



Сварочные материалы для нефтехимической промышленности



Материалы для сварки жаропрочных сталей в нефтехимической промышленности	4
Рекомендации по применению сварочных материалов T-PUT	4
Свойства сварочных материалов T-PUT	4
Подготовка к сварке	4
Сварочный процесс	4
Термообработка	4
Хромомолибденовые сварочные материалы T-PUT для нефтеперерабатывающей промышленности (по API 934)	5
Хромомолибденовые сварочные материалы T-PUT	5
Специфические свойства сварных соединений номинального химического состава B3 (2,25%Cr-1%Mo) и 22V (2,25%Cr-1%Mo-0,25%V)	6
Типовые параметры сварки	6
Режимы термообработки	7
Результаты исследования отпускной хрупкости для некоторых материалов	7
Химический состав сварочных материалов T-PUT	8
Примеры промышленного применения	9
Типоразмеры, упаковка	10
Сварочные материалы: Thermanit	10
Сварочные материалы: Phoenix/Union	11

Материалы для сварки жаропрочных сталей в нефтехимической промышленности

Рекомендации по применению сварочных материалов T-PUT

W.Nr	Марка стали/литая сталь		Сварочные материалы	
	Сплав	EN	обеспечивают аналогичный химический состав сварного шва	обеспечивают дополнительное легирование сварного шва
I.4841	310	X15CrNiSi25-20	Thermanit C Si	–
I.4848	HK	GX40CrNiSi25-20	Thermanit CR	Thermanit 25/35 R
I.4852	–	GX40NiCrSiNb35-25	Thermanit 25/35 R / Thermanit 25/35 Zr	–
I.4857	HP	GX40NiCrSi35-25	Thermanit 25/35 R / Thermanit 25/35 Zr	–
I.4859	–	GX10NiCrNb32-20	Thermanit 21 / 33 So	Thermanit Nicro 82
I.4876	800 (H)	X10NiCrAlTi32-20	Thermanit 21 / 33 So	Thermanit Nicro 82
–	–	GX45NiCrNbSiTi45-35	Thermanit 35/45 Nb	–
I.4948	304 H	X6CrNi18-11	Thermanit 308 H / Thermanit ATS 4	Thermanit Nicro 82
2.4663	617	NiCr23Co12Mo	Thermanit 617	–
2.4816	600	NiCr15Fe	Thermanit Nicro 82	–

Химический состав и стойкость к окислению материалов T-PUT

Марка	Химический состав, вес. %												Температура начала интенсивного окисления
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	Zr	Fe	Co	Al	Ti	
Thermanit C Si	0,13	1	3	24,5	–	20	–	–	основа	–	–	–	1150 °C (2102 °F)
Thermanit CR	0,4	1	1,5	25,5	–	21,5	–	–	основа	–	–	–	1000 °C (1832 °F)
Thermanit Nicro 82	0,01	0,1	3	20,5	–	основа	2,6	–	<2	–	–	–	1000 °C (1832 °F)
Thermanit 21 / 33 So	0,12	0,2	4,6	21	–	32	1,2	–	основа	–	–	–	1050 °C (1922 °F)
Thermanit 25/35 R	0,4	1	1,7	26	–	35	1,3	–	основа	–	–	–	1150 °C (2102 °F)
Thermanit 25/35 Zr	0,4	1	1,7	26	–	35	1,3	<0,15	основа	–	–	–	1150 °C (2102 °F)
Thermanit 35/45 Nb	0,4	1,5	1	35	–	45	0,8	–	основа	–	–	–	1180 °C (2156 °F)
Thermanit 308 H	0,06	0,4	1,7	20	–	9,5	–	–	основа	–	–	–	800 °C (1470 °F)
Thermanit 617	0,05	0,1	0,1	21	9	основа	–	–	<2	11	1	0,4	1100 °C (2012 °F)

Подготовка к сварке

- Выявить дефекты свариваемых кромок цветной дефектоскопией. → Зачистить дефектные области, в случае их выявления.
- В случае выявления науглероженных или обезуглероженных и, соответственно, азотированных поверхностных слоев, толщиной $\leq 1/2$ толщины свариваемых кромок, необходимо: - удалить науглероженный и, соответственно азотированный слой; нанести 2-3 буферных слоя в случае обезуглероживания.
- Свариваемая поверхность должна быть очищена от смазки, ржавчины, краски.
- Геометрия сварного соединения: удалить острые кромки (концентраторы напряжений). → V, W, и U – образная геометрия свариваемых соединений.

