

Nicrofer[®] 7016 TiAl - сплав 751

Описание материала № 4047
Издание октябрь 2005

Суперсплав

Nicrofer[®] 7016 TiAl - сплав 751

Nicrofer[®] 7016 - T

сплав 751

Nicrofer[®] 7016 TiAl - сплав 751

Nicrofer[®] 7016 TiAl - сплав 751

Nicro

A company of
ThyssenKrupp
Stainless

ThyssenKrupp VDM



ThyssenKrupp VDM

Nicrofer 7016 TiAl - сплав 751

Nicrofer 7016 TiAl - дисперсионно упрочняющийся сплав никеля и хрома, усиленный добавлением титана, ниобия и алюминия. Сплав обладает хорошей коррозионной стойкостью при высоких и низких температурах, а также способен работать под давлением до 820 °C (1510 °F). Имеет свойства схожие со свойствами Nicrofer 7016 TiNb сплав X-750, но имеет слегка модифицированный состав, что увеличивает его стойкость на разрыв при 870 °C (1600 °F).

Может поставляться в отожженном или упрочненном виде

Nicrofer 7016 TiAl имеет следующие характеристики:

- высокий предел прочности на разрыв при 600 °C (1110 °F)
- высокое сопротивление ползучести и сопротивление разрыву при 820 °C (1510 °F)
- отличные механические свойства при низких температурах
- отличная коррозионная стойкость при высоких и низких температурах, а также стойкость коррозионному растрескиванию
- пригоден для сварки

Таблица 1 - Обозначения и стандарты

Страна Станд	Описание материала	Спецификация							
		Хим. состав	Трубы		Лист/ плита	Брусок/ пруток	Лента	Проволока	Кованые изделия
			бесшовные	сварные					
Германия	W.-Nr.2,4694								
SEW	NiCr16TiFe7 TiAl								
США	UNS NO 7751								
ASTM									
ASME									
SAE AMS									

Таблица 2 - Химический состав (% по массе)

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Ti	Nb	Al	S
min	70,0	14,0	5,0					2,00	0,70	0,90	
max		17,0	9,0	0,08	1,00	0,50	0,50	2,50	1,20	1,50	0,010

Таблица 3 - Типичные физические свойства при комнатных и высоких температурах

Плотность	8,2 г/см ³	0,296 ф/дм. ³
Область плавления	1390-1430°C	2540-2600°F
Проницаемость при 20°C	1,0035	1,0035
Температура Кюри (при дисперсионном затвердении)	-223°C	-369°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	431	0,103	10,5	73	123	743	213	30,6		
93	200		0,109		81		751				7,3
100	212	460	0,110	11,8		125				13,2	
200	392	480	0,115	13,4		127		189	27,4	13,5	
204	400		0,115		93		765				7,5
300	572	500	0,119	15,0		128				13,7	
316	600		0,120		105		776				7,6
400	752	520	0,124	16,5		130		194	28,1	13,9	
427	800		0,125		117		785				7,7
500	932	535	0,128	18,0		131				14,2	
538	1000		0,131		130		788				7,9
600	1112	560	0,134	19,8		130		180	26,1	14,8	
649	1200		0,137		143		783				8,3
700	1292	600	0,143	21,5		129		172	24,9	15,2	
760	1400		0,150		157		780				8,6
800	1472	660	0,158	23,3		129		161	23,4	15,8	
871	1600		0,171		170		774				9,0
900	1652	750	0,179	25,2		127		144	20,9	16,5	
982	1800				186		760				9,5
1000	1832			27,2		126				17,3	

Механические свойства

Следующие свойства являются типичными для круга и заготовки из Nicrofer 7016 TiAl при горячей и холодной обработке и дисперсионному упрочнению.

