

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Physikalische Grundlagen der Materialprüfung mittels Durchstrahlungsverfahren | 1 |
| | S. Steeb | |
| 1.1 | Entstehung von Röntgenstrahlen | 3 |
| 1.2 | Bremsspektren | 4 |
| 1.3 | Entstehung und Eigenschaften von γ -Strahlung | 7 |
| 1.4 | Absorptionsverhalten von Röntgen- und γ -Strahlung | 9 |
| 1.5 | Nachweis von Röntgen- und γ -Strahlung | 12 |
| 1.5.1 | Leuchtschirme | 12 |
| 1.5.2 | Photographische Filme | 13 |
| 1.5.3 | Zählrohre | 15 |
| 1.6 | Fehlererkennbarkeit, Bildgüte (Kontrast, Schärfe) | 15 |
| 1.6.1 | Kontrast | 15 |
| 1.6.2 | Bildschärfe | 16 |
| 1.7 | Radioaktiver Zerfall und Dosisbegriff | 20 |
| 1.7.1 | Zerfallsgesetz | 20 |
| 1.7.2 | Aktivität | 20 |
| 1.7.3 | Dosisbegriff | 21 |
| 1.7.3.1 | Ionendosis I | 21 |
| 1.7.3.2 | Energiedosis D (Absorbierte Dosis) | 21 |
| 1.7.3.3 | Äquivalentdosis D_{RBW} | 21 |
| 1.8 | Strahlenschutz beim Durchstrahlverfahren | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2 | Röntengeräte für die Materialprüfung | 28 |
| | G. Basler | |
| 2.1 | Durchstrahlungsverfahren | 28 |
| 2.2 | Röntengeräte | 28 |
| 2.2.1 | Wechselspannungsgeräte | 29 |
| 2.2.2 | Gleichspannungsgeräte | 29 |
| 2.2.3 | Röntgenröhren | 31 |
| 2.3 | Manipulatoren | 39 |
| 2.3.1 | Manipulatoren für die Radiographie | 41 |
| 2.3.2 | Manipulatoren für die Radioskopie | 44 |
| 2.3.3 | Manipulatoren für die Radiometrie | 47 |
| 2.4 | Empfänger | 48 |
| 2.4.1 | Fehlererkennbarkeit des Systems | 48 |
| 2.4.2 | Einfluß der Strahlenquelle | 50 |
| 2.4.3 | Einfluß des Prüfobjektes | 51 |
| 2.4.4 | Einfluß des Empfängers | 54 |
| 2.4.5 | Einfluß des Prüfers | 56 |
| 2.4.6 | Empfänger für die radiographische Technik | 59 |
| 2.4.7 | Empfänger für die radioskopische Technik | 61 |
| 2.4.8 | Empfänger für die radiometrische Technik | 68 |
| 2.4.9 | Nachweis von Röntgenstrahlen mit CCD-Detektoren | 69 |
| 3 | Grobstrukturprüfung mit Gammastrahlen | 70 |
| | K. Kolb | |
| 3.1 | Grundlagen und Methodik der γ -Radiographie | 70 |
| 3.1.1 | Gammastrahlen und ihre Eigenschaften | 71 |
| 3.1.1.1 | Natürliche Gammastrahler | 72 |
| 3.1.1.2 | Künstliche Gammastrahler | 73 |
| 3.1.1.3 | Geräte für die Gammaradiographie | 76 |
| 3.1.2 | Gesichtspunkte bei der Auswahl von Gammastrahlern | 85 |
| 3.1.3 | Nachweis von Gammastrahlung | 86 |
| 3.1.3.1 | Röntgenfilm | 86 |
| 3.1.3.2 | Leuchtschirm | 88 |
| 3.1.3.3 | Zählrohre | 89 |
| 3.1.4 | Schwächung der Gammastrahlen beim Durchgang durch Materie; Durchstrahlbarkeit der Stoffe | 89 |
| 3.1.5 | Grundlage der Filmaufnahmetechnik | 91 |
| 3.1.6 | Bildgüte von Gammaaufnahmen | 93 |
| 3.1.6.1 | Kontrolle und Nachweis der Bildgüte | 101 |
| 3.1.6.2 | Fehlererkennbarkeit | 106 |
