

Присадочная проволока с флюсовым сердечником Kobelco для нержавеющей стали: широкий ассортимент товаров удовлетворяет разнообразные потребности рынка



## 2. Характеристики присадочной проволоки с флюсовым сердечником для нержавеющих сталей компании Kobe Steel



Иллюстрация 2:  
Схематическое изображение разреза присадочной проволоки с флюсовым сердечником компании Kobe Steel для нержавеющей стали

Присадочная проволока с флюсовым сердечником (FCW) в общем дает высокую производительность наплавки, а также великолепную свариваемость. Высокая производительность наплавки позволяет сократить общее время сварки, повысить свариваемость и свести к минимуму время послесварочной обработки, такой как удаление брызг и гари, осевших на поверхности стали. Особенно в случае применения с аустенитными нержавеющими сталями FCW дают сварочные швы с хорошим внешним видом и высокой сопротивляемостью коррозии, что является важными характеристиками для сооружений из аустенитных нержавеющих сталей.

На Иллюстрации 2 представлено схематическое изображение присадочной проволоки с флюсовым сердечником компании Kobe Steel для аустенитных нержавеющих сталей в разрезе. Внешняя оболочка представлена максимально тонкой, что разрешает высокую плотность тока, а это, в свою очередь, повышает эффективность путем увеличения объема сваренного металла на единицу времени при такой же силе сварочного тока.

**Таблица 1: Широкий ассортимент проволоки FCW для нержавеющих сталей**

Марка стали или ее применение	Свойство и основное применение	Наименование товара	Классификация AWS	Основной химический состав	Применяемая позиция сварки <sup>*1</sup>
304	Общие сведения	DW-308	E308T0-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF
		DW-308P	E308T1-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF, VU, OH
304H	Не содержит висмута; работа при высоких температурах	DW-308H	E308HT1-1/-4	19Cr-10Ni-0.06C	F, HF, VU

304, 304L	Низкое содержание углерода (макс.0,04%); Общее	DW-308L	E308LT0-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF
		DW-308LP	E308LT1-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF, VU, OH
	Стандартные листы стали 304, 304L	DW-T308L	E308LT0-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF
	Низкое содержание хрома Cr (VI) в дыме	DW-308L-XR	E308LT0-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF
	Низкое содержание хрома Cr (VI) в дыме	DW-308LP-XR	E308LT1-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF, VU, OH
	Криогенные температуры ( $\geq 27J/-196^{\circ}C$ )	DW-308LTP	E308LT1-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF, VU, OH
		DW-308LT	E308LT0-1/-4	20Cr-10Ni	F, HF
	Не содержит висмута; обработка на раствор	DW-308LH	E308LT1-1/-4	19Cr-10Ni	F, HF, VU
	Проволока TIG для проварки корня шва без продувного газа	TG-X308L	R308LT1-5	20Cr-10Ni	F, HF, VU, OH
316, 316L	Общие сведения	DW-316L	E316LT0-1/-4	19Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF
		DW-316LP	E316LT1-1/-4	18Cr-12Ni- 2.8Mo	F, HF, VU, OH
	Стандартные листы стали	DW-T316L	E316LT0-1/-4	19Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF
	Низкое содержание хрома Cr (VI) в дыме	DW-316L-XR	E316LT0-1/-4	18Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF
	Низкое содержание хрома Cr (VI) в дыме	DW-316LP-XR	E316LT1-1/-4	18Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF, VU, OH
	Не содержит висмута; обработка на раствор	DW-316LH	E316LT1-1/-4	19Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF, VU
	Не содержит висмута; работа при высоких температурах	DW-316H	E316T1-1/-4	19Cr-12Ni- 2.3Mo-0.06C	F, HF, VU
	Криогенные температуры ( $\geq 27J/-196^{\circ}C$ ) (316L)	DW-316LT	E316LT1-1/-4	18Cr-13Ni- 2.3Mo	F, HF, VU, OH
	Проволока TIG для проварки корня шва без продувного газа	TG-X316L	R316LT1-5	19Cr-12Ni- 2.3Mo	F, HF, VU, OH
Сварка разнородных металлов и сварка внахлестку	Общие сведения	DW-309L	E309LT0-1/-4	24Cr-13Ni	F, HF
		DW-309LP	E309LT1-1/-4	24Cr-13Ni	F, HF, VU, OH
	Стандартные листы стали	DW-T309L	E309LT0-1/-4	24Cr-13Ni	F, HF
	Низкое содержание хрома Cr (VI) в дыме	DW-309L-XR	E309LT0-1/-4	24Cr-13Ni	F, HF
	Не содержит висмута; сварка внахлестку низколегированной стали	DW-309LH	E309LT1-1/-4	24Cr-13Ni	F, HF, VU
	Проволока TIG для проварки корня шва без продувного газа	TG-X309L	R309LT1-5	24Cr-13Ni	F, HF, VU, OH