Таблица 4 - Типичные кратковременные механические свойства прутков и брусков после обработки на твердый раствор и упрочнения при комнатной и повышенных температурах

Условия обработки	Температура (Т)		Предел прочности		Предел текучести		Относит. Удлинение $\sigma_{50,\%}$
	°C	F	σ_B N/mm ²	ksi	$\sigma_{0,2}$ Н/мм ²	ksi	
Термическая обработка при 1200°C (2190°F) 2 часа и водяное охлаждение	20	68	782	113	391	57	42
	100	212					
	200	392	700	102	380	55	44
	300	572					
	400	752	640	93	371	54	47
	500	932					
	600	1112	600	87	360	52	47
	700	1292	593	86	350	51	17
	800	1472	577	84	340	49	7
	900	1652	316	46	243	35	34
	1000	1832	78	11	73	11	100
Термическая обработка+ дисперсионное упрочнение при 780 °C (1435°F) 4 часа и воздушное охлаждение	20	68	1075	156	716	104	24
	100	212					
	200	392	1021	148	670	97	27
	300	572					
	400	752	983	143	652	95	30
	500	932					
	600	1112	912	132	660	96	25
	700	1292	861	125	660	96	14
	800	1472	637	92	534	77	12
900	1652	35	5	271	39	29	

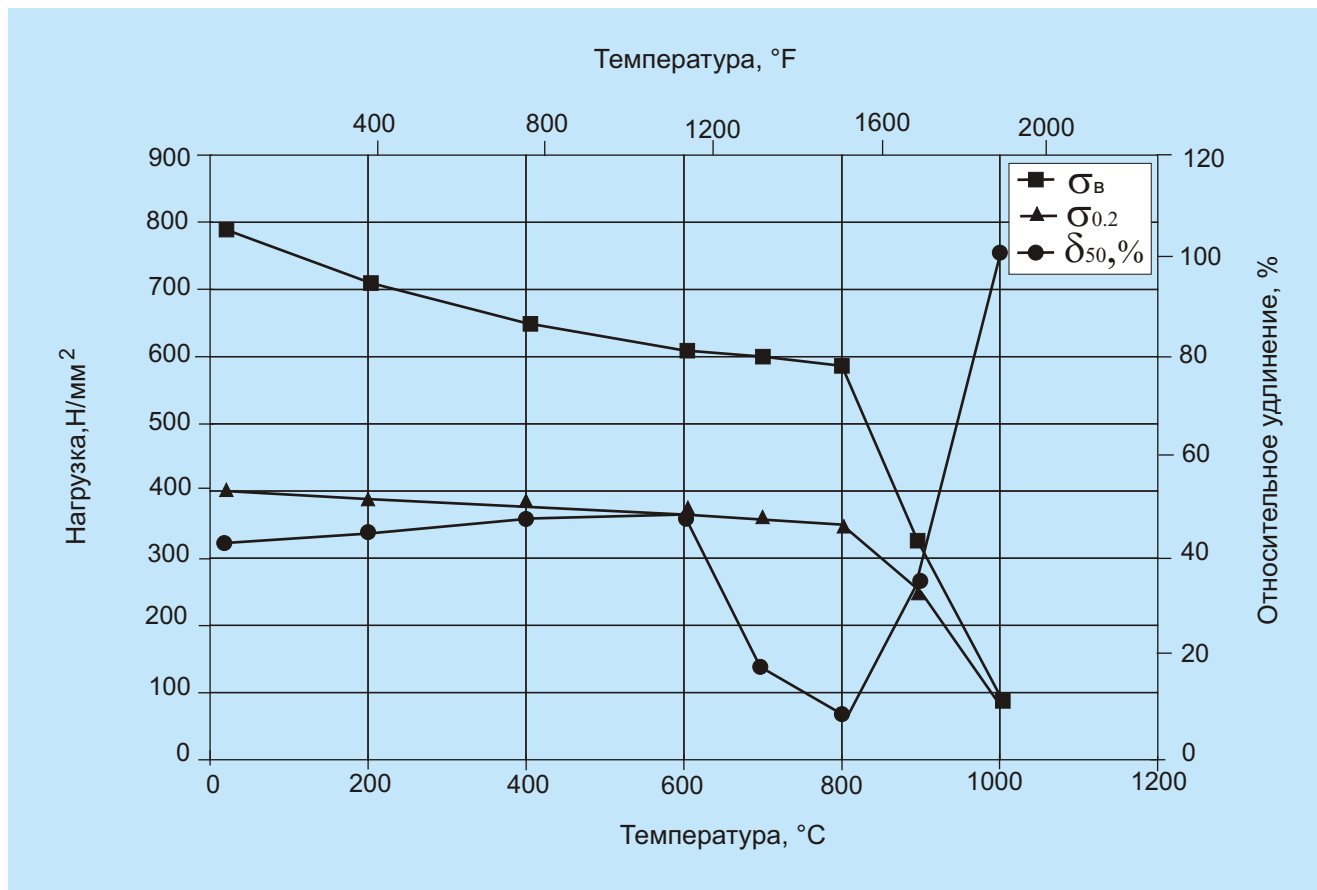


Рис.1 - Типичные кратковременные свойства для обработанных на твердый раствор прутков и брусков из Nicrofer 7016 при комнатной и высоких температурах

