

Nicrofer[®] 7016 TiNb - сплав X-750

Описание материала № 4023
Издание декабрь 1988

Жаропрочный сплав

Nicrofer[®] 7016 TiNb - сплав X-750

Nicrofer[®] 7016 - T

сплав X-750

Nicrofer[®] 7016 TiNb - сплав X-751

Nicrofer[®] 7016 TiNb - сплав X-750

Nicro

A company of
ThyssenKrupp
Stainless

ThyssenKrupp VDM



ThyssenKrupp VDM

Nicrofer 7016 TiNb - сплав X-750

Nicrofer 7016 TiNb дисперсионно упрочняющийся сплав никеля, хрома и железа, содержащий титан, ниобий и алюминий. Сплав демонстрирует отличную коррозионную стойкость при высоких и низких температурах, выдерживающий высокое давление до 820 °C (1500 °F)

Может поставляться в обработанном или дисперсионно упрочненном виде.

Nicrofer 7016 TiNb имеет следующие характеристики:

- высокий предел прочности на разрыв при 600 °C (1100 °F)
- высокое сопротивление текучести и предел прочности при 820 °C (1500 °F)
- высокое сопротивление окислению при 980 °C (1800 °F)
- отличные механические свойства в низких температурах
- хорошая коррозионная стойкость при высоких и низких температурах, а также сопротивление коррозионному растрескиванию
- хорошая свариваемость

Таблица 1 - Обозначения и стандарты

Страна Станд	Описание материала	Спецификация								
		Хим. состав	Трубы		Лист	Прутки/ полоса	Лента	Проволока	Кованые изделия	
			бесшовные	сварные						
Германия	Описание 2.4660 NiCrFe7TiAl									
Франция AFNOR	NC15TNbA									
Великобр. BS										
США ASTM	UNS N07750		5582		5542 5598	B637 SB 637	5542 5598	5698 5699	B637 SB 637	
ASME						5667				5667
AMS						5668				5668
						5669				5670
						5670			5670	
						5671			5671	
						5741			5747	
						5749			5749	
ISO	NiCr2015Fe7 Ti2Al									

Таблица 2 - Химический состав (% по массе)

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Ti	Co	Nb	Al	S
min	70,0	14,0	5,0					2,25		0,70	0,40	
max		17,0	9,0	0,08	1,00	0,50	0,50	2,75	(1,0)	1,20	1,00	0,010

Таблица 3 - Физические свойства при комнатных и высоких температурах

Плотность	8,3 г/см ³	0.30 lb/in ³
Область плавления	1395-1430 °C	2450-2600 °F
Проницаемость при 20°C/68°F	1,0035	
Температура Кюри	-125°F	-193°F

Температура (Т)		Удельная теплоемкость		Теплопроводность		Электрическое сопротивление		Модуль упругости		Коэффициент расширения	
°C	F	Дж/кг К	Btu lb*°F	Вт/м К	Btu*in ft ² *h*F	μΩ м	Ω*circ*mil ft	кН/ мм ²	10 ³ ksi	10 ⁻⁶ /К	10 ⁻⁶ /F
0	32										
20	68	430	0,103	12,0	83	121	731	214	31,0		
93	200		0,109		89		737		30,0		7,0
100	212	460		13,0		123		206		12,9	
200	392	480		14,1		124		202		13,4	
204	400		0,116		98		748		29,2		7,1
300	572	500		17,3		126		196		14,0	
316	600		0,120		109		760		28,3		7,5
400	752	520		17,9		127		190		14,5	
427	800		0,125		120		770		27,4		7,8
500	932	535		18,5		129		185		14,8	
538	1000		0,130		131		783		26,7		8,1
600	1112	560		19,9		131		180		15,4	
649	1200		0,137		143		786		25,5		8,4
700	1292	600		21,5		130		171		16,3	
760	1400		0,151		154		775		24,0		8,8
800	1472	660		22,8		128		161		17,1	
871	1600		0,171		164		761		22,1		9,3
900	1652	750		24,0		125		149		17,8	
982	1800				173				20,0		9,8
1000	1832			25,3				135			

Механические свойства

Следующие свойства применимы к Nitrofer 7016 TiNb при холодной и горячей прокатке, обработке, отжи + дисперсионное упрочнение, в определенном диапазоне размеров. Использование материала вне пределов этого диапазона с установленными свойствами допускается согласно требованию.

