

УДК 621.79:669

*Позняков В.Д., Гайворонский А.А., Демченко Ю.В., Клапатюк А.В., Алимов А.Н., Костин Ю.Н.*

**СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОВОЛОКАМИ ХОРДА 307 Ti И СВ-08X20H9Г7Т**

**Постановка проблемы.** На протяжении длительного периода времени при изготовлении изделий из закаливающихся высокопрочных сталей высокой твердости широко используется сварочная проволока марки Св-08Х20Н9Г7Т. Ранее проволоки такого состава в Украине не изготавливались и закупались в РФ. Поскольку данный сварочный материал относится к изделиям двойного назначения, появились проблемы с ее приобретением. В связи с этим возникла острая потребность в создании и освоении производства аналога сварочной проволоки Св-08Х20Н9Г7Т в Украине. Эта задача в короткие сроки была решена ООО «ВИТАПОЛИС» и разработанная ими сварочная проволока сплошного сечения получила марку ХОРДА 307 Ti (табл.1).

*Таблица 1*

Химический состав сварочных проволок

Сварочная проволока	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
								не более	
Св-08Х20Н9Г7Т (ГОСТ 2246-70)	≤0,10	0,50-1,0	5,0-8,0	18,5-22,0	8,0-10,0	-	0,60-0,90	0,018	0,035
ХОРДА 307 Ti (ISO 14343 Stainless Steel)	≤0,10	0,50-1,0	5,0-8,0	18,5-22,0	8-10	≤0,10	-0,60-0,90	0,018	0,025

**Анализ последних достижений.** Для принятия решения о возможности применения нового сварочного материала в отрасли требуется выполнить ряд испытаний согласно ОСТ ВЗ-15.010-85. Такие исследования проводились в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины по специально разработанной программе. В соответствии с этой программой предусматривалось: определение сварочно-технологических свойств проволоки и устойчивости процесса сварки; исследование механических свойства металла шва и его сопротивляемости образованию горячих трещин; оценка стойкости сварных соединений броневых сталей высокой твердости к образованию холодных трещин. Все указанные свойства, которые обеспечивает проволока марки ХОРДА 307 Ti, сравнивали с аналогичными характеристиками, полученными при испытании серийной проволоки марки Св-08Х20Н9Г7Т.

**Целью настоящей работы** являлось оценка сварочно-технологических свойств новой проволоки ХОРДА 307 Ti в серийном производстве ЛБТ.

**Основная часть (анализ результатов исследований).** Для проведения исследований, использовались проволоки сплошного сечения диаметром 1,2 мм, химический состав которых приведен в табл.2. Механизированную сварку образцов осуществляли с использованием подающего механизма «Патон БП-601» и источника питания постоянного тока ВДУ-506. Сварочно-технологические свойства проволок оценивались как при сварке смеси защитных газов (82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>), так и при сварке в CO<sub>2</sub>. Такие исследования проводились с использованием нескольких режимов сварки [1-3]:

© В.Д. Позняков, 2017

- пониженный режим – сварочный ток ( $I_{св}$ ) = 130-140 А, напряжение на дуге ( $U_d$ ) = 22-24 В;
- серийный режим –  $I_{св}$  = 160-180 А,  $U_d$  = 26-27 В;
- повышенный режим –  $I_{св}$  = 200-220 А,  $U_d$  = 28-30 В.

*Таблица 2*

Химический состав металла шва сварных соединений, выполненных механизированной сваркой в смеси газов (82%Ar+18%CO<sub>2</sub>) на серийном режиме

Сварочная проволока	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
								не более	
ХОРДА 307 Ti	0,078	0,70	5,9	18,6	8,1	0,178	0,47	0,011	0,024
Св-08Х20Н10Г7Т	0,11	0,65	5,4	18,4	8,0	---	0,31	0,016	0,030

Оценку сварочно-технологических свойств выполняли с использованием образцов размером 250×100 мм, которые изготавливали из броневой стали высокой прочности толщиной 10 мм. Перед сваркой образцы были очищены от загрязнений и окалины абразивным инструментом.