	Общие сведения	DW-309MoL	E309LMoT0-1/-4	23Cr-13Ni-2.3Mo	F, HF
		DW-309MoLP	E309LMoT1-1/-4	23Cr-13Ni-2.3Mo	F, HF, VU, OH
	Общие сведения (310S)	DW-310	E310T0-1/-4	26Cr-21Ni-0.18C	F, HF
	Высокое ферритное содержание	DW-312	E312T0-1/-4	29Cr-10Ni-0.12C	F, HF
321, 347	Общие сведения	DW-347	E347T0-1/-4	19Cr-11Ni-0.6Nb	F, HF
	Не содержит висмута; работа при высоких температурах	DW-347H	E347T1-1/-4	19Cr-10Ni-0.6Nb-0.06C	F, HF, VU
	Не содержит висмута; низкий углерода	DW-347LH	E347T1-1/-4	19Cr-10Ni-0.6Nb	F, HF, VU
	Проволока TIG для проварки корня шва без продувочного газа	TG-X347	R347T1-5	19Cr-10Ni-0.6Nb	F, HF, VU, OH
317L	Общие сведения	DW-317L	E317LT0-1/-4	19Cr-13Ni-3.3Mo	F, HF, VU
		DW-317LP	E317LT1-1/-4	19Cr-13Ni-3.3Mo	F, HF, VU, OH
	Не содержит висмута; обработка на раствор	DW-317LH	E317LT1-1/-4	19Cr-14Ni-3.4Mo	F, HF, VU
Дуплексная нержавеющая сталь	Низколегированная дуплексная сталь (ASTM S32101, S32304)	DW-2307	E2307T1-1/-4	25Cr-8Ni-0.13N	F, HF, VU
	Стандартная дуплексная сталь (ASTM S31803, S32205)	DW-2209	E2209T1-1/-4	23Cr-9Ni-3.3Mo-0.14N	F, HF, VU
	Проволока TIG для проварки корня шва без продувочного газа	TG-X2209	---	23Cr-9Ni-3.3Mo-0.14N	F, HF, VU, OH
	Супердуплексная сталь (ASTM S32750, S32760)	DW-2594	E2594T1-1/-4	26Cr-10Ni-3.8Mo-0.24N	F, HF, VU
Мартенситная нержавеющая сталь для гидротурбин	Для сварки во всех положениях	DW-410NiMo	E410NiMoT1-4	12Cr-4Ni-0.6Mo	F, HF, VU, OH
	FCW по типу металла	MX-A410NiMo	EC410NiMo	12Cr-4Ni-0.6Mo	F, HF
405, 409	Ферритная 13Cr-Nb	DW-410Cb	E409NbT0-1	13Cr-0.6Nb-0.06C	F, HF
	Буферный слой для сварки внахлестку 13Cr	DW-430CbS	E430NbT0-1	17Cr-0.9Nb	F, HF
Для выхлопной системы автомобиля	FCW ферритного металлического типа 17Cr-Nb	MX-A430M	---	17Cr-0.7Nb	F, HF