Таблица 4а - Минимальные механические свойства при комнатной температуре, метрические величины

AMS №	Термообработка №	Форма	Измерения мм	Отжиг				Дисперсионное за tvrждение					
				Предел прочности N/mm ²	0,2% предела текучести N/mm ²	Растяжение AS%	Твердость Бринелла HB	Предел прочности N/mm ²	0,2% предела текучести N/mm ²	Растяжение AS%	Зона Окисления Z%	Твердость Бринелла Mm	
5542	5	Лента	<0,25	965				1035				>300	
			0,25 - <0,60	895				1070	15				
		Лист	≥0,60	По договор.		20							
			0,25 - 0,06	965		30		1140	20			>315	
5598	2	Лента	>0,60 - 3,20	895	415	30							
			>3,20 - 6,35	895	450	40							
		Пластина	4,75 - 100	965				1070	20				
			<0,25	930			18	1100	12			>300	
5667	4	Заготовка, ковка	0,25 - <0,60	По договор.									
			≥0,60	930									
		Лист	0,25 - 0,60	930	515	30		1170	18			>315	
			>0,60 - 3,20	930	515	35							
5668	1	Пластина	>3,20 - 6,35										
			4,75 - 100					1100	18			>300	
		Заготовка, ковка	≤100										
			>100		≤300			1140	20		25	300-360	
5669	2	Заготовка	≥250					860	8		260-340		
			<60				975						
		Заготовка, ковка, бухта	60 - <100					1170	18		25	315-400	
			≥100					По договор.	15		20		
5670	2	Заготовка, ковка, бухта	<60					По договор.					
			60 - <100					1170	18		18	300-400	
		Заготовка, ковка, бухта	≥100					По договор.	15		15		
			<60					По договор.					
5671	2	Заготовка, ковка, бухта	≤60					1170	18		18	300-400	
			>60					760	15		15		
		Заготовка, ковка, бухта	>100					1170	15		15		
			<60					1100	12		12		
5747	2	Заготовка, ковка, бухта	60 - <100					По договор.					
			≥100					1170	18		18	300-400	
		Труба	<3,20 внешн. диаметр ≤ 0,4s										
			≥3,20 внешн. диаметр >0,4s	965	550	30/35		1070				300-380	
5698	8	Пружинная проволока	≤0,60	<1035				>1070	15/20				
			>0,60 - 12,7	900 - 1140				>1140					
5699	Смотри справа	Проволока	>0,3 - 6,35 круглая квадратная	1310								1035	
			>6,35 - 10,6	1210								1000	
			>10,6 - 15,9	1100									
													1240