| 3.2 | Durchstrahlung von Schweißnähten an Stahlwerkstoffen | 107 |
| 3.2.1 | Schweißverbindungen an ebenen Blechen und Behältern | 109 |
| 3.2.2 | Schweißverbindungen an Druckbehältern | 110 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.2.3 | Schweißverbindungen an Stahlkonstruktionen | 111 |
| 3.3 | Durchstrahlung von Gußteilen und Schmiedestücken | 111 |
| 3.4 | Durchstrahlung von Nietverbindungen | 111 |
| 3.5 | Durchstrahlung von Nichteisenwerkstoffen | 112 |
| 3.5.1 | Metalle | 112 |
| 3.5.2 | Kunststoffe, Folien | 112 |
| 3.5.3 | Biologie und Botanik | 112 |
| 3.6 | Protokollführung | 113 |
| 3.7 | Beurteilung der Durchstrahlungsbilder | 115 |
| 3.7.1 | Kurzzeichen für die Kennzeichnung von Fehlern | 116 |
| 3.7.2 | Festlegung zulässiger Fehlergrößen und Notensystem | 117 |
| 3.8 | Experimenteller Teil | 123 |
| 3.8.1 | Aufstellung eines Belichtungsdiagrammes für Gamma- und Röntgenstrahlen | 123 |
| 3.8.2 | Bestimmung der Absorptionseigenschaften verschiedener Werkstoffe | 126 |
| 3.8.3 | Strahlenschutz für Werkstoffprüfer, Dosisbegrenzung | 126 |
| 3.8.4 | Vorbereitung einer Durchstrahlungsaufnahme | 131 |
| 4 | Oberflächenrißprüfung nach dem Magnetpulver-Verfahren | 133 |
| | G. Gauss | |
| 4.1 | Grundlagen der Magnetpulverprüfung | 133 |
| 4.1.1 | Was kann mit dem Magnetpulver-Verfahren geprüft werden? | 133 |
| 4.1.2 | Was kann gefunden werden? | 134 |
| 4.1.3 | Was kann nicht mit Sicherheit gefunden werden? | 134 |
| 4.1.4 | Warum wird eine Fehlerstelle angezeigt? | 134 |
| 4.1.5 | Bei welcher Fehlerlage erfolgt eine Anzeige? | 135 |
| 4.1.6 | Können unter der Oberfläche liegende Einschlüsse aufgefunden werden? | 135 |
| 4.1.7 | Magnetische Induktion, Feldstärke und Leitfähigkeit | 136 |
| 4.1.8 | Weich- und hartmagnetische Werkstoffe | 138 |
| 4.2 | Magnetisierungsverfahren nach DIN 54 130 | 139 |
| 4.2.1 | Magnetisierung mittels Stromdurchflutung | 140 |
| 4.2.1.1 | Selbstdurchflutung (Kennzeichen nach DIN 54 130: SS) | 140 |
| 4.2.1.2 | Induktionsdurchflutung (Kennzeichen nach DIN 54 130: SI) | 142 |
| 4.2.2 | Magnetisierung mit stromdurchflossenem Leiter | 145 |
| 4.2.2.1 | Spulenmagnetisierung (Kennzeichen nach DIN 54 130: LS) | 145 |
| 4.2.2.2 | Magnetisierung durch übrige Leiteranordnungen („Hilfsdurchflutung“); (Kennzeichen nach DIN 54 130: LK) | 145 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2.3 | Jochmagnetisierung (Kennzeichen nach DIN 54 130: Dauermagnet JD, Elektromagnet JE) | 147 |
| 4.3 | Bei der Magnetpulverprüfung verwendete Stromarten sowie die Feldstärkemessung | 148 |
| 4.3.1 | Stromarten nach DIN 54 130 für die Magnetpulverprüfung | 148 |
| 4.3.2 | Feldstärke bei der Magnetpulverprüfung | 152 |
