

О. Г. СИНСОК, А. М. ГЕРАСИМЕНКО, В. Д. РЯБОКОНЬ, К. В. РЯБЦЕВ,  
К. Ю. КОРЗІН (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ),  
О. В. ЗДОРЕНКО (ООО «ЕСАБ», Україна)

## ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПРОКАТУ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ

Зварювальні матеріали, які, як правило, використовуються при виготовленні відповідальних будівельних металокопункцій, не завжди відповідають високим показникам властивостей прокату класів міцності С355-490 МПа. В роботі представлено результати дослідження застосування зварювальних матеріалів фірми «ЕСАБ» для автоматичного зварювання під флюсом прокату 06Г2Б ТУ У 27.1-05416923-085:2006.

Сварочные материалы, которые, как правило, используются при изготовлении ответственных строительных металлокопункций, не всегда отвечают высоким показателям свойств проката классов прочности С355-490 МПа. В работе представлены результаты исследования применения сварочных материалов фирмы «ЭСАБ» для автоматической сварки под флюсом проката 06Г2Б ТУ В 27.1-05416923-085:2006.

Welding materials, which are as a rule used for making the responsible metal constructions, do not always meet the high indices of rolled steel properties of durability classes С355-490 МПа. In the paper the research results of application of welding materials produced by the firm «ESAB» for the automatic flux welding of rolled steel 06Г2Б ТУ В 27.1-05416923-085:2006 are presented.

Розвиток мостобудування безпосередньо пов'язаний з поліпшенням якості сталевих прокатів. Згідно з ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування» чинні з 02.01.2007 р. [1] в металевих копункціях для елементів з прокатного металу слід застосовувати сталь відповідно до табл. 1.

У вітчизняному мостобудуванні, як правило, застосовують сталі марок 10ХСНД, 15ХСНД за ГОСТ6713. В основі легування цих сталей елементи – вуглець, кремній, марганець, хром, нікель, мідь. Досить широко для будівельних металокопункцій застосовується сталь 09Г2СД ГОСТ 19281.

Сучасним вимогам до матеріалів для відповідальних металокопункцій відповідають сталі нового покоління – економнолеговані сталі 06ГБД, 06Г2БД класу міцності С 355-490 за ТУ У 27.1-05416923-085:2006. Ці сталі відрізняються, від звичайно застосовуваних у вітчизняних металокопункціях, економним легуванням, високою надійністю, холодостійкістю, оптимальною зварюваністю.

Прокат 10ХСНД класу міцності 390 і 15ХСНД класу міцності 345 забезпечує високі характеристики міцності при значному легуванні дефіцитними Сг та Ні. ГОСТ 6713 – основний нормативний документ, що регламентує вимоги до металопрокату для мостових копункцій, передбачає нормування міцності, пластичних властивостей і характеристик в'яз-

кості. Однак він не гарантує забезпечення опору крихкому руйнуванню металу при низьких температурах за результатами випробування на ударну в'язкість зразків з гострим надрізом (КСV). Нормативним документом ГОСТ 19281 гарантується ударна в'язкість сталей 10ХСНД, 15ХСНД по Шарпі (КСV) не нижче 40 Дж/см<sup>2</sup> тільки при температурах 0 і мінус 20 °С.

Листовий прокат 09Г2СД С345 має нижчі значення границі текучості і тимчасового опору в порівнянні зі сталями 10ХСНД, 15ХСНД. Ударна в'язкість прокату на зразках з гострим надрізом КСV нормується стандартом ГОСТ 19281 не нижче 40 Дж/см<sup>2</sup> при температурі випробування мінус 20 °С.

Прокат 06ГБД, 06Г2БД класів міцності С355-490 відповідно до ТУ У 27.1-05416923-085:2006 забезпечує показники ударної в'язкості КСV при мінус 20 °С – 98 Дж/см<sup>2</sup>, при мінус 40 °С – 78 Дж/см<sup>2</sup>, при мінус 60 °С – 59 Дж/см<sup>2</sup>. Сталь поставляється з гарантованими значеннями характеристик міцності і пластичних властивостей у напрямку товщини, а також з гарантованим забезпеченням суцільності товстолистового прокату не нижче 1, 2 класів за ГОСТ 27727.

