

превышает диаметра ферритного зерна, а при интеркристаллитном – ограничивается величиной поверхностного раздела ферритного зерна и перлитной колонии.

Таким образом, поведение металла при механических испытаниях идентично результатам испытаний для стали 09Г2С, что позволяет использовать трубную сталь 10Г2ФБ в строительных конструкциях вместо стали 09Г2С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ниобийсодержащие низколегированные стали / [Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И. и др.]. – М.: “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”, 1999. – 94с.

УДК 621.791.048-52

СТАХОВ С.В., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ПІД АГЛОМЕРОВАНИМ ФЛЮСОМ

Вступ. Вступ України до ВТО, зростаюча конкуренція на ринку металу і наслідки економічної кризи обумовлюють необхідність подальших досліджень з розробок та використання нових матеріалів і технологій, постійне збільшення обсягів і впровадження високоміцних низколегованих (ВМНЛ) сталей ($\sigma_{\text{в}} \geq 620$ МПа) з мінімальними економічними витратами в різних галузях виробництва, що являється актуальною задачею.

Серед заходів, направлених на покращення якості готової продукції, значна увага приділяється використанню ВМНЛ сталей для виготовлення труб різного призначення, фасонного і листового прокату, арматурної сталі, цільнокатаних коліс та інше. Головна складова економічної ефективності застосування металу підвищеної і високої міцності – економія металу. Значні результати для отримання такого металу, окрім мікролегкування сталі, дає карбонітридне зміцнення, термічна обробка прокату і інші способи, які дозволяють при виготовленні металоконструкцій заощадити 8-20% металу.

Використання металу підвищеної міцності в різних галузях промисловості забезпечує значну економічну ефективність. До технічних питань, які вимагають подальшого рішення з використання ВМНЛ сталі, відноситься підвищення виплавки низколегованої сталі і розширення асортименту виготовлення агломерованих флюсів в умовах зростаючої конкуренції західних виробників, а до економічних – питання ціноутворення.

Економічна ефективність застосування ВМНЛ сталей і агломерованих флюсів замість плавлених визначається на підставі розрахункових показників: собівартості і питомих капітальних витрат на 1 т прокату різних типорозмірів і марок сталей, витрати прокату на виготовлення конструкцій, трудомісткості їх виготовлення і монтажу, транспортних витрат, пов'язаних з перевезенням прокату і готових виробів.

Постановка задачі. Обґрунтування доцільності використання при автоматичному багатодуговому зварюванні високоміцних низколегованих сталей агломерованих флюсів замість плавлених. Вивчення впливу плавленого АН-60П і агломерованого АНКС-28 флюсів на механічні властивості металу шва і зварного з'єднання з високоміцної низколегованої сталі 17Г1С-У.

Результати роботи. В ході виконання досліджень при автоматичному дводуговому зварюванні сталі 17Г1С-У дротом Св-08Г1НМА діаметром 4 мм під плавленим АН-60П і агломерованим АНКС-28 флюсами були визначені механічні властивості металу шва і зварного з'єднання. Визначалась залежність механічних властивостей наплавленого металу і зварного з'єднання від погонної енергії зварювання, швидкості охолодження металу і основності флюсів. При проведенні досліджень були використані режими зварювання для зовнішнього і внутрішнього швів труб діаметром 1020 мм.

Визначення механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання проводилися згідно з ГОСТ 6996-66 і ГОСТ 11150-75 при різних температурах.

При виготовленні зразків бралася стружка для визначення хімічного складу металу шва. Середній хімічний склад металу шва наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Хімічний склад наплавленого металу під флюсами АН-60П і АНКС-28

АН-60П	С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
	0,05	0,28	0,95	-	0,38	0,31	0,023	0,015
АНКС-28	0,06	0,30	0,98	0,12	0,56	0,67	0,024	0,021

Зниження температури значно більше впливає на механічні властивості і на ударну в'язкість металу, наплавленого під плавленим флюсом, ніж під основним агломерованим флюсом. Механічні властивості металу шва і зварного з'єднання, отримані в результаті проведення випробувань, наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Механічні властивості наплавленого металу

Марка дроту і флюсу	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ϕ , %	Ударна в'язкість - KCV, Дж/см ² , при t °С			
					0	-20	-40	-60
Св-08Г1НМА, АН-60П	475	560 / 553*	21-38	45-50	85 / 68*	46	31	20/10*
Св-08Г1НМА, АНКС-28	574	680 / 650*	25-40	60-65	135 / 120*	100	71	58/38*

* Чисельник – метал шва; знаменник – зварне з'єднання

При автоматичному багатодуговому зварюванні під агломерованим флюсом АНКС-28 механічні властивості металу шва і зварного з'єднання підвищуються порівняно з плавленим флюсом АН-60П на наступні величини:

метал шва, %: $\sigma_B = 18,95$; $\sigma_T = 19,12$; $KCV_0 = 37,04$; $KCV_{-20} = 54,0$;
 $KCV_{-40} = 60,26$; $KCV_{-60} = 65,51$;

зварне з'єднання, %: $\sigma_B = 16,46$; $KCV_0 = 43,33$; $KCV_{-60} = 65,79$.