После термообработки

№9 Предел прочности на разрыв

№1 Предел прочности на разрыв N/mm²

№9 Предел прочности на разрыв N/mm²

№1 Предел прочности на разрыв N/mm²

Таблица 4b - Минимальные механические свойства при комнатной температуре

AMS №	Термообработка №	Форма	Размеры Дюймов	Отжиг				Дисперсионное упрочнение				Твердость Бринелла HB		
				Предел прочности KSI	0,2%предела текучести KSI	Растяжение AS%	Твердость Бринелла HB	Предел прочности KSI	0,2%предела текучести KSI	Растяжение AS%	Зона Окисления Z%			
5542	5	Лента	<0,010	140				150					>300	
			0,010 - <0,025	130		20		155		15				
			≥0,025	По договор.	По договор.									
			0,010 - 0,024	140		30		165	105	20			>315	
5598	2	Лист	>0,024 - 0,125	130	60	40								
			>0,125 - 0,250	130	65									
			0,187 - 4,0					155	100	20				
			<0,010	140				155						
5667	4	Лента	0,010 - < 0,025	135		18					12		>300	
			≥0,025	По договор.										
			0,010 - 0,024	135	75	30		170	115	18			>315	
			>0,024 - 1,25	135	75	35								
5668	1	Пластина	> 1,25 - 0,250											
			0,187 - 4					160	105	18		>300		
			≤4					165	105	20		300-360		
			>4					160	100	15		17		
5669	2	Заготовка, ковка	≤10					125	80	8		260-340		
			<2,5					140						
			2,5 - <4					170	115	18		315-400		
			≥4					По договор.						
5670	2	Заготовка, ковка, бухта	≥4					По договор.						
			2,5 - <4					170	115	18		300-400		
			≥4					По договор.						
			≤2,5					170	115	15		15		
5671	2	Заготовка, ковка, бухта	≥4					По договор.						
			2,5					170	115	18		18		
			>2,5					165	110	15		15		
			>100					170	115	15		15		
5747	2	Заготовка, ковка, бухта	>4					По договор.						
			2,5 - <4					170	115	18		18		
			≥4					По договор.				15		
			<0,125 внешн. диаметр ≤ 0,015;					По договор.						
5582	5	Труба	≥0,125 внешн. Диаметр>0,015s	140	80	30/35							300-380	
			≤0,025	< 150										
			>0,025-0,5	130 - 165										
				По получению										
5698	8	Пружинная проволока	>0,025-0,5	Предел прочности на разрыв KSI										
				220								150		
				200								145		
				180										
5699	Смотри справа	Проволока	>0,012 - 0,250 круглая квадратная	190										
			>0,250 - 0,418	175										
			>0,418 - 0,625	160										
				По договору										

Испытание на изгиб без растрескивания для листа в условиях обработки :
 равный толщине до 1,27 мм (0,05 дюйма)
 двойная толщина >1,27 до 6,35 мм (>0,05 до 0,250 дюйма)

Таблица 5 - Минимальные механические свойства при высоких температурах после дисперсионного упрочнения

Форма	Термо-обработка	Температура испытаний		Предел Прочности		$\sigma_{0,2\%}$ предела текучести		Относит. Удлинение $\delta\%$	Разрыв под давлением						
		°C	°F	Н/мм ²	ksi	Н/Мм ²	ksi		Давление Н/мм ²	ksi	Время, ч	Относит. Удлинение As%	Стандарты		
Заготовка, ковка, бухта	1	730	1350						360	52,5	23	≥5	AMS 5668		
Заготовка, ковка	1	730	1350						310	45	100	≥5	ASTM B637		
Ковка	1	820	1500						260	38	100	≥5			
Прутки, Заготовка	0	820	1500						260	38	100	≥5			
Труба	5	705	1300	1070	155	690	100	15/20					AMS 5582		
Труба	5	720	1350						310	45	≥23				
Лист	5	705	1300	1140	165	725	105	20						AMS 5542	
Пластина				1070	155	690	100	20							
Лента				1070	155	690	100	15							

