

Inhaltsverzeichnis

(Table of Contents see page IX)

	Seite		Seite
Nioblegierungen	1	2.5 Chemisches Verhalten	13
1. Legierungen mit Alkalimetallen ..	1	2.5.1 Beim Erhitzen	13
1.1 Nb-Li-Legierungen	1	2.5.2 Gegen Sauerstoff	14
1.2 Nb-Na-Legierungen.		2.5.3 Gegen Luft	14
 Nb-K-Legierungen	1	2.5.4 Gegen Wasserdampf	17
1.3 Nb-Rb-Legierungen.		2.5.5 Gegen Metalle und Legierungen ...	17
 Nb-Cs-Legierungen	2	3 Legierungen mit Magnesium	17
2 Legierungen mit Beryllium	2	4 Legierungen mit Zink	18
2.1 Diffusion	2	4.1 Binäre Nb-Zn-Legierungen	18
2.2 Zustandsdiagramm	2	4.1.1 Zustandsdiagramm	18
2.2.1 (Nb)- oder α -Phase	3	Nb-Phase	19
2.2.2 Nb ₃ Be ₂ (?)	3	Intermediäre Phasen	19
2.2.3 NbBe ₂	3	Zn-Phase	19
2.2.4 NbBe ₃ (?)	4	4.1.2 Bildung und Darstellung	20
2.2.5 NbBe ₅ (?)	4	Thermodynamische Daten der Bildung ..	21
2.2.6 Nb ₂ Be ₁₇ oder NbBe ₈ (?)	4	4.1.3 Physikalische Eigenschaften	21
2.2.7 Nb ₂ Be ₁₉ (?)	4	Gefüge	21
2.2.8 NbBe ₁₂	4	Kristallographische Eigenschaften	21
2.2.9 Be-reiche Legierungen	4	Dichte	22
2.2.10 Weitere Phasen(?)	4	Härte	22
2.2.11 Eutektika	5	Vickershärte	22
2.3 Bildung und Darstellung	5	Mikrohärte	22
2.3.1 Bildungswärme	6	Dampfdruck	22
2.4 Physikalische Eigenschaften	6	Supraleitfähigkeit	23
2.4.1 Gefüge	6	Optische Eigenschaften	23
2.4.2 Kristallographische Eigenschaften ..	7	4.1.4 Chemisches Verhalten	23
2.4.3 Mechanische und thermische		4.2 Nb-Zn-Mg-Legierungen	25
Eigenschaften	8	5 Legierungen mit Cadmium	25
Dichte	8	6 Legierungen mit Quecksilber	25
Härte	9	7 Legierungen mit Aluminium	26
Vickershärte	9	7.1 Binäre Nb-Al-Legierungen	26
Mikrohärte	10	7.1.1 Diffusion	26
Elastische Konstanten	10	7.1.2 Zustandsdiagramm	26
Festigkeit	11	α -Phase	26
Zugfestigkeit	11	β -Phase (Nb ₃ Al)	27
Biegeversuche	11	σ -Phase (Nb ₂ Al)	28
Kerbschlagzähigkeit	12	NbAl ₃	28
Druckfestigkeit	12	Al-Phase	28
Thermische Ausdehnung	12	Weitere Angaben	28
Dampfdruck	13	7.1.3 Bildung und Darstellung	29
Schmelzpunkt	13	Schmelz- und Sinterverfahren	29
Spezifische Wärme	13	Sonstige Verfahren	30
Wärmeleitfähigkeit	13	Besondere Formen	31
2.4.4 Elektrische Eigenschaften	13		

	Seite		Seite
7.1.4 Physikalische Eigenschaften	31	9.2 Nb-In-Al-Legierungen	54
Gefüge	31	10 Legierungen mit Scandium	54
Kristallstruktur	32	11 Legierungen mit Yttrium	54
α -Phase	32	11.1 Diffusionskoeffizient	54
β -Phase (Nb_3Al)	33	11.2 Zustandsdiagramm	54
σ -Phase (Nb_2Al)	33	11.3 Darstellung	55
$\text{Nb}_{17}\text{Al}_{12}$ (?)	33	11.4 Physikalische Eigenschaften	55
NbAl_3	34	11.4.1 Gefüge	55
Dichte	34	11.4.2 Gitterkonstanten	56
Härte	34	11.4.3 Härte	56
Elastische Konstanten	35	11.4.4 Neutroneneinfangquerschnitt	56
Innere Reibung	36	11.5 Chemisches Verhalten	56
Festigkeit	36	12 Legierungen mit Lanthaniden	57
Thermische Ausdehnung, Wärmekapazität	36	12.1 Nb-La-Legierungen	57
Weitere thermische Daten	37	12.1.1 Zustandsdiagramm	57
Elektrische		12.1.2 Darstellung	57
und magnetische Eigenschaften	37	12.1.3 Eigenschaften	57
Supraleitung	37	12.2 Nb-Ce-Legierungen	58
7.1.5 Chemisches Verhalten	40	12.2.1 Zustandsdiagramm	58
Gegen Wasserstoff und Stickstoff	40	12.2.2 Darstellung	58
Gegen Luft	40	12.2.3 Eigenschaften	59
Gegen Wasserdampf	43	12.3 Nb-Nd-Legierungen	59
Gegen sonstige Verbindungen	43	12.4 Mischmetall-Legierungen	59
7.2 Nb-Al-Si-Legierungen	43	12.5 Nb-Gd-Legierungen.	
7.2.1 Zustandsdiagramm		Nb-Dy-Legierungen	59
Kristallographische Eigenschaften	43	12.6 Nb-Er-Legierungen	59
7.2.2 Darstellung	44	13 Legierungen mit Titan	60
7.2.3 Mechanische Eigenschaften	44	13.1 Binäre Nb-Ti-Legierungen	60
7.2.4 Chemisches Verhalten	44	13.1.1 Diffusion	60
7.3 Nb-Al-As-Legierungen	45	13.1.2 Zustandsdiagramm	62
7.4 Nb-Al-Sb-Legierungen	45	13.1.3 Metastabile Phasen	64
7.5 Nb-Al-Be-Legierungen	46	Bildung beim Abschrecken	64
7.6 Nb-Al-Zn-Legierungen	47	Bildung und Zerfall beim Auslagern	66
8 Legierungen mit Gallium	47	13.1.4 Bildung und Darstellung	69
8.1 Binäre Nb-Ga-Legierungen	47	Schmelzverfahren	69
8.1.1 Zustandsdiagramm	47	Sonstige Verfahren	69
α -Phase	47	Dünne Schichten	69
Intermediäre Phasen	48	Thermodynamische Daten	70
8.1.2 Darstellung	48	13.1.5 Physikalische Eigenschaften	70
8.1.3 Physikalische Eigenschaften	49	Gefüge	70
Gefüge	49	Strukturen	70
Kristallstruktur	49	Rekristallisation	71
Dichte	50	Kristallographische Eigenschaften	71
Härte	50	α -Phase	71
Elastische Konstanten	50	β -Phase	71
Magnetische und		α'' -Phase	72
elektrische Eigenschaften	50		
8.2 Nb-Ga-Al-(As-)Legierungen	52		
9 Legierungen mit Indium	53		
9.1 Binäre Nb-In-Legierungen	53		

