
Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Physikalische Grundlagen und Gerätetechnik	3
1.1 Begriffe, Atomaufbau, Radioaktive Isotope, Ionisation	3
1.2 Röntgen- und Gammastrahlung	6
1.2.1 Erzeugung von Röntgenstrahlung	6
1.2.2 Entstehung von Gammastrahlung	10
1.2.3 Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung	14
1.3 Strahlenwirkungen	14
1.3.1 Ionisierende Wirkungen	14
1.3.2 Fotochemische Wirkungen	15
1.3.3 Fluoreszierende Wirkungen	15
1.3.4 Biologische Wirkungen	15
2 Schwächung	17
2.1 Das Schwächungsgesetz	18
2.2 Schwächungskoeffizient und Energieabhängigkeit	20
2.3 Schwächungsmechanismen	21
2.3.1 Absorption	21
2.3.2 Streuung	21
2.3.3 Paarbildung	22
2.4 Schwächungskoeffizient und Werkstoffabhängigkeit	22
2.5 Aufbaufaktor und Streuverhältnis	23
2.6 Spezifischer Kontrast und Strahlenkontrast	27
3 Gerätetechnik	31
3.1 Prüfeinrichtungen für Gammastrahlen	31
3.2 Röntgeneinrichtungen	36
3.2.1 Gleichspannungsanlagen	36
3.2.2 Halbwellenanlagen	38
3.2.3 Röntgenröhren und Zubehör	39

3.3	Strahlenmessgeräte	43
3.3.1	Dosismessgeräte	43
3.3.2	Dosisleistungsmessgeräte	44
3.3.3	Dosisleistungswarngeräte	45
4	Spezielle Durchstrahlungstechniken	49
4.1	Digitale Durchstrahlungsprüfung	49
4.1.1	Digitalisierung vorhandener Filme	51
4.1.2	Speicherleuchtstofftechnik	51
4.1.3	Digitale Sensoren	53
4.1.4	Digitale Bildverarbeitung und Bildqualität	55
4.1.5	Anwendungsbeispiele	57
4.2	Radioskopie (Durchleuchtung)	61
4.2.1	Grundprinzip der Radioskopie	62
4.2.1.1	Strahlenbildentstehung	62
4.2.1.2	Bildübertragung	64
4.2.2	Radioskopiesysteme in der Anwendung	65
4.3	Bewegungsdurchstrahlung	68
4.4	Mechanisierte und automatisierte digitale Durchstrahlungsprüfung	70
5	Filme, Folien, Detektoren	75
5.1	Filme	75
5.1.1	Filmaufbau und -typen	75
5.1.2	Photolytischer Prozess (Produktion)	76
5.1.3	Filmeigenschaften	76
5.1.3.1	Empfindlichkeit und Filmfaktor	77
5.1.3.2	Gradient, Schwärzung und Gradation	77
5.1.3.3	Körnigkeit (Granulation)	79
5.1.3.4	Gradient-Rausch-Verhältnis (Auflösungsvermögen)	79
5.1.3.5	Innere Unschärfe	80
5.1.4	Filmklassifizierung	82
5.2	Folien	83
5.2.1	Wirkungsweise von Folien	83
5.2.2	Folienarten	83
5.3	Digitale Detektoren	84
5.3.1	Klassifizierung der Techniken	84
5.3.2	Kompensationsprinzipie	85
5.3.3	Detektorsysteme	85
5.3.4	Metallfolien	86
5.3.5	Metallfilter und Blenden (Kollimatoren)	86
5.3.6	Geometrische Vergrößerungstechnik	86
5.3.7	Verarbeitung der digitalen Technik	86