Никелевый сплав	Сплав 625 и 825; Сварка внахлестку; Композитный шов	DW-N625	ENiCrMo3T1-4	Ni-21Cr-8.5Mo-3.5Nb	F, HF, VU
	Плакировка и сварка труб кольцевым швом (5G, 6G)	DW-N625P	ENiCrMo3T1-4	Ni-21Cr-8.5Mo-3.3Nb	Трубы 5G, 6G
	Сплав 600 и 800; Композитный шов	DW-N82	ENiCr3T0-4	Ni-21Cr-3.0Mn-2.5Nb	F, HF
	Сплав C276	DW-NC276	ENiCrMo4T1-4	Ni-16Mo-15Cr-3.3W	F, HF, VU

Примечание: \*1: Позиция сварки: F : плоский шов; HF : горизонтальный угловой шов; VU : вертикальный шов, накладываемый снизу вверх; OH: потолочный шов;

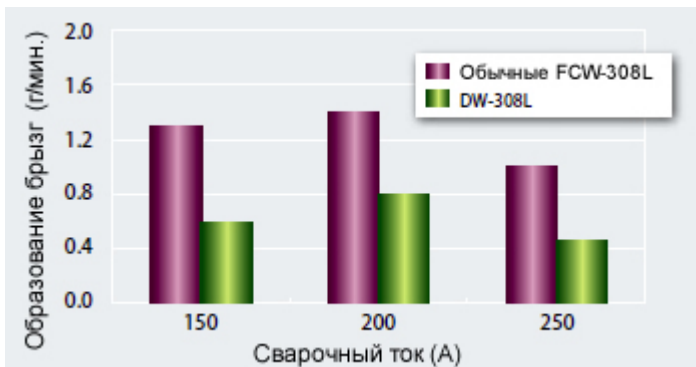


Иллюстрация 3: Сравнение степени образования брызг

Присадочная проволока с флюсовым сердечником Kobelco для нержавеющей стали также высоко ценится за стабильную сварочную дугу как со 100%-ным CO<sub>2</sub>, так и со смесью Ar-CO<sub>2</sub> в качестве защитного газа, что ведет к крайне малому разбрызгиванию, как показано на Иллюстрации 3. Это качество достигнуто не только соответствующим дизайном флюса (и высочайшим уровнем контроля качества на производственных предприятиях Kobelco в Японии и в Нидерландах), но и специальной обработкой поверхности проволоки, которая дает стабильную проходимость. Еще одним свойством FCW для нержавеющей сталей, таких как PREMIARC TM DW-308L, PREMIARC TM DW-316L (для плоских швов и горизонтальных угловых швов), является особенность шлака: шлак может быть легко снят в оптимальный промежуток времени после сварки, что предотвращает появление цвета побежалости на поверхности валика сварного шва (см. Ил.4)



Иллюстрация 4: Удаляемость шлака и внешний вид валика сварного шва сразу после сварки (DW-308L)

Когда на поверхности сварных швов, которые должны обладать эстетичным внешним видом и чистотой, появляется цвет побежалости, в качестве контрмеры применяется травление или обработка кислотой, которая удаляет цвет с поверхности сварочного металла. Если появления цвета побежалости удается избежать, это сокращает время на обработку кислотой, тем самым увеличивая производительность.

#### 4. Новейшие присадочные проволоки с флюсовым сердечником (FCW) компании Kobelco для нержавеющей сталей

Технологически передовые FCW для нержавеющей сталей компании Kobelco - это ни с чем не сравнимые товары, эксклюзивно разработанные компанией Kobe Steel; они пользуются доверием и

предпочтением потребителей во всем мире. В Таблице 1 представлен широкий ассортимент проволок FCW, предлагаемых для нержавеющей стали.

### 3-1. FCW с низким содержанием хрома Cr(VI) для нержавеющей сталей: "Серия XR"

FCW могут давать большой выброс сварочного дыма по сравнению с другими обычными сварочными материалами, что повышает риск при работе. Сварочный дым - это оксиды, которые образуются, когда металлические испарения, выделяемые сварочной дугой, остывают и затвердевают в воздухе. При сварке нержавеющей стали сварочный дым содержит от 5 до 20% оксидов хрома, частично - вредного Cr6+, который обозначается как Cr(VI).

