen.	47
3.1.3	Wahl einer falschen Trennscheibe, schlechte Kühlung und zu hoher Vorschub	48
3.1.4	Trennen von Bauteilen mit losen inneren Komponenten, die auch teilweise sehr spröde sein können (wie z.B. Magnetwerkstoffe oder Keramiken)	50
3.1.5	Infiltration poröser Werkstoffe	52
3.1.6	Trennen von Kunststoffverbundwerkstoffen	53
3.1.7	Trennen von spröden Oberflächenbeschichtungen, z.B. Plasmaspritzschichten.	55
3.2	Einbetten	57
3.2.1	Probenfixierung durch Kalt- bzw. Warmeinbettung	57
3.2.1.1	Warmeinbetten	57
3.2.1.1.1	Warmeinbettung weicher Werkstoffe	57
3.2.1.1.2	Warmeinbetten von nicht plan aufliegenden, harten und spröden Werkstoffen	58
3.2.1.1.3	Warmeinbetten von spröden Plasmaspritzschichten	60
3.2.1.1.4	Gibt es poröse Materialien, die mit Warmeinbettmitteln infiltriert werden können?	60
3.2.1.1.5	Warmeinbetten von Verbundwerkstoffen Kunststoff / Metall	61
3.2.1.1.6	Warmeinbettung mit falschen Parametern	63
3.2.1.1.7	Folgen bei falscher Wahl des Warmeinbettmittels.	65
3.2.1.1.8	Einbetten von Plasmaspritzschichten (Kalt- oder Warmeinbettung)	68

3.2.1.1.9	Beispiele für Fehler beim Warmeinbetten und Lösungsmöglichkeiten.	70
3.2.1.1.10	Praktische Beispiele für Fehler beim Warmeinbetten und Lösungsmöglichkeiten.	71
3.2.1.2	Kalteinbetten	72
3.2.1.2.1	Problembeschreibung: Heraustretende Flüssigkeit aus fertig präparierten Proben mit nicht gefüllten Poren, Hohlräume und Risse	72
3.2.1.2.2	Poren im glasfaserverstärkten Kunststoff.	74
3.2.1.2.3	Präparation einer Probe aus einem Schmiedeteil mit Riss	76
3.2.1.2.4	Untersuchung von Schweißverbindungen	77
3.2.1.2.4	Weiteres Verfahren zum Verschließen von Poren im Kalteinbettmittel	78
3.2.1.2.5	Infiltrationsverhalten von porösen Werkstoffen	79
3.2.1.2.6.1	Das Prinzip der Vakuuminfiltration	80
3.2.1.2.6.2	Möglichkeiten zum Einfärben von Epoxidharz.	81
3.2.1.2.6.3	Tipps zur Sichtbarmachung von Poren	83
3.2.1.2.7	Tipps zur Erhöhung der Härte von Kalteinbettmitteln	84
3.2.1.2.8	Tipps zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit von Kalteinbettmitteln	84
3.2.1.2.9	Beispiel einer nicht optimal kalteingebetteten Probe.	85
3.2.1.2.10	Abheben von Schichten bei der Einbettung mit Epoxidharz	86
3.2.1.2.11	Sonstige Probleme bei der Einbettung mit Epoxidharzen	87
3.2.1.2.12	Tipps zum Herauslösen von zuvor in Epoxidharz eingebetteten Proben	88
3.2.1.2.13	Probleme bei der Einbettung mit schnell aushärtenden Methacrylaten	89
3.2.1.2.14	Grundsätzliche Konsequenzen bei fehlerhafter Kalteinbettung	90
3.2.1.2.15	Fehler im Schichtaufbau oder Präparationsartefakte?	92
3.2.1.3	Probenfixierung vor dem Einbetten	93
3.2.1.3.1	Präparation von dünnen Drähten oder Fasern	93
3.2.1.3.2	Einbetten von Schaumstoffen oder sehr leichten Werkstoffen.	96
3.2.1.3.3	Sonderformen der Probenfixierung	98
3.2.1.3.3.1	Klammern	98
3.2.1.3.3.2	Folienummantelung	98
3.2.1.3.3.3	Kupferrohrummantelung	99
3.2.1.3.3.4	Vernickelung	100
3.3	Schleifen und Polieren	101
3.3.1	Anschliffpräparation.	101
3.3.1.1	Präparation von beschichteten Bauteilen.	102
3.3.1.1.1	Messingprobe mit zwei Schichten (Nickel und Silber)	102
3.3.1.2	Präparation von Verbundwerkstoffen	104
3.3.1.3	Präparation von Sonderkeramiken	107
3.3.1.4	Präparation von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK)	108
3.3.1.5	Präparation von lackierten Kupferdrähten im Silberlot	109
3.3.1.6	Präparation einer nitrirten Stahlprobe	110
3.3.1.7	Erzeugung von Rissen in der Grundmatrix	111

