

Nicrofer[®] 5219 Nb - сплав 718

Описание материала № 4027
Издание сентябрь 2003

Жаростойкий и коррозионностойкий сплав

Nicrofer[®] 5219 Nb - сплав 718

Nicrofer[®] 5219 Nb

сплав 718

Nicrofer[®] 5219 Nb - сплав 718

Nicrofer[®] 5020 hMo - сплав 50 Plus

Nicro

A company of
ThyssenKrupp
Stainless

ThyssenKrupp VDM



ThyssenKrupp VDM

Nicrofer® 5219 Nb - сплав 718

Является дисперсионотвердеющим сплавом на основе никеля-хрома-железа, который содержит значительное количество ниобия и молибдена, с одновременно сниженным содержанием алюминия и титана. Сплав обладает хорошей формуемостью в отожженном и упрочненном состоянии до 700 °C (1300°F). Сплав поставляется в отожженном или упрочненном состоянии.

Nicrofer 5219 Nb характеризуется:

- хорошими технологическими свойствами в состоянии диффузионного отжига
- хорошими механическими кратко-временными и длительными свойствами и высокими усталостной прочностью
- хорошим сопротивлением ползучести при 700°C
- хорошей коррозионной стойкостью до 1000°C
- отличными механическими свойствами при низких температурах
- отличной коррозионной стойкостью при высоких и низких температурах, а также хорошей стойкостью против коррозионного растрескивания и точечной коррозии
- хорошей свариваемостью при при-менении дуговой и контактной сварки без предрасположенности к растрескиванию к сварке

Таблица 1- Наименования и стандарты

Страна	Описание материала	Спецификация														
		Хим. состав	Трубы		Лист	Брусок	Лента	Проволока	Кованые изделия							
Станд			бесшовные	сварные												
Германия	Опис.№2.4668 NiCr19Fe19Nb5Mo3	17744 Часть1-3	17751		17750 Часть 1	17752 Часть 2	17750 Часть 1	17753** Часть 3	Часть 2							
DIN WL																
Франция AFNOR	NC19FeNb				AIR9165	AIR9165			AIR9165							
Великобр. BS	NA 51							2901 часть 5								
США ASTM	UNS NO 7718	B637*, B670*			B 670* SB 670	B 637* SB-637	B 670* SB-670		B 637* SB-687							
ASME ASME Code Case											1993 sect 1) 2206 (Sect.VII I,Div.2)	1993(sect1) 2206 (Sect.VIII,Di v.2)				
SAE AMS										5662	5589 5590	5596 5597	5662 5663 5664	5596 5597	5832	5662 5663 5664
NACE										Материал указан в MR 0175						
ISO	NiCr19Nb5Mo3															

* Для применения при высоких температурах.

** Проволочная продукция, т.е. специфицирован только как сварочный электрод

Таблица 2 - Химический состав (% по массе) согл. ASTM и SAE AMS (несколько значений аналитической границы в других спецификациях могут незначительно отличаться от этих)

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Mo	Co	Nb	Ta	Al	Ti	B	P	S	Pb	Se	Bi
min	50,0	17,0	основ- ва					2,80		4,75		0,20	0,65						
max	55,0	21,0		0,08	0,35	0,35	0,30	0,30	1,0	5,50	0,05	0,80	1,15	0,0006	0,015	0,015	5ppm	3ppm	0,3ppm

Таблица 3 - Химический состав (% по массе) согл. API спецификация 6A 718 (120 ksi предел прочности при растяжении, 32 HRC) для применений в средах H₂S, CO₂ и Cl-содержащих (спецификация CMS-Z1 CGU.O).

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Mo	Co	Nb+Ta	Al	Ti	B	P	S	Pb	Se	Bi
min	50,0	17,0	основ- ва					2,80		4,87	0,40	0,80						
max	55,0	21,0		0,0045	0,35	0,35	0,23	3,30	1,0	5,20	0,60	1,15	0,0006	0,01	0,01	10ppm	5ppm	0,5ppm

При использовании в условиях коррозии, количество определенных легирующих элементов находится в более узких границах. Это касается особенно углерода и ниобия, но также алюминия и титана, как показывает сравнение соответствующих диапазонов состава в таблицах 2 и 3. Целью этого ограничения является оптимизация структуры и механических свойств, ввиду предусмотренного применения.

Так, например, для применения при высоких температурах лучше всего подходят сплавы, содержащие углерод и ниобий близ верхней границы согласно ASTM, в то время как минимальные содержания углерода и ниобия дают в результате структуру материала, которая лучше соответствует требованиям коррозионных условий эксплуатации.

ThyssenKrupp VDM задает узкие внутренние теоретические границы, чтобы установить, что химический состав произведенных и поставленных сплавов оптимально согласован с требованиями соответствующего предусмотренного применения.

Таблица 4 - Типичные физические свойства при комнатной и повышенной температурах.

Плотность	8,2 г/см ³	0,30 ф/дм ³
Область плавления	1260-1340°C	1300-2440°C
Проницаемость при 15,9 кА/м при 20°C (контрольная цифра)	1,001	1,001
Температура Кюри:		
в состоянии диффузионного отжига	-195°C	-320°F
в сост.диффуз.отжига и отвержденном	-112°C	-170°F

Температура (Т)		Удельная теплоемкость		Теплопроводность		Электрическое сопротивление		Модуль упругости		Коэффициент расширения от 20°C до Т	
°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
20	68	432	0,103	11,1	77	123	738	205	29,7		
93	200		0,105		84		745		29,0		7,0
100	212	440		12,2		124		199		12,6	
200	392	462		13,6		126		192		13,4	
204	400		0,110		95		758		27,8		7,5
300	472	488		15,2		128		187		13,8	
316	500		0,117		108		771		26,9		7,7
400	752	510		17,0		130		181		14,1	
427	800		0,124		122		782		26,1		7,9
500	932	540		18,9		131		175		14,4	
538	1000		0,131		137		791		24,9		8,1
600	1112	565		20,8		132		169		14,8	
649	1200		0,137		150		797		23,9		8,4
700	1292	595		22,4		133		161		15,4	
760	1400		0,145		165		802		22,5		8,8
800	1472	620		24,4		133		150		16,1	
871	1600		0,153		178		805		20,3		9,2
900	1652	650		26,1		134		136		16,8	
982	1800		0,161		192		807		17,5		
1000	1832	680		28,0		134		120			
1093	2000		1,170		205		807		14,5		
1100	2012	715				134		100			

Механические свойства

Следующие механические свойства Nicrofer 5219 Nb действуют для материала, прошедшего горячую и холодную обработку, в состоянии диффузионного отжига или состоянии диффузионного отжига с последующим дисперсионным упрочнением, в данных измерениях. Материал с определенными свойствами кроме приведенных областей размеров (см. Готовность к использованию) следует согласовывать отдельно.