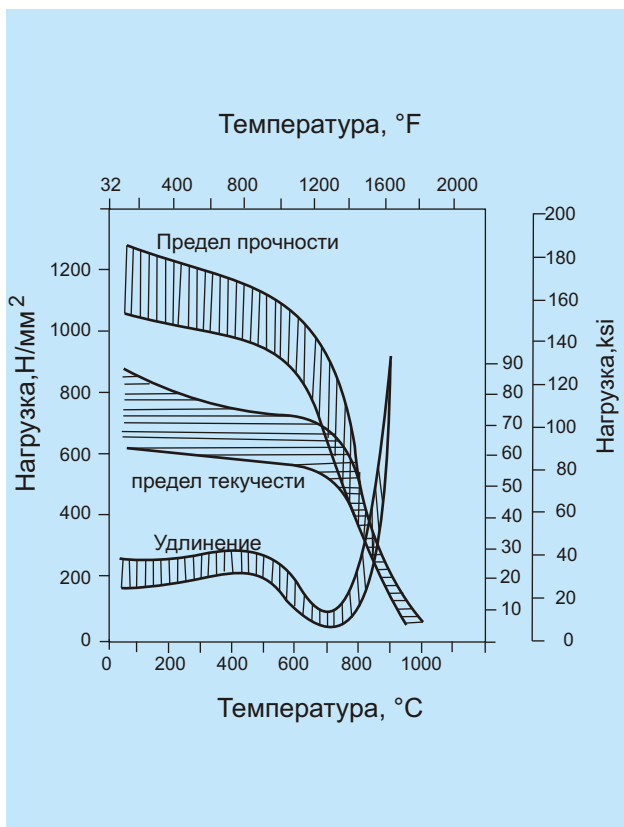


Рис. 1 - Типичные кратковременные свойства различных изделий после дисперсионного упрочнения при высоких температурах

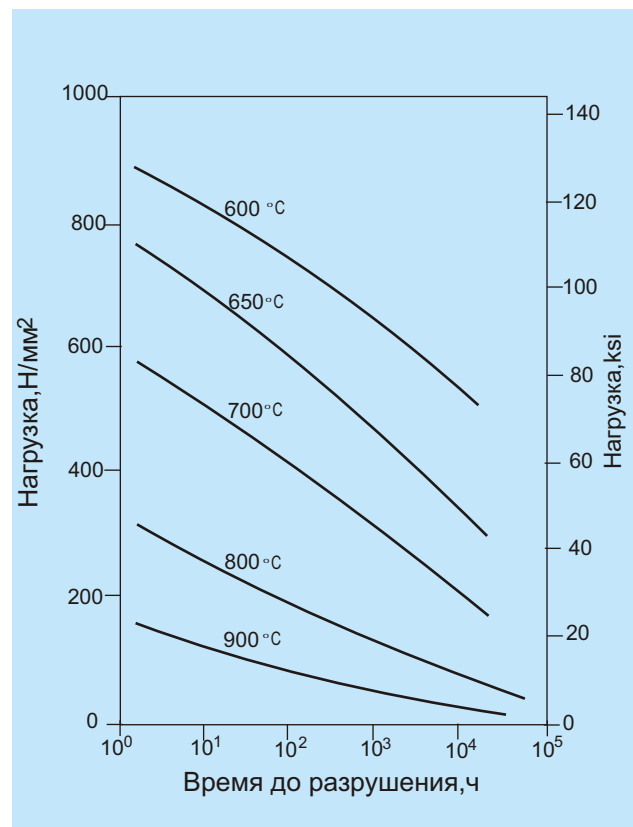


Рис. 2 - Типичная высокотемпературные пределы прочности и текучести заготовок после термообработки №1

Металлургическая структура

Nicrofer 7016 TiNb имеет аустенитную структуру. Хорошее механические свойства являются результатом дисперсионного упрочнения матричной гамма фазы (γ) путем формирования гамма первичной фазы (γ) совместно с некоторыми карбидами. Путем двойной обработки кромки формируется двойная гамма первичная (γ) структура. Используется несколько термообработок, они описаны в специальном разделе, смотри График 3, таблицы 6 (°C) и 7 (°F).

Коррозионная стойкость

Nicrofer 7016 TiNb демонстрирует хорошую общую коррозионную стойкость при высоких и низких температурах, а также высокий уровень сопротивления коррозионному растрескиванию. Высокий уровень сопротивления окислению до 980°C (1800°F).

Применение

Благодаря высокотемпературной стойкости 820°C (1500°F) и хорошей коррозионной стойкости, Nicrofer 7016 TiNb имеет широкий спектр применения, к примеру:

- промышленные и авиационные турбины
- ракеты
- баллоны высокого давления
- прессовочное и деформирующее оборудование
- атомные реакторы
- пружины, воздухоудовные мехи, засовы

Производство и обработка

Nicrofer 7016 TiNb может поддаваться холодной и горячей прокатке, свариваться и обрабатываться на станках.

Нагрев

Очень важно, чтобы рабочее место было чистым от загрязнений до и во время нагревания.