Сварочный процесс

- Стандартные процедуры:
Сварка вольфрамовым электродом корневого шва
Сварка покрытыми электродами горячего прохода и заполняющих слоев (с быстрым переходом на большие диаметры)
Сварка проволокой сплошного сечения ($d=1,2$ мм)
- Автоматическая сварка: применение устройств, формирующих валик, наплавленный с поперечными колебаниями электрода (меньше валиков → меньше механические напряжения в металле).
- Сварочные материалы большего диаметра (меньше слоев → меньше напряжения) Полуавтоматическая и автоматическая сварка: короткая дуга, $U=19-23V$; $I=170-220$ А; в режиме дугового распыления: 50-100 Гц с перекрытием импульсов.

Термическая обработка

- Предварительный подогрев не требуется
- Послеварочная термообработка не требуется
- Максимально снизить энергозатраты при сварке
- (для устранения формирования горячих трещин)
- При сварке конструкций с толщиной стенок более 25 мм, рекомендуется промежуточное охлаждение до 250 °C (482 °F)
- В случае сварки термочувствительных материалов и при заполнении швов сваркой нерасходуемым, вольфрамовым электродом: предварительный подогрев до 80-100 °C (176-212 °F), температура между сварочными проходами ≤ 150 °C (302 °F)

Хромомолибденовые сварочные материалы T-PUT для нефтеперерабатывающей промышленности (API 934)

Такие ферритные хромомолибденовые стали, как 1Cr-0,5Mo, 2,25Cr-1Mo(+V), плакированные сваркой нержавеющей сталью AISI 347, десятилетиями успешно применялись на производственных линиях нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов. Высокие температуры и повышенное давление требуют использования толстостенных конструкции толщиной до 350 мм (на рис. 1 - 3 показаны типичные примеры подобных реакторов). Список присадочных материалов T-PUT для применения в вышеуказанных случаях приведен в таблице 1.



Рисунок 1:

Гидроагрегатный узел
 Давление: 215,5 бар

Температура: макс. 454°C
 Диаметр: 5,3 м
 Длина: 21 м
 Вес: 706 т

Изготовитель: АТВ (I)
 Материал: 2,25Cr1Mo
 Толщина: 358 мм

Сварочные материалы:
 SAW A5.23 EB3R-B3R:
 проволока:
 Union S I CrMo 2
 flux: UV420TTR

SMAW A5.5 E9015-B3:
 Phoenix SH Chromo 2KS Δ

Таблица 1. Сварочные хромомолибденовые материалы T-PUT

Материал основы	Способ сварки	Классификация AWS	Наименование сварочного материала
1%Cr-0,5%Mo	Сварка покрытым электродом	A5.5 E8018B2	Phoenix Chromo I Δ
	Сварка под флюсом	A5.23 EB2R-B2R	проволока: Union S 2 CrMo флюсы: UV 420TTR, UV 420 TTR-W
	Сварка вольфрамовым нерасходуемым электродом	A5.28 ER80S-G	Union I CrMo
2.25% Cr-1.0% Mo	Сварка покрытым электродом	A5.5 E9015-B3	Phoenix SH Chromo 2 KS Δ
	Сварка под флюсом	A5.23 EB3R-B3R	проволока: Union S I CrMo 2 флюсы: UV 420TTR, UV 420 TTR-W
	Сварка вольфрамовым нерасходуемым электродом	A5.28 ER90S-G	Union I CrMo 9 10 Spezial
2.25%Cr-1.0%Mo-0,25%V	Сварка покрытым электродом	A5.5 E9015-G Code case: 2098-2	Phoenix Chromo 2V Δ
	Сварка под флюсом	A5.23 EB3R-B3R mod Code case: 2098-2	проволока: Union S I CrMo 2V флюсы: UV 430 TTR-W
	Сварка вольфрамовым нерасходуемым электродом	A5.28 ER90S-G Code case: 2098-2	Union I CrMo 2V

Δ = данный материал продается в Северной Америке под другим именем.