Токсичность Cr(VI) была недавно переоценена в соответствии с движением в направлении более строгих нормативов в отношении этого соединения на месте работ. В частности, в 2010 году Американская администрация профессиональной безопасности и здоровья (OSHA) на 90% сократила допустимое содержание Cr(VI) в воздухе в местах работы. Очевидно, что наиболее эффективным способом сокращения содержания Cr(VI), выделяемого при сварке нержавеющей сталей, является установка более эффективной системы вентиляции для удаления выбросов. С другой стороны, если сварочный дым будет изначально содержать меньше Cr(VI), потребуется меньше усилий по удалению его с помощью более мощной системы местной вентиляции.

Снижение содержания Cr(VI) в сварочном дыме является эффективной мерой. Компания Kobe Steel разработала новую серию присадочной проволоки с флюсовым сердечником - "Серия RX", предназначенную для сварки плоских и горизонтальных угловых швов, а также для сварки во всех пространственных положениях, позволяющую значительно снизить содержание Cr(VI) в сварочном дыме. Высокоуниверсальная проволока серии RX предназначена для трех марок сталей, а именно 308L, 316L и 309L.

Как показано на Иллюстрации 5, контроль содержания натрия Na и калия K, которые добавляются к флюсу в качестве стабилизаторов сварочной дуги, позволяет сократить содержание Cr(VI) в сварочном дыме. Для поддержания стабильной свариваемости, однако, может оказаться необходимым регулирование содержания и других добавок, помимо натрия и калия, таких как фториды.

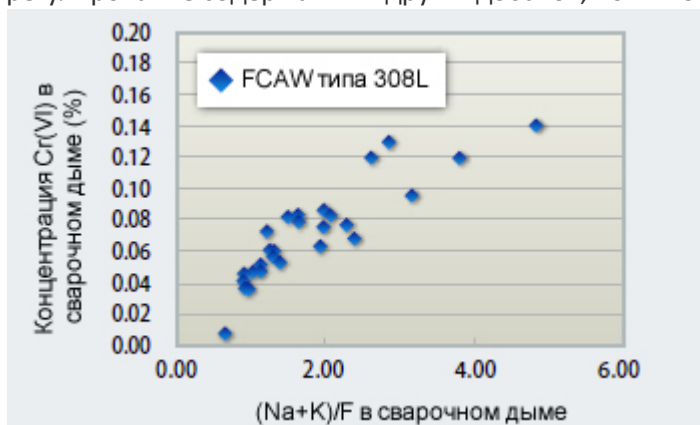


Иллюстрация 5: Соотношение между компонентами в составе флюса и содержанием Cr(VI) в сварочном дыме

Один из типов присадочной проволоки FCW в серии RX - это проволока для сварки во всех пространственных положениях PREMIARCTM DW-308LP-XR. Она может применяться как со 100%-ным углекислым газом CO<sub>2</sub>, так и со смесью Ar-CO<sub>2</sub> в качестве защитного газа. На Иллюстрации 6 показан рекомендуемый диапазон параметров сварки, а на Иллюстрации 7 - скорость выброса Cr(VI) (рассчитанная по ISO 15011-1 и ISO 16740).