Залежність ударної в'язкості основного і наплавленого металу від температури показана на рис.1.

З рис.1 видно, що ударна в'язкість наплавленого металу під флюсом АНКС-28 вища, а під флюсом АН-60П нижча, ніж основного термообробленого металу у всьому діапазоні низьких температур.

Зварювання

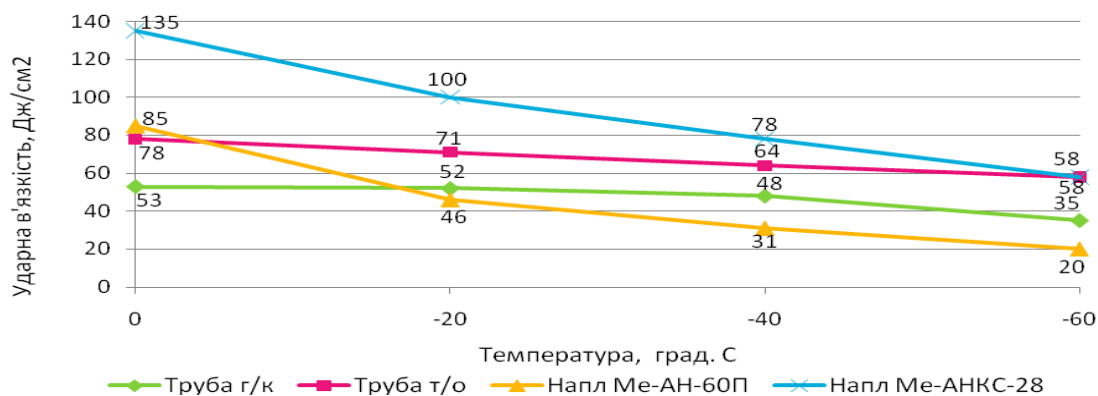


Рисунок 1 – Зміна ударної в'язкості основного і наплавленого металу від температури під флюсами АН-60П та АНКС-28

Залежність ударної в'язкості наплавленого металу від температури при автоматичному зварюванні сталі 17Г1С-У під різними флюсами за даними ВАТ «Запоріжсклофлюс» наведено на рис.2 [1].

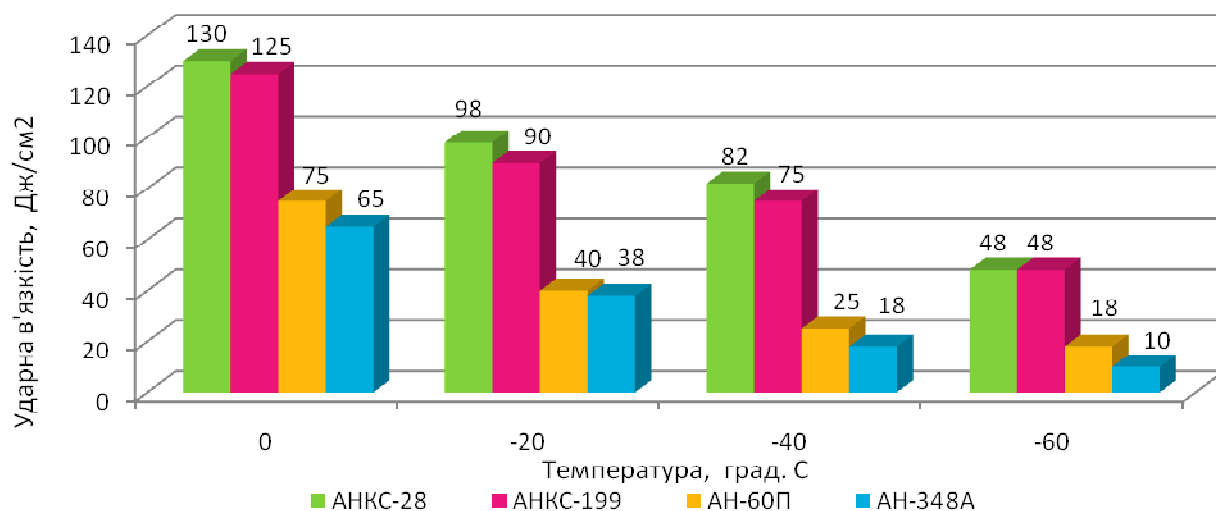


Рисунок 2 – Залежність ударної в'язкості від температури для різних флюсів

При зварюванні зразків зі сталі 17Г1С-У був прийнятий режим, який використовувався для автоматичного дводугового зварювання під флюсом зовнішніх і внутрішніх швів при виробництві труб: $I_{зв} = 750-800$ А; $U_d = 40-45$ В; $V_{зв} = 60$ м/год.