	Seite		Seite
ω -Phase	72	Gegen Sauerstoff und Luft	108
Weitere Phasen	73	Diffusion	108
Mechanische Eigenschaften	73	Reaktionsverlauf in Sauerstoff	109
Dichte	73	Reaktionsverlauf in Luft	112
Elastische Konstanten	73	Gegen Stickstoff	114
Innere Reibung	75	Gegen Chlor	114
Härte	75	Gegen Wasser und Wasserdampf	114
Pyramidenhärte	75	Gegen Säuren	115
Mikrohärte	75	Gegen Kalilauge	116
Brinellhärte	76	Gegen Eisentrichlörlösung	116
Vickershärte	76	13.2 Nb-Ti-B-Legierungen	116
Rockwellhärte	78	13.3 Nb-Ti-C-Legierungen	116
Zugfestigkeit, Streckgrenze	78	13.4 Nb-Ti-Si-Legierungen	116
Bruchdehnung, Einschnürung	78	13.4.1 Darstellung	116
Kerbschlagzähigkeit	82	13.4.2 Mechanische Eigenschaften	117
Zeitstandsfestigkeit	82	13.4.3 Chemisches Verhalten	117
Kriecheigenschaften	82	13.5 Nb-Ti-Sb-Legierungen	117
Biegeversuche	83	13.6 Nb-Ti-Be-Legierungen	118
Thermische Eigenschaften	84	13.7 Nb-Ti-Zn-Legierungen	118
Thermische Ausdehnung	84	13.8 Nb-Ti-Al-Legierungen	118
Dampfdruck	84	13.8.1 Zustandsdiagramm	118
Spezifische Wärme	84	13.8.2 Darstellung	119
Thermodynamische Funktionen	85	13.8.3 Physikalische Eigenschaften	120
Charakteristische Temperatur	85	Gefüge	120
Gitterschwingungen	85	Kristallstruktur	120
Wärmeleitfähigkeit	86	Elastizitätsmodul	120
Elektrische und magnetische		Härte	120
Eigenschaften	87	Festigkeit	121
Bändermodell	87	Thermische Ausdehnung	123
Magnetische Suszeptibilität	87	Wärmeleitfähigkeit	123
Elektrische Leitfähigkeit		Elektrische Eigenschaften	123
im Normalzustand	87	13.8.4 Chemisches Verhalten	123
Supraleitung	90	Gegen Luft	123
Übersicht	90	Gegen Säuren	124
Sprungtemperatur	90	13.9 Nb-Ti-Al-C-Legierungen	124
Einfluß von Zusätzen	93	13.10 Nb-Ti-Al-Si-Legierungen	125
Kritische Feldstärke	93	13.10.1 Darstellung	125
Temperaturabhängigkeit	95	13.10.2 Chemisches Verhalten	125
Magnetisierung	95	13.11 Nb-Ti-La-Legierungen	125
Kritische Stromstärke		13.12 Nb-Ti-Ce-Legierungen	125
Kritische Stromdichte	96	14 Legierungen mit Zirkonium	126
Kaltverformung	97	14.1 Binäre Nb-Zr-Legierungen	126
Wärmebehandlung	99	14.1.1 Diffusion	126
Einfluß von Fremdstoffen	101	14.1.2 Zustandsdiagramm	126
Anisotropie	102	Einfluß von Sauerstoff	128
Feldstärkeabhängigkeit	103	14.1.3 Phasenumwandlungen	129
Temperaturabhängigkeit	104	β -Zerfall	129
Flußlinienbewegung	105	Metastabile Phasen	130
Supraleitende Spulen	105		
Verluste	106		
Thermokraft	107		
Optische Eigenschaften	107		
13.1.6 Elektrochemisches Verhalten	108		
13.1.7 Chemisches Verhalten	108		
Gegen Wasserstoff	108		

	Seite		Seite
Allgemeines	130	Einfluß der Feldstärke	157
Abschrecken	130	Temperaturabhängigkeit	159
β - α' -Umwandlung	132	Übergang zur Normalleitung	160
β - ω -Umwandlung	132	Flußlinienbewegung	160
14.1.4 Darstellung	133	Paramagnetischer Effekt	162
Filme	134	Magnetocalorischer Effekt	162
Pulver	134	Supraleitende Spulen	162
14.1.5 Physikalische Eigenschaften	134	Verluste	164
Kristallstruktur	134	14.1.6 Chemisches Verhalten	164
α -Phase	134	Gegen Luft	164
α' -Phase	135	Gegen Sauerstoff	166
β -Phase	135	Gegen Wasser und Wasserdampf	167
ω -Phase	135	Gegen Kohlenstoffdioxid	168
Mechanische Eigenschaften	137	Gegen Säuren	169
Elastizitätsmodul, Schubmodul	137	Gegen Ammoniak	169
Innere Reibung, Schalldämpfung	137	Gegen Metalle	169
Brinellhärte	138	Gegen Metalloxide	170
Vickershärte	139	14.2 Nb-Zr-H-Legierungen	170
Rockwellhärte	141	14.2.1 Löslichkeit von Wasserstoff und	
Festigkeit	141	Hydridbildung	170
Nb-reiche Legierungen	141	14.2.2 Festigkeit	170
Zr-reiche Legierungen	142	14.2.3 Thermische Ausdehnung	171
Thermische Eigenschaften	145	14.3 Nb-Zr-O-Legierungen	171
Thermische Ausdehnung	145	14.3.1 Teildiagramm	171
Dampfdruck	146	14.3.2 Kristallographische Eigenschaften	172
Thermodynamische Funktionen	146	14.3.3 Festigkeit	172
Wärmekapazität		14.4 Nb-Zr-N-Legierungen	172
Charakteristische Temperatur	146	14.4.1 Löslichkeit von N	172
Thermische Leitfähigkeit	147	14.4.2 Innere Reibung	172
Elektrische und magnetische		14.5 Nb-Zr-C-Legierungen	173
Eigenschaften	147	14.6 Nb-Zr-Be-Legierungen	173
Bändermodell	147	14.6.1 Zustandsdiagramm	173
Magnetische Suszeptibilität	147	14.6.2 Festigkeit	173
Spezifischer Widerstand	147	14.6.3 Supraleitfähigkeit	173
Hall-Effekt	149	14.6.4 Chemisches Verhalten	174
Thermokraft	149	14.7 Nb-Zr-Zn-Legierungen	174
Kontaktwiderstand	150	14.8 Nb-Zr-Al-Legierungen	174
Supraleitung	150	14.8.1 Zustandsdiagramm	174
Überblick	150	14.8.2 Eigenschaften	174
Energielücke	150	14.9 Nb-Zr-Ga-Legierungen	174
Sprungtemperatur	151	14.10 Nb-Zr-In-Legierungen	174
Kritische Feldstärke	151	14.11 Nb-Zr-Ti-Legierungen	174
Magnetisierungskurve	152	14.11.1 Zustandsdiagramm	174
Kritische Stromdichte		14.11.2 Vickershärte	176
Kritische Stromstärke	153	14.11.3 Festigkeit	176
Überblick	153	14.11.4 Thermische Ausdehnung	177
Einfluß der mechanischen und		14.11.5 Elektrische Eigenschaften	177
thermischen Vorbehandlung	154	Spezifischer Widerstand	177
Einfluß von Neutronen	155		
Einfluß der magnetischen			
Vorbehandlung	155		
Einfluß der Form	155		
Einfluß von Frequenz und			
schnellen Feldänderungen	156		
Einfluß von Fremdstoffen	156		
Anisotropie	156		