Nicrofer 7016 TiNb может стать хрупким если обрабатывается в присутствии таких примесей, как сера, фосфор, свинец и другие металлы, которые имеют низкую температуру плавления. Источниками загрязнения могут быть также маркировочная краска, индикаторы температуры и след от карандаша, а также смазки, горючее. Топливо должно содержать как можно меньше серы. Природный газ и сниженный нефтяной газ должен содержать не больше 0,1% по массе серы, а коммунальный газ не больше 0,25 г/м³. Содержание серы в горючем должно быть не выше 0,5% по массе.

Предпочтительнее использовать электропечи благодаря четкому контролю в них за температурой и наличием загрязнений. Приемлема также печь работающая на газовом топливе, но при условии низкого уровня примесей.

Атмосфера в печи должна быть нейтральной или слегка окислительной, но она не должна колебаться между окислительной и восстановительной. Следует также избегать контакта огня с поверхностью металла.

Горячая обработка

Nicrofer 7016 TiNb может поддаваться горячей обработке в температурном интервале от 980 до 1200°C (1800–2200°F). Следует применять ускоренное водное охлаждение. Не рекомендуется применять локализованный нагрев.

Рекомендуется снимать окалину после горячей обработки для того, чтобы обеспечить максимальную коррозионную стойкость.

Для проведения горячей обработки, материал следует загружать в печь при максимальной рабочей температуре.

Во время последней стадии обработки при максимальном раскислении 20% температура не должна превышать 1100°C (2000°F)

Для того, чтобы обеспечить максимальные механические свойства.

Холодная обработка

Холодная обработка должна проводиться на обработанном и очищенном от окалины материале. Nicrofer 7016 TiNb имеет более высокий уровень затвердения в сравнении с аустенитной нержавеющей сталью, формирующее оборудование должно иметь соответствующий дизайн.

Когда выполняется холодная обработка, промежуточное снятие окалины необходимо промежуточный отжиг.

Термообработка

Используются различные температуры для обработки и дисперсионного упрочнения для того, чтобы обеспечить нужные свойства

Необходимо длительное время для дисперсионного упрочнения для приобретения механических свойств Nicrofer 7016 TiNb

Для эксплуатации в высоких температурах до 600°C (1100°F) и высоком давлении обычно проводят прямое дисперсионное упрочнение сразу после отливки и снятия окалины.

Для получения оптимальных долгосрочных свойств, с высоким сопротивлением ползучести и разрыву, сопротивление окислению, рекомендуется после обработки проводить двойное дисперсионное упрочнение.

Типичные комбинации термообработки изложены на графике 3 и в таблицах 6 (°C) и 7 (°F).

Во время любого нагревания, предостережения относительно чистоты материала, изложенные выше, должны соблюдаться.

Снятие окалины

Для сплава образование окислов и цветов побежалости более характерно, чем для нержавеющей стали. Рекомендуется проводить шлифовку с помощью ленты с мелким абразивом.

Перед травлением в смеси азотной и плавиковой кислот, окислы следует удалять с помощью пескоструйной обработкой или предварительно в ванне в соляных растворах.

Механическая обработка

Nicrofer 7016 TiNb следует обрабатывать в отожженном состоянии. Следует принимать во внимание высокий уровень упрочнения сплава, то есть применимы только низкая скорость резания в отличии от аустенитной нержавеющей стали. Инструменты должны постоянно находиться в процессе обработки. Важна также высокая подача материала для порезки наклепанной поверхности.

Сваривание

Сплав Nicrofer 7016 TiNb после дисперсионного упрочнения можно сваривать с помощью любого традиционного способа, включая сварку ДСВЭ, ДСПЭ, ДСПНЭ, газозащитную сварку (SMAW/MMA). Необходима низкая подводимая теплота.

Для свариваний важно, чтобы материал был отожженным, чистым и без окалины, а также очищенным от окалины, смазки, маркировочной краски. Полоса в 25 мм (1 дюйм) с каждой стороны от сварочного шва должна быть отшлифована до блестящего металла.