3.3.1.8	Schleif- und Polierdynamik	112
3.3.1.8.1	Starke Verformung beim Schleifen und Polieren von Titan	113
3.3.1.8.2	Pickel auf der polierten Oberfläche von Aluminium	114
3.3.1.8.3	Verformungsschicht	115
3.3.1.8.4	Kometenschweif beim Schleifen und Polieren	115
3.3.1.8.5	Penceleffekt beim Schleifen und Polieren.	116
3.3.1.8.6	Gefügeverformungen mit Kaltverfestigung im austenitischen Werkstoff nach dem Schleifen und Polieren	117
3.3.2	Verunreinigungen der materialographischen Probe nach der Präparation	118
3.3.2.1	Ablagerungen auf der gesamten Schliifffläche	118
3.3.2.2	Einlagerung von Schleif- und Poliermitteln	119
3.3.2.3	Ablagerung von Fremdmaterial nach der materialographischen Präparation	120
3.3.2.4	Ätzerscheinungen nach dem Polieren	121
3.3.3	Vibrationspolieren	122
3.3.3.1	Präparationsbeispiel <i>Blei (Pb)</i>	122
3.4	Reinigung	125
3.4.1	Tipp zum Reinigen der fertig präparierten Probenoberfläche.	126
4	Ätztechniken	129
4.1	Makroskopische Ätzverfahren	129
4.1.1	Der Schwefelnachweis nach Baumann – der sogenannte Baumannabdruck	129
4.1.1.1	Anwendung.	129
4.1.2	Oberhoffer-Ätzung	132
4.1.2.1	Anwendung.	132
4.1.3.1	Anwendung.	134
4.1.4.1	Anwendung.	135
4.1.5	Sichtbarmachung der eutektischen Zellen	136
4.1.5.1	Anwendung.	136
4.2	Präparations- und Ätzvorschläge verschiedener Werkstoffe	137
4.2.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen.	137
4.2.1.1	Präparation.	137
4.2.1.2	Sichtbarmachung der Makrostruktur von Aluminium und Aluminiumlegierungen.	138
4.2.1.3	Sichtbarmachung der Mikrostruktur von Aluminium und Aluminiumlegierungen	139
4.2.2	Probenvorbereitung für Kupfer und Kupferlegierungen.	141
4.2.2.1	Präparation.	141
4.2.2.2	Sichtbarmachung der Makrostruktur von Kupfer und Kupferlegierungen.	142
4.2.2.3	Sichtbarmachung der Mikrostruktur von Kupfer und Kupferlegierungen.	143

4.2.3	Probenvorbereitung für Eisen und Eisenlegierungen	144
4.2.3.1	Präparation	144
4.2.3.2	Sichtbarmachung der Makrostruktur von Eisen und Eisenlegierungen (Stahl)	145
4.2.3.3	Sichtbarmachung der Mikrostruktur von Eisen und Eisenlegierungen (Stahl)	146
4.2.4	Probenvorbereitung für Titan und Titanlegierungen.	151
4.2.4.1	Präparation	151
4.2.4.2	Sichtbarmachung der Makrostruktur von Titan und Titanlegierungen	152
4.2.4.3	Sichtbarmachung der Mikrostruktur von Titan und Titanlegierungen.	152
4.3	Artefakte bei der Sichtbarmachung des Grundgefüges	154
4.3.1	Vortäuschung eines falschen Gefüges	154
4.3.2	Ablagerungen nach dem Farbbätzen auf der Schlißfläche	156
4.3.3	Risserscheinungen auf der Schlißfläche nach dem Farbbätzen	157
4.3.4	Problem bei der Sichtbarmachung des Grundgefüges von verzinkten Bauteilen	158
4.3.5	Problem bei der Sichtbarmachung von hochlegierten Stählen	160
4.3.6	Problem beim elektrolytischen Polieren eingebetteter Proben	161