	Seite		Seite
Supraleitung	177	15.7 Nb-Hf-Zr-Ti-Legierungen	194
Sprungtemperatur	177	15.7.1 Zustandsdiagramm	194
Kritische Feldstärke	177	15.7.2 Physikalische Eigenschaften	194
Kritische Stromdichte	178	15.8 Nb-Hf-Zr-Ti-O-Legierungen	196
14.11.6 Chemisches Verhalten	179	15.9 Nb-Hf-Zr-Ti-Al-Legierungen	196
14.12 Nb-Zr-Ti-B-, Nb-Zr-Ti-C-		16 Legierungen mit Thorium	196
Legierungen	179	16.1 Binäre Nb-Th-Legierungen	196
14.13 Nb-Zr-Ti-Al-B-Legierungen	179	16.1.1 Zustandsdiagramm	196
15 Legierungen mit Hafnium	180	16.1.2 Bildung und Darstellung	197
15.1 Binäre Nb-Hf-Legierungen	180	16.1.3 Physikalische Eigenschaften	197
15.1.1 Zustandsdiagramm	180	Gefüge	197
Metastabile Phase	181	Kristallstruktur	198
15.1.2 Bildung und Darstellung	181	Härte	198
15.1.3 Physikalische Eigenschaften	181	Festigkeit	198
Gefüge	181	Elektrische Eigenschaften	198
Rekristallisation	182	16.1.4 Chemisches Verhalten	199
Kristallographische Eigenschaften	182	Gegen Luft	199
α -Phase	182	Gegen Wasser	199
β -Phase	182	16.2 Nb-Th-C-Legierungen	200
Härte	182	16.3 Nb-Th-Zr-Legierungen	200
Brinellhärte	182	16.3.1 Zustandsdiagramm	200
Vickershärte	182	16.3.2 Härte	200
Rockwellhärte	183	16.3.3 Chemisches Verhalten	201
Festigkeit	183	17 Legierungen mit Germanium	201
Elektrische Eigenschaften	185	17.1 Binäre Nb-Ge-Legierungen	201
Spezifischer Widerstand	185	17.1.1 Zustandsdiagramm	201
Supraleitfähigkeit	185	17.1.2 Bildung und Darstellung	202
Elektronenaustrittsarbeit	187	Thermodynamische Daten der Bildung	202
15.1.4 Elektrochemisches Verhalten	187	17.1.3 Physikalische Eigenschaften	202
15.1.5 Chemisches Verhalten	187	Kristallographische Eigenschaften	202
Gegen Luft und Sauerstoff	187	Nb ₃ Ge	202
Gegen Wasser und Wasserdampf	188	α -Nb ₅ Ge ₃	203
Gegen Stickstoff	189	β -Nb ₅ Ge ₃	203
15.2 Nb-Hf-C-Legierungen	189	NbGe ₂	203
15.3 Nb-Hf-Ti-Legierungen	189	Dichte	203
15.4 Nb-Hf-Ti-Al-Legierungen	190	Härte	203
15.4.1 Dichte	190	Thermodynamische Daten und Wärme-	
15.4.2 Festigkeit	190	leitfähigkeit	203
15.4.3 Chemisches Verhalten	191	Elektrische Eigenschaften	204
15.5 Nb-Hf-Ti-Al-C-Legierungen	192	Spezifischer Widerstand, Hall-	
15.6 Nb-Hf-Zr-Legierungen	192	Koeffizient, Thermokraft	204
15.6.1 Zustandsdiagramm	192	Supraleitfähigkeit	204
15.6.2 Darstellung	192	17.1.4 Chemisches Verhalten	204
15.6.3 Gefüge	192	Beim Erhitzen	204
15.6.4 Kristallographische Eigenschaften	193	Gegen Luft	204
15.6.5 Härte	193	Gegen Säuren, Basen und Salze	205
15.6.6 Festigkeit	193	17.2. Nb-Ge-Si-Legierungen	205
15.6.7 Elektrische Eigenschaften	194	17.3 Nb-Ge-Al-Legierungen	206
15.6.8 Chemisches Verhalten	194	17.3.1 Kristallographische Eigenschaften	206

	Seite		Seite
17.3.2 Mikrohärtigkeit	206	Hysterese	224
17.3.3 Supraleitfähigkeit	206	Kritische Stromdichte	225
17.4 Nb-Ge-Ga-Legierungen	207	Übergang zur Normalleitung	227
17.5 Nb-Ge-Zr-Legierungen	207	Flußlinienbewegung	227
18 Legierungen mit Zinn	208	Verluste	227
18.1 Binäre Nb-Sn-Legierungen	208	Supraleitende Magnetspuln	228
18.1.1 Diffusion	208	Elektronenemission	228
18.1.2 Zustandsdiagramm	208	Optische Konstanten	228
18.1.3 Bildung und Darstellung	208	18.1.5 Eigenschaften der γ-Phase	229
Bildung der 3 Phasen β , γ und δ	208	Struktur	229
Darstellung der β -Phase	209	Dichte	229
Durch Reduktion der Halogenide	209	Mikrohärtigkeit	229
Aus der Schmelze	211	Kernmagnetische Resonanz	229
Durch Sintern	211	Supraleitung	229
Als Diffusionsschicht	212	18.1.6 Eigenschaften der δ-Phase	229
Als Mehrphasendrähte	213	Struktur	229
Als Aufdampfschicht	213	Dichte	230
18.1.4 Eigenschaften der β-Phase	214	Mikrohärtigkeit	230
Kristallographische Eigenschaften	214	Kernmagnetische Resonanz	230
Struktur	214	Supraleitung	230
Habitus	215	18.2 Nb-Sn-Si-Legierungen	230
Fehlordnung	215	18.3 Nb-Sn-As-Legierungen	230
Mössbauer-Effekt	216	18.4 Nb-Sn-Sb-Legierungen	230
Rekristallisation	216	18.5 Nb-Sn-Bi-Legierungen	231
Mechanische und thermische Eigen- schaften	216	18.6 Nb-Sn-Al-Legierungen	231
Dichte	216	18.7 Nb-Sn-Ga-Legierungen	232
Thermische Ausdehnung	216	18.7.1 Nb-Sn-Ga-Legierungen mit As, Sb oder Bi	232
Elastische Konstanten	216	18.8 Nb-Sn-In-Legierungen	232
Schalldämpfung	217	18.8.1 Nb-Sn-In-Legierungen mit As, Sb oder Bi	234
Härte	217	18.9 Nb-Sn-Tl-Legierungen	234
Dampfdruck, Verdampfungswärme	217	18.9.1 Nb-Sn-Tl-Legierungen mit As, Sb oder Bi	234
Molare Wärmekapazität,	217	18.10 Nb-Sn-Tl-Legierungen	234
Charakteristische Temperatur	217	18.11 Nb-Sn-Zr-Legierungen	235
Wärmeleitfähigkeit	217	18.11.1 Zustandsdiagramm	235
Elektrische und magnetische Eigenschaften	217	18.11.2 Kristallographische Eigenschaften	236
Bänderstruktur	217	18.11.3 Härte, Festigkeit	236
Kernmagnetische Resonanz	218	18.11.4 Elektrische Eigenschaften	237
Spezifischer Widerstand	218	18.11.5 Chemisches Verhalten	238
Hall-Effekt	218	Gegen Wasserstoff	238
Supraleitung	219	Gegen Wasser	238
Allgemeines	219	18.12 Nb-Sn-Hf-Legierungen	240
Energielücke	219	18.13 Nb-Sn-Ge-Legierungen	240
Sprungtemperatur	219	18.14 Nb-Sn-Ge-Bi-(Ti-)Legierungen	241
Abhängigkeit von der Herstellungsmethode	219	18.15 Nb-Sn-Ge-Al-Legierungen	241
Isotopeneffekt	221	19 Legierungen mit Blei	241
Einfluß von Verformung	221		
Einfluß von Gitterfehlern	222		
Einfluß von Zusätzen	222		
Kritische Feldstärke	222		
Magnetisierung	223		