Таблица 5 - Механические свойства при комнатной температуре согласно AMS или типичных спецификаций для применений в нефтяной и газовой промышленности, минимальные значения.

Продукт	Термообработка ¹⁾	Размеры		Предел Прочности		Предел Текучести		Относит. удлинение δ_{50} %	Относительное сужение ψ %	Твердость по Бринеллю ²⁾ HB	Размер зерна Мкм	Спецификация	
		Мм	Дм.	σ_B Н/Мм ²	$\sigma_{0.2}$ Н/Мм ²	$\sigma_{0.2}$ Н/Мм ²	$\sigma_{0.2}$ Н/Мм ²						
Лист, Полоса и Пластина	Обработка на тв. Раствор 960°C (1760°F)	≤ 4,75	≤ 3/16	965	140	550	80	30		< 240	≤ 45	AMS 5596	
		> 4,75	> 3/16	1035	150	725	105			< 260	≤ 90		
	+Дисп. Упр. 720/620°C (1330/1150°F)				1240	180	1035	150	12		> 350		
	Обработка на тв. Раствор 1065°C (1950°F)			965	140	520	75	30		> 260	≤ 127		AMS 5597
+Дисп. Упр. 760/650°C (1400/1200°F)				1240	180	1035	150	15		> 368			
Бруски кованые изделия, Бухты	Обработка на тв. Раствор 940-1000°C (1720-1830°F)	≤ 58см ²	≤ 9дм ²								≤ 64	AMS 5662	
		> 58см ²	≤ 9дм ²								≤ 277		≤ 90
	+Дисп. Упр. 720-760°C / 620-650°C (1330-1400°F / 1150-1200°F)		вдоль		1275	185	1035	150	12	15	> 331	AMS 5663	
	ков.: в д. - поп.		1240	180	10	12							
	брус.: поп.		1240	180	6	8							
	Обработка на тв. Раствор 1065°C (1950°F)										≤ 248	≤ 127	AMS 5664
+Дисп. Упр. 760/650°C (1400/1200°F)		≤ 250								≥ 341			
		бруски		1240	180	1035	150	10	12				
		ков.изд.						12	15				
Бруски и прутки	Обработка на тв. Раствор 1021-1052°C (1870-1925°F) +Дисп. Упр. 621- 843°C (1150-1550°F)			655	95	552	95	20	60	≤ 363 (40 HRC Max.)	ASTM 3	-	
				1034	150	862 - 1000	150	20	40			-	
	Или 774-802°C (1425-1475°F)		1069	155	965 - 1034	155	17	25					
Сварочный электрод	Со снятыми напряж. 960°C (1760°F)	≤ 4,75	≤ 3/16									AMS 5832	

¹⁾ Точные условия указаны в таблице 11.

²⁾ Согласно NACE Standard MR 0175 те полуфабрикаты Nicrofer 5219 допустимы, которые выполняют следующие пять условий: 1) диффузионный отжиг с 35 HRC максимум; 2) горячая обработка давлением с 35 HRC максимум; 3) горячая обработка и упрочнение с 35 HRC максимум; 4) диффузионный отжиг и упрочнение с 40 HRC максимум; 5) литые, с диффузионным отжигом и упрочнением с 40 HRC максимум.

Таблица 6 - Средние значения для механических свойств и твердости партии изделий прутков сплава Nicrofer 5218 Nb в состоянии диффузионного отжига и состоянии дисперсионного упрочнения.

Диаметр прутков Мм	Предел Прочности		Предел текучести		Предельное удлинение в 4D δ_{50} %	Относит. Сужение ψ %	V-ударная вязкость по Шарпи при +59 °C		Твердость	
	Н/Мм ²						Фут-фунт	J	НВ	HRC
≤ 50	1242		910		31			88	361	38
> 50-≤ 100	1233		914		30			95	336	37
>100-≤ 150	1221		924		29			95	354	37
> 150	1206		923		28			82	358	38
Требования в соответствии со спец. CMS-Z1 CGU.0	1035 мин.	150 мин.	827-1001	130-145	20 мин.	25 мин.	30 мин.	42 мин.	298-363	32-40

После дисперсионного упрочнения полуфабрикат имеет следующие механические свойства при повышенной температуре.

Таблица 7 - Механические свойства для дисперсионно - упрочненного материала при повышенной температуре, минимальные значения.

Изделие	Направл. тестирования	Темп. тестир.	Размер		Предел прочности		Предел текучести		Относит. удлин. δ_{50} %	Отно-сит. сужение ψ %	Спецификация
			Мм		σ_b Н/мм ²	Ksi	$\sigma_{0,2}$ Н/мм ²	Ksi			
Лист, Лента, Полоса		650 °C (1200°F)	< 0,38	<0,015	965	140	795	115	5		AMS 5595
			0,38 - ≤ 0,62	0,015-≤0,025							
			> 0,62	>0,025							
Брусok	вдоль поперек	650 °C (1200°F)			1000	145	825	120	12	15	AMS 5662
					965	140	860	125	6	8	
Ков.изд.	вдоль/поп.				965	140	860	125	12	12	AMS 5663

Таблица 8 - Свойства усталостной прочности для затвердевшего материала при повышенной температуре, минимальные значения.

