

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Physikalische Grundlagen	3
1.1 Kraftwirkung im magnetischen Feld	3
1.2 Wechselwirkung mit dem elektrischen Strom	5
1.2.1 Ohmsches Gesetz	5
1.2.2 Spezifische Leitfähigkeit eines Leiters	6
1.2.3 Elektrische Leistung	7
1.3 Magnetfeld in der Umgebung stromführender Leiter	7
1.3.1 Gerader Leiter	7
1.3.2 Leiterschleifen	9
1.3.3 Spulen	10
1.4 Wechselwirkung zwischen magnetischem Feld und Werkstoff	11
1.4.1 Modell der Magnetisierung	11
1.4.2 Die Magnetisierungskurve	12
1.4.3 Gleich- und Wechselfeldmagnetisierung	21
2 Prinzip der Magnetspulverprüfung	25
2.1 Magnetischer Fluss und Streufluss	25
2.1.1 Streuflusssnachweis in Abhängigkeit von der Feldrichtung	27
2.1.2 Streuflusssnachweis in Abhängigkeit von der Stromrichtung	33
2.1.3 Einfluss der Strom- und Feldart	34
2.2 Fehlernachweis	38
2.2.1 Offene Fehler	38
2.2.2 Verdeckte Fehler	39
2.3 Verfahren zum Nachweis des Streufeldes	39
2.3.1 Magnetspulververfahren	39
2.3.2 Abtastung mit magnetempfindliche Sonden	40
2.3.3 Verfahren mit Zwischenspeicherung	40

3	Magnetisierungsverfahren	43
3.1	Felddurchflutung	43
3.1.1	Jochmagnetisierung	44
3.1.2	Spulenmagnetisierung	45
3.2	Stromdurchflutung	49
3.2.1	Selbstdurchflutung	49
3.2.2	Aufsetzelektroden	50
3.3	Hilfsleiterdurchflutung	52
3.4	Induktionsdurchflutung	56
3.5	Kombinierte Magnetisierung	56
4	Entmagnetisierung	67
4.1	Störungen und Schäden durch Restmagnetismus	67
4.1.1	Erdfeldeinfluss	67
4.1.2	Störungen an Anlagen und Maschinenbauteilen	68
4.1.3	Störungen beim Schweißen	70
4.2	Entmagnetisierungsverfahren	70
4.2.1	Ausschalten des Erdmagnetismus	71
4.2.2	Gleichstromentmagnetisierung	72
4.2.3	Wechselstromentmagnetisierung	72
4.2.4	Entmagnetisierung mit dem Handjoch	75
4.2.5	Entmagnetisierung mit Prüfbänken	75
4.2.6	Erhitzung über den Curiepunkt	75
4.3	Messung des Restmagnetismus	76
5	Prüfmittel	79
5.1	Magnetpulver	80
5.1.1	Rohstoffe	80
5.1.2	Korngröße	80
5.1.3	Magnetische Eigenschaften	82
5.1.4	Optische Eigenschaften	83
5.2	Trägermedien	85
5.2.1	Flüssige Träger	85
5.2.2	Gasförmige Träger	87
5.3	Techniken der Prüfmittelanwendungen	87
5.3.1	Trockenprüfung	87
5.3.2	Nassprüfung	88
5.4	Betriebsbeständigkeit von Prüfmitteln	88

6 Prüfgeräte und Zusatzeinrichtungen	91
6.1 Mobile Prüfgeräte	91
6.1.1 Handmagnete	91
6.1.2 Hochstromerzeuger	93
6.2 Stationäre Prüfgeräte	97
6.3 Automatisierung der Magnetpulverprüfung	100
7 Prüfsystem- und Verfahrenskontrollen	113
7.1 Prüfsystemkontrollen	113
7.1.1 Kontrolle der Magnetisierungsbedingungen	113
7.1.2 Prüfmittelkontrolle	117
7.1.3 Kontrolle der Sichtbedingungen	120
7.2 Verfahrenskontrollen	123
7.2.1 Vergleichsmuster aus der Fertigung	124
7.2.2 Nuten-Testkörper	124
7.2.3 Ketosring	125
7.2.4 Kontrolle auf Restmagnetismus	125
8 Ungänzen im Fertigungsprozess und bei der Betriebsbeanspruchung	129
8.1 Ungänzen beim Gießen	129
8.1.1 Gießen als Herstellungsverfahren	129
8.1.2 Technische Gießverfahren	131
8.1.2.1 Blockguss	132
8.1.2.2 Strangguss	133
8.1.2.3 Sandguss	133
8.1.2.4 Schleuderguss	133
8.1.3 Gussfehler	134
8.1.3.1 Lunker	134
8.1.3.2 Warmrisse	136
8.1.3.3 Poren	137
8.1.3.4 Sand- und Schlackeneinschlüsse	137
8.1.3.5 Kernstützen	138
8.2 Ungänzen beim Umformen	138
8.2.1 Ungänzen beim Walzen	138
8.2.2 Ungänzen beim Schmieden	139
8.3 Ungänzen in plattierten Bauteilen	143
8.4 Ungänzen bei der Wärmebehandlung	145
8.5 Ungänzen beim Schweißen	147
8.5.1 Schweißverfahren	147
8.5.1.1 Lichtbogenhandschweißen	147
8.5.1.2 Unterpulverschweißen (UP)	149
8.5.1.3 Metallschutzgasschweißen (MIG/MAG)	150