Химический состав сварного шва, получаемый при использовании вышеупомянутых сварочных материалов, строго контролируется в соответствии с соответствующей спецификацией AWS/ASME, а также в соответствии с требованием заказчика. X-фактор* меньше чем 12 ppm. В общем случае, расчеты в соответствии с реальным химическим составом, дают величину около 7 ppm.

* - X-фактор, [ppm] = (10 P + 5 Sb + 4 Sn + As) / 100, - показатель отпускной хрупкости сталей.



2005: Lag Reactor- KBR

Weight: 650 MT
Qty: 2 nos
Dia.: 5.7m OD
Thk. -140+ 4.5mm
Material:
SA 387 Gr 22 CL2 +
SS 347 Weld O/L

© L&T, Hazira Works (India)

Рисунок 2

Сварочные материалы:

Сварка под флюсом,
SAW A5.23 EB3R-B3R:
проволока: Union S I CrMo 2
флюс: UV420TTR-W

Сварка электродом A5.5 E9015-B3:
Phoenix SH Chromo 2 KS Δ

Вес: 650 мегатонн
Количество: 2 шт
Наружный диаметр: 5,7 м
Толщина: -140 + 4,5 мм
Материал: SA 387 Gr 22 Cl.2+SS 347 Weld O/L

Специфические свойства сварных соединений номинального химического состава B3 (2,25%Cr-1%Mo) и 22V (2,25%Cr-1%Mo-0,25%V)

Технология производства толстостенных реакторов требует правильного выбора сварочных материалов и проведения сварочных работ, обеспечивающих максимально долгую и безопасную эксплуатацию. Конечно, производство и ремонт подобных толстостенных конструкций, вызывает значительные трудности. Типичные режимы сварки приведены в Табл. 2 (параметры для проведения позиционной сварки могут быть высланы в соответствии с техническим запросом). По экономическим причинам, для сварки подобных конструкций, используется технология сварки «в узкую разделку», а также применяется тандемная сварка (два или более электродов перемещаются параллельно в одной плоскости). Применяемые технологии должны гарантировать формирование бездефектных сварных соединений с максимально возможной пластичностью и ударной вязкостью. Металл сварного шва должен удовлетворять большому числу предъявляемых к нему требований. Например, сварные швы выпускного канала (сопла) также имеют тенденцию к охрупчиванию при определенных жестких условиях эксплуатации. Для свариваемых сталей 2,25%Cr-1%Mo и 2,25%Cr-1%Mo-0,25%V, минимально допустимое значение величины ударной вязкости KCV=54 Дж достигается при температурах -40°C ÷ -30°C. Это обусловлено прецизионно подобранным химическим составом данных сталей, а также благодаря применению специальных металлургических приемов (раскисление и т.д.). В свою очередь, сварной шов, подвергнутый процедуре ступенчатого охлаждения, благодаря очень низкому значению X-фактора (смотри стр. 5), гарантирует формирование стабильной микроструктуры, вследствие чего ударная вязкость сохраняет те же очень высокие значения, но уже при снижении температуры на величину менее -10 °C (в зависимости от способа сварки, режима сварки и послесварочной термообработки). На рис. 4 а-с показаны результаты многочисленных тестов отпускной хрупкости сварных соединений типа B3 (2,25%Cr-1%Mo), выполненных различными сварочными технологиями. На данных графиках показаны достижения по повышению ударной вязкости современных сварочных материалов T-PUT по сравнению с материалами применяемыми в 90-х годах. В то же время, микроструктура сварных соединений обладает высокими прочностными характеристиками, практически соответствуя материалу основы даже после нескольких ремонтных циклов. На рис. 4d показаны перспективные результаты, полученные совсем недавно для соединения 22V (2,25%Cr-1%Mo-0,25%V), полученного сваркой под флюсом.