Проходящая температура должна, быть 80 и максимально 120°C (175-250°F)

Nicrofer 7016 TiNb следует отжигать и обрабатывать перед свариванием. Послесварочная обработка проводится после дисперсионного затвердения.

Для ДСВЭ и ДСПЭ сваривания обязательно использование электродов Nicrofer S 7020 (W.-Nr. 2,4806, SG NiCr20Nb, AWS A5, 14 ERNiCrFe-7).

Для последней газозащитной сварки реко-мендуется использовать электрод (W.-Nr. 2.4648, EL NiCr19Nb).

Для создания оптимальной коррозионной стойкости предпочтительно использовать ДСВЭ.

Рис. 3 - Комбинации термообработки.

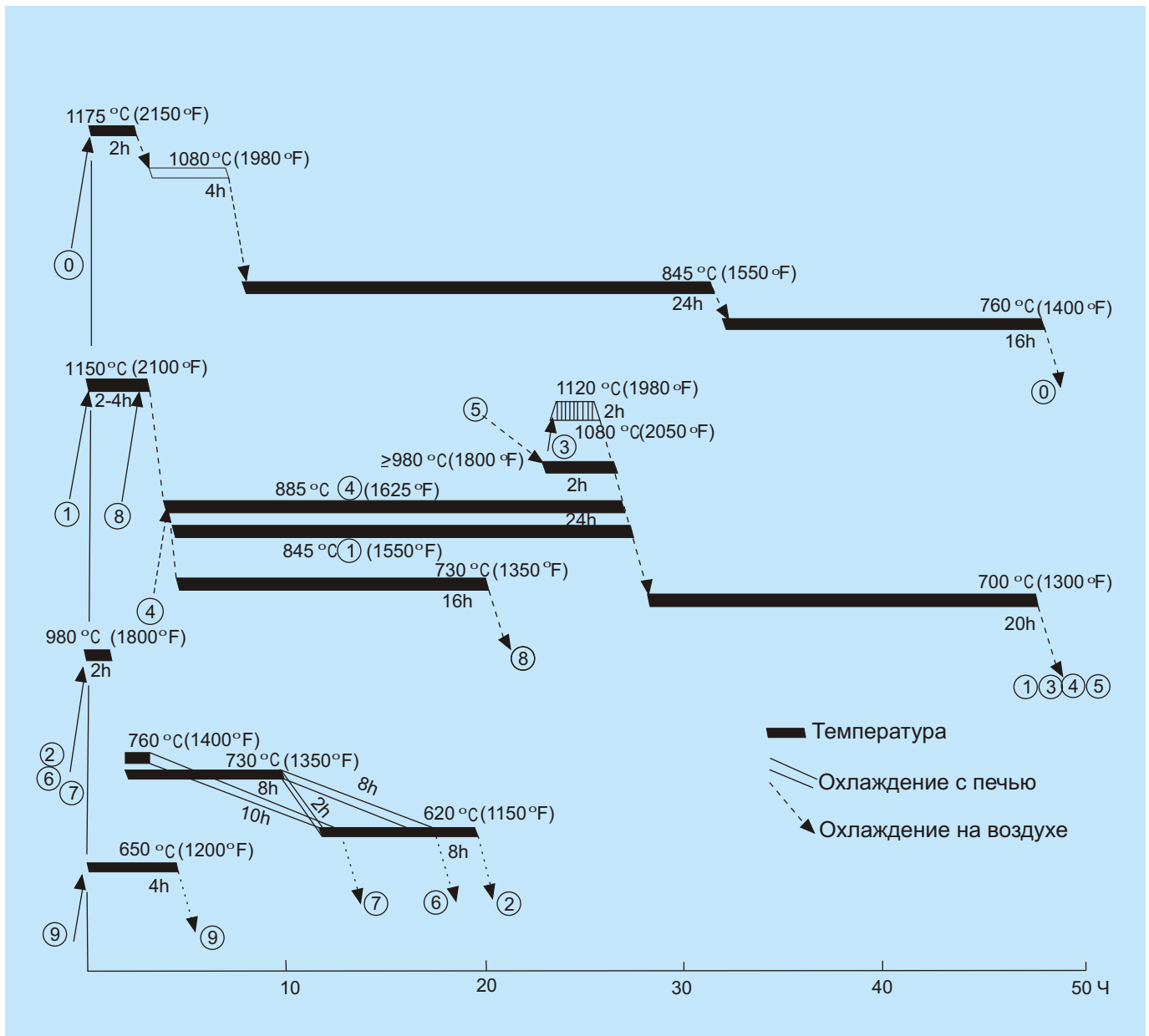


Таблица 6 - Комбинации термообработки 0-9 (°C)

№	отжиг	Растворение	вВыравнивание выдержки	Стабилизирующий отжиг	дисперсионное Упрочнение	стандарты	
						ASTM	AMS
0	1175°C 2ч AC	1080°C 4ч AC		845°C 24 AC	760°C 16ч AC	B 637	-
1		1150°C 4ч AC		845°C 24 AC	700°C 20ч AC	B 637	5668
2		1080 - 1120°C 2ч AC			700°C 20ч AC	B 637	-
3			885°C 24ч AC		700°C 20ч AC	-	5667
4	980°C				700°C 20ч AC	-	5542 5582
5		1150°C 15			730°C 16ч AC	-	5698
6		980°C 1ч AC			730°C 8ч FC 2ч До 620°C 8ч AC	B 637	5598
7		980°C 1ч AC			730°C 8ч FC 10ч До 620°C AC	-	5669 5670 5671 5747
8		980°C 1ч AC			760°C 1ч FC 10ч До 620°C AC	-	-
9					650°C 4ч	-	5699

Таблица 7 - Комбинации термообработки 0-9 (F°)