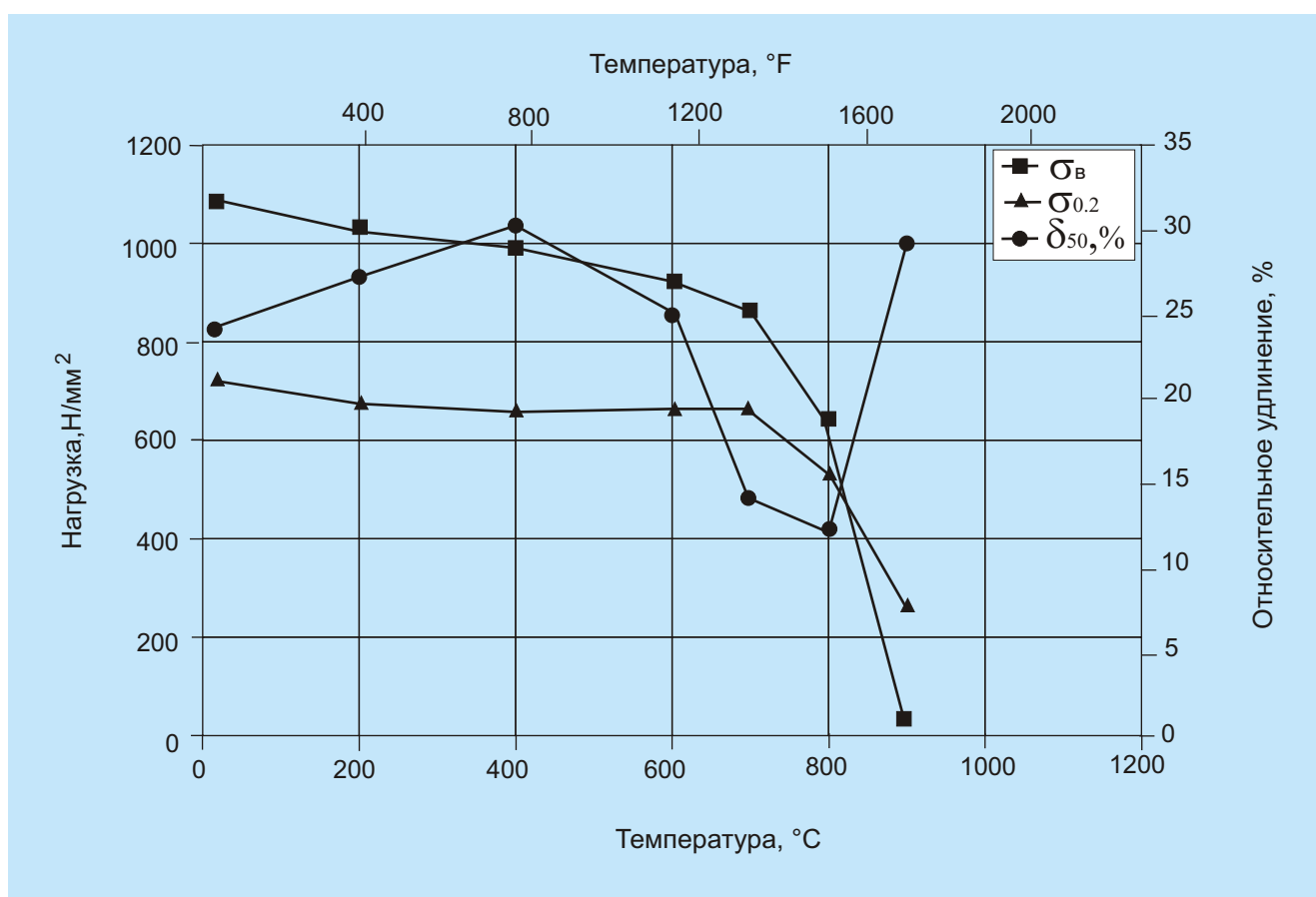


Рис. 2 - Типичные кратковременные свойства для упрочненных прутков и брусков из Nicrofer 7016 при комнатной и высоких температурах