	Seite		Seite
19.1 Binäre Nb-Pb-Legierungen	241	Gegen Basen und Salzlösungen	265
19.1.1 Zustandsdiagramm	241	Gegen Säuren	266
19.1.2 Bildung und Darstellung	242	20.2 Nb-V-N-Legierungen	267
19.1.3 Kristallographische Eigenschaften ..	242	20.3 Nb-V-C-Legierungen	267
19.1.4 Chemisches Verhalten	242	20.4 Nb-V-Si-Legierungen	268
19.2 Nb-Pb-Bi-Legierungen	242	20.4.1 Zustandsdiagramm	268
19.3 Nb-Pb-Sn-Legierungen	242	20.4.2 Bildung und Darstellung	268
19.3.1 Nb-Pb-Sn-Me-Legierungen	242	20.4.3 Gefüge	269
20 Legierungen mit Vanadium	243	20.4.4 Kristallographische Eigenschaften ..	269
20.1 Binäre Nb-V-Legierungen	243	20.4.5 Härte	269
20.1.1 Diffusion	243	20.4.6 Festigkeit	270
20.1.2 Zustandsdiagramm	243	20.4.7 Supraleitfähigkeit	270
20.1.3 Bildung und Darstellung	245	20.4.8 Chemisches Verhalten	270
Durch Schmelzen und Sintern	245	20.5 Nb-V-Si-C-Legierungen	271
Durch carbothermische Reduktion von		20.5.1 Zustandsdiagramm	271
Oxiden	245	20.5.2 Kristallographische Eigenschaften ..	271
20.1.4 Physikalische Eigenschaften	245	20.6 Nb-V-Al-Legierungen	272
Gefüge	245	20.6.1 Zustandsdiagramm	272
Zwillingsbildung	246	20.6.2 Bildung und Darstellung	272
Korngröße	247	20.6.3 Physikalische Eigenschaften	273
Rekristallisation	247	Gefüge	273
Kristallographische Eigenschaften	248	Kristallographische Eigenschaften	273
Mechanische und thermische Eigen-		Dichte	273
schaften	248	Vickershärte	273
Dichte	248	Festigkeit	274
Elastische Konstanten	249	Neutroneneinfangquerschnitt	274
Härte	249	Supraleitfähigkeit	274
Brinellhärte	249	20.6.4 Chemisches Verhalten	274
Vickershärte	250	Gegen Luft	274
Mikrohärte	251	Gegen Sauerstoff	275
Rockwellhärte	251	Gegen Wasser und Wasserdampf	276
Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruch-		20.7 Nb-V-Ga-Legierungen	276
dehnung	252	20.8 Nb-V-Ti-(O-, N-)Legierungen ..	276
Druckfestigkeit	255	20.8.1 Zustandsdiagramm	276
Kriecheigenschaften	255	20.8.2 Bildung und Darstellung	277
Biegeversuche	257	20.8.3 Physikalische Eigenschaften	277
Neutroneneinfangquerschnitt	257	Gefüge	277
Thermische Ausdehnung	257	Rekristallisation	278
Schmelzpunkt	257	Kristallographische Eigenschaften	278
Freie Energie	257	Dichte	278
Charakteristische Temperatur	258	Elastische Konstanten	278
Magnetische und elektrische Eigen-		Härte	279
schaften	258	Festigkeit	281
Magnetische Eigenschaften	258	Neutroneneinfangquerschnitt	283
Elektrische Leitfähigkeit	258	Thermische Ausdehnung	284
Supraleitfähigkeit	259	Charakteristische Temperatur	284
20.1.5 Elektrochemisches Verhalten	260	Wärmeleitfähigkeit	284
20.1.6 Chemisches Verhalten	260	Elektrische Leitfähigkeit	284
Gegen Luft	260	Supraleitfähigkeit	285
Gegen Sauerstoff	264	Differentiale Thermokraft	285
Gegen Chlor	264		
Gegen Wasser und Wasserdampf	264		

	Seite		Seite
20.8.4 Chemisches Verhalten	286	Gefüge	296
Beim Erhitzen	286	Kristallographische Eigenschaften	296
Gegen Luft	286	Dichte	297
Gegen Sauerstoff	288	Härte	297
Gegen Wasser und Wasserdampf	288	Festigkeit	298
Gegen Metalle	288	Neutroneneinfangquerschnitt	299
Gegen anorganische Metallverbindun- gen	289	Supraleitfähigkeit	299
Gegen Säuren	289	20.15.4 Chemisches Verhalten	299
Gegen Salzlösungen	289	Gegen Luft	299
20.9 Nb-V-Ti-B-Legierungen	289	Gegen Wasser und Wasserdampf	300
20.9.1 Chemisches Verhalten	290	20.16 Nb-V-Zr-C-Legierungen	301
20.10 Nb-V-Ti-C-(B-, O-)Legierungen	290	20.17 Nb-V-Zr-Al-Legierungen	302
20.11 Nb-V-Ti-Si-(C-)Legierungen	290	20.17.1 Darstellung	302
20.11.1 Diffusion	290	20.17.2 Festigkeit	302
20.11.2 Gefüge	291	20.17.3 Chemisches Verhalten	302
20.11.3 Härte	291	20.18 Nb-V-Zr-Ti-Legierungen	302
20.11.4 Festigkeit	291	20.18.1 Darstellung	302
20.11.5 Chemisches Verhalten	292	20.18.2 Festigkeit	302
20.12 Nb-V-Ti-Be-Legierungen	293	20.19 Nb-V-Zr-Ti-C-Legierungen	303
20.13 Nb-V-Ti-Al-Legierungen	293	20.20 Nb-V-Zr-Ti-Al-Legierungen	303
20.13.1 Darstellung	293	20.20.1 Darstellung	303
20.13.2 Physikalische Eigenschaften	293	20.20.2 Festigkeit	303
Rekristallisation	293	20.20.3 Chemisches Verhalten	304
Härte	293	20.21 Nb-V-Hf-Legierungen	304
Festigkeit	293	20.21.1 Darstellung	304
20.13.3 Chemisches Verhalten	294	20.21.2 Rekristallisation	304
Gegen Luft	294	20.21.3 Härte	304
Gegen Sauerstoff	294	20.21.4 Festigkeit	304
Gegen Wasserdampf	295	20.21.5 Spezifischer Widerstand	305
20.14 Nb-V-Ti-Y-Legierungen	295	20.21.6 Chemisches Verhalten	305
20.14.1 Rekristallisation	295	20.22 Nb-V-Hf-C-Legierungen	305
20.14.2 Festigkeit	295	20.23 Nb-V-Hf-Ti-Legierungen	306
20.14.3 Chemisches Verhalten	295	20.24 Nb-V-Hf-Ti-C-Legierungen	306
20.15 Nb-V-Zr-Legierungen	295	20.25 Nb-V-Sn-Legierungen	306
20.15.1 Zustandsdiagramm	295	20.25.1 Darstellung	306
20.15.2 Bildung und Darstellung	296	20.25.2 Eigenschaften	306
20.15.3 Physikalische Eigenschaften	296	20.26 Nb-V-Sn-Si-Legierungen	307
		20.27 Nb-V-Sn-Al-Legierungen	307

Table of Contents

(Inhaltsverzeichnis s. S. I)