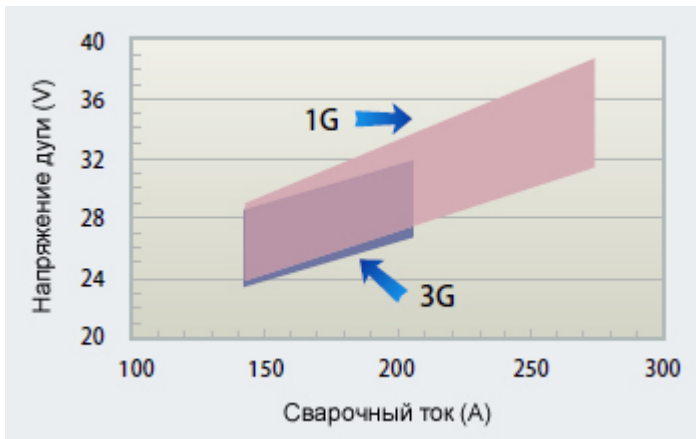


Иллюстрация 6: Рекомендуемый диапазон параметров сварки DW-308LP-XR

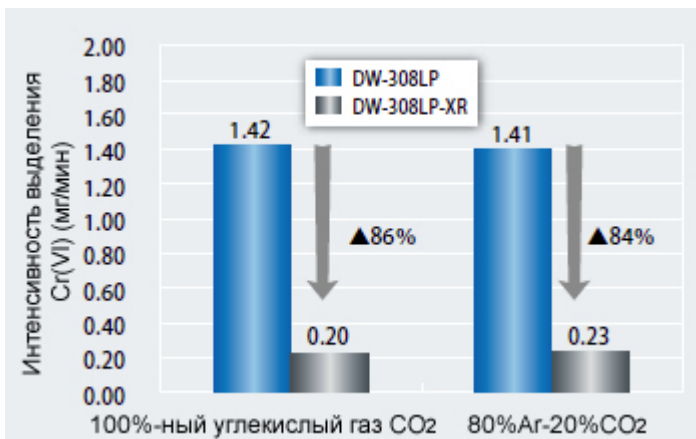


Иллюстрация 7: Интенсивность выделения Cr(VI) для DW-308LP-XR

Здесь показано, что присадочная проволока серии XR выделяет Cr(VI) с 1/6 интенсивности по сравнению с традиционными DW-308LP. Вы можете получить более подробную информацию о проволоке PREMIARC DW-308L-XR и PREMIARC DW-316L-XR в колонке Product Spotlight KOBELCO WELDING TODAY, Том 14, No. 3 от 2011 года.



Иллюстрация 8: Внешний вид валика сварного шва и макроструктура стыкового шва, сварка в положении 3G с DW-308LP-XR

Стыковой шов был выполнен в вертикальном положении снизу вверх (3G) с проволокой DW-308LP-XR в условиях, указанных в Таблице 2; на Иллюстрации 8 показаны внешний вид валика сварного шва и макроструктура.



**Таблица 2: Условия сварки стыкового шва в позиции 3G**

Форма кромки и последовательность проходов	Место	Сварочный ток (А)	Напряжение дуги (V)	Температура между проходами (°C)
Толщина плиты: 15 мм Форма кромки: V-образная Угол кромки: 60°С Обратная сторона: 3 прохода Окончательный шов: 1 проход	Обратная сторона	160	28	<300
	Окончательный шов	160	28	<300

### 3-2. Присадочные проволоки с флюсовым сердечником для дуплексных нержавеющей сталей

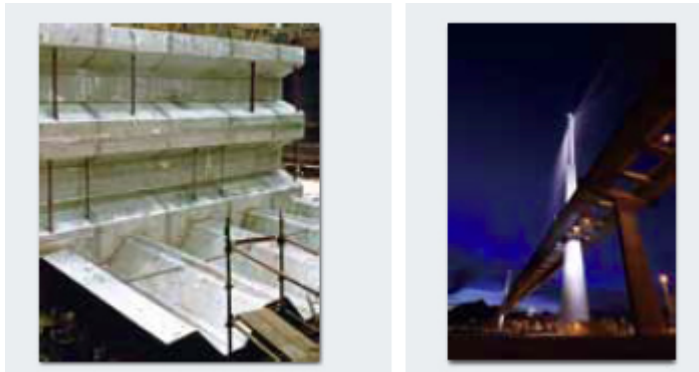


Иллюстрация 9: Детали гофрированных перегородок в химическом танкере

Иллюстрация 10: Мост Стоункатерс в Гонконге

Дуплексные нержавеющей стали обладают двухфазной микроструктурой - на 50% ферритной и на 50% аустенитной. Их преимущества включают в себя высокую прочность, выдающуюся устойчивость к точечной коррозии, контактной коррозии, а также коррозионному растрескиванию при напряжении (SCC).