Изделие	Направл. тестирования	Темп. тестир.	Размер		Постоянная нагрузка		Время, ч	Относит. удлин. δ_{50} %	Спецификация
			Мм	Дм.	Н/мм ²	Ksi			
Лист, Лента, Полоса		650 °C (1200°F)	< 0,38	<0,015	655	95	23		AMS 5595
			0,38 - ≤ 0,62	0,015-≤0,025				4	
			> 0,62	>0,025				4	
Брусok	вдоль поперек	650 °C (1200°F)			690	100			AMS 5662
					690	100	23	5	
Ков.изд.	вдоль/поп.				690	100	23	5	AMS 5663

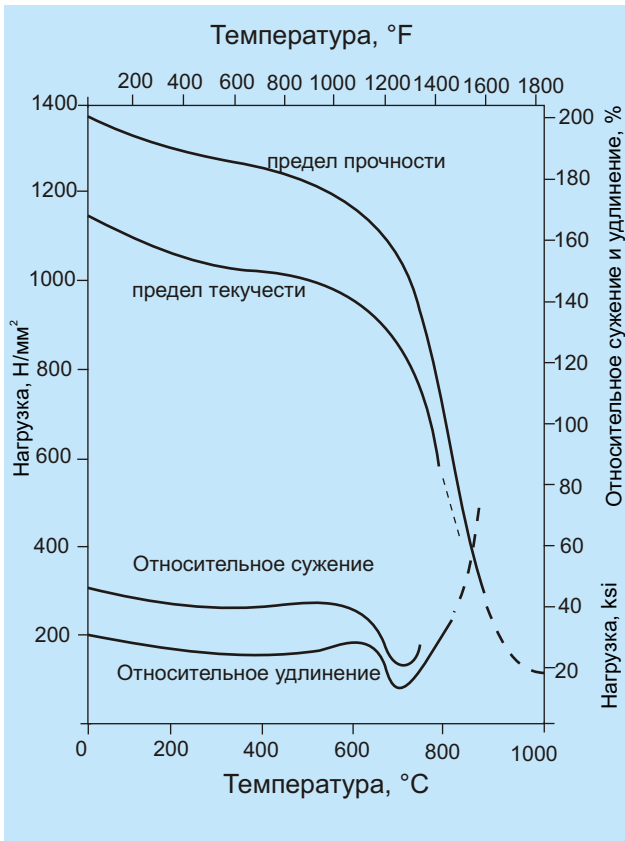


Рис. 1 - Типичные кратковременные свойства при комнатной и повышенных температурах листов из сплава Nicrofer 5219 Nb обработанного на твердый раствор и дисперсионно упрочненного.

Рисунки 1 - 3 демонстрируют типичные кратковременные и длительные механические свойства при повышенных температурах сплава Nicrofer 5219 Nb обработанного на твердый раствор и дисперсионно упрочненного.

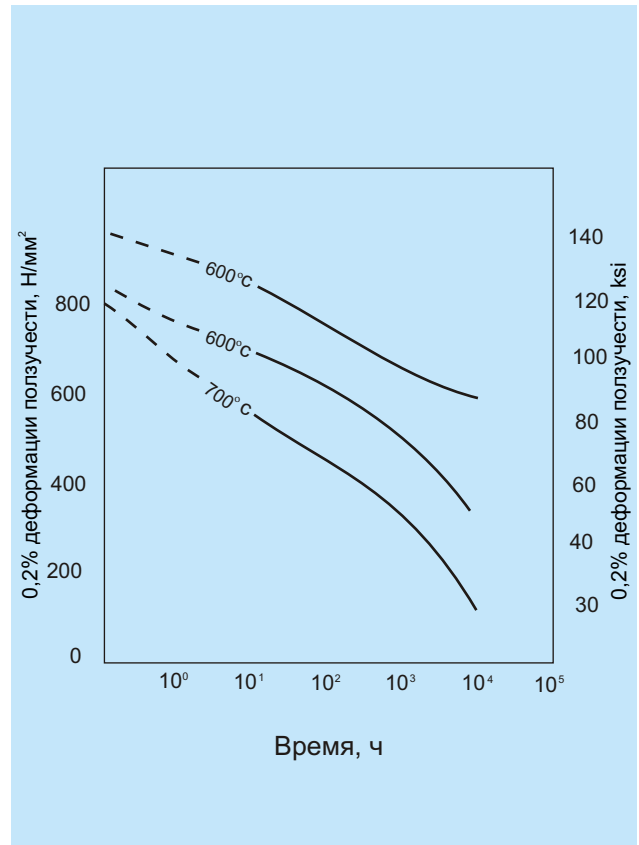


Рис. 2 - Типичный 0,2% предел текучести при повышенных температурах сплава Nicrofer 5219 Nb обработанного на твердый раствор и дисперсионно упрочненного.

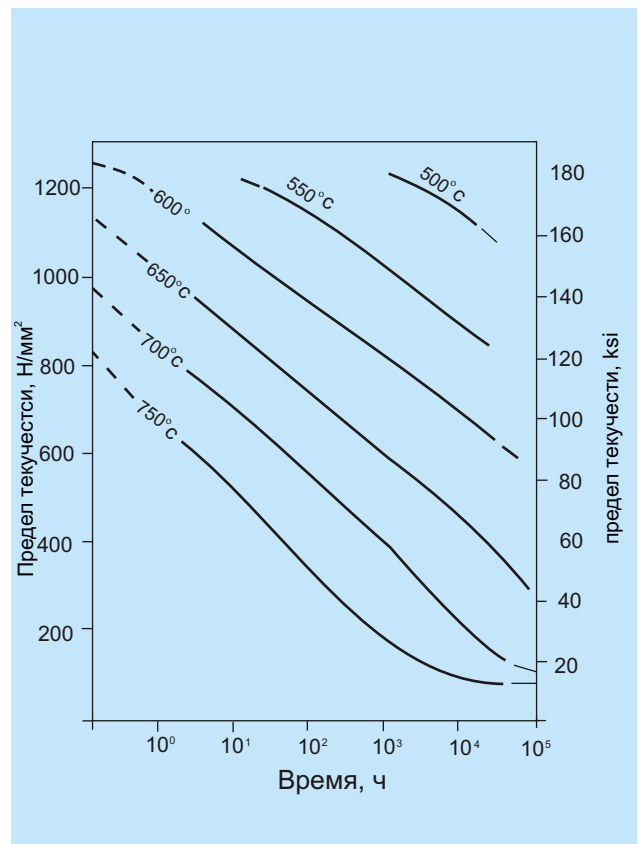


Рис. 3 - Типичная усталостная прочность при повышенных температурах сплава Nicrofer 5219 Nb обработанного на твердый раствор и дисперсионно упрочненного.