| 4.3.2.1 | Festlegung der erforderlichen magnetischen Feldstärken bei der Durchführung einer Magnetpulverprüfung | 152 |
| 4.3.2.2 | Kontrolle der erforderlichen Magnetisierungsfeldstärke | 152 |
| 4.3.3 | Flußdichte bei der Magnetpulverprüfung | 154 |
| 4.3.3.1 | Messung der magnetischen Flußdichte (Induktion) | 154 |
| 4.4 | Kombinierte Magnetisierungsverfahren; Vielkreismagnetisierung | 155 |
| 4.4.1 | Kombination von zwei Gleichfeldern | 155 |
| 4.4.2 | Kombination eines Gleichfeldes mit einem Wechselfeld | 155 |
| 4.4.3 | Kombination von zwei phasenverschobenen Wechselfeldern | 157 |
| 4.4.3.1 | Wechselstromjoch | 158 |
| 4.4.3.2 | Spulenmagnetisierung | 159 |
| 4.4.4 | Vielkreis-Magnetisierung | 160 |
| 4.5 | Entmagnetisierung | 161 |
| 4.6 | Rißprüfmittel | 167 |
| 4.6.1 | Magnetpulver als Indikator magnetischer Streufelder | 167 |
| 4.6.2 | Trockenpulver | 168 |
| 4.6.3 | Naßverfahren – nicht fluoreszierend | 168 |
| 4.6.4 | Naßverfahren – fluoreszierend | 170 |
| 4.6.5 | Kontrolle des Rißprüfmittels | 170 |
| 4.6.5.1 | Beim Neuansatz | 170 |
| 4.6.5.2 | Nach mehrstündiger Prüfung | 171 |
| 4.7 | UV-Beleuchtungseinrichtungen | 171 |
| 4.8 | Visuelle Sichtkontrolle | 174 |
| 4.9 | Automatisierte Rißprüfung durch das Rißdetektionssystem „OPTO-TEC“ | 175 |
| 5 | Magnetische Streuflußprüfung mit Sondenabtastung zur zerstörungsfreien Prüfung ferromagnetischen Materials | 178 |
| | A. Griese | |
| 5.1 | Das Streufluß-Prüfverfahren | 178 |
| 5.2 | Grundlagen des Streufluß-Verfahrens mit Gleichfeld- magnetisierung | 179 |
| 5.2.1 | Beispiele | 189 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.2.2 | Streufluß aus der dem Fehler gegenüberliegenden Materialoberfläche | 190 |
| 5.3 | Streuflußprüfung mit Gleichfeldmagnetisierung | 193 |
| 5.4 | Aufbau der Streuflußprüfgeräte ROTOMAT | 194 |
| 5.4.1 | Sondenarten, Sondenanordnung | 196 |
| 5.4.2 | Fehlerlänge, Sondenlänge | 199 |
| 5.4.3 | Differenz- und Absolutbetrieb | 200 |
| 5.4.4 | Innenfehler-/Außenfehlerbewertung | 201 |
| 5.4.5 | Fehler in der Schweißnaht | 203 |
| 5.4.6 | Geräteausführung ROTOMAT | 206 |
| 5.5 | Gleichfeld-Längsmagnetisierung; Prüfgerät TRANSOMAT | 207 |
| 5.5.1 | Geräteausführung TRANSOMAT | 208 |
| 5.6 | Testfehler | 208 |
| 5.7 | Grundlagen des Streufluß-Prüfverfahrens mit Wechselfeldmagnetisierung | 210 |
| 5.7.1 | Abhängigkeit des magnetischen Wechselfeld-Streufusses von der Rißtiefe | 212 |
| 5.7.2 | Abhängigkeit des magnetischen Wechselfeld-Streufusses von der Rißbreite | 213 |
| 5.7.3 | Verbesserung des Nutz-/Störverhältnisses bei großer Wechselfeldmagnetisierung | 213 |
| 5.8 | Aufbau des Hochenergie-Wechselfeld-Streuflußgerätes CIRCOFLUX | 215 |
| 5.9 | Zusammenfassung | 217 |
| 6 | Ultraschallprüfung | 219 |