Таблица 5 - Типичная длительная прочность Nicrofer 7016 TiAl после обработки на твердый раствор и дисперсионного упрочнения

Температура		Длительная прочность, $\sigma_{1,0/10^3ч}$	
°C	°F	Н/мм ²	ksi
649	1200	469	68
700	1292	(331)	48
732	1350	262	38
800	1472	(148)	(21,5)
816	1500	128	18,5
850	1562	(90)	(13)
871	1600	69	10
900	1652	(48)	(7)
927	1700	29	4,2

Значения в скобках получены по графикам

Металлургическая структура

Nicrofer 7520 TiAl это сплав никеля, титана и алюминия с аустенитной структурой. Обладает отличной механической прочностью благодаря дисперсионному упрочнению матричной гамма фазы (γ) путем формирования первичной гамма фазы (γ') в соединении с некоторыми карбидами. Двойная первичная гамма фаза формируется с помощью двойной термической обработки старения.

Коррозионная стойкость

Nicrofer 7520 TiAl демонстрирует отличную общую коррозионную стойкость при высоких и низких температурах и стойкость против коррозионного растрескивания. Стойкость против окисления до 980°C (1800°F) достаточно велика.

Области применения

Благодаря тому, что сплав может работать под высоким давлением при 820°C (1510°F) и отличной коррозионной стойкости, Nicrofer 7520 TiAl имеет широкое применение. К примеру, может использоваться для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания.

Обработка и термическая обработка

Для Nicrofer 7520 TiAl можно использовать как холодную, так и горячую обработку, подвергаться механической обработке. Соответствующее оборудование и процедуры должны выбираться, таким образом, чтобы они соответствовали его высокой прочности и характерному деформационному уровню. Обработку предпочтительно проводить в состоянии материала после обработки на твердый раствор.

Нагрева

Изделия должны быть очищены от каких либо загрязнений до и во время нагревания.

Nicrofer 7520 TiAl может становиться хрупким если его нагревать при наличии таких загрязнений, как сера, фосфор, свинец и другие металлы имеющих низкую температуру плавления. Источниками загрязнений могут быть маркировочная краска и краска температурных показателей, а также следы от карандашей, смазочных материалов и топлива.

Содержание серы в топливе должно быть как можно более низким. Природный газ не должен содержать серу больше чем 0,1% по массе, а коммунальный газ не более 0,25 г/м³. Топливные масла с содержанием серы 0,5% по массе тоже может использоваться.

Благодаря точному контролю за температурой и отсутствием загрязнений, предпочтительно проводить обработку в электропечи под вакуумом, а также в атмосфере инертного газа. Приемлема также обработка в воздушной атмосфере и, как альтернатива, в печи работающей на газу, если же уровень загрязнения низкий прибегают также к использованию нейтральной или слегка восстановительной атмосфере в печи. Следует избегать атмосферы в печи, если она колеблется между окислительной и восстановительной, точно также, как и прямого контакта пламени с поверхностью металла.

Горячая обработка

Nicrofer 7520 TiAl может обрабатываться в температурном диапазоне от 980 до 1200°C (1800-2190°F), с последующей закалкой в воде или ускоренным охлаждением на воздухе.

Рекомендуется проводить отжиг после горячей обработки для формирования оптимальных свойств сплава и для обеспечения максимальной коррозионной стойкости.

Для нагрева, изделие следует загружать в печь при максимальной рабочей температуре. Когда печь выйдет на рабочую температуру, изделие следует выдерживать 60 минут для каждого 100мм (4 дюйма) толщины. К концу процесса изделия следует сразу же вынуть и обработать в указанном выше температурном диапазоне. Если температура металла изделия падает снижается до 980°C (1800°F), его следует нагреть еще раз.

Во время горячей обработки с минимальным окислением в 20% температура не должна превышать 1100°C (2000°F) для обеспечения необходимых механических свойств.