№	отжиг	Растворение	Выравнивание выдержки	Стабилизирующий отжиг	дисперсионное Упрочнение	стандарты	
						ASTM	AMS
0	2150°F 2ч AC	1980°F 4ч AC		1550°F 24 AC	1400°F 16ч AC	B 637	-
1		2100 °F 4ч AC		1550°F 24 AC	1300°F 20ч AC	B 637	5668
2		1980- 2050 °F 2ч AC			1300°F 20ч AC	B 637	-
3			1625°F 24ч AC		1300°F 20ч AC	-	5667
4	1800°F				1300°F 20ч AC	-	5542 5582
5		2100°F 15			1350°F 16ч AC	-	5698
6		1800°F 1ч AC			1350°F 8ч FC 2ч До 620°C 8ч AC	B 637	5598
7		1800°F 1ч AC			1350°F 8ч FC 10ч До 620°C AC	-	5669 5670 5671 5747
8		1800°F 1ч AC			1400°F 1ч FC 10ч До 620°C AC	-	-
9					1200°F 4ч	-	5699

FC охлаждение с печью

AC охлаждение на воздухе

Форма поставки

Nicrofer 7016 TiNb может поставляться для производства стандартных прокатных форм

Лист/плита

(резка листов)

Условия

Горяче или холоднокатанные,
Обработанные или дисперсионно упрочненные,
травленные или механически обработанные

Толщина мм		Ширина*	Длина*
1,20 < 1,50	Х/к	2000	6000
≥ 1,50 < 6,0	Х/к	2000	5000
≥ 6,0 < 10,0	Х/к	2000	4000**
≥ 6,0 < 10,0	Г/к	2000	4000**
≥ 10,0 < 20,0	Г/к	2000	2500**
≥ 20*	Г/к	-	-

Толщина дюймы		Ширина*	Длина*
0.047 < 0,060	Х/к	80	240
≥ 0,060 < 1/4	Х/к	80	240
≥ 1/4 < 3/8	Х/к	80	160**
≥ 1/4 < 3/8	Г/к	80	160**
≥ 3/8 < 3/4	Г/к	80	100**
≥ 20*	Г/к	-	-