При выполнении исследований визуально определяли качество формирования шва, характер отделимости шлаковой корки и стабильность процесса сварки (горения дуги). Кроме этого, применительно к процессу сварки, который производился в смеси газов, оценивали производительность сварки по массе наплавленного металла ( $Q$ , г/сек) и коэффициент потерь электродного металла на разбрызгивание ( $\Psi$ , %).

По результатам испытаний установлено, что во всем исследованном диапазоне режимов сварки, выполняемой проволоками марок Св-08Х20Н9Г7Т и ХОРДА 307 Ti, как в смеси газов, так и в CO<sub>2</sub>, обеспечивается хорошее формирование валиков. На поверхности они имеют вид литой мелкочешуйчатой структуры. При сварке в смеси газов на поверхности швов образуется незначительное количество налета (шлаковой корки), который в основном отделяется от поверхности литого металла самопроизвольно, а остатки легко удаляются металлической щеткой. Несколько большее количество шлаковой корки зафиксировано для процесса, выполняемого в CO<sub>2</sub>. Но и в этом случае шлак отделяется самопроизвольно, резко отскакивая от поверхности наплавленного металла. Горение дуги во всех случаях стабильное.

Коэффициент потерь электродного металла на разбрызгивание для всех вариантов сварки находятся в пределах, допускаемых нормативной документацией требований ( $\Psi \leq 15\%$ ), но между ними имеются и некоторые отличия (табл.3). Так, с увеличением силы сварочного тока от 140 А до 220 А коэффициент  $\Psi$  в случае использования проволоки марки Св-08Х20Н9Г7Т повышается от 7% до 9%, а при сварке проволокой ХОРДА 307 Ti он не превышает 7,3%. Такая разница может быть связана с состоянием поверхности проволок. Поверхность проволоки марки ХОРДА 307 Ti полирована. За счет этого улучшается контакт между проволокой и наконечником горелки. При этом процесс сварки становится более стабильным и, как следствие, потери электродного металла на разбрызгивание при повышении режимов сварки уменьшаются, а производительность повышается.

Сравнительные характеристики производительности процесса и потерь электродного металла при сварке проволоками ХОРДА 307 Ti и Св-08Х20Н9Г7Т

№ п/п	Проволока	Режимы сварки		Показатели свойств	
		I <sub>СВ</sub> , А	U <sub>д</sub> , В	Q, г/сек	Ψ, %
1	Св-08Х20Н9Г7Т	140-160	22 - 24	0,6	7
2		160-180	26 - 27	<b>0,91</b>	<b>8,7</b>
3		200-220	28 - 30	1,1	9
4	ХОРДА 307 Ti	130-140	22 - 24	0,63	5
5		160-180	26 - 27	<b>0,98</b>	<b>7,3</b>
6		200-220	28 - 30	1,18	5,3

Дальнейшие исследования были направлены на сравнительную оценку механических свойств металла швов, выполненных проволоками марок ХОРДА 307 Ti и Св-08Х20Н9Г7Т, их склонность к образованию горячих трещин, а также стойкость сварных соединений броневых сталей высокой твердости к образованию холодных трещин. Для этого были выполнены испытания специальных сварных соединений согласно ОСТ ВЗ-15.010-85. Сварку соединений при испытаниях выполняли в смеси защитных газов на постоянном токе обратной полярности с использованием следующего режима: I<sub>СВ</sub> = 160-180 А, U<sub>д</sub> = 26-28 В, скорость сварки V<sub>СВ</sub> = 12-15 м/час.

Для определения механических свойств металла швов были подготовлены сварные стыковые соединения размером 350×100×16 мм с V-образной симметричной разделкой кромок с общим углом раскрытия 60°. Из металла шва соединений изготавливали стандартные образцы, которые испытывали при температуре 20°С. Обобщенные результаты механических испытаний приведены в табл.4.