5.3.7.1	Scannen und Auslesen der digitalen Bilder	86
5.3.7.2	Kalibrierung der Detektoren	87
5.3.7.3	Defekte Detektoren	87
5.3.7.4	Bildverarbeitung und -auswertung	87
5.3.8	Bildgüteprüfkörper für die digitale Technik	87
5.3.9	Bildunschärfe bei digitalen Detektoren	87
5.3.10	Grauwerte und Signal-Rausch-Verhältnisse	87
5.4	Filmverarbeitung	88
5.4.1	Entwicklungsprozess	88
5.4.2	Zwischenwässerung	90
5.4.3	Fixierung	90
5.4.4	Endwässerung	90
5.4.5	Filmtrocknung	90
5.5	Kontrolle der Filmverarbeitung	91
5.5.1	Kontrolle der Schleierschwärzung	91
5.5.1.1	Kontrolle des Schleiers durch Entwicklung	91
5.5.1.2	Kontrolle des Schleiers durch Dunkelkammerbeleuchtung	92
5.5.2	Kontrolle der Dunkelkammereinrichtung	92
5.5.3	Kontrolle der Filmentwicklung	93
5.5.4	Kontrolle der Zwischenwässerung und des Stoppbades	93
5.5.5	Kontrolle des Fixierbades	94
5.5.6	Kontrolle der Endwässerung	94
5.6	Filmfehler	94
5.7	Filmauswertung	96
5.7.1	Betrachtungsbedingungen	98
5.7.2	Filmschwärzung	99
5.7.3	Kontrast	100
5.8	Lagerung belichteter Filme	100
5.9	Filmbehandlung in Entwicklermaschinen	101
5.10	Entsorgung	104
6	Bildqualität	107
6.1	Aufnahmeparameter	107
6.1.1	Geometrische Unschärfe	107
6.1.1.1	Brennfleckabmessung	109
6.1.1.2	Einstrahlgeometrie	109
6.1.1.3	Abstand Strahler und Prüfgegenstand	112
6.1.1.4	Abstand Prüfgegenstand und Film	113
6.1.1.5	Abstand Fehler und Film	113
6.1.1.6	Bewegung des Prüfgegenstandes	113
6.1.2	Subjektkontrast	113
6.1.2.1	Strahlenenergie	113

6.1.2.2	Einstrahlgeometrie	114
6.1.2.3	Blenden und Filter	114
6.1.2.4	Streustrahlung	114
6.1.2.5	Wanddicke und Dichte im Prüfgegenstand	115
6.2	Film-Folien-Kombination	116
6.2.1	Innere Unschärfe und Gesamtunschärfe einer Aufnahme	116
6.2.2	Filmkontrast	117
6.2.3	Film-/Folieneigenschaften	117
6.2.3.1	Auflösungsvermögen	117
6.2.3.2	Filmkörnigkeit	118
6.3	Bildgüteprüfkörper und ihre Anwendung	118
6.3.1	Drahtsteg-Bildgüteprüfkörper	119
6.3.2	Stufen-Loch-BPK	120
6.3.3	Doppeldrahtsteg-BPK	122
6.3.4	Platten-Loch-Penetrameter	126
6.3.5	Drahtpenetrameter	128
6.3.6	Penetrameterwerkstoffe	129
6.3.7	Bildgütestufen („sensitivity levels“)	131
6.3.8	Abschirmung gegen nicht das Bild zeichnende Strahlung	134
7	Belichtungsgrößen	137
7.1	Schwärzungskurven	137
7.2	Belichtungsdiagramme	138
7.2.1	Werkstoffkorrektur	139
7.2.2	Schwärzungskorrektur	139
7.2.3	Abstandskorrektur	143
7.2.4	Filmkorrektur	143
7.2.5	Erstellung von Belichtungsdiagrammen	143
7.3	Belichtungsschieber	149
8	Objektumfang	151
8.1	Mehrfilmtechnik	152
8.1.1	Prinzip und Verfahren der Mehrfilmtechnik	152
8.1.2	Mehrfilmteknikaufnahmen	154
8.2	Kontrastminderung durch höhere Strahlungsenergie oder Aufhärtung	157
8.3	Wanddickenausgleich	158
9	Geometrische und spezielle Aufnahmeanordnungen	161
9.1	Geometrische Unschärfe	161
9.2	Film-Fokus-Abstand, $f_{\min}$	164
9.3	Aufnahmeanordnungen	167
9.3.1	Aufnahmeanordnungen nach DIN EN ISO 17636-1 und -2	167