| | V. Deutsch und M. Vogt | |
| 6.1 | Akustische Grundlagen | 219 |
| 6.1.1 | Schwingungen | 219 |
| 6.1.2 | Wellen | 222 |
| 6.1.3 | Wellenarten | 224 |
| 6.1.3.1 | Longitudinalwelle | 224 |
| 6.1.3.2 | Transversalwelle | 224 |
| 6.1.4 | Schall | 225 |
| 6.1.4.1 | Schallausbreitung | 226 |
| 6.1.4.2 | Verhalten von Schallwellen an Grenzflächen | 229 |
| 6.1.4.2.1 | Grenzflächen senkrecht zur Schallrichtung | 229 |
| 6.1.4.2.2 | Grenzfläche schräg zur Schallrichtung | 231 |
| 6.1.4.3 | Streuung, Beugung, Interferenz | 232 |
| 6.1.4.4 | Schalldruckabnahme | 234 |
| 6.1.4.4.1 | Divergenz | 234 |
| 6.1.4.4.2 | Schallschwächung | 234 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 6.2 | Apparative und verfahrenstechnische Grundlagen | 236 |
| 6.2.1 | Ultraschallerzeugung; piezoelektrischer Effekt | 236 |
| 6.2.2 | Verfahren der Ultraschallprüfung | 237 |
| 6.2.2.1 | Durchschallungsverfahren | 239 |
| 6.2.2.2 | Impuls-Echo-Verfahren | 239 |
| 6.2.3 | Prüfköpfe | 241 |
| 6.2.3.1 | Eigenschaften | 241 |
| 6.2.3.2 | Schallfeld | 245 |
| 6.2.3.3 | Aufbau der Prüfköpfe | 247 |
| 6.2.3.3.1 | Senkrechteinschallung | 247 |
| 6.2.3.3.1.1 | Normalprüfkopf | 247 |
| 6.2.3.3.1.2 | SE-Prüfkopf | 248 |
| 6.2.3.3.2 | Schrägeinschallung | 251 |
| 6.2.3.3.2.1 | Winkelprüfkopf | 251 |
| 6.2.3.3.2.2 | Plattenwellen-Prüfkopf | 259 |
| 6.2.3.3.2.3 | Oberflächenwellen-Prüfkopf | 261 |
| 6.2.4 | Ultraschall-Prüfgeräte | 261 |
| 6.2.4.1 | Grundgerät | 261 |
| 6.2.4.1.1 | Sendeleistung bzw. Impulsstärke | 263 |
| 6.2.4.1.2 | Empfindlichkeit bzw. Verstärkung | 263 |
| 6.2.4.1.3 | Schwellwert bzw. Unterdrückung | 263 |
| 6.2.4.1.3.1 | Nichtlinearer Schwellwert | 263 |
| 6.2.4.1.3.2 | Lineare Schwellwertregelung | 263 |
| 6.2.4.1.4 | Hüllkurve bzw. Echoform | 264 |
| 6.2.4.1.5 | HF-Darstellung | 264 |
| 6.2.4.1.6 | Meßlänge bzw. Abbildungsmaßstab | 265 |
| 6.2.4.1.7 | Verschiebung bzw. Nullpunkt | 265 |
| 6.2.4.1.8 | Schallgeschwindigkeitssteller | 265 |
| 6.2.4.2 | Monitore | 266 |
| 6.2.4.2.1 | Signalmonitor | 266 |
| 6.2.4.2.2 | Proportionalmonitor | 267 |
| 6.2.4.2.3 | Universalmonitor | 267 |
| 6.2.4.2.4 | Laufzeitmonitor | 267 |
| 6.2.4.2.5 | Integriermonitor | 267 |
| 6.2.5 | Sondergeräte | 268 |
| 6.2.5.1 | Diodenfeld-Anzeige | 268 |
| 6.2.5.2 | Getaktete Verstärkung | 268 |
| 6.2.5.3 | Frequenzvariabler CS-Sender | 269 |
| 6.2.5.4 | Wanddickenmeßgeräte | 269 |
| 6.2.5.5 | Geräte mit Mikrorechner | 269 |
| 6.2.5.5.1 | Analog-digitale Geräte | 270 |
| 6.2.5.5.2 | Rein digitale Geräte | 270 |
| 6.3 | Anwendungstechnische Grundlagen | 271 |
| 6.3.1 | Prüfgerechte Konstruktion | 272 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.3.2 | Festlegung der Prüftechnik | 272 |