Таблиця 4

Механические свойства металла швов сварных соединений при дуговой сварке в смеси газов проволоками марок ХОРДА 307 Ti и Св-08Х20Н9Г7Т

Сварочный материал	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	Ψ, %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	
					+20°С	-40°С
Требования НД		≥550	≥25		≥90	
ХОРДА 307 Ti	404-478	623-681	42,1-43,8	52,0-53,0	154-169	148-161
Св-08Х20Н9Г7Т	400-413	676-679	41,0-44,0	57,8-58,0	100-115	68-76

\*Приведены результаты испытаний по 3-м образцам

Как видно, механические свойства металла шва сварных соединений близки по своим показателям и удовлетворяют требованиям нормативной документации. При этом, показатели ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах при сварке проволокой ХОРДА 307 Ti более чем на 50% выше, чем при сварке проволокой Св-08Х20Н10Г7Т.

Оценку стойкости сварных швов против образования горячих кристаллизационных трещин выполняли при испытании образцов на трехточечный изгиб на установке Фридлянда с соблюдением требований ОСТ ВЗ-15.010-85 [4]. Для этого изготавливали стыковые соединения размером 200x120x16мм с углом раскрытия разделки кромок 30° и притуплением 4мм. Образцы при сварке нагружали изгибом с усилием 3т. Нагружение образцов начиналось после заварки 1/3 длины разделки. Критерием, определяющим стойкость металла швов к образованию горячих трещин, являлась критическая

скорость нагружения образцов ( $V_{кр}$ ), при которой не наблюдается образование трещин в металле шва. Согласно нормативным документам, металл швов будет обладать требуемой стойкостью к данному виду разрушения в том случае, если величина  $V_{кр}$  превышает 4 мм/мин. Обобщенные результаты оценки стойкости сварных швов, выполненных проволоками ХОРДА 307 Ti и Св-08Х20Н10Г7Т, представлены на рис.1.

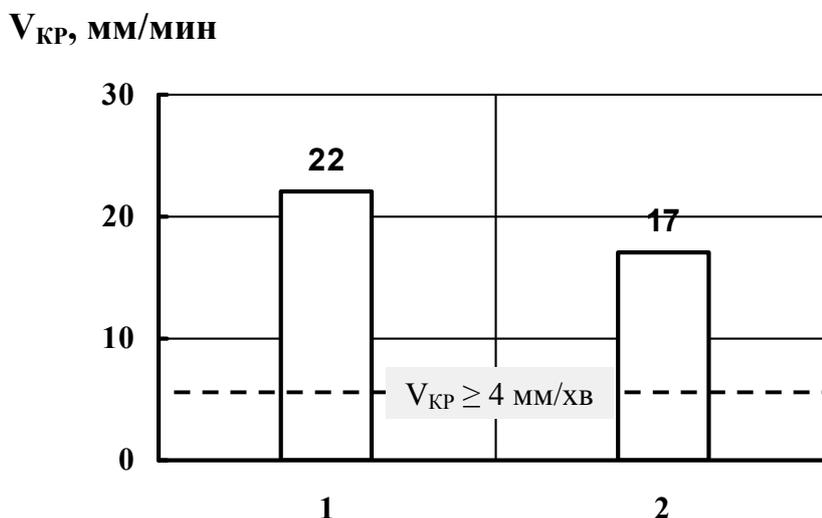


Рис.1. Стойкость сварных швов против образования горячих трещин при испытаниях на изгиб :1 – ХОРДА 307 Ti, 2 – Св-08Х20Н9Г7Т

Как видно, при сварке проволокой ХОРДА 307 Ti обеспечивается более высокая стойкость металла шва против образования горячих трещин, чем при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т.

Оценку сопротивляемости сварных соединений броневых сталей образованию холодных трещин выполняли с использованием технологической пробы согласно ОСТ В3-15.010-85. Контрольные соединения из броневой стали марки 71 имели размеры 300×200×10 мм (3 шт.) и 300×200×16 мм (3 шт.), которые сваривали механизированным способом в среде защитных газов без предварительного подогрева на серийных режимах. После сварки образцы выдерживали в жестко закрепленном состоянии в течение 3-х суток при комнатной температуре, а затем из них изготавливались макрошлифы для металлографических исследований. Результаты исследований представлены в табл. 5, а фотографии макрошлифов на рис. 2. По результатам визуального контроля макрошлифов холодных трещин в сварных соединениях не выявлено.

