

# Nickellegierungen und hochlegierte Sonderedelstähle

Autoren:  
Dr.-Ing. Ulrich Heubner

Dr. F. Hofmann  
Th. Hoffmann  
Dipl.-Ing. B. Irmer  
M. Jasner  
Dipl.-Ing. R. Köcher  
Dr. H. Richter  
Dr. M. Rockel

Fachbereich Materialwissenschaft  
der Techn. Hochschule Darmstadt

Inv.-Nr.:

444

Kontakt & Studium  
Band 153

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz  
Technische Akademie Esslingen  
Fort- und Weiterbildungszentrum  
Dipl.-Ing. FH Elmar Wippler  
expert verlag, 7032 Sindelfingen



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Nickellegierungen und hochlegierte Sonderedelstähle – Werkstoffübersicht und metallkundliche Grundlagen</b>	<b>15</b>
	Dr.-Ing. Ulrich Heubner	
1.1	Einleitung	15
1.2	Werkstoffübersicht nach stofflicher Zusammensetzung und Anwendungsbereichen	15
1.2.1	Korrosive Beanspruchung durch Schwefelsäure, Phosphor- säure und Salzsäure	15
1.2.2.	Korrosive Beanspruchung durch Salpetersäure und andere oxidierende Medien, sowie bei der Harnstofferzeugung	18
1.2.3	Korrosive Beanspruchung durch heiße konzentrierte alkalische Laugen und Salzlösungen	20
1.2.4	Korrosive Beanspruchung durch Seewasser und chlorid- verunreinigte Kühlwässer	20
1.2.5	Hochtemperaturwerkstoffe	25
1.3	Zustandsschaubilder	29
1.4	Zeit-Temperatur-Ausscheidungs-/ Sensibilisierungs- Diagramme und Folgerungen für die Wärmebehandlung	35
1.5	Verunreinigungen	39
1.5.1	Äußere Verunreinigungen	39
1.5.2	Innere Verunreinigungen	40
1.6	Herstellung, Verarbeitung, Wärmebehandlung	42
1.7	Normen und Technische Regelwerke	45
<b>2</b>	<b>Korrosionsverhalten von Nickellegierungen und hochlegierten Sonderedelstählen</b>	<b>47</b>
	Dr. rer. nat. Manfred Rockel	
2.1	Erscheinungsformen der Korrosion und zugehörige Prüfverfahren	47
2.1.1	Allgemeines	47

2.1.2	Gleichförmige Korrosion	47
2.1.3	Lochfraßkorrosion	49
2.1.4	Spaltkorrosion	49
2.1.5	Interkristalline Korrosion	50
2.1.6	Galvanische Korrosion	52
2.1.7	Erosionskorrosion	52
2.1.8	Spannungsrißkorrosion	53
2.1.9	Schwingungsrißkorrosion	54
2.1.10	Weitere Korrosionsarten und Aussagekraft von Korrosionsprüfungen unter Laborbedingungen	56
2.2	Korrosionsbeständigkeit der Nickelwerkstoffe und Stähle	57
2.2.1	Nickel	57
2.2.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	59
2.2.3	Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen	61
2.2.4	Nickel-Chrom-Eisen-Molybdän-Legierungen	61
2.2.4.1	Allgemeines	61
2.2.4.2	Nicrofer 6020 hMo/Alloy 625, Nicrofer 5716 hMoW/ Alloy C-276 und Nicrofer 6616 hMo/Alloy C-4	62
2.2.4.3	Nicrofer 3127 LC, Nicrofer 4221/Alloy 825, Nicrofer 4221 hMo und Nicrofer 4823 hMo/Alloy G-3	64
2.2.5	Hochlegierte nichtrostende austenitische Stähle	64
2.3	Auswirkung verfahrenstechnischer konstruktiver und schweißtechnischer Maßnahmen	69
2.3.1	Einfluß der im Prozeßmedium gelösten Gase	69
2.3.2	Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit des Prozeßmediums	69
2.3.3	Vermeidung von Stillstandskorrosion	69
2.3.4	Vermeidung von Spalten	70
2.3.5	Vermeidung von Kontaktkorrosion	70
2.3.6	Einfluß einer Kaltverformung beim Verarbeiter der Werkstoffe	71
2.3.7	Schweißtechnische Gesichtspunkte	71
<b>3</b>	<b>Schweißen von Nickellegierungen und hochlegierten Sonderedelstählen</b>	<b>74</b>
	Schweißfachingenieur Theo Hoffmann	
3.1	Verbindungsschweißen	74
3.1.1	Einleitung	74
3.1.2	Vorbereitende Arbeiten	75
3.1.3	Schweißverfahren	76
3.1.4	Zusatzwerkstoffe	78
3.1.5	Nachbehandlung	82
3.1.6	Anwendungsbeispiele	82