| 6.3.2.1 | Einkopftechnik | 273 |
| 6.3.2.2 | Einkopftechnik mit Schallumlenkung | 273 |
| 6.3.2.3 | Winkelspiegel | 273 |
| 6.3.2.4 | Tandemtechnik | 274 |
| 6.3.2.5 | Deltatechnik | 274 |
| 6.3.2.6 | Präferenzen | 274 |
| 6.3.3 | Schallübergang ins Werkstück | 275 |
| 6.3.3.1 | Ankoppeltechnik | 275 |
| 6.3.3.1.1 | Direktkontakt | 275 |
| 6.3.3.1.2 | Fließwasserankopplung | 276 |
| 6.3.3.1.3 | Tauchtechnik | 276 |
| 6.3.3.1.4 | „Pfützentechnik“ | 280 |
| 6.3.3.2 | Werkstückoberfläche | 282 |
| 6.3.3.2.1 | Rauhigkeit | 282 |
| 6.3.3.2.2 | Krümmung | 283 |
| 6.3.3.2.3 | Belag | 284 |
| 6.3.4 | Auswahl des Prüfkopfes | 284 |
| 6.3.4.1 | Wahl der Prüffrequenz | 284 |
| 6.3.4.2 | Wahl des Frequenzspektrums und der Impulsform | 286 |
| 6.3.4.2.1 | Schmales Spektrum – längere (breitere) Impulse | 287 |
| 6.3.4.2.2 | Vergrößerte Bandbreite – kürzere (schmalere) Impulse | 287 |
| 6.3.4.2.3 | Extrem große Bandbreite – kürzeste Impulse | 287 |
| 6.3.4.3 | Wahl der Schwinger- bzw. Prüfkopfgröße | 288 |
| 6.3.4.4 | Fokussierung | 290 |
| | | |
| 7 | Bewertung von Ultraschall-Prüfbefunden | 292 |
| | V. Deutsch und M. Vogt | |
| | | |
| 7 | Bewertungsgrundlagen | 292 |
| 7.1 | Gerätejustierung | 292 |
| 7.1.1 | Entfernungsjustierung | 293 |
| 7.1.2 | Empfindlichkeitsjustierung | 294 |
| 7.2 | Bewertungsverfahren | 295 |
| 7.2.1 | Laterale (seitliche) Ortung | 295 |
| 7.2.2 | Echolaufzeit | 296 |
| 7.2.3 | Echoform | 296 |
| 7.2.4 | Echodynamik | 296 |
| 7.2.5 | Echoamplitude | 302 |
| 7.2.5.1 | Amplitudenbewertung für Fehler größer als der Schallbündeldurchmesser | 302 |
| 7.2.5.1.1 | Randabtastung über Fehlerecho | 302 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 7.2.5.1.2 | Randabtastung über Rückwandecho | 304 |
| 7.2.5.2 | Amplitudenbewertung für Fehler kleiner als der Schallbündeldurchmesser | 304 |
| 7.2.5.2.1 | AVG-Verfahren | 306 |
| 7.2.5.2.2 | Vergleichskörper-Methode | 310 |
| 7.3 | Qualitätskontrollen | 313 |
| 7.3.1 | Schallgeschwindigkeitsmessungen | 313 |
| 7.3.2 | Schallschwächungsmessungen bzw. -vergleiche | 315 |
| 7.3.2.1 | Beurteilung der Absorption | 315 |
| 7.3.2.2 | Beurteilung der Streuverluste | 315 |
| 7.4 | Fehldeutungsmöglichkeiten | 315 |
| 7.4.1 | Ungünstige Prüfanordnung | 318 |
| 7.4.1.1 | Zurückspringende Kanten | 318 |
| 7.4.1.2 | Umwegechos | 318 |
| 7.4.1.3 | Vorlaufstrecke | 319 |
| 7.4.2 | Wellenphysikalische Ursachen | 319 |
| 7.4.2.1 | Streifender Einfall | 319 |
| 7.4.2.2 | Dreiecksreflexion | 321 |
| 7.4.2.3 | Wellenumwandlung $29^\circ/61^\circ$ | 321 |
| 7.4.2.4 | Entartete Wellentypen | 323 |
| 7.4.2.4.1 | Oberflächenwellen | 324 |
| 7.4.2.4.2 | Kriechwellen | 324 |
| 7.4.2.4.3 | Plattenwellen | 324 |
| 7.4.2.4.4 | Stabwellen | 325 |