8.5.1.4	Wolframinertgasschweißen (WIG)	150
8.5.2	Stoß- und Fugenformen	151
8.5.3	Der Aufbau von Schweißnähten	154
8.5.4	Schweißnahtfehler	155
8.5.4.1	Flächenhafte Fehler	155
8.5.4.2	Volumenhafte Fehler	156
8.6	Ungänzen bei der mechanischen Bearbeitung	157
8.7	Ungänzen durch Betriebsbeanspruchung	159
9	Durchführung von Magnetpulverprüfungen	161
9.1	Einleitung	161
9.2	Verfahrensauswahl	164
9.2.1	Auswahl nach dem Regelwerk	164
9.2.2	Auswahl nach dem Prüfstück	164
9.2.3	Auswahl nach dem Prüfmittel	164
9.2.4	Auswahl nach den Prüfgeräten	165
9.2.5	Auswahl nach dem Prüfort	165
9.2.6	Auswahl nach den Prüfkosten	166
9.3	Prüfablauf	166
9.3.1	Kontrolle der Sichtbedingungen	166
9.3.2	Vorbereitung der Prüffläche	166
9.3.3	Visuelle Prüfung	168
9.3.4	Kontrolle des Prüfmittels	168
9.3.5	Einteilung der Prüfabschnitte	168
9.3.6	Magnetisierung	170
9.3.7	Kontrolle der Magnetisierung	171
9.3.8	Auswertung	174
9.3.9	Entmagnetisierung	175
9.3.10	Dokumentation	176
9.3.11	Endreinigung	176
9.4	Prüfung nach Normen und Regelwerken	177
9.4.1	Prüfung nach europäischen Normen und Regelwerken	178
9.4.1.1	Prüfung von Schmiedestücken nach DIN EN 10228-1	178
9.4.1.2	Prüfung von Gussstücken nach DIN EN 1369	179
9.4.1.3	Prüfung von Schweißverbindungen nach DIN EN 23278	181
9.4.1.4	Prüfung von Rohren nach DIN EN 10893-5	184
9.4.2	Prüfung nach ASME-Code	186
9.4.2.1	Einführung in den ASME-Code 2013	186
9.4.2.2	Einbindung der Magnetpulverprüfung im ASME-Code	187
9.4.2.3	Prüftechnische Besonderheiten des ASME-Codes	187

10 Anzeigenbewertung	193
10.1 Klassifizierung der Anzeigen	193
10.2 Beurteilung der Anzeigen	196
10.2.1 Beurteilung der Anzeigen auf nominalem Niveau	196
10.2.2 Beurteilung der Anzeigen auf ordinalem Niveau	198
10.2.3 Beurteilung der Anzeigen auf metrischem Niveau	199
11 Normen, Regelwerke, Verfahrensbeschreibungen, Prüfanweisungen	201
11.1 Normen und Regelwerke	201
11.2 Verfahrensbeschreibungen	204
11.3 Prüfanweisungen, Spezifikationen	211
12 Protokollierung und Dokumentation	217
12.1 Protokollierung	217
12.1.1 Erläuterung protokollpflichtiger Angaben	217
12.1.2 Prüfprotokolle	217
12.1.3 Beurteilung und Entscheidungsfindung	218
12.2 Dokumentation	219
12.2.1 Visuelle Auswertung	219
12.2.2 Fotografische Aufnahme	220
12.2.3 Fixierung am Prüfobjekt	221
12.2.4 Abdruckverfahren	221
12.2.5 Magfoil-Methode	221
12.2.6 Bildverarbeitung	222
13 Grenzen der Magnetpulverprüfung	225
13.1 Grenzen der Anzeigefähigkeit	225
13.1.1 Tiefenabhängige Nachweisgrenze	225
13.1.2 Apparative Einflüsse	226
13.1.3 Subjektive Einflüsse	228
13.2 Verfahrensbedingte Grenzen	229
13.2.1 Einfluss des Werkstoffes (Permeabilität)	229
13.2.2 Einfluss von Oberflächenzustand und -behandlung	230
13.2.3 Einfluss der Ungängenart und -form	231
13.2.4 Einfluss der Prüftemperatur	231
13.2.5 Schein-, Geometrie- und Formanzeigen	232
13.2.6 Stör- und Streufelder	233
13.3 Ergänzung durch andere ZfP-Verfahren	233
13.4 Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse im Sinne der Produkthaftung	234

14 Arbeits- und Umweltschutz	237
14.1 Anforderungen an die Arbeitsplätze	237
14.1.1 Gesetze und Verordnungen	237
14.1.2 Schutzmaßnahmen	237
14.1.2.1 Vorreinigung	239
14.1.2.2 Magnetisieren	239
14.1.2.3 Auswertung	240
14.2 Verantwortung des Anwenders	241
14.3 Anforderungen an die Prüfmittel	242
14.3.1 Allgemeine technische Angaben	242
14.3.2 Sicherheitsdatenblätter	242
14.3.3 Lagerung	244
14.3.4 Entsorgung	244
15 Sachverzeichnis	247