* другие размеры по запросу

** зависит от штучного веса

Рулоны и бухты

Горячекатанные или кованые,
Обработанные или дисперсионно
упрочненные, травленные или механически
обработанные

Наименование	Вес кг	Толщина мм	Внеш-Ø* мм	Внут-Ø* мм
Рулон	≤ 2000	≤ 130	≤ 2000	-
Бухта	≤ 2000	≤ 200	≤ 2500	по запросу
	Фунты	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Рулон	≤ 4400	≤ 5	≤ 80	-
Бухта	≤ 4400	≤ 8	≤ 100	по запросу

* другие размеры по запросу

Круг и заготовка

Условия:

Кованные, прокатанные, волоченные,
обработанные или дисперсионно упрочненные
травленные, механически обработанные,
зачищенные и грунтованные

Продукт	Кованые* мм	Вальцованные* мм	Волоченные* мм
Круглый Ø	≤ 200	15-75	12-65
Квадратный a	40-200	15-100	12-65
Плоский a x b	40-80	5-20	10-20
	x 200-600	x 120-600	x 30-80
Гексагональный S	40-80	13-50	12-60
	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Круглый Ø	≤ 8	5/8 - 3	1/2 - 2 1/2
Квадратный a	1 5/8 - 8	5/8 - 4	1/2 - 2 1/2
Плоский a x b	1 5/8 - 3 1/8	3/16 - 3/4	3/8 - 3/4
	x 8 - 24	x 5 - 24	x 1 1/2 - 3 1/8
Гексагональный S	1 5/8 - 3 1/8	1/2 - 2	1/2 - 2 3/8

* другие размеры по запросу

Ковка

Другие формы отличающиеся от дисков, рулонов,
кругов и заготовок поставляются по требованию

Лента*

Условия:

Холодный прокат, обработка, травление или светлый отжиг**

Толщина мм	Ширина мм	Мотки внутрен. Ø мм				
0,04 ≤ 0,10	30-120	100	300			
> 0,10 ≤ 0,20	4-200		300	400		
> 0,20 ≤ 0,25	4-400		300	400		
> 0,25 ≤ 0,60	5-635		300	400		
> 0,60 ≤ 1,0	8-635			400	500	
> 1,0 ≤ 2,0	15-635			400	500	600
> 2,0 -3,0	25-635			400	500	600

Толщина мм	Ширина мм	Мотки внутрен. Ø мм				
0.0016 ≤ 0,004	1.2 - 5	4	12			
> 0,004 ≤ 0,008	0.16 - 8		12	16		
> 0,008 ≤ 0,010	0.16 - 16		12	16		
> 0,010 ≤ 0,024	0.20 - 25		12	16		
> 0,024 ≤ 0.04	0.32 - 25			16	20	
> 0,04 ≤ 0,08	0.60 - 25			16	20	24
> 0,08 -0,12	1.0 - 25			16	20	24

* листы длиной от 500 до 3000 мм, отделенные от рулонов

** максимальная толщина 3,0 мм

Проволока

Условия:

Волочение, ¼ жесткости до жесткой

Светлый отжиг

Измерения:

0,01 - 12,7 мм (0,0004 ½ дюйма) диаметр в бухтах, пачках, катушках, таганах.

Присадочные материалы для сваривания

Пригодные сварочные круги и проволока доступны в стандартных размерах

Бесшовная труба

Для информации обращайтесь в представительство компании ThyssenKrupp VDM.

Сваренные трубы

Сваренные трубы можно приобрести у производителей, которые используют полуфабрикаты компании ThyssenKrupp VDM

Информация, содержащаяся в данном буклете, основана на результатах исследования и разработок, которые были в наличии во время публикации и не дает гарантий точности специфических характеристик. ThyssenKrupp VDM сохраняет за собой право на внесение изменений не фиксируя их. В буклете собрана информация доступная ThyssenKrupp VDM и компания не несет ответственность за ее достоверность. Компания несет ответственность только за условия предусмотренные в договоре о купле-продаже и особенно за выполнение общих условий продаж в том случае если компания выступает поставщиком.