Таблица 2. Типичные параметры сварки

Способ сварки	Наименование сварочного материала	Диаметр (mm)	Полярность	Скорость	Ток
Ручная сварка покрытым электродом	Phoenix Chromo I Δ	3,2	DC+	150 ROL (мм)	120
	Phoenix SH Chromo 2 KS Δ	4,0		250	170
	Phoenix Chromo 2V Δ	5,0		380	210
Сварка под флюсом	проволока: Union S 2 CrMo	4,0	DC+	Скорость (см/мин)	
	Union S I CrMo 2	4,0			
	Union S I CrMo 2V	4,0			
	флюс: UV 420TTR				
одиночный	UV 420TTR-W		AC	55	580
одиночный	UV 420TTR-W		DC/AC	80	550/580
одиночный	UV 430TTR-W		AC	55	580
Дуговая сварка вольфрамовым электродом	Union I CrMo	2,4	DC-		150-210
	Union I CrMo 9 10 Spezial	2,4	DC-		150-210
	Union I CrMo 2V	2,4	DC-		150-210

Δ = данный материал продается в Северной Америке под другим именем.

Таблица 3. Термообработка

Металл основы	Предварительный / промежуточный подогрев зоны сварки	Послесварочная термическая обработка, мин./макс. (+ ступенчатое охлаждение(со))
1%Cr-0,5%Mo	мин. 150°C/макс. 250°C	620°C-690°C/8ч (+со), 690°C 25ч
2,25%Cr-1%Mo усовершенствованная	мин. 200°C/макс. 250°C	690°C/8ч (+со), 690°C/40ч 650°C/10ч (+со), 650°C/37ч
2,25%Cr-1%Mo-0,25%V	мин. 200°C/макс. 250°C	705°C/8ч (+со), 705°C/32ч

Примечание: Возможны отклонения в режимах термообработки, учитывающие конкретные конструкционные особенности и химический состав.

Рисунок 4 а-д. Результаты исследования отпускной хрупкости некоторых сварочных материалов