ISO V-Ударная вязкость

Типичная спецификация для применения в нефтяной и газовой сферах брусков Alloy 718 в состоянии термообработки по Practice E

(более точные данные в таблице 11) предъявляет следующие минимальные требования к ударной вязкости и расширению:

Таблица 6 - Требования к ISO V-ударной вязкости согласно Practice E для прутков и брусков с термообработкой для работы в среде H₂S.

Эксперимент по определению ударной вязкости, V-тест Шарпи при -59°C	
Фут -фунт (Дж)	Расширение, дм. (Мм)
Поперек (брусok ≥ 3 дм.): > 35 (47) среднее значение 3 показателей > 30 (41) каждого отдельного показателя	
Вдоль (брусok < 3 дм.): > 52 (71) среднее значение 3 показателей > 45 (61) каждого отдельного показателя	> 0,015 (0,38)
Поперек или вдоль > 30 (41) среднее значение 3 показателей > 25 (34) каждого отдельного показателя	

Тест на изгиб

Деформация без растрескивания на 180° листов из Nicrofer 5219 Nb обработанного на твердый раствор с минимальным радиусом изгиба соответствует следующим значениям:

Для толщины листа (t) для t:<1,27мм (0,05 дм.)
Или двойной толщины листа (2t) для t:1,27 до 4,76 мм (0.50-0.187 дм.).

Характер структуры

Nicrofer 5219 Nb имеет аустенитную структуру с большим количеством фаз которые имеют как определенную морфологию и образуются в определенной области температур, так что могут быть определены при помощи знания проходящих термических процессов. Обычно присутствующие фазы, их вид (структурный вид проявления), а также температуры, при которых они образуются, перечислены в таблице 10.

Таблица 10 - Сплав Nicrofer 5219 Nb сплав 718 фазы и их признаки.

Фаза	Вид	Процесс
Карбиды	Дискретные частицы	Образуется во время затвердения; стабильность до прим. 1205 °C.
Фазы Лавеса ([Fe,Cr]Nb) шестиугольная	Круглый	Образуется во время затвердения в междендритных областях высоких концентраций ниобия; стабильность до 1177 °C
δ (Ni ₃ Nb) ромбическая	Игловидный или шаровидный	Образуется во время затвердения в областях высоких концентраций ниобия; стабильность до 1010°C в полуфабрикате и до 1120°C в литейных продуктах. Выпадает в зависимости от содержания ниобия сплава при 845-925°C.
γ'' (Ni ₃ Nb,Al,Ti) тетрагональная объемноцентрированная	В виде диска	Образуется во время охлаждения / термообработки в области температур от 600 до 925°C, при чем размер выделения уменьшается с понижением температур.
γ' (Ni ₃ Al,Nb) кубически-гранецентрированная	Шарообразный	Образуется во время охлаждения / термообработки в области температур от 620 до 850°C.

* согласно ASME Speciality Handbook "Heat-Resistant Materials"

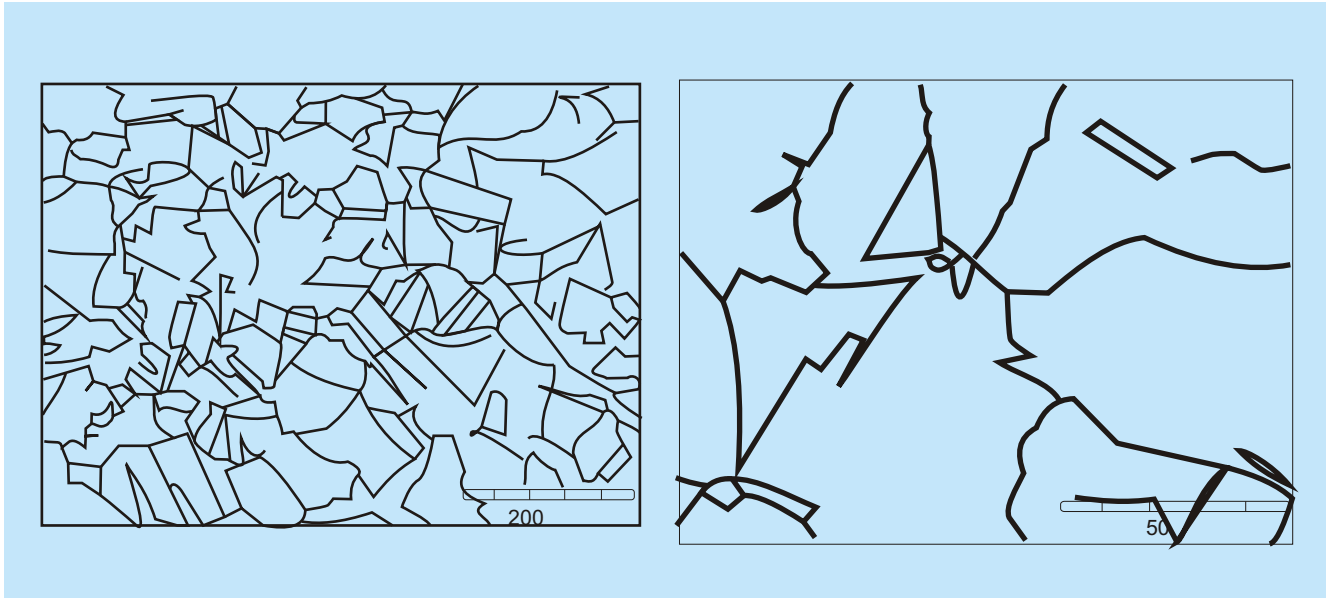


Рис.4 - Микроструктура прутков (145 мм), изготовленных из сплава Niicrofer 5219 Nb, после обработки на твердый раствор в течении 1 часа при 1036°С с последующей закалкой в воде. Вытравлен в HCl/HNO₃ согласно ASTM A 604.

Рисунок 4 демонстрирует картину микроструктуры прутков из Niicrofer 5219 Nb сплав 718, обработанных на твердый раствор (145 мм), при 100- и 500-кратного увеличении.

Рисунок 5 демонстрирует стабильность фаз литого материала из Niicrofer 5219 Nb сплав 718 в областях температур, которые будут применяться при термообработке изделий для их использования в нефте- и газодобыче, особенно в «кислые» средах, содержащих H₂S.