Прикладом застосування сталей нового покоління в металокопункціях мостів є будівництво автодорожнього моста через вхід у Гавань Подільського мостового переходу в місті Києві.

ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проектування (табл. 4. 1)

Марка сталі	Клас міцності	Товщина прокату		ДСТУ, ГОСТ, ТУ	Додаткові вимоги
		листового	фасонного		
1	2	3	4	5	6
16Д	235	до 20 вкл.		ГОСТ 6713	Згідно з приміткою до табл. 1*, 1.14, 1.16
16Д	225	21...40 вкл.		ГОСТ 6713	
16Д	215	41...60 вкл.		ГОСТ 6713	
15ХСНД	345	8...15 вкл.		ГОСТ 6713	
15ХСНД	335	16...50 вкл. 16...32 вкл.		ГОСТ 6713	
10ХСНД	390	8...15 вкл.		ГОСТ 6713	
10ХСНД-2	390	8...40 вкл.	8...15 вкл.	ГОСТ 6713	
15ХСНД-12	345	до 32 вкл.	до 10 вкл.	ГОСТ 19281	п.п. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.6, 2.2.9, 2.2.11, 2.3 згідно з ГОСТ 19281 клас суцільності 1, 2 по ГОСТ 22727
10ХСНД-12	390	до 40 вкл.	до 15 вкл.	ГОСТ 19281	
14Г2АФД	390	до 50 вкл.	-	ГОСТ 19281	п. 1.4
15Г2афдпс	390	до 32 вкл.	-	ГОСТ 19281	п. 1.4
09Г2д-12	295Д	до 32 вкл.	до 20 вкл.	ГОСТ 19281	п.п. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.6, 2.2.9, 2.2.11, 2.3 клас суцільності 1, 2 по ГОСТ 22727
09Г2Сд-12	295Д	21...32 вкл.		ГОСТ 19281	
09Г2Сд-12	325Д	від 10 до 20 вкл.		ГОСТ 19281	
09Г2д-12	325Д	до 10 вкл.		ГОСТ 19281	
09Г2Сюч-2	325	8 до 50 вкл.		ТУ У 322-16-127	клас суцільності 1, 2 по ГОСТ 22727
09Г2Сюч-2	355	8 до 50 вкл.		ТУ У 322-16-127	
09Г2Сюч-3	390	8 до 50 вкл.		ТУ У 322-16-127	
Е36	355	8 до 50 вкл.		ГОСТ 5521	
Е40	390	8 до 40 вкл.		ГОСТ 5521	
06ГБД	355	8 до 50 вкл.		ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06ГБД	390	8 до 50 вкл.		ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06Г2БД	440	8 до 50 вкл.		ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06Г2БД	490	8 до 50 вкл.		ТУ У 27.1-05416923-085:2006	

Ця інженерна споруда характерна тим, що вперше у вітчизняному мостобудуванні в основних металевих зварних конструкціях (головних балках) застосований листовий прокат двох різних марок сталей одного класу міцності С390: широко застосовуваної в мостобудуванні сталі 10ХСНД-2 ГОСТ 6713 і нової сталі 06ГБД ТУ У 27.1-054416923-085:2006.

Дослідження прокату 06ГБД, 06Г2БД ТУ У 27.1-05416923-085:2006, атмосферостійкої сталі 06Г2БДП ТУ У 27.1-05416923-078:2006 та порівняльний аналіз з широковідомими сталями 09Г2СД-12 ГОСТ 19281, 10ХСНД, 15ХСНД ГОСТ 6713 показали, що оптимальні службові характеристики, в тому числі зварюваність має прокат 06ГБД, 06Г2БД.