	Page		Page
Niobium Alloys	1	2.5.2 With Oxygen	14
1 Alloys with Alkali Metals	1	2.5.3 With Air	14
1.1 Nb-Li Alloys	1	2.5.4 With Steam	17
1.2 Nb-Na Alloys. Nb-K Alloys	1	2.5.5 With Metals and Alloys	17
1.3 Nb-Rb Alloys. Nb-Cs Alloys	2	3 Alloys with Magnesium	17
2 Alloys with Beryllium	2	4 Alloys with Zinc	18
2.1 Diffusion	2	4.1 Binary Nb-Zn Alloys	18
2.2 Phase Diagram	2	4.1.1 Phase Diagram	18
2.2.1 (Nb) or α -Phase	3	Nb Phase	19
2.2.2 Nb ₃ Be ₂ (?)	3	Intermediate Phases	19
2.2.3 NbBe ₂	3	Zn Phase	19
2.2.4 NbBe ₃ (?)	4	4.1.2 Formation. Preparation	20
2.2.5 NbBe ₅ (?)	4	Thermodynamic Data of Formation	21
2.2.6 Nb ₂ Be ₁₇ or NbBe ₈ (?)	4	4.1.3. Physical Properties	21
2.2.7 Nb ₂ Be ₁₉ (?)	4	Microstructure	21
2.2.8 NbBe ₁₂	4	Crystallographic Properties	21
2.2.9 Be-rich Alloys	4	Density	22
2.2.10 Other Phases (?)	4	Hardness	22
2.2.11 Eutectics	5	Vickers Hardness	22
2.3 Formation. Preparation	5	Microhardness	22
2.3.1 Heat of Formation	6	Vapor Pressure	22
2.4 Physical Properties	6	Superconductivity	23
2.4.1 Microstructure	6	Optical Properties	23
2.4.2 Crystallographic Properties	7	4.1.4 Chemical Reactions	23
2.4.3 Mechanical and Thermal Properties	8	4.2 Nb-Zn-Mg Alloys	25
Density	8	5 Alloys with Cadmium	25
Hardness	9	6 Alloys with Mercury	25
Vickers Hardness	9	7 Alloys with Aluminum	26
Microhardness	10	7.1 Binary Nb-Al Alloys	26
Elastic Constants	10	7.1.1 Diffusion	26
Strength	11	7.1.2 Phase Diagram	26
Tensile Strength	11	α -Phase	26
Bending Tests	11	β -Phase	27
Notch Impact Strength	12	σ -Phase (Nb ₂ Al)	28
Compression Strength	12	NbAl ₃	28
Thermal Expansion	12	Al Phase	28
Vapor Pressure	13	Other Data	28
Melting Point	13	7.1.3 Formation. Preparation	29
Specific Heat	13	Melting and Sintering Processes	29
Thermal Conductivity	13	Other Processes	30
2.4.4 Electrical Properties	13	Special Forms	31
2.5 Chemical Reactions	13	7.1.4 Physical Properties	31
2.5.1 On Heating	13	Microstructure	31
		Crystal Structure	32

	Page		Page
α -Phase	32	11.1 Diffusion Coefficient	54
β -Phase (Nb_3Al)	33	11.2 Phase Diagram	54
σ -Phase (Nb_2Al)	33	11.3 Preparation	55
$\text{Nb}_{17}\text{Al}_{12}$ (?)	33	11.4 Physical Properties	55
NbAl_3	34	11.4.1 Microstructure	55
Density	34	11.4.2 Lattice Constants	56
Hardness	34	11.4.3 Hardness	56
Elastic Constants	35	11.4.4 Neutron Capture Cross Section	56
Internal Friction	36	11.5 Chemical Reactions	56
Strength	36	12 Alloys with Lanthanides	57
Thermal Expansion, Heat Capacity	36	12.1 Nb-La Alloys	57
Other Thermal Data	37	12.1.1 Phase Diagram	57
Electrical and Magnetic Properties	37	12.1.2 Preparation	57
Superconductivity	37	12.1.3 Properties	57
7.1.5 Chemical Reactions	40	12.2 Nb-Ce Alloys	58
With Hydrogen and Nitrogen	40	12.2.1 Phase Diagram	58
With Air	40	12.2.2 Preparation	58
With Steam	43	12.2.3 Properties	59
With Other Compounds	43	12.3 Nb-Nd Alloys	59
7.2 Nb-Al-Si Alloys	43	12.4 Misch Metal Alloys	59
7.2.1 Phase Diagram, Crystallographic Properties	43	12.5 Nb-Gd Alloys, Nb-Dy Alloys	59
7.2.2 Preparation	44	12.6 Nb-Er Alloys	59
7.2.3 Mechanical Properties	44	13 Alloys with Titanium	60
7.2.4 Chemical Reactions	44	13.1 Binary Nb-Ti Alloys	60
7.3 Nb-Al-As Alloys	45	13.1.1 Diffusion	60
7.4 Nb-Al-Sb Alloys	45	13.1.2 Phase Diagram	62
7.5 Nb-Al-Be Alloys	46	13.1.3 Metastable Phases	64
7.6 Nb-Al-Zn Alloys	47	Formation by Quenching	64
8 Alloys with Gallium	47	Formation and Decomposition by Annealing	66
8.1 Binary Nb-Ga Alloys	47	13.1.4 Formation, Preparation	69
8.1.1 Phase Diagram	47	Melting Processes	69
α -Phase	47	Other Processes	69
Intermediate Phases	48	Thin Films	69
8.1.2 Preparation	48	Thermodynamic Data	70
8.1.3 Physical Properties	49	13.1.5 Physical Properties	70
Microstructure	49	Microstructure	70
Crystal Structure	49	Structures	70
Density	50	Recrystallization	71
Hardness	50	Crystallographic Properties	71
Elastic Constants	50	α -Phase	71
Magnetic and Electrical Properties	50	β -Phase	71
8.2 Nb-Ga-Al(-As) Alloys	52	α'' -Phase	72
9 Alloys with Indium	53	ω -Phase	72
9.1 Binary Nb-In Alloys	53	Other Phases	73
9.2 Nb-In-Al Alloys	54	Mechanical Properties	73
10 Alloys with Scandium	54		
11 Alloys with Yttrium	54		

	Page		Page
Density	73	With Nitrogen	114
Elastic Constants	73	With Chlorine	114
Internal Friction	75	With Water and Steam	114
Hardness	75	With Acids	115
Pyramid Hardness	75	With KOH Solution	116
Microhardness	75	With Iron Trichloride Solution	116
Brinell Hardness	76	13.2 Nb-Ti-B Alloys	116
Vickers Hardness	76	13.3 Nb-Ti-C Alloys	116
Rockwell Hardness	78	13.4 Nb-Ti-Si Alloys	116
Tensile Strength, Yield Point, Elonga- tion, Reduction of Area	78	13.4.1 Preparation	116
Notch Impact Strength	82	13.4.2 Mechanical Properties	117
Creep Tests	82	13.4.3 Chemical Reactions	117
Bending Tests	83	13.5 Nb-Ti-Sb Alloys	117
Thermal Properties	84	13.6 Nb-Ti-Be Alloys	118
Thermal Expansion	84	13.7 Nb-Ti-Zn Alloys	118
Vapor Pressure	84	13.8 Nb-Ti-Al Alloys	118
Specific Heat	84	13.8.1 Phase Diagram	118
Thermodynamic Functions	85	13.8.2 Preparation	119
Debye Temperature, Lattice Vibrations	85	13.8.3 Physical Properties	120
Thermal Conductivity	86	Microstructure	120
Electrical and Magnetic Properties	87	Crystal Structure	120
Band Model	87	Young's Modulus	120
Magnetic Susceptibility	87	Hardness	120
Electrical Conductivity in Normal State	87	Strength	121
Superconductivity	90	Thermal Expansion	123
Review	90	Thermal Conductivity	123
Critical Temperature	90	Electrical Properties	123
Effect of Additives	93	13.8.4 Chemical Reactions	123
Critical Field	93	With Air	123
Temperature Dependence	95	With Acids	124
Magnetization	95	13.9 Nb-Ti-Al-C Alloys	124
Critical Current, Critical Current Density	96	13.10 Nb-Ti-Al-Si Alloys	125
Cold Working	97	13.10.1 Preparation	125
Heat Treatment	99	13.10.2 Chemical Reactions	125
Effect of Foreign Substances	101	13.11 Nb-Ti-La Alloys	125
Anisotropy	102	13.12 Nb-Ti-Ce Alloys	125
Field Strength Dependence	103	14 Alloys with Zirconium	126
Temperature Dependence	104	14.1 Binary Nb-Zr Alloys	126
Flux Line Motion	105	14.1.1 Diffusion	126
Superconducting Solenoids	105	14.1.2 Phase Diagram	126
Losses	106	Effect of Oxygen	128
Thermoelectric Force	107	14.1.3 Phase Transformations	129
Optical Properties	107	β -Decomposition	129
13.1.6 Electrochemical Behavior	108	Metastable Phases	130
13.1.7 Chemical Reactions	108	General	130
With Hydrogen	108	Quenching	130
With Oxygen and Air	108	β - α' Transformation	132
Diffusion	108	β - ω Transformation	132
Reaction Course in Oxygen	109		
Reaction Course in Air	112		

