

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Physikalische Grundlagen	3
1.1 Das Prinzip der Eindringprüfung	3
1.2 Eindringfähigkeit	5
1.2.1 Oberflächenspannung	5
1.2.2 Benetzungsfähigkeit	5
1.2.3 Kapillarwirkung	7
1.3 Eindringgeschwindigkeit	9
1.3.1 Viskosität als innere Reibung	10
1.3.2 Viskosität und Zusammensetzung des Eindringmittels	11
1.3.3 Viskosität und Temperatur	12
1.3.4 Viskosität und Flammpunkt	13
1.3.5 Dimensionsabhängige Viskosität	13
1.3.6 Dampfdruck	13
1.3.7 Beständigkeit	14
1.4 Theorie des Emulgierens	14
1.4.1 Lösemittel	14
1.4.2 Emulsion und Lösung	15
2 Verfahrensablauf	19
2.1 Vorreinigung	19
2.1.1 Oberflächenvorbereitung	19
2.1.2 Methoden der Vorreinigung	20
2.1.2.1 Mechanische Vorreinigung	20
2.1.2.2 Chemisch-physikalische Vorreinigung	21
2.2 Eindringvorgang	24
2.3 Zwischenreinigung	25
2.4 Entwicklung	28
2.4.1 Wirkung des Entwicklers	28
2.4.2 Trocknung vor dem Aufbringen des Entwicklers	29

2.4.3 Aufbringen von Entwickler	30
2.4.4 Trockenentwickler	30
2.4.5 Nassentwickler	31
2.4.6 Entwicklungsdauer	31
2.5 Auswertung	31
2.5.1 Zeitpunkt der Auswertung	31
2.5.2 Auswertungsbedingungen	33
2.5.3 Anforderungen an den Prüfer	34
2.6 Endreinigung	35
3 Prüfmittelsysteme	39
3.1 Prüfmittel	39
3.1.1 Eindringmittel	39
3.1.2 Reiniger	44
3.1.3 Emulgatoren	46
3.1.4 Entwickler	46
3.2 Auswahl der Prüfmittelsysteme	47
3.2.1 Werkstoff und Erzeugnisform	47
3.2.2 Anzahl der Prüfstücke und Arbeitsplätze	49
3.2.3 Ungänzennachweis	49
4 Prüfgeräte und Zubehör	51
4.1 Stationäre Prüfanlagen	51
4.2 Mobile-Prüfeinrichtungen	56
4.3 Zubehör	57
5 Prüfsystem- und Verfahrenskontrollen	61
5.1 Prüfsystemkontrollen	61
5.1.1 Chemische Zusammensetzung der Prüfmittel	61
5.1.2 Kontrollkörper	65
5.1.2.1 Kontrollkörper nach DIN 54152-3	65
5.1.2.2 Kontrollkörper nach DIN EN 571	67
5.1.2.3 Kontrollkörper nach DIN EN ISO 3452-3	69
5.1.2.4 Kontrollkörper nach JIS Z 2343	70
5.2 Verfahrenskontrollen	72
5.2.1 Vergleichsmuster aus der Fertigung	72
5.2.2 Kontrollkörper zur Untersuchung der Prüftemperatur nach ASME-Code	72
5.2.3 Kontrolle der Auswertungsbedingungen	74