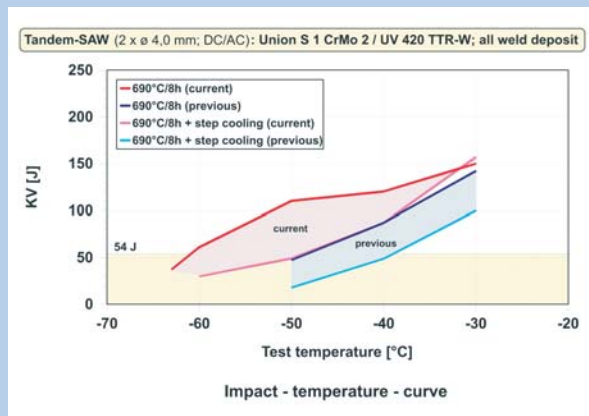


Figure 4 a

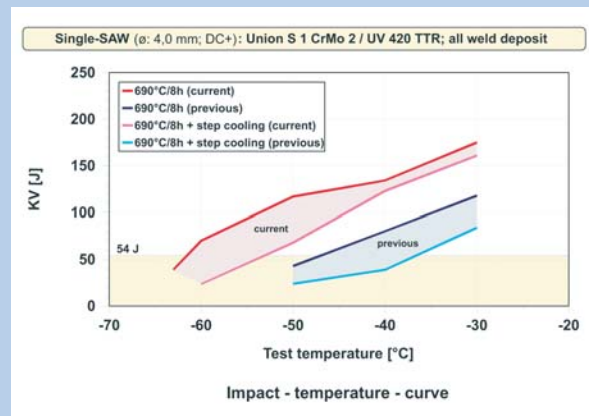


Figure 4 b

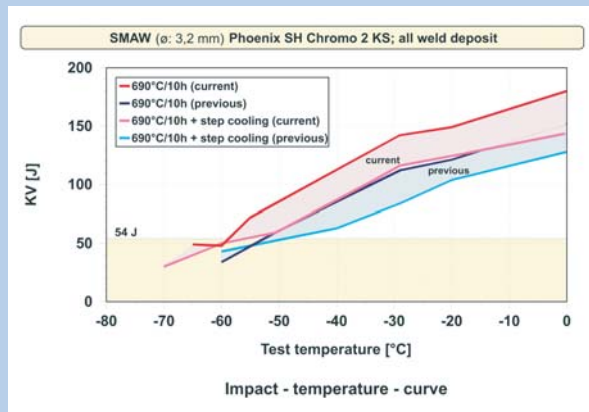


Figure 4 c

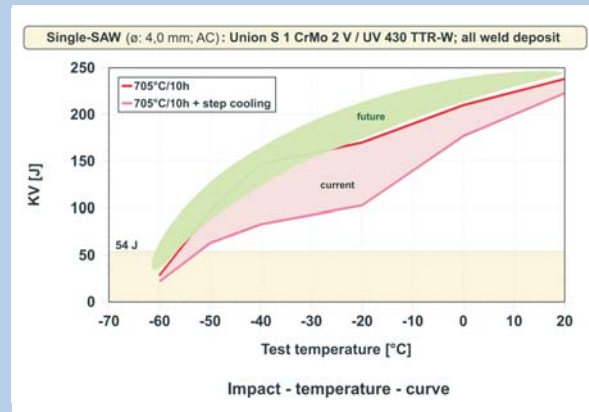


Figure 4 d

Пояснения:

По оси абсцисс (x-координата) – температура испытаний на ударную вязкость [°C].

По оси ординат (y-координата) – измеренные величины ударной вязкости KCV [Дж].

current - диапазон зависимости ударной вязкости сварного шва от температуры, при фиксированном режиме послесварочной термической обработки, для современных материалов T-PUT;

previous - диапазон зависимости ударной вязкости сварного шва от температуры, при фиксированном режиме послесварочной термической обработки, для материалов T-PUT, применявшихся в 1990-х годах;

future - диапазон зависимости ударной вязкости сварного шва от температуры, при фиксированном режиме послесварочной термической обработки, для материалов T-PUT, которые скоро найдут свое применение;

+ step cooling – применение режима ступенчатого охлаждения (соответственно, если не указано, то подразумевается охлаждение на воздухе)

Во всех четырех случаях, соответственно, использовались четыре разных способа сварки. А именно:

Рис. 4а. – тандемная сварка под флюсом (2x4,0 мм, DC/AC).

Проволока Union S 1CrMo 2 + флюс UV 420 TTTR-W.

Рис. 4б. – сварка под флюсом (4,0 мм, DC+).

Проволока Union S 1CrMo 2 + флюс UV 420 TTTR)

Рис. 4с. – сварка электродом (4,0 мм). Phoenix SH Chromo 2 KS

Рис. 4д. – сварка под флюсом (4,0 мм, AC).

Проволока Union S 1CrMo 2 + флюс UV 430 TTTR-W)



Рисунок 3

HDS реактор,
сталь 2,25%Cr-1%Mo

Производитель:
TH. Winkels (Германия)

Сварочные материалы:

Сварка под флюсом:
проволока:

Union S 1 CrMo 2
флюс: UV 420 TTR

Сварка электродом с
покрытием A5.5 E9015-B3:
Phoenix SH Chromo 2 KS Δ

Химический состав сварочных материалов T-PUT

Наименование	Материал	Химический состав, вес. %*						
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	V
Phoenix Chromo 1 Δ	Электрод	0,06	0,25	0,85	1,20	0,5		
Phoenix SH Chromo 2 KS Δ	Электрод	0,07	0,22	0,70	2,20	1,0		
Phoenix Chromo 2V Δ	Электрод	0,09	0,25	0,75	2,50	1,0	0,01	0,25
Union S 2 CrMo	Проволока д/с под флюсом	0,12	0,10	0,80	1,20	0,5		
Union S 1 CrMo 2	Проволока д/с под флюсом	0,10	0,10	0,50	2,40	1,0		
Union S 1 CrMo 2V	Проволока д/с под флюсом	0,12	0,10	0,60	2,50	1,0	0,02	0,30
Union S 2 CrMo + UV 420 TTR/UV 420 TTR-W	Проволока + флюс (комбин.)	0,09	0,20	1,00	1,10	0,5		
Union S 1 CrMo 2 + UV 420 TTR/UV 420 TTR-W	Проволока + флюс (комбин.)	0,09	0,20	0,80	2,30	1,0		
Union S 1 CrMo 2V + UV 430 TTR-W	Проволока + флюс (комбин.)	0,09	0,15	0,85	2,35	1,0	0,02	0,27
Union I CrMo	пруток TIG	0,10	0,60	1,00	1,10	0,5		
Union I CrMo 9 10 Spezial	пруток TIG	0,10	0,10	0,50	2,40	1,0		
Union I CrMo 2V	пруток TIG	0,12	0,10	0,60	2,50	1,0	0,02	0,30

Δ - данный материал продается в Северной Америке под другим именем

*контролируемый химический состав, X-фактор <12ppm

Некоторые примеры промышленного применения сварочных материалов T-PUT

ABB Lummus Crest (USA)	Equistar (USA)	Officine Luigi Resta SPA (Italy)
AMR Klefisch (Germany)	Escher (Netherlands)	Ohmstede Ltd (USA)
ASC Engineering (Australia)	Essener Hochdruck-Rohrleitungsbau (Germany)	OLMI (Italy)
ATB (Italy)	ExxonMobil Chemical Company (USA)	Orlen-Plock (Poland)
Babcock Power España, S.A. (Spain)	FBM Hudson Italiana SPA (Italia)	Parsons (USA)
BASF (Germany)	Felguera (Spain)	Plant Performance Services LLC (USA)
Beaird Industries (USA)	Fluor Daniel Engineers and Constructors (USA)	RDM (Netherlands)
Bechtel (USA)	General Welding Works, Inc. (USA)	Reliance Industries Ltd (India)
Belleli Energy SPA (Italy)	Godrej & Boyce MFG Co. Ltd (India)	Ruhr-Oel (Germany)
BHEL (India)	Griro (Romania)	Schmidt + Clemens GmbH + Co. KG (Germany, Spain)
BHPV (India)	Hans Leffer (Germany)	Schwarz (France)
Borsig GmbH (Germany)	High Country Fabrication, Inc. (USA)	Scomark Ltd (United Kingdom)
Brown & Root (USA)	Hughes Anderson (USA)	SEWON (Korea)
CDR (France)	Hyundai Heavy Industries (South Korea)	Shell Chemical (USA)
Chevron (USA)	IMB (Italia)	Smith-Hudson (Australia)
Chicago Bridge & Iron Company (USA)	IMPESA (Argentina)	Sotralentz (France)
Cometarsa (Argentina)	KSB Pegnitz (Germany)	Steinserv (Germany)
Cust O Fab (USA)	Kubota Metal Corporation (Canada)	Taylor Forge Engineering Products (USA)
Dacro Industries Ltd; Cessco Fabrication & Engineering Ltd (Canada)	Larsen & Toubro (India)	Tema India Ltd (India)
Deggendorfer Werft (Germany)	Manoir Industries group (Francia)	Tex Fab (USA)
DH Industrie (France)	MetalTek International (USA)	Th. Winkels (Germany)
Doncaster Paralloy Ltd (United Kingdom)	MW Kellogg (USA)	Uni Abex Alloy Products LTD (India)
Doosan Heavy Industries (South Korea)	Natco Canada (Canada)	Verolme (Netherlands)
Duraloy Technologies (USA)	Nitin Castings Ltd (India)	Vikram Ispat (India)
Dutch State Mines (Netherlands)	Nooter Cooperation (USA)	VRV (Italy)
Dwarkesh Engineering Works PVT LTD (India)	Nordon (France)	Wyatt Field Service Company (USA)
ENSA (Spain)	Nuovo Pignone (Italy)	Yuba Heat Transfer; Energy Exchangers (USA)