	Page		Page
14.1.4 Preparation	133	Magnetocaloric Effect	162
Films	134	Superconducting Solenoids	162
Powder	134	Losses	164
14.1.5 Physical Properties	134	14.1.6 Chemical Reactions	164
Crystal Structure	134	With Air	164
α -Phase	134	With Oxygen	166
α' -Phase	135	With Water and Steam	167
β -Phase	135	With Carbon Dioxide	168
ω -Phase	135	With Acids	169
Mechanical Properties	137	With Ammonia	169
Young's Modulus. Shear Modulus	137	With Metals	169
Internal Friction. Sound Attenuation	137	With Metal Oxides	170
Brinell Hardness	138	14.2 Nb-Zr-H Alloys	170
Vickers Hardness	139	14.2.1 Hydrogen Solubility and Hydride	
Rockwell Hardness	141	Formation	170
Strength	141	14.2.2 Strength	170
Nb-rich Alloys	141	14.2.3 Thermal Expansion	171
Zr-rich Alloys	142	14.3 Nb-Zr-O Alloys	171
Thermal Properties	145	14.3.1 Partial Diagram	171
Thermal Expansion	145	14.3.2 Crystallographic Properties	172
Vapor Pressure	146	14.3.3 Strength	172
Thermodynamic Functions	146	14.4 Nb-Zr-N Alloys	172
Heat Capacity. Debye Temperature	146	14.4.1 Solubility of N	172
Thermal Conductivity	147	14.4.2 Internal Friction	172
Electrical and Magnetic Properties	147	14.5 Nb-Zr-C Alloys	173
Band Model	147	14.6 Nb-Zr-Be Alloys	173
Magnetic Susceptibility	147	14.6.1 Phase Diagram	173
Resistivity	147	14.6.2 Strength	173
Hall Effect	149	14.6.3 Superconductivity	173
Thermoelectric Force	149	14.6.4 Chemical Reactions	174
Contact Resistance	150	14.7 Nb-Zr-Zn Alloys	174
Superconductivity	150	14.8 Nb-Zr-Al Alloys	174
Review	150	14.8.1 Phase Diagram	174
Energy Gap	150	14.8.2 Properties	174
Critical Temperature	151	14.9 Nb-Zr-Ga Alloys	174
Critical Field Strength	151	14.10 Nb-Zr-In Alloys	174
Magnetization Curve	152	14.11 Nb-Zr-Ti Alloys	174
Critical Current Density and		14.11.1 Phase Diagram	174
Strength	153	14.11.2 Vickers Hardness	176
Review	153	14.11.3 Strength	176
Effect of Mechanical and Thermal		14.11.4 Thermal Expansion	177
Pretreatment	154	14.11.5 Electrical Properties	177
Effect of Neutrons	155	Resistivity	177
Effect of Magnetic Pretreatment	155	Superconductivity	177
Effect of Size	155	Critical Temperature	177
Effect of Frequency and Rapid		Critical Field Strength	177
Field Variations	156	Critical Current Density	178
Effect of Foreign Substances	156	14.11.6 Chemical Reactions	179
Anisotropy	156		
Effect of Field Strength	157		
Temperature Dependence	159		
Transition to Normal Conductance	160		
Flux Line Motion	160		
Paramagnetic Effect	162		

	Page		Page
14.12 Nb-Zr-Ti-B and Nb-Zr-Ti-C Alloys	179	15.8 Nb-Hf-Zr-Ti-O Alloys	196
14.13 Nb-Zr-Ti-Al-B Alloys	179	15.9 Nb-Hf-Zr-Ti-Al Alloys	196
15 Alloys with Hafnium	180	16 Alloys with Thorium	196
15.1 Binary Nb-Hf Alloys	180	16.1 Binary Nb-Th Alloys	196
15.1.1 Phase Diagram	180	16.1.1 Phase Diagram	196
Metastable Phase	181	16.1.2 Formation, Preparation	197
15.1.2 Formation, Preparation	181	16.1.3 Physical Properties	197
15.1.3 Physical Properties	181	Microstructure	197
Microstructure	181	Crystal Structure	198
Recrystallization	182	Hardness	198
Crystallographic Properties	182	Strength	198
α -Phase	182	Electrical Properties	198
β -Phase	182	16.1.4 Chemical Reactions	199
Hardness	182	With Air	199
Brinell Hardness	182	With Water	199
Vickers Hardness	182	16.2 Nb-Th-C Alloys	200
Rockwell Hardness	183	16.3 Nb-Th-Zr Alloys	200
Strength	183	16.3.1 Phase Diagram	200
Electrical Properties	185	16.3.2 Hardness	200
Resistivity	185	16.3.3 Chemical Reactions	201
Superconductivity	185	17 Alloys with Germanium	201
Electron Work Function	187	17.1 Binary Nb-Ge Alloys	201
15.1.4 Electrochemical Behavior	187	17.1.1 Phase Diagram	201
15.1.5 Chemical Reactions	187	17.1.2 Formation, Preparation	202
With Air and Oxygen	187	Thermodynamic Data of Formation	202
With Water and Steam	188	17.1.3 Physical Properties	202
With Nitrogen	189	Crystallographic Properties	202
15.2 Nb-Hf-C Alloys	189	Nb ₃ Ge	202
15.3 Nb-Hf-Ti Alloys	189	α Nb ₅ Ge ₃	203
15.4 Nb-Hf-Ti-Al Alloys	190	β Nb ₅ Ge ₃	203
15.4.1 Density	190	NbGe ₂	203
15.4.2 Strength	190	Density	203
15.4.3 Chemical Reactions	191	Hardness	203
15.5 Nb-Hf-Ti-Al-C Alloys	192	Thermodynamic Data and	
15.6 Nb-Hf-Zr Alloys	192	Thermal Conductivity	203
15.6.1 Phase Diagram	192	Electrical Properties	204
15.6.2 Preparation	192	Resistivity, Hall Coefficient.	
15.6.3 Microstructure	192	Thermoelectric Force	204
15.6.4 Crystallographic Properties	193	Superconductivity	204
15.6.5 Hardness	193	17.1.4 Chemical Reactions	204
15.6.6 Strength	193	On Heating	204
15.6.7 Electrical Properties	194	With Air	204
15.6.8 Chemical Reactions	194	With Acids, Bases, and Salts	205
15.7 Nb-Hf-Zr-Ti Alloys	194	17.2 Nb-Ge-Si Alloys	205
15.7.1 Phase Diagram	194	17.3 Nb-Ge-Al Alloys	206
15.7.2 Physical Properties	194	17.3.1 Crystallographic Properties	206
		17.3.2 Microhardness	206
		17.3.3 Superconductivity	206