На рынке представлены три разных типа дуплексной нержавеющей стали:

- (1) стандартные дуплексные нержавеющей стали, обычно ASTM S31803, S32205 и JIS SUS329J3L;
- (2) малолегированные дуплексные нержавеющей стали, которые хотя и уступают по качеству другим дуплексным нержавеющей стали, почти эквивалентны 304L и 316L по устойчивости к коррозии и низкой себестоимости благодаря меньшему содержанию никеля Ni и молибдена Mo;
- (3) - супердуплексные нержавеющей стали, которые содержат больше хрома Cr, молибдена Mo и азота N, что позволяет им выдерживать высококоррозийные условия. Благодаря отличной устойчивости к точечной коррозии, эти стали широко применяются в водопреснительных установках, при добыче и очистке нефти и природного газа, в системах сероулавливания, а также в гофрированных перегородках химических танкеров (Иллюстрация 9). Дуплексные нержавеющей стали все более широко применяются и в обычных сооружениях, таких как мост Стоункатерс в Гонконге (Иллюстрация 10) и крыша нового международного аэропорта Доха в Катаре.

Присадочные проволоки с флюсовым сердечником для дуплексных нержавеющей сталей включают в себя недавно разработанную проволоку PREMIARC DW-2209 для стандартной дуплексной нержавеющей стали, PREMIARC DW-2307 для низколегированной дуплексной нержавеющей стали и PREMIARC DW-2594 для супердуплексной нержавеющей стали. В Таблице 3 представлены химические формулы всех сварочных металлов, а в Таблице 4 - механические свойства DW-2307 и DW-2594.

**Таблица 3: Химические формулы всех сварочных металлов FCW для дуплексных нержавеющей сталей (масс.%; 80%Ar-20%CO2)**

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	N	PRE
DW-2307	0.03	0.5	1.3	0.02	0.003	0.06	7.9	24.6	0.03	0.15	27.1
AWS A5.22 E2307TX-Y	≤0.04	≤1.0	0.5-2.5	≤0.04	≤0.03	≤0.75	6.5-10.0	22.5-25.5	≤0.8	0.10-0.20	-
DW-2594	0.03	0.5	1.2	0.02	0.004	0.03	9.6	25.8	3.8	0.24	42.2
AWS A5.22 E2594TX-Y	≤0.04	≤1.0	0.5-2.5	≤0.04	≤0.03	≤0.75	8.0-11.0	23.0-27.0	2.5-4.0	0.08-0.30	-

Примечание: PRE: Эквивалент сопротивления точечной коррозии= $Cr+3.3Mo+16N$

**Таблица 4: Механические свойства всех сварочных металлов FCW для дуплексных нержавеющей сталей**

	Механические свойства при растяжении			Ударная вязкость при 20°C(J)
	0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	
DW-2307	571	750	29	58
AWS A5.22: E2307TX-Y	-	≥690	≥20	-
DW-2594	712	900	25	60
AWS A5.22: E2594TX-Y	-	≥690	≥20	-

Одним из свойств дуплексных нержавеющей сталей и предназначенных для них сварочных материалов является высокое содержание азота N. Это может приводить к образованию пустот в сварочных металлах, а также пор и свищей на их поверхности, когда излишний азот, растворенный в жидком металле, не остается в затвердевающем сварочном металле в состоянии твердого раствора. В проволоках FCW компании Kobelco для дуплексных нержавеющей сталей компоненты флюса оптимизированы таким образом, чтобы противостоять образованию газовых полостей, несмотря на высокое содержание азота N. На Иллюстрации 11 представлен внешний вид валика сварного шва и макроструктура стыкового сварного шва, выполненного с DW-2594 в позиции 3G. На них не видно никаких дефектов наподобие свищей и пор.



Иллюстрация 11: Внешний вид валика сварного шва и макроструктура шва, выполненного с DW-2594 в позиции 3G (защитный газ 80%Ar-20%CO2, 160A-26V)

### 3-3. Пруток с флюсовым сердечником TIG "Серии TGX"

При проварке корня шва труб из нержавеющей стали с присадочными прутками TIG обычно требуется слой защитного газа из чистого аргона Ar для предотвращения окисления подварочного шва, которое



может сделать шов непрочным. Существуют два широко распространенных метода защиты: защита всей трубы и защита только зоны сварки. Однако каждый из этих методов требует огромного количества времени и дорогостоящего аргона.