Сталі 06ГБД, 06Г2БД мають високі характеристики міцності і пластичні властивості, практично однакові в подовжньому, поперечному напрямі прокату. Звертає увагу істотне підвищення нормативних показників  $\delta_5$ ,  $\psi$ ,  $\psi_z$  і ударної в'язкості КСВ.

Ударна в'язкість при температурі випробування мінус 40 °С на зразках з гострим надрізом типу Шарпі в поперечному напрямі прокату значно вища за вимоги технічних умов. Величина відносного звуження у напрямі товщини  $\psi_z = 70$  %, що визначає високу опірність прокату утворенню шаруватих тріщин [2, 3].

Комплекс механічних властивостей ( $\sigma_t$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta_5$ , КСВ) металу зони термічного впливу сталі класу міцності С 390...440 МПа повною мірою забезпечується на рівні вимог ТУ У27.1-05416923-085:2006 при швидкостях охолодження зварних з'єднань (W6/5min) не нижче 10 °С/с без спеціальних технологічних прийомів. Ці значення швидкості охолодження узгоджуються з традиційними режимами ведення зварювальних робіт при ручному і механізованому в захисних газах зварюванні, а також для автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Між тим, вітчизняні зварювальні матеріали, які, як правило, використовуються при виробництві відповідальних будівельних металоконструкцій, не завжди відповідають високим показникам властивостей прокату класів міцності С355-490 МПа. Це спричинило необхідність вибору зварювальних матеріалів, застосування яких забезпечить властивості металу зварного шва на рівні характеристик основного матеріалу.

Враховуючи сучасні тенденції зварювальної науки, появу на ринку нових зварювальних матеріалів та розширення спектру рекомендованих для використання в будівництві сталей підвищеної міцності, існує об'єктивна потреба в дослідженні та розробці технологій зварювання

з метою забезпечення оптимальних властивостей зварних з'єднань. В свою чергу, оптимізація зварювальних матеріалів та зварювальних технологій сталей підвищеної міцності дасть широку перспективу їх використання при виготовленні та монтажі будівельних металевих конструкцій та мостів.

Зниження металоемкості металоконструкцій, завдяки використанню сталей підвищеної міцності, забезпечення високих характеристик міцності зварних з'єднань металоконструкцій за рахунок оптимізації технологій зварювання та зварювальних матеріалів дозволить підвищити експлуатаційний ресурс мостів і інших будівельних конструкцій.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона проводяться комплексні дослідження та розробка технологій зварювання прокату підвищеної міцності марок 06ГБД, 06Г2БД з застосуванням сучасних зварювальних матеріалів у тому числі зварювального дроту та флюсів виробництва фірми «ЕСАБ».

Для зварювання під флюсом низьковуглецевих та низьколегованих сталей концерн «ЕСАБ» рекомендує алюмінатно-фосфатний флюс ОК Flux 10.71.

ОК Flux 10.71 – агломерований основний флюс для дугового зварювання під флюсом, виконання одно- та багатопрхідних зварних швів прокату різної товщини. Він може використовуватися в комбінації з різним дротом, як суцільного перерізу, так і порошковим дротом, а тому придатний для зварювання більшості категорій нелегованих та низьколегованих сталей. Флюс ОК Flux 10.71 поєднує в собі високі пластичні характеристики наплавленого металу, оптимальні зварювально-технологічні властивості та забезпечує плавний перехід від наплавленого металу до основного. Задовільне відокремлення шлаку та незначне легування Si та Mn – якості, які дають відмінний результат при застосуванні флюсу для багатопрхідного зварювання товстостінних металоконструкцій. Незначна лускатість наплавленого металу дозволяє виконувати зварювання на високих швидкостях при задовільних значеннях ударної в'язкості. Типовий хімічний склад наплавленого металу дротом ОК Autrod під флюсом ОК Flux 10.71 наведено в табл. 2.

В цивільному будівництві ОК Flux 10.71 є одним з найбільш широко застосовуваних флюсів. Його застосовують для зварювання високоміцних конструкційних сталей, а також для зварювання стійкого проти атмосферної корозії прокату, наприклад для мостових металоконструкцій.