	Page		Page
17.4 Nb-Ge-Ga Alloys	207	Losses	227
17.5 Nb-Ge-Zr Alloys	207	Superconducting Solenoids	228
18 Alloys with Tin	208	Electron Emission	228
18.1 Binary Nb-Sn Alloys	208	Optical Constants	228
18.1.1 Diffusion	208	18.1.5 Properties of γ-Phase	229
18.1.2 Phase Diagram	208	Microstructure	229
18.1.3 Formation. Preparation	208	Density	229
Formation of the 3 Phases β , γ , and δ ..	208	Microhardness	229
Preparation of β -Phase	209	Nuclear Magnetic Resonance	229
By Reduction of Halides	209	Superconductivity	229
From Melt	211	18.1.6 Properties of δ-Phase	229
By Sintering	211	Microstructure	229
As Diffusion Layer	212	Density	230
As Multiphase Wires	213	Microhardness	230
As Evaporated Layer	213	Nuclear Magnetic Resonance	230
18.1.4 Properties of β-Phase	214	Superconductivity	230
Crystallographic Properties	214	18.2 Nb-Sn-Si Alloys	230
Microstructure	214	18.3 Nb-Sn-As Alloys	230
Habit	215	18.4 Nb-Sn-Sb Alloys	230
Disorder	215	18.5 Nb-Sn-Bi Alloys	231
Mössbauer Effect	216	18.6 Nb-Sn-Al Alloys	231
Recrystallization	216	18.7 Nb-Sn-Ga Alloys	232
Mechanical and Thermal Properties	216	18.7.1 Nb-Sn-Ga Alloys with As, Sb, or Bi	232
Density	216	18.8 Nb-Sn-In Alloys	232
Thermal Expansion	216	18.8.1 Nb-Sn-In Alloys with As, Sb, or Bi	234
Elastic Constants	216	18.9 Nb-Sn-Ti Alloys	234
Sound Attenuation	217	18.9.1 Nb-Sn-Ti Alloys with As, Sb, or Bi	234
Hardness	217	18.10 Nb-Sn-Ti Alloys	234
Vapor Pressure. Heat of Vaporization ..	217	18.11 Nb-Sn-Zr Alloys	235
Molar Heat Capacity	217	18.11.1 Phase Diagram	235
Debye Temperature	217	18.11.2 Crystallographic Properties	236
Thermal Conductivity	217	18.11.3 Hardness. Strength	236
Electrical and Magnetic Properties	217	18.11.4 Electrical Properties	237
Band Structure	217	18.11.5 Chemical Reactions	238
Nuclear Magnetic Resonance	218	With Hydrogen	238
Resistivity	218	With Water	238
Hall Effect	218	18.12 Nb-Sn-Hf Alloys	240
Superconductivity	219	18.13 Nb-Sn-Ge Alloys	240
General	219	18.14 Nb-Sn-Ge-Bi(-Ti) Alloys	241
Energy Gap	219	18.15 Nb-Sn-Ge-Al Alloys	241
Critical Temperature	219	19 Alloys with Lead	241
Dependence on Preparation	219	19.1 Binary Nb-Pb Alloys	241
Method	219	19.1.1 Phase Diagram	241
Isotopic Effect	221	19.1.2 Formation. Preparation	242
Effect of Deformation	221	19.1.3 Crystallographic Properties	242
Effect of Lattice Defects	222		
Effect of Additives	222		
Critical Field Strength	222		
Magnetization	223		
Hysteresis	224		
Critical Current Density	225		
Transition to Normal Conductance	227		
Flux Line Motion	227		

	Page		Page
19.1.4 Chemical Reactions	242	20.4.2 Formation. Preparation	268
19.2 Nb-Pb-Bi Alloys	242	20.4.3 Microstructure	269
19.3 Nb-Pb-Sn Alloys	242	20.4.4 Crystallographic Properties	269
19.3.1 Nb-Pb-Sn-Me Alloys	242	20.4.5 Hardness	269
20 Alloys with Vanadium	243	20.4.6 Strength	270
20.1 Binary Nb-V Alloys	243	20.4.7 Superconductivity	270
20.1.1 Diffusion	243	20.4.8 Chemical Reactions	270
20.1.2 Phase Diagram	243	20.5 Nb-V-Si-C Alloys	271
20.1.3 Formation. Preparation	245	20.5.1 Phase Diagram	271
By Melting and Sintering	245	20.5.2 Crystallographic Properties	271
By Carbothermic Reduction of Oxides	245	20.6 Nb-V-Al Alloys	272
20.1.4 Physical Properties	245	20.6.1 Phase Diagram	272
Microstructure	245	20.6.2 Formation. Preparation	272
Twinning	246	20.6.3 Physical Properties	273
Grain Size	247	Microstructure	273
Recrystallization	247	Crystallographic Properties	273
Crystallographic Properties	248	Density	273
Mechanical and Thermal Properties	248	Vickers Hardness	273
Density	248	Strength	274
Elastic Constants	249	Neutron Capture Cross Section	274
Hardness	249	Superconductivity	274
Brinell Hardness	249	20.6.4 Chemical Reactions	274
Vickers Hardness	250	With Air	274
Microhardness	251	With Oxygen	275
Rockwell Hardness	251	With Water and Steam	276
Yield Point. Tensile Strength.		20.7 Nb-V-Ga Alloys	276
Elongation	252	20.8 Nb-V-Ti(-O, -N) Alloys	276
Compression Strength	255	20.8.1 Phase Diagram	276
Creep Properties	255	20.8.2 Formation. Preparation	277
Bending Tests	257	20.8.3 Physical Properties	277
Neutron Capture Cross Section	257	Microstructure	277
Thermal Expansion	257	Recrystallization	278
Melting Point	257	Crystallographic Properties	278
Free Energy	257	Density	278
Debye Temperature	258	Elastic Constants	278
Magnetic and Electrical Properties	258	Hardness	279
Magnetic Properties	258	Strength	281
Electrical Conductivity	258	Neutron Capture Cross Section	283
Superconductivity	259	Thermal Expansion	284
20.1.5 Electrochemical Behavior	260	Debye Temperature	284
20.1.6 Chemical Reactions	260	Thermal Conductivity	284
With Air	260	Electrical Conductivity	284
With Oxygen	264	Superconductivity	285
With Chlorine	264	Differential Thermoelectric Force	285
With Water and Steam	264	20.8.4 Chemical Reactions	286
With Bases and Salt Solutions	265	On Heating	286
With Acids	266	With Air	286
20.2 Nb-V-N Alloys	267	With Oxygen	288
20.3 Nb-V-C Alloys	267	With Water and Steam	288
20.4 Nb-V-Si Alloys	268	With Metals	288
20.4.1 Phase Diagram	268		