Холодная обработка

Холодная обработка должна проводиться на отожженном материале. Nicrofer 7016 TiAl имеет более высокий уровень упрочнения в сравнении с аустенитной нержавеющей сталью. Это следует учитывать при выборе обрабатываемого оборудования.

Промежуточный отжиг может быть необходим в сочетании с высоким уровнем обжатия при холодной обработке.

Термообработка

Различные виды обработки, включая старение, используются для достижения необходимых свойств. Продолжительность испытания на прочность может быть необходима для формирования максимальных механических свойств Nicrofer 7016 TiAl.

Для эксплуатации в условиях высоких температур и высокого предела прочности, обычно проводят дисперсионное упрочнение сразу после прокатки и отжига. Для получения длительных свойств, сопротивления текучести и сопротивления на разрыв, а также хорошей стойкости против окисления, после обработки рекомендуется проводить дисперсионное упрочнение.

Для любого вида термообработки материал следует загружать в печь, при максимальной рабочей температуре соблюдая предостережения касающиеся чистоты изделия, изложенные в пункте «Нагрев».

Снятие окалины и травление

Для Nicrofer 7016 TiAl более характерным является окисление и образование цветов побежалости в процессе сварки в сравнении с обычной нержавеющей стали. Рекомендуется шлифовка с помощью поясов с мелкими абразивом. Но следует следить за тем, чтобы изделие не потускнело.

Перед травлением, которое может проводиться в смеси азотной/плавиковой кислот, следует очистить поверхность от оксидного слоя с помощью пескоструйного аппарата, аккуратной шлифовкой или в конденсированной соляной ванне перед термообработкой. Особое внимание следует уделить времени и температуре травления.

Механическая обработка

Nicrofer 7016 TiAl следует обрабатывать после того как он прошел процесс нагрева и отжига. Так как сплав имеет высокий уровень дисперсионного упрочнения, то следует использовать только низкую скорость резки в отличии от низколегированной нержавеющей стали. Важна соответствующая глубина резки для того, чтобы врезаться ниже предварительно упрочненной зоны. Инструменты применяются на протяжении всего процесса.

Сваривание

Во время сваривания никелевых сплавов и высоколегированной стали, следует выполнять следующие инструкции:

Рабочее место

Рабочее место должно быть расположено отдельно от того места, где идет обработка углеродистой стали. Следует соблюдать максимальную чистоту рабочего места и избегать сквозняков.

Вспомогательные условия, рабочая одежда

Следует использовать хорошие кожаные перчатки и рабочую одежду.

Инструменты и оборудование

Инструменты используемые для обработки никелевых сплавов и нержавеющей стали не должны использоваться для других материалов.

Обрабатывающее оборудование, такое как срезы, прессы или валы должны соответствовать средствам (войлок, картон, пластик) для избежания загрязнения металла металлическими частицами, которые могут попасть на поверхность, и привести к коррозии металла.

Очистка

Очистка базы металла в зоне сваривания и присадочного металла (к примеру, сварочного прутка) следует проводить с помощью ацетона

Трихлорэтилен, перхлорэтилен, углерод-тетрахлорэтилен не следует использовать.

Подготовка кромок

Этот процесс предпочтительно выполнять при помощи механических средств, то есть с помощью обточки, дробления или же обработки на строгальном станке; можно использовать патрубок с абразивной водой и плазменную резку. Однако, в последнем случае разрезающее ребро (место сваривания) следует выполнить как можно в более чистом виде.

Разрешается аккуратная шлифовка без перегрева.

Угол открытия кромок

Различные физические характеристики никелевых сплавов и специальной нержавеющей сталей, в сравнении с углеродистой сталью, проявляют низкую теплопроводность и высокий уровень термического расширения. Это следует учитывать, используя среди прочих средств, более широкие зазоры между свариваемыми кромками или отверстия (1-3мм), в то время как больший прилегающий угол (60-70°), как это показано в таблице 1, следует использовать для индивидуального стыкового соединения благодаря структуре и природе расплавленного свариваемого металла, что препятствует усадке.