6	Ungänzen im Fertigungsprozess und bei der Betriebsbeanspruchung	77
6.1	Ungänzen beim Gießen	77
6.1.1	Gießen als Herstellungsverfahren	77
6.1.2	Technische Gießverfahren	80
6.1.2.1	Blockguss	80
6.1.2.2	Strangguss	81
6.1.2.3	Sandguss	81
6.1.2.4	Schleuderguss	81
6.1.3	Gussfehler	82
6.1.3.1	Lunker	82
6.1.3.2	Warmrisse	84
6.1.3.3	Poren	85
6.1.3.4	Sand- und Schlackeneinschlüsse	85
6.1.3.5	Kernstützen	85
6.2	Ungänzen beim Umformen	86
6.2.1	Ungänzen beim Walzen	86
6.2.2	Ungänzen beim Schmieden	87
6.3	Ungänzen in plattierten Bauteilen	90
6.4	Ungänzen bei der Wärmebehandlung	92
6.5	Ungänzen beim Schweißen	94
6.5.1	Schweißverfahren	94
6.5.1.1	Lichtbogenhandschweißen	94
6.5.1.2	Unterpulverschweißen	95
6.5.1.3	Metallschutzgassschweißen (MIG/MAG)	96
6.5.1.4	Wolfram-Inertgassschweißen (WIG)	96
6.5.2	Stoß- und Fugenformen	97
6.5.3	Der Aufbau von Schweißnähten	98
6.5.4	Schweißnahtfehler	103
6.5.4.1	Flächenhafte Fehler	103
6.5.4.2	Volumenhafte Fehler	104
6.6	Ungänzen bei der mechanischen Bearbeitung	105
6.7	Ungänzen durch Betriebsbeanspruchung	105
7	Durchführung von Eindringprüfungen	107
7.1	Verfahrensübersichten	107
7.1.1	Einteilung der Prüfmittelsysteme nach DIN EN ISO 3452-1	107
7.1.2	Einteilung der Prüfmittelsysteme nach ASME-Code, Sect.V, Artikel 6	108
7.2	Verfahrensauswahl	109
7.2.1	Auswahl nach dem Regelwerk	109
7.2.2	Auswahl nach dem Prüfstück	109
7.2.3	Auswahl nach dem Prüfort	110

7.2.4	Auswahl nach den Prüfkosten	111
7.3	Prüfablauf	111
7.3.1	Prüfung nach internationalen Normen und Regelwerken	111
7.3.1.1	Prüfung von Schmiedestücken nach DIN EN 10228-2	111
7.3.1.2	Prüfung von Gussstücken nach DIN EN 1371	114
7.3.1.3	Prüfung von Schweißverbindungen nach DIN EN ISO 23277	114
7.3.1.4	Prüfung von Rohren nach DIN EN ISO 10893-4	116
7.3.2	Prüfung nach ASME-Code	118
7.3.2.1	Einbindung der Eindringprüfung im ASME-Code	118
7.3.2.2	Prüftechnische Besonderheiten des ASME-Codes	118
8	Anzeigenbewertung	127
8.1	Klassifizierung der Anzeigen	127
8.2	Beurteilung der Anzeigen	131
8.2.1	Beurteilung der Anzeigen auf nominalem Niveau	131
8.2.2	Beurteilung der Anzeigen auf ordinalem Niveau	131
8.2.3	Beurteilung der Anzeigen auf metrischem Niveau	135
9	Grenzen der Eindringprüfung	139
9.1	Grenzen der Anzeigefähigkeit	140
9.1.1	Einfluss der Prüftemperatur	140
9.1.2	Einfluss von Oberflächenzustand und -behandlung	141
9.1.3	Einfluss des Kontaktwinkelverhältnisses	143
9.2	Verfahrensbedingte Grenzen	143
9.2.1	Vor- und Nachteile der Eindringmittelprüfung	143
9.2.2	Prüfung von Glas und Kunststoffen	144
9.2.3	Prüfung von Keramik	144
10	Normen, Regelwerke, Verfahrensbeschreibungen, Prüfanweisungen, Protokollierung und Dokumentation	147
10.1	Normen, Regelwerke	147
10.2	Verfahrensbeschreibungen	150
10.3	Prüfanweisungen, Spezifikationen	157
10.4	Protokollierung	162
10.4.1	Erläuterung protokollpflichtiger Angaben	162
10.4.2	Prüfprotokolle	162
10.4.3	Beurteilung und Entscheidungsfindung	163
10.5	Dokumentation	163
10.5.1	Visuelle Auswertung	164
10.5.2	Bildverarbeitung	167
10.5.3	Fixierung am Prüfobjekt	168

10.5.4	Fotographische Aufnahme	168
10.5.5	Abdruckverfahren	169
11	Arbeits- und Umweltschutz	171
11.1	Anforderungen an die Arbeitsplätze	171
11.1.1	Gesetze und Verordnungen	171
11.1.2	Schutzmaßnahmen	171
11.1.2.1	Vorreinigung	174
11.1.2.2	Eindringvorgang	174
11.1.2.3	Zwischenreinigung	175
11.1.2.4	Entwicklungsvorgang	176
11.1.2.5	Inspektion	176
11.1.3	Verantwortung des Anwenders	176
11.2	Anforderungen an die Prüfmittel	177
11.2.1	Allgemeine technische Angaben	177
11.2.2	Sicherheitsdatenblätter	178
11.2.3	Lagerung	178
11.2.4	Entsorgung	178
12	Sachwortverzeichnis	183