	Page		Page
With Inorganic Metal Compounds	289	Neutron Capture Cross Section	299
With Acids	289	Superconductivity	299
With Salt Solutions	289	20.15.4 Chemical Reactions	299
20.9 Nb-V-Ti-B Alloys	289	With Air	299
20.9.1 Chemical Reactions	290	With Water and Steam	300
20.10 Nb-V-Ti-C(-B, -O) Alloys	290	20.16 Nb-V-Zr-C Alloys	301
20.11 Nb-V-Ti-Si(-C) Alloys	290	20.17 Nb-V-Zr-Al Alloys	302
20.11.1 Diffusion	290	20.17.1 Preparation	302
20.11.2 Microstructure	291	20.17.2 Strength	302
20.11.3 Hardness	291	20.17.3 Chemical Reactions	302
20.11.4 Strength	291	20.18 Nb-V-Zr-Ti Alloys	302
20.11.5 Chemical Reactions	292	20.18.1 Preparation	302
20.12 Nb-V-Ti-Be Alloys	293	20.18.2 Strength	302
20.13 Nb-V-Ti-Al Alloys	293	20.19 Nb-V-Zr-Ti-C Alloys	303
20.13.1 Preparation	293	20.20 Nb-V-Zr-Ti-Al Alloys	303
20.13.2 Physical Properties	293	20.20.1 Preparation	303
Recrystallization	293	20.20.2 Strength	303
Hardness	293	20.20.3 Chemical Reactions	304
Strength	293	20.21 Nb-V-Hf Alloys	304
20.13.3 Chemical Reactions	294	20.21.1 Preparation	304
With Air	294	20.21.2 Recrystallization	304
With Oxygen	294	20.21.3 Hardness	304
With Steam	295	20.21.4 Strength	304
20.14 Nb-V-Ti-Y Alloys	295	20.21.5 Resistivity	305
20.14.1 Recrystallization	295	20.21.6 Chemical Reactions	305
20.14.2 Strength	295	20.22 Nb-V-Hf-C Alloys	305
20.14.3 Chemical Reactions	295	20.23 Nb-V-Hf-Ti Alloys	306
20.15 Nb-V-Zr Alloys	295	20.24 Nb-V-Hf-Ti-C Alloys	306
20.15.1 Phase Diagram	295	20.25 Nb-V-Sn Alloys	306
20.15.2 Formation, Preparation	296	20.25.1 Preparation	306
20.15.3 Physical Properties	296	20.25.2 Properties	306
Microstructure	296	20.26 Nb-V-Sn-Si Alloys	307
Crystallographic Properties	296	20.27 Nb-V-Sn-Al Alloys	307
Density	297		
Hardness	297		
Strength	298		

Nioblegierungen

Niobium
Alloys

In dem vorliegenden Band werden entsprechend dem „System der letzten Stelle“ Nioblegierungen abgehandelt, die neben Niob andere Metalle (Lithium bis Vanadium, Systemnummer 20 bis 48) enthalten. — Sauerstoffhaltige metallkeramische Werkstoffe (Cermets) werden in „Niob“ B 3 (Verbindungen, die neben Nb ein oder mehrere andere Metalle enthalten) behandelt.

Über Legierungsbildung von Niob mit B, C, Si, Sb und Bi s. „Niob“ B 1 die Kapitel Niob und Bor, S. 298, Niob und Kohlenstoff, S. 319, Niob und Silicium, S. 389, Niob und Antimon, S. 417, sowie Niob und Wismut, S. 421.

Allgemeine Literatur:

F. A. SHUNK, *Constitution of Binary Alloys, Second Supplement*, New York — St. Louis — San Francisco — London — Sydney — Toronto — Mexico — Panama 1969.

R. P. ELLIOTT, *Constitution of Binary Alloys, First Supplement*, New York — St. Louis — San Francisco — Toronto — London — Sydney 1965.

D. A. PROKOSHIN, E. V. VASIL'eva, *Splavy Niobiya*, Moskva 1964, *Alloys of Niobium*, Jerusalem 1965.

R. KIEFFER, H. BRAUN, *Vanadin — Niob — Tantal*, Die Metallurgie der reinen Metalle und ihrer Legierungen, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1963.

F. T. SISCO, E. EPREMIAN, *Columbium and Tantalum*, New York — London 1963.

M. HANSEN, K. ANDERKO, *Constitution of Binary Alloys*, 2. Aufl., New York — Toronto — London 1958.

1 Legierungen mit Alkalimetallen

Alloys with
Alkali
Metals

1.1 Nb-Li-Legierungen

Nb-Li Alloys

Reines Nb legiert sich mit reinem Li bei Temperaturen < 1200°C nicht merklich. Dagegen führen O-Verunreinigungen des Nb von ≥ 300 bis 500 ppm schon bei 250°C zum Eindringen von Li entlang Korngrenzen oder (110)-Ebenen, wobei sich vermutlich Li-Nb-O-Phasen bilden. Durch Zuliegen von Zr kann dieser Effekt verhindert werden. Nähere Angaben, auch über die Löslichkeit von Nb in Li-Schmelzen und die Beeinflussung der Nb-Löslichkeit durch Verunreinigungen des Li, s. „Niob“ A, S. 305 und in der dort zitierten Literatur; eine Übersicht geben auch J. R. DiSTEFANO, A. P. LITMAN (*Corrosion* **20** [1964] 392t/397t). Weitere Angaben s. W. F. BREHM, J. L. GREGG, CHE-YU LI (*Trans. AIME* **242** [1968] 1205/10). Über die Änderung des O-Gehalts und der mechanischen Eigenschaften von Nb durch Einwirkung von Li bei 816 und 900°C s. J. R. DiSTEFANO, A. P. LITMAN (*Corrosion* **20** [1964] 392t/397t, 395t) bzw. YU. F. BYCHKOV, A. N. ROZANOV, V. B. YAKOVLEVA (*At. Energ. [USSR]* **7** [1959] 531/6; *Kernenergie* **3** [1960] 763/7).

1.2 Nb-Na-Legierungen. Nb-K-Legierungen

Nb-Na
Alloys.
Nb-K Alloys

Löslichkeit und Korrosion von Nb in geschmolzenem Na und K werden maßgeblich durch die Menge der in den beiden Komponenten enthaltenen Verunreinigungen, insbesondere durch den O-Gehalt, beeinflusst; nähere Angaben aus der älteren Literatur s. in „Niob“ A, S. 305/6 und in der Übersicht von J. R. DiSTEFANO, A. P. LITMAN (*Corrosion* **20** [1964] 392t/397t). Nach neueren Untersuchungen streut die Löslichkeit von Nb in reinstem K bei 1000 bis 1200°C zwischen 15 und 171 ppm, R. L. MCKISSON, R. L. EICHELBERGER, R. D. DAHLEEN, J. M. SCARBOROUGH, G. R. ARGUE (NASA-CR-610 [1966] 1/154 nach C.A. **66** [1967] Nr. 108846), R. L. MCKISSON, R. L. EICHELBERGER (AI-65-93 [1965] 1/29 nach N.S.A. **19** [1965] Nr. 40946). Löslichkeitsdaten sowie Verteilungskoeffizient des O zwischen Nb und K für das System Nb-K-O bei 600°C (a) Gehalt vor dem Versuch, b) Gehalt nach Gleichgewichtseinstellung in 500 h):

ppm O in Nb		ppm O in K		ppm Nb in K	Verteilungs- koeffizient
a	b	a	b	b	
32	45	≤ 10	≈ 10	≈ 50	10.7
70	50	≤ 10	200	430	0.596
32	57	30	280	680	0.487
70	59	30	280	640	0.500
70	64	100	350	960	0.637
70	68	530	780	1060	0.208
70	58	1010	1260	2190	0.110
70	67	2030	2280	3380	0.070
70	71	3900	4150	3600	0.041
70	100	19000	18000	13400	0.013

Gmelin-Handbuch

1