Сварочная дуга

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

Процесс сваривания

Nicrofer 7520 Ti можно сваривать сам по себе и с другими металлами, традиционными сварочными методами. Несмотря на то, что для оптимальной коррозионной стойкости предпочтительнее использовать ДСВЭ и ДСНПЭ, возможно также использование электронной сварку. Nicrofer 7520 Ti можно сваривать с помощью контактной сварки.

Nicrofer 7520 Ti следует обработать раствором и очистить от окалины, жира и маркировки, что является важным для проведения сварочных работ. Предварительный нагрев не требуется. Сваривать основания следует с осторожностью для того, чтобы достичь качественной подварочной основы (аргон 99,99), таким образом в сварном шве отсутствуют окислы после сваривания основания. Подварочная основа рекомендуется для первого промежуточного прохода, который следует после первоначального прохода при заварке корня шва, а также в других случаях даже для вторичного прохода зависящего от подварки сварочного шва. Цвета побежалости, которые возникли в процессе нагревания, желательно удалить с помощью очистки щеткой из нержавеющей стали, пока сваривающийся материал еще горячий.

Присадочный металл

Для сварки в среде защитных газов рекомендуются следующие присадочные металлы:

Электроды без покрытия:

Nicrofer 7520 S 7020 FM 82 (Описание № 2, 4806)

UNS N06082

AWS A5,14: ERNiCr 3

DIN EN ISO 18274: S Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)

или же

Nicrofer S 5520 FM 617 (Описание № 2, 4627)

UNS N06617

AWS A5,14: ERNiCrCoMo 1

DIN EN ISO 18274: S Ni 6617 (NiCr22Co12Mo9)

Электроды с покрытием:

Описание № 2, 4648

DIN EN ISO 14172: E Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)

или же

Описание № 2, 4628

UNS W86117

AWS A5.11: ENiCrCoMo 1

DIN EN ISO 14172: E Ni 6617 (NiCr22Co12Mo)

Следует заметить, что несмотря на то, что основа металла может быть дисперсионно упрочненной, она не может применяться для сварочного шва металла в сварочной зоне, так как все присадочные металлы, перечисленные выше, не проходили процесс дисперсионного упрочнения. Тем не менее использование Nicrofer S 5520 (S Ni 6617) или же соответствующего электрода с покрытием 2,4628 (E Ni 6617) даст возможность создать шов с высокими механическими свойствами, которые будут не ниже тех, которые имеет дисперсионно упрочненная база металла, когда используют в качестве присадочного металла Nicrofer S 7020 (S Ni 6082) и соответствующий электрод с покрытием 2,4648 (E Ni 6082).

Рекомендуют консультироваться с техническим отделом для выбора наиболее подходящих присадочных металлов при их специфическом применении.

Параметры и влияние сварочного процесса

Этот процесс выполняется с тщательным подбором подводимого тепла, как это указано в таблице 9 в качестве примера. Использование аппаратуры с наплавленным без поперечных колебаний электродом должно быть целенаправленным. Проходящая температура должна быть ниже 120°C(250°F)

Параметры сваривания являются принципиальным вопросом.

Подводимая теплота Q может быть подсчитана следующим образом:

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

U=электрическое напряжение дуги, в вольтах

I=электрический ток сваривания, в амперах

V= скорость сваривания, измеряется в см/мин.

Рекомендуется консультироваться с Лабораторией сваривания ThyssenKrupp VDM

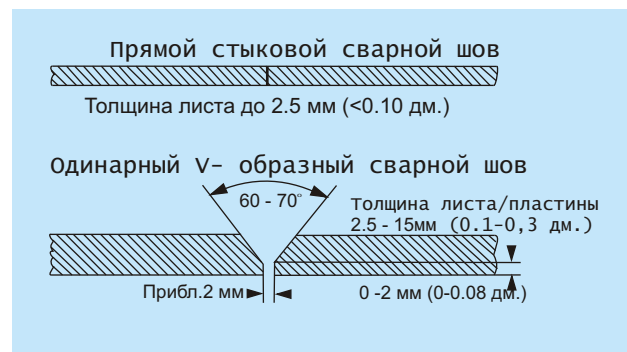


Рис 3 - Подготовка кромки для сваривания никелевого сплава и специальной нержавеющей стали.