Типовий хімічний склад наплавленого металу

Поєднання флюсу ОК Flux 10.71 з дротом ОК Autrod	Масова доля елементів, %			
	C	Si	Mn	Mo
ОК Autrod12.10	0,08	0,2	0,9	-
ОК Autrod12.20	0,08	0,2	1,3	-
ОК Autrod12.22	0,08	0,4	1,3	-
ОК Autrod12.24	0,08	0,3	1,3	0,4
ОК Autrod12.32	0,09	0,4	1,6	-
ОК Autrod12.34	0,10	0,3	1,6	0,4

В лабораторних умовах ІЕЗ було зварено стикові з'єднання автоматичним зварюванням дротом ОК Autrod під флюсом Flux 10.71, кореневі проходи виконано напівавтоматичним зварюванням в захисному газі CO<sub>2</sub> дротом СВ-08Г2С діаметром 1,2 мм. Результати дослідження

службових властивостей зразків зварних з'єднань представлено в табл. 3.

На рис. 1. представлено порівняльний аналіз результатів досліджень ударної в'язкості металу шва та ЗТВ зварних з'єднань прокату 06Г2Б С 440 МПа, виконаних автоматичним зварюванням різними присадними матеріалами.

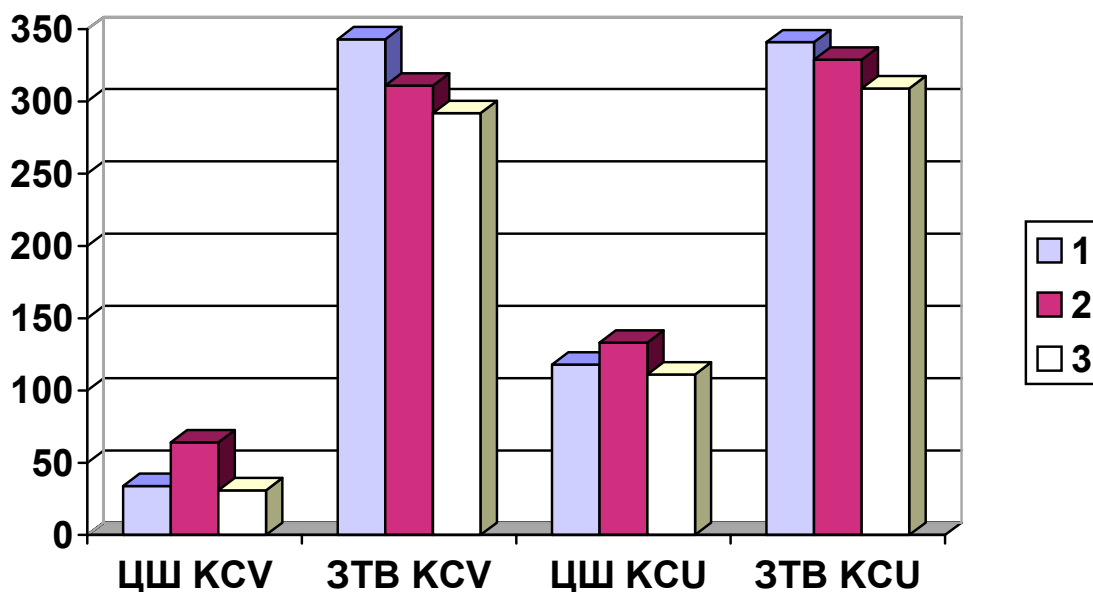


Рис. 1. Ударна в'язкість KCV, KCU (Дж/см<sup>2</sup>) металу шва і ЗТВ зварних з'єднань сталі 06Г2Б С440 (температура випробування мінус 40 °С):  
1 – ОК Autrod 12.20, Ø 3 мм/ ОК Flux 10.71; 2 – ОК Autrod 12.32, Ø 5 мм/ ОК Flux 10.71;  
3 – СВ-08Г1НМА, Ø 4 мм/ АНК-561

Оптимальні властивості зварних з'єднань для сталі 06Г2Б даного класу міцності отримані при поєднанні ОК Autrod 12.32, Ø 5 мм + ОК Flux 10.71.