Еще одним примером передовых технологий FCW компании Kobe Steel является то, что присадочные прутки серии TGX для проварки швов методом TIG устраняют необходимость дорогостоящей защиты подварочного шва. Еще одним их преимуществом является то, что они позволяют сварщикам работать безопасно внутри труб, не опасаясь нехватки кислорода.

Флюсовый сердечник внутри присадочных прутков TIG дает нужный объем шлака, который полностью покрывает как лицевую, так и обратную сторону валика сварного шва, защищая их от контакта с воздухом и окисления даже без слоя защитного газа с обратной стороны шва. Шлак, покрывающий обе стороны валика сварного шва, легко удаляется легким постукиванием и позволяет получить валик с хорошим внешним видом, как показано на Иллюстрациях 12 и 13.

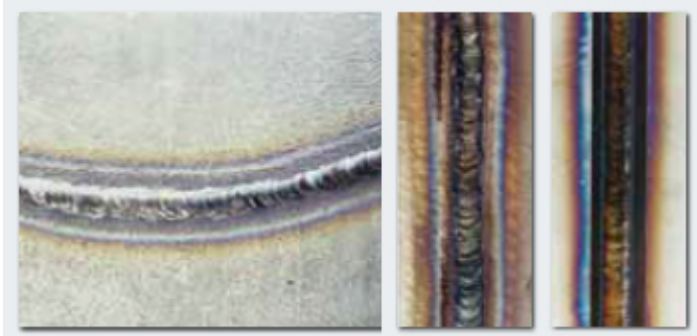


Иллюстрация 12: Валик подварочного шва трубы при сварке с проволокой TGX

Иллюстрация 13: Подварочный шов (слева) и внешний шов (справа)

Так как присадочные проволоки FCW серии TGX бесшовные, они почти такие же в обращении, как сплошные присадочные прутки TIG.

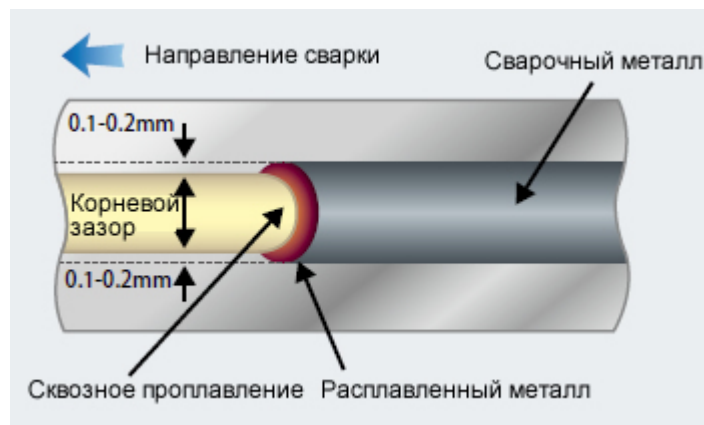


Иллюстрация 14: Как поддерживать нужное сквозное проплавление

Для того чтобы обеспечить получение прочного подварочного шва с присадочными прутками TGX, во время сварки необходимо достичь сквозного проплавления, чтобы значительный объем расплавленного шлака оттекал к подварочной стороне кромки и покрывал валик сварного шва с обратной стороны (Илл.14)

В Таблице 5 показаны рекомендуемые формы кромок на основе толщины стенок и корневого зазора.

Таблица 5: Рекомендуемые формы кромок для проварки корневых швов с присадочными прутками TGX			
Форма кромок	V-образная (70°C) Сторона 1,0 мм		
Толщина стенок (мм)	4	6	10
Корневой зазор (мм)	2.0	2.5	3.0

Скорость подачи присадочных прутков TGX слегка отличается от скорости подачи традиционных присадочных прутков TIG. Их следует подавать с высокой скоростью небольшими порциями, обращая внимание на то, чтобы не подавать слишком много за один раз.

С тех пор, как серии TGX были выпущены в середине 1980-х годов, они завоевали репутацию одного из показательных товаров Kobelco благодаря своей надежности и продемонстрированным результатам. Для того, чтобы удовлетворить потребности рынка, эти серии были расширены с добавлением проволоки PREMIARCTM TG-X2209 для дуплексных нержавеющей сталей, а также PREMIARCTM TG-X308L, TG-X316L, TG-X309L и TG-X347.