5 Sonderformen der materialographischen Präparation 165

5.1	Dünnschlifftechnik	165
5.1.1	Anleitung zur Herstellung eines An- und Dünnschliffes von technischen Werkstoffen	166
5.1.1.1	Probenentnahme	166
5.1.1.2	Probenvorbereitung	167
5.1.1.3	Präparation der aufzuklebenden Seite durch Schleifen und Polieren	167
5.1.1.4	Aufkleben auf Glasobjektträger	167
5.1.1.5	Das Dünnschleifen der Probe	168
5.2	Dünnschnitttechnik	170
5.2.1	Dünnschnitttherstellung an einer Mehrschicht-Kunststoffkarte	171
5.3	Vergleich von Anschliff, Dünnschliff und Dünnschnitt	173
5.3.1	Kunststoffschweißverbindung (PE mit PE/Graphit)	173
5.3.2	Farbschichten auf einem Stahlwinkel der Wuppertaler Schwebebahn, ca. 100 Jahre alt	174
5.3.3	Verbundwerkstoff (Kombination vieler Werkstoffe, Beispiel: Ultraschall-Prüfkopf)	175
5.3.4	Korrosionsschichten (Bronze und Eisen, Beispiel: römischer Ziernagel)	176

6 Bauteilmaterialographie. 179

6.1	Einleitung Bauteilmaterialographie – ambulante Materialographie	179
6.1.1	Erläuterung der Begriffe	179
6.1.2	Beispiele von Einsatzgebieten der Bauteilmaterialographie:	179
6.1.3	Arbeitstechnik.	180
6.1.4	Mobile Verfahren zur Ermittlung von werkstoffspezifischen Kennwerten	180

6.1.5	Kurzbeschreibung einiger Hilfsmittel in der Abdrucktechnik.	181
6.2	Anleitung zur Herstellung eines mobilen Anschliffes für die materialographische Untersuchung	182
6.2.1	Sichern und Dokumentation der zu untersuchenden Oberfläche . . .	182
6.2.2	Grobes Vorschleifen des Untersuchungs-bereiches	182
6.2.3	Feinschleifen der Oberfläche	183
6.2.4	Polieren der Oberfläche	184
6.2.5	Anwendung der Abdrucktechnik	184
6.2.6	Beispiele von verschiedenen Kontrastierungsmöglichkeiten an einer Acetatfolie	186
6.2.7	Fixierungshilfe für Acetatfolienabdrücke.	188
6.3	Anwendungsfehler – Artefakte – Problemlösungen	189
6.3.1	Unzureichende Vorbereitung beim Schleifen	189
6.3.2	Ungleichmäßige Schliffherstellung	190
6.3.3	Blasenbildung bei der Acetatfolie	191
6.3.4	Verrutschen der Acetatfolie	192
6.3.5	Zu frühes Abziehen der Acetatfolie.	193
6.3.6	Zu langes Eintauchen bzw. Benetzen der Acetatfolie mit Aceton. . .	194
6.3.7	Unzureichende Ätzdauer	197
6.4	Ätzmittel für die Bauteilmetallographie (Auswahl)	198
6.4.1	Ätzrezepte der zuvor genannten Ätzmittel	198
6.5	Gefügevergleich verschiedener Werkstoffe: Original – Acetatfolie . .	199
6.6	Anwendung verschiedener Oberflächen-Abdruckmassen	202
7	Archäo-Materialographie	205
7.1	Definition der Archäo-Materialographie.	205
7.2	Zielrichtungen.	205
7.3	Antike Werkstoffe und Produkte	205
7.3.1	Antike Werkstoffe	205
7.3.2	Antike Produkte	206
7.4.	Materialografische Probenpräparation antiker Werkstoffe	206
7.4.1	Beispiele materialographischer Probenpräparationen	206
7.4.1.1	Artefaktbildung	206
7.4.1.2	Das wahre Gefüge	208
	Literaturverzeichnis	214
	Sachwortverzeichnis.	216