9.3.2	Aufnahmeanordnungen nach DIN EN 12681	173
9.3.3	Aufnahmeanordnungen nach ASME-Code	176
9.4	Spezielle Aufnahmeanordnungen	178
9.4.1	Karusselaufnahmetechnik	178
9.4.2	Vergrößerungstechnik	181
9.4.3	Stereotechnik	182
9.4.4	Brennfleckaufnahmen	183
9.4.4.1	Röntgenröhren	183
9.4.4.2	Gammastrahler	183
10	Spezielle Strahlenquellen und -empfänger	187
10.1	Spezielle Strahlenquellen	187
10.1.1	Der Resonanzumwandler („Resonance Transformer“)	187
10.1.2	Der Linearbeschleuniger	187
10.1.3	Das Betatron	191
10.1.4	Neutronenradiographie	193
10.1.5	Durchstrahlungsprüfung mit Mikrofokusröhren	194
10.1.6	Durchstrahlungsprüfung mit Computer-Tomografie (CT)	196
10.2	Spezielle Strahlenempfänger	196
10.2.1	Durchleuchtungsprüfung	196
10.2.2	Xeroradiografie	199
10.2.3	Röntgenbildverstärker	199
10.2.4	Colorradiografie	200
10.2.5	Computer-Tomographie (CT)	200
11	Spezielle Werkstoffe	203
11.1	Werkstoffe, Ordnungszahlen, Dichte und Schwächungskoeffizienten	203
11.2	Durchstrahlung von Werkstoffen niedriger Ordnungszahl	205
11.2.1	Leichtmetalle	205
11.2.2	Kunststoffe	208
11.3	Durchstrahlung von Werkstoffen hoher Ordnungszahl	210
12	Prüfung von Gussstücken	213
12.1	Gussfehler	213
12.1.1	Lunker und Mikrolunker	213
12.1.2	Warmrisse	215
12.1.3	Poren	216
12.1.4	Sand- und Schlackeneinschlüsse	216
12.1.5	Kernstützen	216
12.2	Durchstrahlungsprüfung an Gussstücken nach DIN EN 12681	217
12.2.1	Prüfklassen	217
12.2.2	Film-Fokus-Abstand, $f_{\min}$	217

12.2.3	Wahl der Röhrenspannung und der Strahlenquelle	220
12.2.3.1	Röntgenstrahler	220
12.2.3.2	Andere Strahlenquellen	220
12.2.3.3	Energieauswahl nach ASME-Code	220
12.2.4	Anforderungen an die Filmschwärzung	222
12.2.5	Auswahl der Film-Folien-Kombination	223
12.2.6	Auswertbarer Bereich, Anzahl der Teilaufnahmen	223
12.2.7	Erhöhung des Objektaufmaßes	224
12.2.8	Filmkennzeichnung, Überlappung von Aufnahmen	225
12.2.9	Bildgütenachweis	226
12.2.10	Verminderung der Streustrahlung	227
12.2.10.1	Filter und Blenden	227
12.2.10.2	Vermeidung von Streustrahlung	227
12.2.11	Filmbetrachtungsbedingungen	227
12.3	Ungängenklassifizierung und -beurteilung	228
12.3.1	ASME-Code	228
12.3.2	DIN EN 12681	230
13	Prüfung von Schweißverbindungen	237
13.1	Aufbau von Schweißnähten	237
13.2	Stoß- und Fugenformen	237
13.3	Fertigungs- und Prüffolge einer Schweißnaht	241
13.4	Schweißnahtfehler	243
13.4.1	Flächenhafte Fehler	243
13.4.2	Volumenhafte Fehler	245
13.5	Anzeigenformen	246
13.6	Durchführung von Durchstrahlungsprüfungen	
	nach DIN EN ISO 17636-1 und -2 und DIN EN ISO 10893-6 und -7	249
13.6.1	Prüfklassen	249
13.6.2	Film-Fokus-Abstand, $f_{\min}$	249
13.6.3	Wahl der Strahlenquelle und Energieauswahl	252
13.6.4	Anforderungen an die Filmschwärzung	254
13.6.5	Auswahl der Film-Folien-Kombination	255
13.6.6	Auswertbarer Bereich, Anzahl der Teilaufnahmen	255
13.6.7	Erhöhung des Objektaufmaßes	257
13.6.8	Filmkennzeichnung, Überlappung der Aufnahmen	258
13.6.9	Bildgütenachweis	259
13.6.10	Abschirmung gegen nicht bildzeichnende Strahlung	259
13.7	Ungängenklassifizierung und -beurteilung nach	261
13.7.1	DIN EN ISO 10675-1	262
13.7.2	AD-Merkblatt HP 5/3	264
13.7.2.1	Anwendungsbereich, Prüfverfahren und Prüfumfang	264

13.7.2.2	Prüftechnische Festlegungen	265
13.7.2.3	Zulässigkeiten	265
13.7.3	Vergleichsaufnahmen im Atlas des IIW	268
13.7.4	Vergleichsaufnahmen im DVS-Atlas	269
14	Normen, Regelwerke, Verfahrensbeschreibungen, Prüfanweisungen	273
14.1	Normen und Regelwerke	273
14.2	Verfahrensbeschreibungen	275
14.3	Prüfanweisungen, Spezifikationen	282
15	Sachverzeichnis	289

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung -

Durchstrahlungsprüfung

Schiebold, K.

2015, XVIII, 291 S. 23 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-44668-3