Вследствие различных термообработок могут быть достигнуты ступенчатые механические свойства материала. Отличные механические свойства Niicrofer 5219 Nb являются результатом образования γ'' фазы во время дисперсионного упрочнения, которая, как и в других содержащих ниобий суперсплавах, является причиной стойкости сплава в упрочненном состоянии против растрескивания от старения. Дальнейшие подробности указаны в разделе **“Термическая обработка”**.

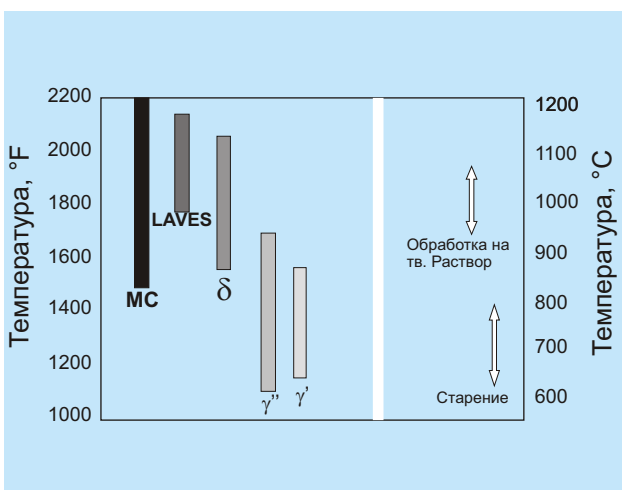


Рис. 5 - Фазовая стабильность Niicrofer 5219 Nb сплав 718 в отлитом состоянии обычно в используемых при производстве полуфабрикатов областей температуры для термообработки.

Коррозионная стойкость

Вследствие высокого содержания хрома и молибдена Nicrofer 5219 Nb обладает во многих средах отличной стойкостью против локальной коррозии, такой как точечная коррозия, как в области высоких так и низких температур. Вследствие высокого содержания хрома Nicrofer 5219 Nb имеет также высокую стойкость против коррозионного растрескивания, что делает его одним из выдающихся материалов для применения в средах, применяющихся в нефтедобыче, в средах кислого газа, содержащих H_2S и морской технике.

Nicrofer 5219 Nb применяется главным образом при температурах до $700^{\circ}C$ ($1300^{\circ}F$). Его коррозионная стойкость до $1000^{\circ}C$ ($1830^{\circ}F$) примечательна в сравнении с таковой других упрочненных γ -фазами суперсплавов.

Области применения

Благодаря его высокотемпературной прочности до $700^{\circ}C$ ($1300^{\circ}F$), его великолепной коррозионной стойкости и его хорошей обрабатываемости Nicrofer 5219 Nb имеет широкую сферу применения. Изначально его применяли для рабочих колес турбины в реактивных двигателях самолетов, где решающее значение имеют предел ползучести и усталостная прочность.

По причине его свойств, хорошей обрабатываемости и рентабельности, материал находит широкое применение в самых различных сферах применения, таких как: находящиеся под большим напряжением вращающиеся и не вращающиеся компоненты в газовых турбинах и ракетных двигателях, высокопрочные винты, шпонки и крепежные детали, компоненты в ядерных реакторах и космических кораблях, а также жаропрочных инструментах для трубопраткововых прессов.

В качестве важных новых областей применения следует упомянуть о валах насосов и других, находящихся под большим напряжением компонентах для бурильных установок в прибрежной области и в морской технике. Особенно этот сплав оказался пригоден для буровых установок кислого газа (H_2S , CO_2 и хлориды) при добыче нефти и газа.

Плавление

Nicrofer 5219 Nb alloy 718 расплавляется в вакуумно-индукционных печах и отливается в электроды, которые переплавляются способом электрошлакового переплава.

Как альтернатива, переплавка может проводиться также способом вакуумно-дугового переплава.

Для вращающихся деталей в авиационной промышленности применяется трижды переплавленный материал.

Гомогенизация

Перед термообработкой блоки медленно разогревают для гомогенизации структуры под контролем до $1180^{\circ}C$ ($2155^{\circ}F$). Целью такого отжига, который может продолжаться до 50 часов, является уменьшение Nb- и Ti- концентрации в междендритных зонах структуры отливки, а также раствора гексагональной фазы Лавеса (с 10 до 12% Nb) и игольчатой ромбической -фазы Ni_3Nb (с 8 до 10% Nb).

Следует избегать быстрого нагревания, так как оно является причиной локальных оплавлений, которое со своей стороны из-за реакции фаза Лавеса \rightarrow -фаза + жидкая фаза может привести к образованию вредной жидкой фазы на границах зерна.

Обработка и термическая обработка

Nicrofer 5219 Nb сплав 718 хорошо поддается горячей и холодной обработке и резанию.

Нагрев

Обрабатываемые изделия до и во время термообработки должны оставаться чистыми и свободными от каких-либо примесей.

Сера, фосфор, свинец и другие легкоплавкие металлы могут при термообработке Nicrofer 5219 Nb привести к повреждению. Такого рода примеси могут содержаться также в красках маркировки и указания температуры или карандашах а также в смазках, маслах, горячем и т.п.

Горячее должно иметь по возможности низкое содержание серы. Природный газ должен содержать менее 0,1% по массе серы. Также подходит жидкое топливо с максимум 0,5% по массе содержанием серы.

Термообработку следует проводить предпочтительно в электропечах под вакуумом или защитным газом ввиду точной подачи тепла и свободы от примесей.

Термообработка на воздухе и разогреваемых газом печах также приемлемы, если загрязнения находятся на низком уровне, так чтобы атмосферу в печи можно было установить нейтральной до слегка окислительной. Следует избегать чередования атмосферы печи между окислительной и восстановительной. Также обрабатываемые изделия не должны напрямую подвергаться воздействию огня.

Горячая обработка давлением

Горячая обработка давлением должна проводиться главным образом сразу после гомогенизации с последующим охлаждением на воздухе. Она должна проходить равномерно, чтобы получить однородную структуру и избежать образования дуплексной структуры зерна.

Холодная обработка давлением

Холодная обработка давлением должна производиться над материалом с диффузионным давлением. При выборе устройств для деформирования следует учитывать, что Nicrofer 5219 Nb имеет большую склонность к наклепу чем аустенитные нержавеющие стали.