| 7.4.3 | Gerätetechnische Ursachen: Phantomechos | 325 |
| 7.4.4 | Personelle Aspekte | 325 |
| 7.5 | Verwendbarkeitskriterien | 327 |
| 7.5.1 | Im Planungsstadium: Prüfgerechte Konstruktion | 327 |
| 7.5.2 | Beurteilung durch Fachpersonal | 327 |
| 7.5.3 | Voruntersuchungen mit erhöhtem Prüfaufwand | 327 |
| 7.5.4 | Zerstörende Untersuchungen | 327 |
| 7.5.5 | Sinngemäße Anwendung ähnlicher Prüfvorschriften | 327 |
| 7.5.6 | Orientierung an der Reklamationsrate | 328 |
| 7.5.7 | Festlegung der Beurteilungskriterien mit dem Abnehmer | 328 |
| 7.6 | Prüfbericht | 328 |
| 7.6.1 | Allgemeine Angaben | 329 |
| 7.6.2 | Angaben zur Prüftechnik | 329 |
| 7.6.3 | Ergebnisse der Prüfung | 330 |
| 7.7 | Grundlagen der Automatisierung | 330 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8 | Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung auf Materialfehler nach dem Wirbelstromverfahren | 334 |
| | H. Wezel | |
| 8.1 | Allgemeines | 334 |
| 8.2 | Theorie oder: Wie funktioniert die Wirbelstrom-Prüfung? | 335 |
| 8.2.1 | Wirbelströme | 335 |
| 8.2.2 | Wechselstrom, -Spannung und komplexe Impedanz | 336 |
| 8.2.3 | Spulensysteme | 337 |
| 8.2.4 | Mathematische Modellbeschreibung | 343 |
| 8.2.5 | Impedanz der Spule | 344 |
| 8.2.6 | Ähnlichkeitsgesetz der Wirbelstromprüfung | 346 |
| 8.2.7 | Eindringtiefe | 349 |
| 8.2.8 | Effektive Eindringtiefe | 351 |
| 8.2.9 | Einflußgrößen | 351 |
| 8.3 | Gerätetechnik | 355 |
| 8.4 | Praktische Durchführung einer Wirbelstrom-Prüfung | 364 |
| 8.4.1 | Anwendungsbereiche | 364 |
| 8.4.2 | Verwechslungsprüfung | 366 |
| 8.4.3 | Einstellstandards, Vergleichskörper, Testfehler, Prüfnormen | 366 |
| 8.5 | Zusammenfassung | 370 |
| | | |
| 9 | Eindringprüfung | 371 |
| | W. Stein | |
| 9.1 | Einführung in das Verfahren | 371 |
| 9.1.1 | Aufgabe der zerstörungsfreien Prüfung | 371 |
| 9.1.2 | Einführung in die Prüfung mit Eindringverfahren | 372 |
| 9.1.2.1 | Historischer Überblick | 372 |
| 9.1.2.2 | Prinzip des Verfahrens | 373 |
| 9.1.2.3 | Anwendungsbereich | 374 |
| 9.1.3 | Prüfmittel-Systeme | 375 |
| 9.1.3.1 | Einteilung und Bezeichnung | 375 |
| 9.1.3.2 | Prüfmittel | 377 |
| 9.1.3.2.1 | Eindringmittel | 377 |
| 9.1.3.2.2 | Zwischenreiniger | 377 |
| 9.1.3.2.3 | Entwickler | 379 |
| 9.2 | Durchführung der Prüfung (Teil 1) | 379 |
| 9.2.1 | Verfahrensbezogene Festlegungen (Übersicht) | 379 |
| 9.2.2 | Festlegungen in einer Prüfanweisung | 380 |
| 9.2.3 | Durchführung der Prüfung nach DIN 54 152 Teil 1 | 380 |
| 9.2.3.1 | Vorreinigung | 381 |
| 9.2.3.1.1 | Mechanische Vorreinigung | 381 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 9.2.3.1.2 | Chemische Vorreinigung | 383 |
| 9.2.3.1.3 | Sonstige Verfahren | 384 |