### 3-4. Серия DW-T для сварки тонких листов нержавеющей стали

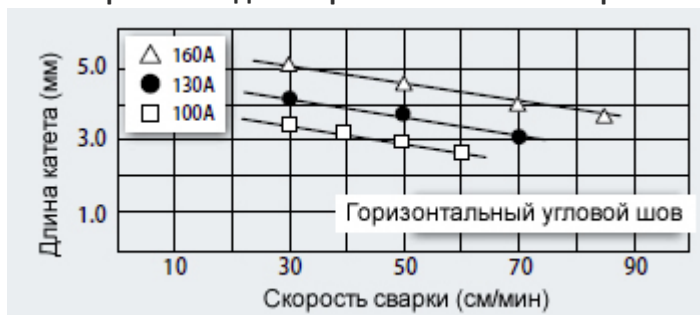


Иллюстрация 15: Соотношение между скоростью сварки и длиной катета для серии DW-T

Так как относительная толщина тонких листов стали в сооружениях из нержавеющей стали намного превышает этот показатель для сооружений из углеродистой стали, слаботочная сварка более важна для нержавеющей сталей, чем для углеродистых сталей. Раньше для сварки использовались в основном FCW диаметром 0,9 мм или сплошная сварочная проволока. Однако FCW диаметром 1,2 мм всегда были желательны из-за их низкой стоимости и большей доступности. Поэтому была разработана серия DW-T, которая сейчас высоко ценится на рынках.

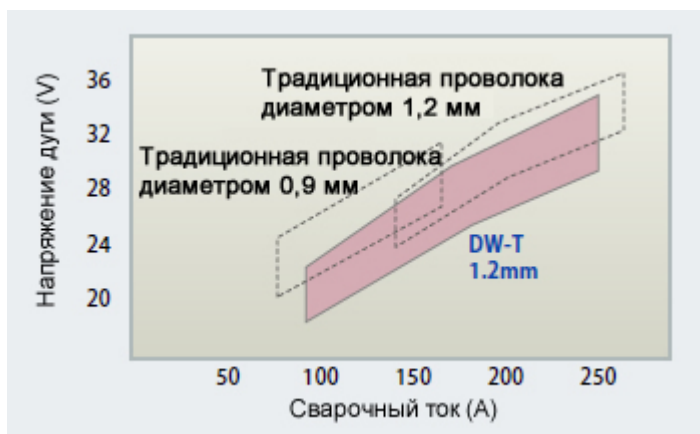


Иллюстрация 16: Диапазон оптимальных параметров сварки для серии DW-T

Серия DW-T проволоки диаметром 1,2 мм обладает следующими свойствами:

- (1) Подходит для малой величины катета, как показано на Иллюстрации 15, а также для слаботочной сварки, как показано на Иллюстрации 16. Возможна сварка даже при 100 А.
- (2) Возможна сварка тонких листов стали толщиной 1,0 или 2,0 мм, которая была затруднительна с традиционной проволокой диаметром 1,2 мм.
- (3) Отличная возобновляемость дуги, что устраняет необходимость отрезания кончика проволоки при возобновлении работы при сварке прихваточными швами.

## 4. Послесловие

Считается, что присадочные проволоки с флюсовым сердечником, которые являются одним из самых эффективных сварочных материалов, получат дальнейшее распространение в других областях применения, а значит, необходимо будет разработать новые типы FCW для будущих нужд.

Проволоки FCW компании Kobe Steel являются одним из самых надежных в мире сварочных материалов, получивших высокую оценку и поддержку на рынках. Технологии разработки и производства, созданные до сих пор, использованы не только для FCW для нержавеющей стали, но также и для никелевых сплавов, как показано в Таблице 1.

Недавно разработанный процесс сварки с проволокой FCW для нержавеющей стали предусматривает применение в качестве защитного газа чистого аргона Ar. Крайне малое разбрызгивание и низкое содержание углерода, свойственные этому новому сварочному процессу, будут описаны в следующем выпуске KOBELCO WELDING TODAY.