Таблица 6 - Сварочные параметры (измерения пособия)

Толщ. листа мм	Способ сварки	Присадка		Параметры сварки				Скор. Сварки см/мин.	Газо-защитное сваривание тип/уровень V/мин
		Диам. мм	Скор. м/мин	Проход		Промеж. и конечный проход			
				I, A	U, V	I, A	U, V		
3,0	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ	2,0		90	10	110-120	11	Приб.15	ArW2 ¹⁾ 8-10
6,0	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ	2,0-2,4		100-110	10	120-140	12	14-15	ArW2 ¹⁾ 8-10
8,0	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ	2,4		110-110	11	130-140	12	14-16	ArW2 ¹⁾ 8-10
10,0	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ	2,4		100-110	11	130-140	12	14-16	ArW2 ¹⁾ 8-10
3,0	Автомат. сварка ДС(Н)ПЭ	1,2	Приб.1,2	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ		150	11	25	ArW 2 ¹⁾ 12-14
5,0	Автомат. сварка ДС(Н)ПЭ	1,2	Приб.1,4	Ручная сварка ДС(Н)ПЭ		180	12	25	ArW 2 ¹⁾ 12-14
6,0	Электронная сварка	2,5				40-70	Приб.21		
8,0	Электронная сварка	2,5-3,25		40-70	Приб.21	70-100	Приб.22		
16,0	Электронная сварка	4,0		40-70	Приб.21	90-130	Приб.22		

Таблица 7 - Вводимое тепло на единицу длины (ручные измерения)

Способ сварки	Подводимая теплота на единицу длины кДж/см
ДС(Н)ПЭ, ручная, полностью механизированная	Макс. 8
ручная электронная сварка	Макс. 7

Послесварочная обработка

(очистка, травление и термообработка)

Очистка с помощью щетки из нержавеющей стали, непосредственно после сваривания, то есть пока металл горячий, способствует удалению цветов побежалости образовавшихся в результате нагрева, и создает желаемую поверхность без дополнительного травления.

Однако, травление, если оно требуется или предписывается, является в общей сложности последней операцией выполняемой после сваривания. Следует также обратиться к информации изложенной в графе «Снятие окалины и травление».

Послесварочную термообработку следует проводить до дисперсионно упрочняющего отжига.

Форма поставки

Nicrofer 7520 TiAl поставляется в форме следующих стандартных изделий

Бруски и прутки

Состояние поставки:

Кованые, вальцованные, волооченные, после диффузионного отжига, протравленные, повторно обточенные, зачищенные или шлифованные

Продукт	Кованые* мм	Вальцованные* мм	Волооченные* мм
Прут круглый Ø	≤ 600	8-60	12-50
Брус квадратный a	40-600	15-280	Не стандарт.
Брус плоский a x b	40-80 x 200-600	5-20 x 120-600	10-20 x 30-80
Брус Гексагональный S	40-80	13-41	≤50
	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Прут круглый Ø	≤24	5/16 - 2 3/8	1/2 - 2
Брус квадратный a	1 5/8 - 24	10/16 - 11	Не стандарт.
Брус плоский a x b	1 5/8 - 3 1/8 x 8 - 20	3/16 - 3/4 4 3/4 - 24	3/8 - 3/4 1 1/4 - 3 1/8
Брус Гексагональный S	1 5/8 - 3 1/8	1/2 - 1 5/8	≤2

* другие размеры по запросу

Поковка

Другие изделия, отличающиеся по форме от дисков, колец, прутков и заготовок допускаются, если это необходимо.

Рулоны и бухта

Условия: Максимальный вес для прутков составляет 6 тонн, а для бухт 3 тонны в соответствии с прокаткой и технической пригодностью.

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	300	400		
> 0,10 ≤ 0,20	4-350	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	12	16		
> 0,004 ≤ 0,008	0.16 - 14	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

Проволока

Условия: Светлая перетяжка, 1/4 жесткость до жесткой, светлый отжиг.

Измерения: 0,1-12,0мм (0,004-0,47 дюйма) диаметр в бухтах, в бочках, в катушках, в таганях.

Сварочные присадочные металлы

Подходящие сварочные круги, проволоки, сердцевина электрода доступны в стандартных размерах.

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 вы-полнение общих условий продаж в том случае если компания выступает поставщиком.