| 9.2.3.2 | Trocknung | 384 |
| 9.3 | Durchführung der Prüfung, Teil 2 | 385 |
| 9.3.1 | Eindringvorgang | 385 |
| 9.3.1.1 | Aufbringen des Eindringmittels | 385 |
| 9.3.1.2 | Prüftemperatur | 387 |
| 9.3.1.3 | Eindringdauer | 387 |
| 9.3.2 | Zwischenreinigung | 389 |
| 9.3.2.1 | Allgemeine Forderungen | 389 |
| 9.3.2.2 | Art der Zwischenreinigung | 390 |
| 9.3.2.2.1 | Allgemeines | 390 |
| 9.3.2.2.2 | Lösemittel als Zwischenreiniger | 392 |
| 9.3.2.2.3 | Wasser als Zwischenreiniger | 393 |
| 9.3.2.2.4 | Nachemulgierbare Eindringmittel | 394 |
| 9.3.2.2.5 | Kontrolle der Zwischenreinigung | 397 |
| 9.3.2.3 | Trocknungsvorgang | 397 |
| 9.4 | Durchführung der Prüfung, Teil 3 | 399 |
| 9.4.1 | Entwicklungsvorgang | 399 |
| 9.4.1.1 | Wirkungsweise des Entwicklers | 399 |
| 9.4.1.2 | Entwicklerarten | 400 |
| 9.4.1.2.1 | Trockenentwickler | 401 |
| 9.4.1.2.2 | Naßentwickler | 401 |
| 9.4.1.3 | Entwicklungsdauer | 403 |
| 9.4.2 | Inspektion | 404 |
| 9.4.3 | Nachreinigung | 405 |
| 9.5 | Handhabung spezieller Prüfsysteme | 406 |
| 9.5.1 | Allgemeiner Hinweis | 406 |
| 9.5.2 | Anwendung von Farbeindringmitteln (Rot-Weiß-Verfahren) | 406 |
| 9.5.3 | Anwendung von wasserabwaschbarenfluoreszierenden Eindringmitteln | 408 |
| 9.5.4 | Nachemulgierbare fluoreszierende Eindringmittel | 408 |
| 9.5.5 | Spezielle Prüfsysteme | 410 |
| 9.5.5.1 | Fluoreszierendes Farbeindringmittel | 410 |
| 9.5.5.2 | Eindringprüfung an keramischen Werkstoffen | 413 |
| 9.5.5.2.1 | Einfachprüfungen mit Fuchsin und Methylenblau | 414 |
| 9.5.5.2.2 | Eindringprüfung mit gefilterten Teilchen | 414 |
| 9.5.5.2.3 | Vorwässerungsmethode | 415 |
| 9.5.5.2.4 | Lösungsmittelfreies Eindringprüfsystem | 415 |
| 9.6 | Hilfsmittel für die Durchführung am Arbeitsplatz | 416 |
| 9.6.1 | Übersicht | 416 |
| 9.6.2 | Prüftechnische Hilfsmittel | 416 |
| 9.6.2.1 | Forderungen an die Sichtbedingungen | 416 |
| 9.6.2.2 | UV- Licht: Eigenschaften, Erzeugung, Kontrolle | 417 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 9.6.2.2.1 | UV-Strahlung und ihre Umwandlung in sichtbares Licht durch Fluoreszenz | 417 |
| 9.6.2.2.2 | Die Erzeugung der UV-Strahlung, UV-Lampen | 418 |
| 9.6.2.2.3 | Kontrolle der Lampen | 419 |
| 9.6.2.2.3.1 | Allgemeiner Hinweis | 419 |
| 9.6.2.2.3.2 | Indirekte Messung der UV-Strahlung | 420 |
| 9.6.2.2.3.3 | Direkte Meßmethoden | 421 |
| 9.6.2.3 | Prüfraum | 422 |
| 9.6.3 | Sicherheit am Arbeitsplatz | 422 |
| 9.6.4 | Umweltschutzmaßnahmen | 423 |
| 9.7 | Kontrolle der Prüfdurchführung | 423 |
| 9.7.1 | Nachweis und Kontrolle der Wirksamkeit von Prüfsystemen | 423 |
| 9.7.2 | Kontrollen am Arbeitsplatz | 424 |
| 9.7.2.1 | Allgemeiner Hinweis | 424 |
| 9.7.2.2 | Kontrollkörper zum Nachweis der Anzeigeempfindlichkeit | 425 |