Термообработка

Различные условия диффузионного отжига и дисперсионного упрочнения комбинируются, как указано в таблице 11, чтобы получить требуемые свойства материала. Так как для образования σ' фазы скорость диффузии относительно низкая, для достижения оптимальных механических показателей сплава Nicrofer 5219 Nb требуются продолжительные периоды дисперсионного упрочнения.

При каждой термообработке (кроме гомогенизации) материал следует помещать в печь, уже разогретую до максимальной температуры отжига (температура деформации).

При нагреве следует соблюдать указанные выше требования к чистоте (раздел “Нагрев”).

Традиционными видами термообработки являются:

Способ А

Мелкозернистая структура является собой лучшую комбинацию предела прочности, ударной вязкости и вязкости при ползучести и разрывах, а также прочности на разрыв, предела текучести и предела усталостной прочности при комнатной температуре.

Способ В

Вариант способа А с расширенной областью температур.

Способ С

Специальный отжиг гомогенизации для больших поперечных сечений. Он вырабатывает самую высокую пластичность и ударную вязкость, которые ведут к ограниченным показателям прочности и склонности к хрупкости.

Способ D

Термообработка для прутков с диаметром ≤ 215 мм (8.5 дм.) для коррозионных применений в коррозионных средах при нефте- и газодобыче. Это способ вырабатывает гомогенную структуру (размер зерна согласно ASTM 3 и меньше) без выделений фазы Лавеса или игольчатой -фазы как изображено на рисунке 4.

Способ Е

Термообработка для брусков и прутков изготовленных из сплава 718 для применения в средах, содержащих H_2S .

Таблица 11 - Способы термообработки.

Способ	Диффузионный отжиг	Упрочнение
A	30 мин. - 1 час $960 \pm 15^\circ\text{C}$ ($1760 \pm 25^\circ\text{F}$) охлаждение на воздухе или в воде	$720 \pm 8^\circ\text{C}$ ($1325 \pm 15^\circ\text{F}$) 8 часов; 2 часа охлаждения печи на $620 \pm 8^\circ\text{C}$, ($1150 \pm 15^\circ\text{F}$) через 8 часов выдержки охлаждения на воздухе
B	1 час минимум $940 - 1000^\circ\text{C}$ ($1725 - 1830^\circ\text{F}$) охлаждение на воздухе или в воде	$720 - 760^\circ\text{C}$ ($1325 - 1400^\circ\text{F}$) на 8 часов; 2 часа охлаждения печи на $620 - 650^\circ\text{C}$ ($1150 - 1200^\circ\text{F}$) через 8 часов выдержки охлаждение на воздухе
C	30 мин. до 2 часов $1065 \pm 15^\circ\text{C}$ ($1950 \pm 25^\circ\text{F}$) Охлаждение на воздухе или в воде	$760 \pm 8^\circ\text{C}$ ($1400 \pm 15^\circ\text{F}$) на 10 часов; 2 часа охлаждения печи на $650 \pm 8^\circ\text{C}$ ($1200 \pm 15^\circ\text{F}$) через 8 часов выдержки охлаждение на воздухе
D	1 час 1038°C (1900°F) Охлаждение в воде	787°C (1500°F) на 6 часов охлаждение на воздухе
E	1 до 2 часов $1021 - 1052^\circ\text{C}$ ($1870 - 1925^\circ\text{F}$) охлаждение в воде	С 6 до 8 часов либо при $621 - 843^\circ\text{C}$ ($1150 - 1550^\circ\text{F}$) с охлаждением на воздухе либо при $774 - 802^\circ\text{C}$ ($1425 - 1475^\circ\text{F}$) с охлаждением на воздухе

Удаление окалины и травление

Окиси сплава Nicrofer 5219 Nb и цвета побежалости в области сварки проявляются прочнее чем у нержавеющей сталей. Их можно удалить шлифованием очень мелкими абразивными лентами или шлифовальными кругами. Цвета побежалости следует избегать.

Перед травлением в смеси азотной и плавиковой кислот, которое должно происходить при точном соблюдении времени и температуры травления, слой окиси должен быть удален пескоструйной обработкой или осторожным шлифованием или предварительно обработаны.

Режущая обработка

Механическая обработка Nicrofer 5219 Nb должна происходить после обработки на твердый раствор. Из-за повышенной в сравнении с низколегированными аустенитными высококачественными сталями склонности к наклепу, следует выбирать низкую скорость резания и режущий инструмент должен постоянно оставаться в контакте с изделием. Важна достаточная глубина резания, чтобы резать прежде возникшую нагартованную зону.

Хотя материал лучше поддается обработке в состоянии диффузионного отжига и также меньше нагрузка на инструмент, в упрочненном состоянии достигается лучше качество поверхности. Лучшие результаты в отношении к качеству поверхности готового продукта достигаются предварительной грубой обработкой перед упрочнением и окончательной обработкой на твердый раствор после упрочнения.

Сварка

При сварке никелевых сплавов и особых высококачественных сталей следует учитывать нижеприведенные указания:

Рабочее место

Следует предусмотреть отдельно устроенное рабочее место, отчетливо отделенное от зон, где обрабатывается углеродистая сталь. Предусмотреть самую тщательную чистоту и защитные перегородки, избегать сквозняка.

Вспомогательные средства, одежда

Использовать чистые тонкие кожаные перчатки, чистую рабочую одежду.

Инструменты и машины

Инструменты, которые используются исключительно для никелевых сплавов и специальных высококачественных сталей, нельзя использовать для других материалов. Следует использовать исключительно щетки из нержавеющей стали. Перерабатывающие и обрабатывающие станки, такие как ножницы, тиски или валики следует так оборудовать (войлок, картон, фольга), чтобы из-за этих установок нельзя было повредить поверхность обрабатываемого изделия вдавливанием частичек железа, что, в конечном счете, может привести к коррозии.

Очистка

Очистка основного материала в области шва (с двух сторон) и присадки для сварки (напр., сварочный пруток) должна производиться ацетоном.

Нельзя использовать трихлорэтилен "TRI", перхлорэтилен "PER" и тетрахлорид "TETRA".

Подготовка сварного шва

Подготовка сварного шва следует проводить преимущественно механическим путем обточкой, фрезерованием или строганием. Возможны также абразивная резка струей воды или плазменная резка. В последнем случае, однако, кант среза (кромка разделки шва) должен быть аккуратно доработан. Допускается осторожное шлифование без перегрева.