Проведені дослідження механічних властивостей зварних з'єднань, виконаних автоматичним зварюванням під флюсом марки ОК Flux 10.71 в комбінації зі зварювальним дротом

ОК Autrod 12.20 та ОК Autrod 12.32 дозволили зробити наступний висновок:

1. Керамічний флюс марки ОК Flux 10.71 має високі зварювально-технологічні властивості, забезпечує легке збудження зварювальної дуги та стабільність горіння. Валики зварних швів шва мають рівномірну лускату форму з плавним переходом до основного металу.

Результати випробувань зварних з'єднань прокату сталі 06Г2Б С 440

№ з/п	Прокат, товщина	Зварювальні матеріали: дріт/флюс	Метал зварного шва				Зварне з'єднання		Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup>			
			σ <sub>т</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	ψ, %	σ <sub>в</sub> , МПа	Кут згину, град.	КСУ при T = -40 °C		КСУ при T = -40 °C	
									Центр шва	ЗТВ	Центр шва	ЗТВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	06Г2Б С440 20 мм	OK Autrod 12.20, Ø 3 мм/ OK Flux 10.71	527,2	593,1	28,3	71,6	538,0	180	51,1	343,5	110,6	335,5
			539,4	596,1	25,0	71,5	539,5	180	29,9	343,1	186,7	345,2
									23,1	343,2	60,5	343,5
2	06Г2Б С440 20 мм	OK Autrod 12.32, Ø 5 мм/ OK Flux 10.71	556,1	633,3	27,0	73,2	609,4	180	63,3	310,9	139,1	317,8
			544,6	629,8	20,3	65,9	592,3	180	56,2	321,8	145,7	327,2
			535,9	617,4	24,7	71,6			70,4	303,5	117,3	344,3
3	06Г2Б С440 20 мм	Св-08ГІНМА, Ø 4 мм/ АНК-561	604,9	698,2	25,3	66,1	582,1	180	33,8	300,2	108,2	305,5
			604,9	693,0	24,7	66,1	580,7	180	34,0	285,0	114,9	317,1
			590,4	677,5	26,0	68,0			24,3	289,5	110,4	307,6

2. Показники міцності металу шва і зварного з'єднання на рівні характеристик основного металу прокату 06Г2Б С 440 за ТУ У 27.1-054416923-085:2006. Кут згину та відносне подовження металу шва зварних з'єднань задовольняє вимоги регламентовані НТД в мостобудуванні (ВСН 169-80; СНиП 3.06.04-91).

3. Зварні з'єднання, виконані автоматичним зварюванням під флюсом марки ОК Flux 10.71 з застосуванням дроту ОК Autrod 12.20 та ОК Autrod 12.32 забезпечують вимоги НТД в мостобудуванні щодо ударної в'язкості (КСУ при температурі випробування мінус 40 °С не нижче 29 Дж/см<sup>2</sup>) як по металу шва, так і в зоні термічного впливу.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Державні будівельні норми України. Мости та труби. Правила проектування [Текст]: ДБН В.2.3-14:2006. – Введ. 2007-02-01. – К.: Мінбуд України, 2007. – 348 с.
2. Ковтуненко, В. А. Высокопрочная экономнолегированная сталь 06Г2Б С  $\sigma_t > 440$  МПа для мостостроения [Текст] / В. А. Ковтуненко, А. М. Герасименко, А. Г. Синеок // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2004. – № 69. – С. 106-113.
3. Ковтуненко В. А. Выбор стали для ответственных сварных строительных конструкций [Текст] / В. А. Ковтуненко, А. М. Герасименко, А. А. Гоцуляк // Автоматическая сварка. – 2006. – № 11. – С. 32-37.

Надійшла до редколегії 15.03.2010.

Прийнята до друку 22.03.2010.