

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b> .....	1
<b>1 Physikalische Grundlagen</b> .....	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
<b>2 Prinzip der Magnetpulverprüfung</b> .....	25
2.1 Magnetischer Fluss und Streufluss .....	25
2.1.1 Streuflussnachweis in Abhängigkeit von der Feldrichtung .....	27
2.1.2 Streuflussnachweis 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 Magnetpulververfahren .....	39
2.3.2 Abtastung mit magnetempfindliche Sonden .....	40
2.3.3 Verfahren mit Zwischenspeicherung .....	40

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

<b>6 Prüfgeräte und Zusatzeinrichtungen</b>	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 Magnetcuplverprüfung	100
<b>7 Prüfsystem- und Verfahrenskontrollen</b>	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
<b>8 Ungänzen im Fertigungsprozess und bei der Betriebsbeanspruchung</b>	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 platierten 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 Metallschutzgassschweißen (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
<b>9 Durchführung von Magnetpulverprüfungen . . . . .</b>	<b>161</b>
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

---

<b>10 Anzeigenbewertung</b> .....	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
<b>11 Normen, Regelwerke, Verfahrensbeschreibungen, Prüfanweisungen</b> .....	201
11.1 Normen und Regelwerke .....	201
11.2 Verfahrensbeschreibungen .....	204
11.3 Prüfanweisungen, Spezifikationen .....	211
<b>12 Protokollierung und Dokumentation</b> .....	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
<b>13 Grenzen der Magnetpulverprüfung</b> .....	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 Ungänzenart und -form .....	231
13.2.4 Einfluss der Prüftemperatur .....	231
13.2.5 Schein-, Geometrie- und Formanzeichen .....	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

<b>14 Arbeits- und Umweltschutz .....</b>	<b>237</b>
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
<b>15 Sachverzeichnis .....</b>	<b>247</b>