Угол раскрытия кромок

Отличие физической характеристики никелевых сплавов и особых высококачественных сталей проявляется в общих чертах, в сравнении с углеродистой сталью, в меньшей теплопроводности и более высоком тепловом расширении.

Эти свойства следует учитывать, обеспечивая более большой зазор сварочного корня или отверстия (1 -3 мм), в то время как, по причине вязкости в расплавленном состоянии и тенденции к усадке, предусмотрен более большой угол раскрытия кромок от 60° до 70°C как показано на рисунке 6 для стыковых швов.

Сварочная дуга

Сварочную дугу можно направлять только в области шва, например, на кромки разделки шва или на концевую планку, но не на поверхности конструктивного элемента. Места контакта являются местами, на которых прежде всего может проявиться коррозия.

Способ сварки

Материал Nicrofer 5219 Nb можно сваривать всеми традиционными способами сварки: сварка неплавящимся, плавящимся электродом, разогретым электродом, плазменная, в активном газе, под флюсом и электродуговая сварка. Если применяется газоэлектрическая сварка, предпочтительна импульсная техника.

Для сварки следует предоставлять материал в состоянии диффузионного отжига и свободным от окалины, смазки и маркировки. При сварке корня следует следить за лучшей защитой корня (аргон 99,99), так что после сварки корней сварной шов свободен от окисей. Возможные цвета побежалости предпочтительно удалять щеткой из нержавеющей стали, пока сварной шов еще горячий.

Материал для сварки

При выборе стержневых электродов с покрытием предпочтительны электроды с идентичным химическим составом по отношению к основному материалу.

Стержневые электроды Nicrofer S 5219 FM 718
оп. № 2.4667
SG-NiCr19NbMoTi
AWS A5.14: ERNiFeCr-2
BS 2901 Part 5: NA51

Параметры сварки и ее влияние (подача тепла)

Следует заботиться о том, чтобы работа проводилась с направленным вводом тепла и минимальной подачей тепла. Следует стремиться к методу сварки «валик». Температура прослоек не должна превышать 100°C.

Требуется постоянный контроль параметров сварки.

Количество вводимого тепла Q вычисляется по следующей формуле:

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \text{ (кДж/см)}$$

U = электрическое напряжение дуги, в вольтах
 I = электрический ток сваривания, в амперах
 v = скорость сваривания, измеряется в см/мин.

При проведении сварочных работ рекомендуется проконсультироваться с Лабораторией сваривания компании ThyssenKrupp VDM.

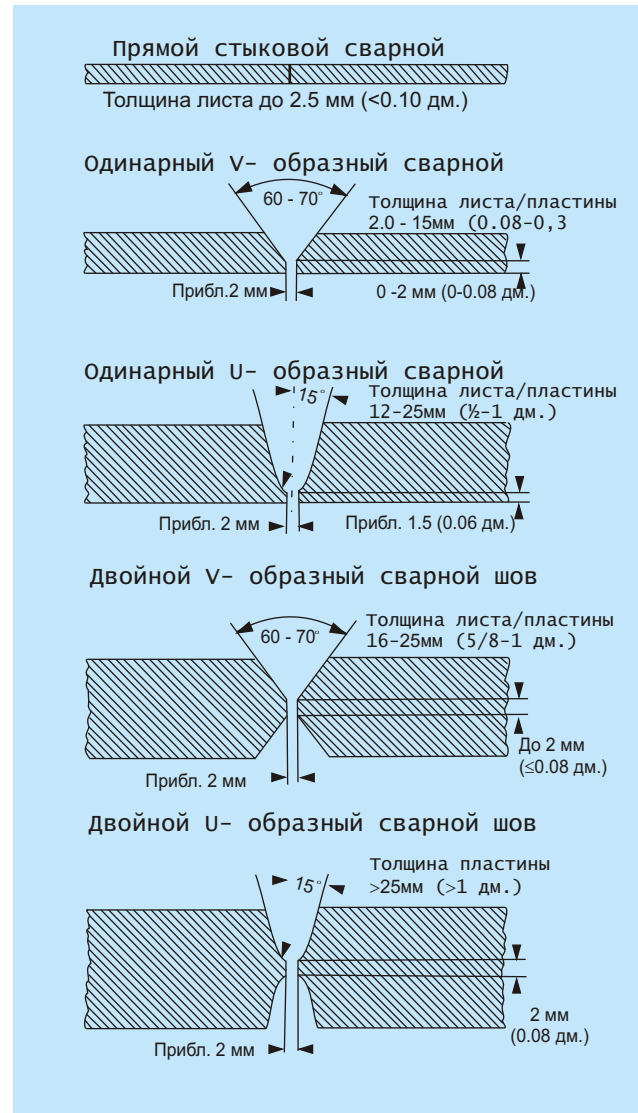


Рис. 6 - Подготовка кромок для сваривания никелевых сплавов и специальной нержавеющей стали

Таблица 12 - Параметры сварки (контрольные цифры).

Толщ. листа мм	Способ сварки	Присадка		Параметры сварки				Скор. Сварки см/мин.	Порошок/ защит.газ кол-во л/мин.	Плазм. газ кол-во л/мин.	Сопло плазм. горелки диаметр мм
		Диам. мм	Скор. м/мин	Сварочный корень		Наполняющий и покровный слой					
				A	V	A	V				
3,0	m-WIG (непл. электр.вруч.)	2,0		90	10	110- 120	11	10-15	ArW 3 ¹⁾ 8-10		
6,0	m-WIG	2,0- 2,4		100- 110	10	120- 130	12	10-15	ArW 3 ¹⁾ 8-10		
8,0	m-WIG	2,4		110- 120	11	130- 140	12	10-15	ArW 3 ¹⁾ 8-10		
10,0	m-WIG	2,4		110- 120	11	130- 140	12	10-15	ArW 3 ¹⁾ 8-10		
3,0	WIG -auto	1,2	0,5	вручную		150	10	25	ArW 3 ¹⁾ 15-20		
5,0	WIG -auto	1,2	0,5	вручную		150	10	25	ArW 3 ¹⁾ 15-20		
4,0	Плазма	1,2	0,5	165	25			25	ArW 3 ¹⁾ 30	ArW 3 ¹⁾ 3,0	3,2
6,0	Плазма	1,2	0,5	190- 200	25			25	ArW 3 ¹⁾ 30	ArW 3 ¹⁾ 3,5	3,2
8,0	MIG/MAG ²⁾ (плав.элект./ плав.элект.в углек.газе)	1,0	пр.8	WIG		130- 140	23-27	24-30	ArW 3 ¹⁾ 18-20		
10,0	MIG/MAG ²⁾	1,2	пр.5	WIG		130- 150	23-27	20-26	ArW 3 ¹⁾ 18-20		

1)аргон или аргон + 3% водород

2)при сварке MAG применяется защитный газ CRONIGON He30S. Рекомендуется консультация с лабораторией по сварке

При всех сварках в защитном газе следует следить за достаточной защитой корня!