3.2	Auftragsschweißen	90
3.2.1	Allgemeines	90
3.2.2	Schweißverfahren und Anwendungsbeispiele	90
3.2.2.1	UP-Bandauftragsschweißen	90
3.2.2.2	MIG-Auftragsschweißen	91
3.2.2.3	Plasma-Heißdraht-Auftragsschweißen	95
<b>4</b>	<b>Hochtemperaturwerkstoffe</b>	<b>98</b>
	Dr.-Ing. Franz Hofmann	
4.1	Einleitung	98
4.2	Hochwarmfeste Werkstoffe	99
4.2.1	Möglichkeiten zur Beeinflussung der Warmfestigkeits- eigenschaften	99
4.2.2	Mischkristallhärtung	100
4.2.3	Ausscheidungshärtung	100
4.2.4	Karbidaushärtung	101
4.2.5	Kornstruktur	104
4.2.6	Spurenelemente	105
4.2.7	Werkstoffbeispiele	107
4.3	Hitzebeständige Werkstoffe	108
4.3.1	Einleitung	108
4.3.2	Oxidation	109
4.3.3	Aufkohlung	111
4.3.4	Sulfidierung	113
4.3.5	Korrosion in Stickstoff und Halogenen	116
4.3.6	Werkstoffbeispiele	116
4.4	Anwendungsgebiete	117
4.4.1	Petrochemie	117
4.4.2	Kraftwerksbau	119
4.4.3	Wärmetechnik	121
<b>5</b>	<b>Einsatz und Verarbeitung von Nickelwerkstoffen im Chemie-Apparatebau unter Berücksichtigung verschiedener Halbzeugformen und der konstruktiven Gestaltung</b>	<b>124</b>
	Dipl.-Ing. Reiner Köcher	
5.1	Einleitung	124
5.2	Behälter und Apparate aus Nickel und Nickellegierungen	124
5.3	Behälter und Apparate aus plattierten Blechen mit Auflage- werkstoffen aus Nickel und Nickellegierungen	128

5.3.1	Überblick über die wichtigsten Verbundwerkstoffe	128
5.3.2	Einige wichtige Eigenschaften der plattierten Bleche	131
5.3.3	Verarbeitung der Verbundwerkstoffe	137
5.3.4	Ausführungsbeispiele	138
5.4	Röhrenwärmetauscher	142
5.4.1	Verfahren der Rohrbefestigung in Rohrplatten	142
5.4.1.1	Einwalzen und hydraulische Einformung	142
5.4.1.2	Maschinelle Rohreinschweißung	144
5.4.1.3	Sprengschweißung von Rohren in Rohrplatten	148
5.4.2	Ausführungsbeispiele	150
5.5	Schlußbetrachtung	151
<b>6</b>	<b>Korrosions- und hitzebeständige nickelhaltige Gußlegierungen</b>	<b>153</b>
	Dipl.-Ing. Bernd Irmer	
6.1	Einleitung	153
6.2	Die Werkstoffe, ihre Eigenschaften und Anwendungen	155
6.2.1	Niedriggekoelter martensitischer CrNi-Stahlguß	155
6.2.2	Ferritisch-austenitischer CrNi(Mo)-Stahlguß	156
6.2.3	Austenitischer CrNi(Mo)-Stahlguß mit geringen Ferrit- anteilen	158
6.2.4	Vollaustenitischer CrNi(Mo)-Stahlguß	159
6.2.4.1	Gußwerkstoffe mit niedrigem C-Gehalt	159
6.2.4.2	Gußwerkstoffe mit hohem C-Gehalt für allgemeine Verwendungszwecke und für Erdöl- und Erdgasanlagen	161
6.2.5	Ni-Basis-Gußlegierungen	167
6.3	Herstellung der Gußstücke	168
6.3.1	Sandformguß	168
6.3.2	Formmaskenguß	169
6.3.3	Wachsausschmelzverfahren	169
6.3.4	Schleuderguß	170
6.4	Schweißen von nickelhaltigen Gußwerkstoffen	172
6.4.1	Konstruktionsschweißung	172
6.4.2	Fertigungsschweißung	172
6.4.3	Schweißverhalten von 1.4313	172
6.4.4	Schweißverhalten von G 4460 Cu	173
6.5	Prüfung auf Werkstofffehler	174
6.5.1	Allgemeines	174
6.5.2	Oberflächenprüfverfahren	174
6.5.2.1	Oberflächen-Sichtprüfung	174
6.5.2.2	Eindringprüfung	175
6.5.2.3	Magnetpulverprüfung	176

6.5.3	Volumenprüfverfahren	176
6.5.3.1	Ultraschallprüfung	176
6.5.3.2	Durchstrahlungsprüfung	177
6.5.3.3	Wirbelstromprüfung	178
<b>7</b>	<b>Anwendung von Nickellegierungen und Sonderedelstählen in der Kraftwerkstechnik</b>	<b>180</b>
	Dr.-Ing. Herbert Richter	
7.1	Einleitung	180
7.2	Aufbau einer Kraftwerksanlage	181
7.3	Werkstoffe für Dampferzeuger	183
7.4	Werkstoffe für Kondensatoren	188
7.5	Werkstoffe für Hochdruckspeisewasservorwärmer	190
7.6	Werkstoffe für Rohrleitungen	193
7.7	Werkstoffe für Abgasentschwefelungsanlagen	193
7.8	Schlußbetrachtung	198
<b>8</b>	<b>Ausgewählte Beispiele für die Anwendung von Nickelwerkstoffen in Chemieanlagen</b>	<b>200</b>
	Chemie-Ing. Manfred Jasner	
8.1	Einleitung	200
8.2	Werkstoffe für die Herstellung von Natronlauge	200
8.3	Werkstoffe für die Herstellung von Harnstoff	203
8.4	Werkstoffe für die Herstellung von Salpetersäure	206
8.5	Werkstoffe für die Herstellung von Phosphorsäure	210
8.6	Duplexstähle für die Anwendung in der Erdöl- und Erdgasindustrie	211
8.7	Werkstoffe für die Herstellung von Vinylchloridmonomer (VCM) und Polyvinylchlorid (PVC)	213
8.7.1	Vinylchloridmonomer	213
8.7.2	Polyvinylchlorid	215
8.8	Werkstoffe für die Herstellung von Äthylen	215
8.9	Werkstoffe für die Herstellung von Wasserstoff, Synthesegas, Heizgas	217
8.10	Werkstoffe für Rohrreaktoren	218
8.11	Schlußbetrachtung	219
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>220</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>225</b>