Таблица 5

Результаты испытаний технологических проб согласно ОСТ В3-15.010-85, выполненных проволоками ХОРДА 307 Ti и Св-08Х20Н9Г7Т.

Сварочная проволока	Толщина металла, мм	Режимы сварки			Наличие холодных трещин
		$I_{св}$ , А	$U_{д}$ , В	$V_{св}$ , м/час	
ХОРДА 307 Ti	10	160-180	26-28	12-15	Нет (рис.2, а)
	16				Нет(рис.2, б)
Св-08Х20Н9Г7Т	10				Нет(рис.2, в)

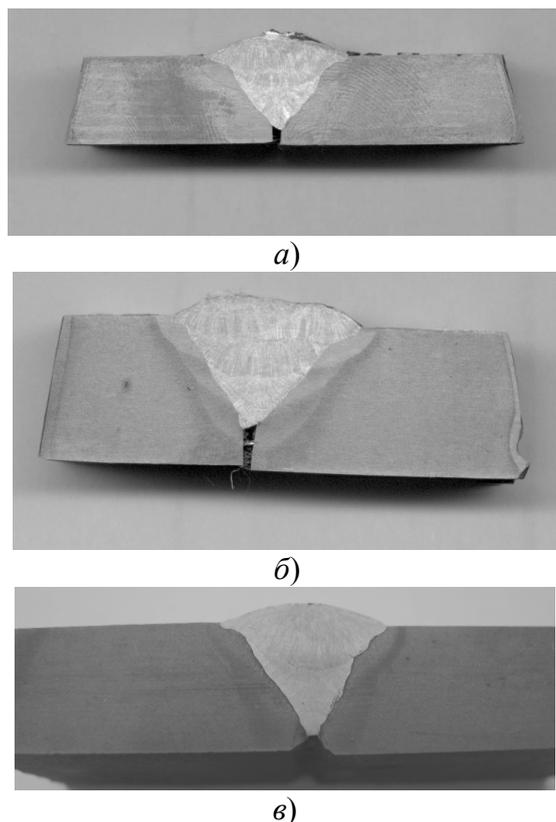


Рис.2. Макрошлифы сварных соединений толщиной 10 мм (а, в) и 16 мм (б), выполненных проволоками ХОРДА 307 Ti (а, б) и Св-08Х20Н9Г7Т (в) без предварительного подогрева

**Выводы.** 1. Химический состав новой сварочной проволоки отечественного производства марки ХОРДА 307 Ti (ISO 14343 Stainless Steel) полностью отвечает серийной проволоке марки Св-08Х20Н9Г7Т (ГОСТ 2246-70).

2. Проволока марки ХОРДА 307 Ti диаметром 1,2 мм отличается высокими показателями сварочно-технологических свойств при механизированной сварке в смеси газов 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> на режимах от 130 А до 220 А. Производительность сварочного процесса, выполняемого проволокой ХОРДА 307 Ti, выше на 5-10%, чем при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т, при этом коэффициент потерь электродного металла на 15-30% ниже. При этом обеспечивается стабильное горение дуги как при сварке в смеси газов на базе аргона, так и при механизированной сварке в CO<sub>2</sub>. Формирование поверхности шва мелкочешуйчатое. На поверхности швов при сварке в газовой смеси образуется незначительный налет, или корка при использовании в качестве защитной среды углекислого газа, которые легко удаляются с поверхности металла.

3. Механические свойства металла шва сварных соединений броневых сталей высокой твердости, выполненных проволокой ХОРДА 307 Ti, находятся на уровне показателей как и при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т.

4. При сварке проволокой ХОРДА 307 Ti обеспечивается высокая стойкость сварных соединений из броневых сталей против образования горячих и холодных трещин. По этим показателям проволока марки ХОРДА 307 Ti не отличается от серийной проволоки марки Св-08Х20Н9Г7Т.

5. По сварочно-технологическим свойствам, стабильности процесса сварки, механическим свойствам металла швов, стойкости сварных соединений против образования холодных и горячих трещин, новая сварочная проволока отечественного производства марки ХОРДА 307 Ti не уступает серийной проволоке марки Св-08Х20Н9Г7Т, что дает основания рекомендовать ее к применению для сварки конструкций ЛБТ в серийном производстве.