| 9.7.2.2.1 | Chromplattierte Vergleichsstücke | 425 |
| 9.7.2.2.2 | Kontrollkörper nach DIN 54 152 Teil 3 | 425 |
| 9.7.2.2.3 | Testkörper mit künstlichem Spalt | 427 |
| 9.7.2.3 | Beurteilung der Testmethoden | 428 |
| 9.8 | Vorschriften, Normen, Verfahrensbeschreibungen | 428 |
| 9.9 | Typische Fehleranzeigen; Automatisierung | 430 |
| 9.9.1 | Typische Fehleranzeigen | 430 |
| 9.9.2 | Automatisierung | 432 |
| 9.10 | Dichtigkeitsprüfung | 434 |
| 9.11 | Neuere Entwicklungen bei der Eindringprüfung im Zusammenhang mit dem Umweltverhalten der Prüfsysteme | 435 |
| 10 | Manuelle Fehlerprüfung mit dem Wirbelstromverfahren | 436 |
| | F. Schur und T. W. Güttinger | |
| 10.1 | Einleitung | 436 |
| 10.2 | Grundlagen des Wirbelstromverfahrens | 438 |
| 10.3 | Problemlösung mit Wirbelstrom | 442 |
| 10.4 | Einsatzbeispiele | 456 |
| 10.5 | Neue Technologien | 460 |
| 11 | Schallemissionsverfahren | 465 |
| | W. Staib | |
| 11.1 | Einleitung | 465 |
| 11.2 | Physikalische Grundlagen | 467 |
| 11.2.1 | Schallemissionserzeugung | 467 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11.2.2 | Wellenausbreitung | 467 |
| 11.3 | Meßtechnische Grundlagen | 468 |
| 11.3.1 | Schallaufnehmer | 468 |
| 11.3.2 | Erscheinungsformen der elektrischen Meßsignale | 469 |
| 11.4 | Meßwerterfassung und -Auswertung | 470 |
| 11.4.1 | Einkanalige Meßwerterfassung | 470 |
| 11.4.2 | Mehrkanalige Meßwerterfassung | 474 |
| 11.5 | Vor- und Nachteile der Schallemissionsanalyse | 478 |
| 11.6 | Praktische Anwendungen | 478 |
| 11.6.1 | Zugversuche mit Prüfmaschinen | 478 |
| 11.6.2 | Bruchmechanische Versuche mit Prüfmaschinen | 479 |
| 11.6.3 | Überwachung von Schweißvorgängen | 481 |
| 11.6.4 | Überwachung der Wärmebehandlung bei keramischen Werkstoffen | 482 |
| 11.6.5 | Prüfung von Druckbehältern und Rohrleitungen | 482 |
| 11.6.6 | Rißüberwachung an off-shore Erdöl/Erdgas-Förderplatt- formen | 485 |
| 11.6.7 | Weitere Anwendungen der Schallemission | 487 |
| 11.7 | Geräte | 487 |
| 12 | Anwendung und Kombination von Prüfverfahren in der Luftfahrt | 490 |
| | F. Schur | |
| 12.1 | Einleitung | 490 |
| 12.2 | Systematik der Überwachung | 490 |
| 12.3 | Auswahlkriterien für die Prüfverfahren | 491 |
| 12.4 | Vergleich der Prüfverfahren | 493 |
| 12.5 | Anwendungsbeispiele | 500 |
| 12.5.1 | Sichtkontrolle | 501 |
| 12.5.2 | Eindringverfahren | 506 |
| 12.5.3 | Magnetpulververfahren | 509 |
| 12.5.4 | Wirbelstromverfahren | 513 |
| 12.5.5 | Ultraschallverfahren | 534 |
| 12.5.6 | Durchstrahlungsverfahren | 544 |
| 12.5.7 | Schallemission | 550 |
| 12.6 | Verfahrensgrenzen | 553 |
| | Literaturverzeichnis | 555 |
| | Sachregister | 573 |
| | Autorenverzeichnis | 582 |