Эти данные являются лишь исходными и должны облегчить настройку сварочных машин!

Таблица 8 - Подача тепла (ориентировочные значения).

Способ сварки	Подводимая теплота на единицу длины КДж/см
WIG Ручная, полностью механизированная	Макс. 8
WIG-HD разогр.электродом	Макс. 11
Плазма	Макс. 10

Последующая обработка (очистка щеткой, травление и термообработки)

При оптимальном проведении работ достигается желаемое состояние поверхности т.е. полная свобода от цветов пожелости в большинстве случаев чисткой щеткой непосредственно сразу после сварки, в еще теплом состоянии, без дополнительного травления.

При травлении, если оно требуется или предписано, является в общем последней рабочей операцией по сварке. Следует соблюдать указания в разделе «Удаление окалины и травление».

Как правило, термообработки не нужны ни до, ни после сварки.

Готовность к использованию

Nicrofer 5219Nb подлежит доставке в следующих стандартных полуфабрикатных формах.

Листы/ плиты

(ленточные листы см. в разделе лент)

Состояние поставки:

Горячая или холодная прокатка (Г/к, Х/к) диффузионный

Толщина мм	Г/Х	Ширина* мм	Длина* мм
1,10 < 1,50	Х/к	2000	8000
1,50 < 3,0	Х/к	2500	8000
3,0 < 7,5	Х/к	2500	8000
7,5 ≤ 25,0	Г/к	2500	8000 ²⁾
≥ 25 ¹⁾	Г/к	2500 ²⁾	8000 ²⁾

Толщина дюймы	Г/Х	Ширина* дюймы	Длина* дюймы
0.043 < 0,060	Х/к	80	320
0,060 < 0.12	Х/к	100	320
0.12 < 0.30	Х/к	100	320
0.30 ≤ 1.0	Г/к	100	320 ²⁾
≥ 1.0 ¹⁾	Г/к	100 ²⁾	320 ²⁾

1) другие размеры по запросу

2) зависит от штучного веса

Рулоны и бухты

Состояние поставки:

Горячекатаные или кованые, с термообработкой, протравленные или обточенные

Наименование	Вес кг	Толщина мм	Внеш-Ø* мм	Внут-Ø* мм
Рулон	≤ 10000	≤ 300	≤ 3000	-
Бухта	≤ 3000	≤ 200	≤ 2500	по запросу
	Фунты	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Рулон	≤ 22000	≤ 12	≤ 120	-
Бухта	≤ 6600	≤ 8	≤ 100	по запросу

*Другие размеры по запросу

Прутки и бруски

Условия:

Ковка, прокат, перетяжка, термическая обработка, травление, станочная обработка, чистка и шлифовка.

Продукт	Кованые* мм	Вальцованные* мм	Волоочные* мм
Прут круглый Ø	≤ 203	8-60	< 50
Брус квадратный а	40-175 (<250) ²⁾	15-175	Не стандарт.

	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Прут круглый Ø	≤ 8	5/16 - 2 3/8	< 2
Брус квадратный а	1 5/8 - 7 (<10) ²⁾	10/16 - 7	Не стандарт.

* другие размеры по запросу

Поковка

Другие формы, как диски, бухты и круги поставляются под заказ. Балки и полые валы до 2 тонн штучного веса.

Лента¹⁾

Состояние поставки:

Холоднокатаные, с термообработкой и протравленные или со светлым отжигом²⁾

Толщина мм	Ширина ³⁾ мм	Мотки внутрен. Ø мм			
0,02 ≤ 0,10	4-200 ⁴⁾	300	400		
> 0,10 ≤ 0,20	4-350 ⁴⁾	300	400	500	
> 0,20 ≤ 0,25	4-750		400	500	600
> 0,25 ≤ 0,60	5-750		400	500	600
> 0,60 ≤ 1,0	8-750		400	500	600
> 1,0 ≤ 2,0	15-750		400	500	600
> 2,0 ≤ 3,0 (3,5) ²⁾	25-750		400	500	600

Толщина мм	Ширина мм	Мотки внутрен. Ø мм			
0.008 ≤ 0,004	0.16 - 8 ⁴⁾	12	16		
> 0,004 ≤ 0,008	0.16 - 14 ⁴⁾	12	16	20	
> 0,008 ≤ 0,010	0.16 - 30		16	20	24
> 0,010 ≤ 0,024	0.20 - 30		16	20	24
> 0,024 ≤ 0,04	0.32 - 30		16	20	24
> 0,04 ≤ 0,08	0.60 - 30		16	20	24
> 0,08 ≤ 0,12 (≤ 0,140) ²⁾	1.0 - 30		16	20	24

1) длина резания допустима в диапазоне от 250 до 4000 мм (10-158 дюймов)

2) максимальная толщина светлый отжиг 3,0 мм (0,120 дюймов)

3) большая ширина является объектом специального согласования

4) Большая ширина до 730 мм (29 дм.) является объектом специального согласования

Проволока

Состояние поставки:

Отполированная перетянутая, 1/4 жесткость до жесткой, отожженная до блеска.

Размеры

0,1- 12,0 мм

В бухтах, резервуарах, на катушках, на насадочном стержне.

Материалы сварки

Сварочные прутки, проволочные и полосовые электроды а также фитильные электроды поставляются во всех стандартных измерениях.

Бесшовные трубы

Для информации обращайтесь в представительство компании ThyssenKrupp VDM.

Сварные по продольным швам трубы

Сварные по продольным швам трубы можно купить у известного производителя с производством на базе исходного материала компании ThyssenKrupp VDM.