**Литература:** 1. Мусияченко В.Ф., Миходуй Л.И. Дуговая сварка высокопрочных легированных сталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 79с. 2. Римский С.Т. Руководство по технологии механизированной сварки в защитных газах. – К.: «Экотехнология», 2006. – 60с. 3. Потаповский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. – К.: «Экотехнология», 2007. – 192с. 4. Фридлянд Л.А., Тимофеев К.И. Испытание статическим изгибом сварных швов на склонность к образованию горячих трещин // Автоматическая сварка. – 1957. - №2. – С.66-69.

**Bibliography (transliterated):** 1. Musiyachenko V.F., Mihoduj L.I. Dugovaya svarka vysokoprochnykh legirovannykh stalej. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 79s. 2. Rimskij S.T. Rukovodstvo po tekhnologii mekhanizirovannoj svarki v zashchitnyh gazah. – K.: «EHkotekhnologiya», 2006. – 60s. 3. Potap'evskij A.G. Svarka v zashchitnyh gazah plavyashchimsya ehlektrodom. CHast' 1. Svarka v aktivnyh gazah. – K.: «EHkotekhnologiya», 2007. – 192s. 4. Fridlyand L.A., Timofeev K.I. Ispytanie staticheskim izgibom svarnykh shvov na sklonnost' k obrazovaniyu goryachih treshchin // Avtomaticheskaya svarka. – 1957. - №2. – S.66-69.

Позняков В.Д., Гайворонский А.А., Демченко Ю.В., Клапатыук А.В., Алимов А.Н., Костин Ю.Н.

### СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОВОЛОКАМИ ХОРДА 307 Тi И СВ-08Х20Н9Г7Т

Выполнена сравнительная оценка сварочно-технологических свойств, стойкости против образования горячих и холодных трещин, при применении проволок Св-08Х20Н9Г7Т и ХОРДА 307 Тi. Показано, что по сварочно-технологическим свойствам, стабильности процесса сварки, механическим свойствам металла швов, стойкости сварных соединений против образования холодных и горячих трещин, новая сварочная проволока отечественного производства марки ХОРДА 307 Тi не уступает серийной проволоке марки Св-08Х20Н9Г7Т, что дает основания рекомендовать ее к применению для сварки конструкций ЛБТ в серийном производстве.

Позняков В.Д., Гайворонский О.А., Демченко Ю.В., Клапатыук А.В., Алимов А.М., Костин Ю.М.

### ЗВАРЮВАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ШВА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, ЯКІ ВИКОНАНІ ДРОТАМИ ХОРДА 307 Тi І СВ-08Х20Н9Г7Т

Виконана порівняльна оцінка зварювально-технологічних властивостей, стійкості проти утворення гарячих і холодних тріщин, при застосуванні дротів Св-08Х20Н9Г7Т і ХОРДА 307 Тi. Показано, що за зварювально-технологічними властивостями, стабільності процесу зварювання, механічними властивостями металу швів, стійкості зварних з'єднань проти утворення холодних і гарячих тріщин, новий зварювальний дріт вітчизняного виробництва марки ХОРДА 307 Тi не поступається серийному дроту марки Св-08Х20Н9Г7Т, що дає підстави рекомендувати його до застосування при зварюванні конструкцій ЛБТ в серийному виробництві.

V. Poznyakov, A. Gajvoronskij, Yu. Demchenko, A. Klapatyuk, A. Alimov, Yu. Kostin  
WELDING AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF METAL WELDS OF WELDING WIRE CONNECTED BY WIRE 307 TI AND SV-08X20N9G7T

A comparative evaluation of welding and technological properties, resistance to the formation of hot and cold cracks, using wires Sv-08X20N9G7T and HORD 307 TI. It is shown that the new welding wire of the domestic production of the brand HORDA 307 Ti is not inferior to the serial wire of the brand Sv-08X20N9G7T for welding-technological properties, the stability of the welding process, the mechanical properties of weld metal, the resistance of welded joints to the formation of cold and hot cracks, which gives grounds for recommending Its application to the welding of LBT structures in series production.