

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 1 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 1 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 1 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 1 CrMo 2 флюсы: UV 420TTR, UV 420 TTR-W
	Сварка вольфрамовым нерасходуемым электродом	A5.28 ER90S-G	Union 1 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 1 CrMo 2V флюсы: UV 430 TTR-W
	Сварка вольфрамовым нерасходуемым электродом	A5.28 ER90S-G Code case: 2098-2	Union 1 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			170	
	Phoenix Chromo 2V Δ	5,0			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					55
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(сo))
1%Cr-0,5%Mo	мин. 150°C/макс. 250°C	620°C-690°C/8ч (+сo), 690°C 25ч
2,25%Cr-1%Mo усовершенствованная	мин. 200°C/макс. 250°C	690°C/8ч (+сo), 690°C/40ч 650°C/10ч (+сo), 650°C/37ч
2,25%Cr-1%Mo-0,25%V	мин. 200°C/макс. 250°C	705°C/8ч (+сo), 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

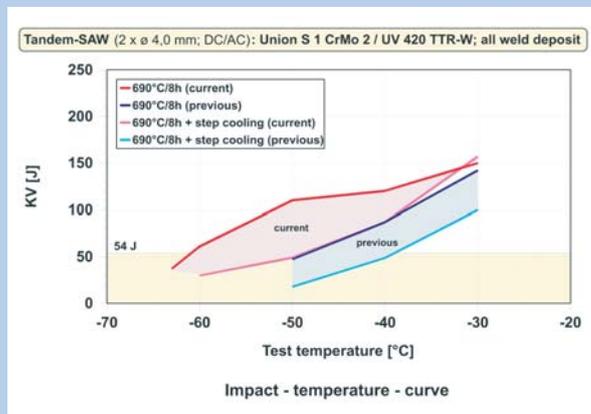


Figure 4 a

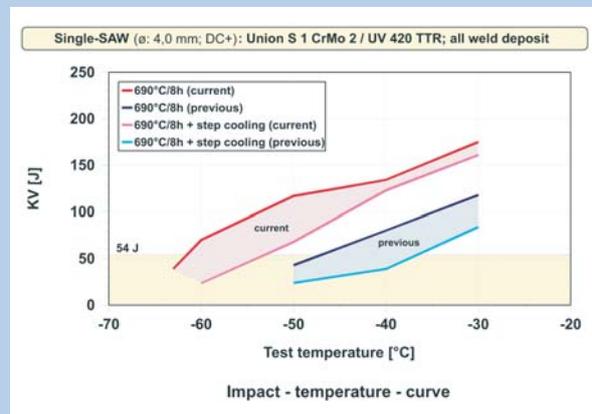


Figure 4 b

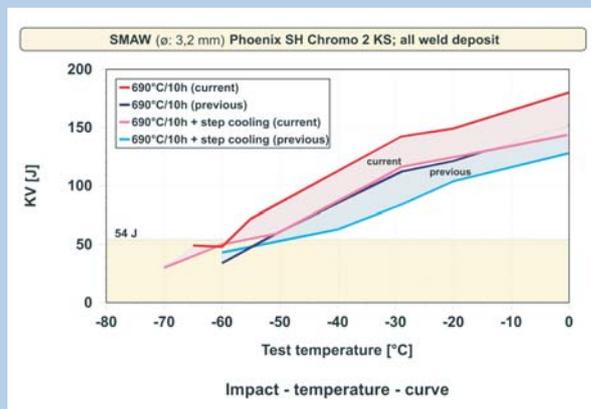


Figure 4 c

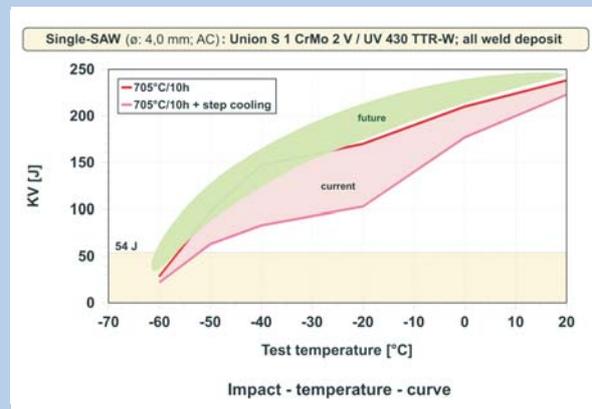


Figure 4 d

Пояснения:

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

По оси ординат (у-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