Типоразмеры и упаковка

Сварочные материалы

Наименование	Электроды, размер (мм)	Сварка проволокой сплошного сечения		Сварка нерасходуемым электродом. Пруток диам. x длина (мм)	Сварка под флюсомом	
		Диаметр	Катушка		Диаметр	Катушка
Thermanit ATS 4	2,5 x 300 3,2 x 350 4,0 x 350 5,0 x 450					
Thermanit C Si		0,8 1,0 1,2	BS 300 B 300 B 300	1,6 x 1000 2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000 4,0 x 1000 5,0 x 1000		
Thermanit CR	3,2 x 350 4,0 x 350	1,2 1,6	B 300 B 300	2,4 x 1000 3,2 x 1000		
Thermanit Nicro 82	2,5 x 300 3,2 x 300 4,0 x 350 5,0 x 400	0,8 1,0 1,2 1,6	BS 300 B 300 B 300 B 300	1,6 x 1000 2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000	0,8 1,0 1,2 1,6	BS 300 B 300 B 300 B 300
Thermanit 21/33 So	2,5 x 300 3,2 x 350			2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000		
Thermanit 25/35 R	2,5 x 300 3,2 x 350 4,0 x 350	1,2	B 300	2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000		
Thermanit 25/35 Zr		1,2	B 300	2,4 x 1000		
Thermanit 35/45 Nb	2,5 x 300	1,2	B 300	1,6 x 1000 2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000		
Thermanit 308 H					2,4 3,0	K 435-70 K 435-70
Thermanit 617	2,5 x 250 3,2 x 300 4,0 x 350	1,2	B 300	2,0 x 1000 2,4 x 1000 3,2 x 1000	1,2	B 300

Типоразмеры и упаковка

Сварочные материалы

Наименование	Электроды, азмер (мм)	Сварка нерасходуемым электродом. Пруток диам. x длина (мм)	Сварка под флюсом			Сварка под флюсом Флюс Пластиковый пакет
			способ	размер (мм)	катушка (мм)	
Union S I CrMo 2				2,5 3,0 4,0 5,0	К 435-70 К 435-70 К 435-70 К 435-70	
UV 420 TTR / UV 420 TTR-W						25 kg
Phoenix SH Chromo 2 KS Δ	2,5 x 250* 3,2 x 350* 3,2 x 450 4,0 x 350* 4,0 x 450 5,0 x 450*					
Phoenix Chromo I Δ	3,2 x 350* 3,2 x 450 4,0 x 350* 4,0 x 450 5,0 x 450* 6,0 x 450					
Phoenix Chromo 2V Δ	3,2 x 350 4,0 x 350 5,0 x 450					
Union S 2 CrMo				2,0 2,5 3,0 4,0 5,0	К 435-70 К 435-70 К 435-70 К 435-70 К 435-70	
Union S I CrMo 2V				4,0	К 435-70	
UV 430 TTR-W			одиночный			25 kg
UV 420 TTR / UV 420 TTR-W			одиночный			25 kg
UV 420 TTR-W			тандемный			25 kg
Union I CrMo		2,0 x 1000 2,5 x 1000 3,0 x 1000		0,8 1,0 1,2	В 300-15 В 300-18 В 300-18	
Union I CrMo 9 10 Special		2,4 x 1000				
Union I CrMo 2V		2,5 x 1000		1,0	В 300-15	

Δ - данный материал продается в Северной Америке под другим именем

*возможна поставка в вакуумной упаковке "Extra dry"



**Böhler Thyssen Schweißtechnik
Deutschland GmbH**

Unionstr. 1

D-59067 Hamm

Tel.: +49(0)2381-271-02

Fax: +49(0)2381-271-794

www.t-put.com

Member of the BÖHLER-UDDEHOLM Group