Погонна енергія зварювання:

$$q_n = k \cdot I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta = 1,25 \cdot 800 \cdot 40 \cdot 0,90 / 1,67 \approx 22 \text{ кДж/см.}$$

Рівні і інтервали варіювання при прийнятих значеннях факторів впливу наведено в табл.3.

Для визначення впливу флюсів на механічні властивості наплавленого металу була запропонована математична модель. Розробка математичної моделі виконувалась на основі планування експерименту для трьох незалежних перемінних на двох рівнях варіювання. Вибір рівнів і інтервалів варіювання чинників впливу було зроблено на основі літературних і практичних даних. В якості математичної моделі впливу флюсів АН-60П і АНКС-28 при автоматичному дводуговому зварюванні зразків зі сталі 17Г1С-У

Таблиця 3 – Рівні і інтервали варіювання

Показники	Погонна енергія q_n , кДж/см	Швидкість охладження w_0 , °C/с	Індекс основності флюсів, B_i
	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень (+1)	32	16	1,2 / 2,0*
Основний рівень (0)	22	10	1,0 / 1,5
Нижній рівень (-1)	12	4	0,8 / 1,0
Інтервал варіювання (i)	10	6	0,5 / 0,5
„Зоряне” плече, (- $\alpha = 1,628$)	14	2	0,3 / 0,8
„Зоряне” плече, (+ $\alpha = 1,628$)	31	20	1,71 / 2,21

* Чисельник – флюс АН-60П; знаменник – АНКС-28

дротом Св-08Г1НМА на механічні властивості металу шва і зварного з'єднання був використаний поліном другого ступеня:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j \dots, \quad (1)$$

де y – параметр оптимізації;

x_i ($i = 1, k$) – чинники, що враховуються і характеризують процес зварювання;

k – кількість чинників, що враховуються;

b_i, b_{ii}, b_{ij} – параметри моделі, що підлягають статистичній оцінці.

Обробка експериментальних даних – розрахунків значень функцій відклику і коефіцієнтів рівнянь регресії – проводилась за пакетом програм „Statistica” з використанням регресивного аналізу і моделей наведеного типу:

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + a_{33} \cdot x_3^2, \quad (2)$$

де $a_1 \dots a_3$ – коефіцієнти; $x_1 = (q_n)$, $x_2 = (w_0)$, $x_3 = (B_i)$ – фактори впливу.

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2, \quad (3)$$

де a_1, a_2 – коефіцієнти; $x_1 = (q_n)$, $x_2 = (w_0)$ – фактори впливу.

Статистична перевірка коефіцієнтів рівнянь залежності механічних характеристик наплавленого металу від q_n , w_0 і індексу B_i при зварюванні під флюсом АН-60П показала, що при 5% рівні значимості коефіцієнти парних взаємодій $b_{ij} = x_1 x_2$ і $b_{ij} = x_1 x_3$ незначні, і тоді регресійні рівняння наступні:

ударна в'язкість металу шва:

$$KCV_{-60} = 18,788 - 0,302x_1 + 0,628x_2 + 5,745x_3^3 + 2,364x_3^2;$$

ударна в'язкість зварного з'єднання:

$$KCV_{-60} = 11,185 - 0,068x_1 - 0,213x_2 + 3,440x_3 + 0,010x_1^2 + 0,851x_3^2.$$

Графічні залежності механічних властивостей наплавленого металу шва зварного з'єднання від факторів впливу наведено на рис.3.

Перевірка залежності механічних характеристик наплавленого металу від q_n , w_0 і індексу B_i при зварюванні флюсом АНКС-28 показала наступні регресійні рівняння:

ударна в'язкість металу шва:

$$KCV_{-60} = 37,237 + 1,145x_1 + 1,817x_2 + 14,241x_3;$$

ударна в'язкість зварного з'єднання:

$$KCV_{-60} = 20,259 + 1,583x_1 + 2,089x_2 + 9,056x_3 + 0,017x_1^2 - 1,277x_3^2 .$$

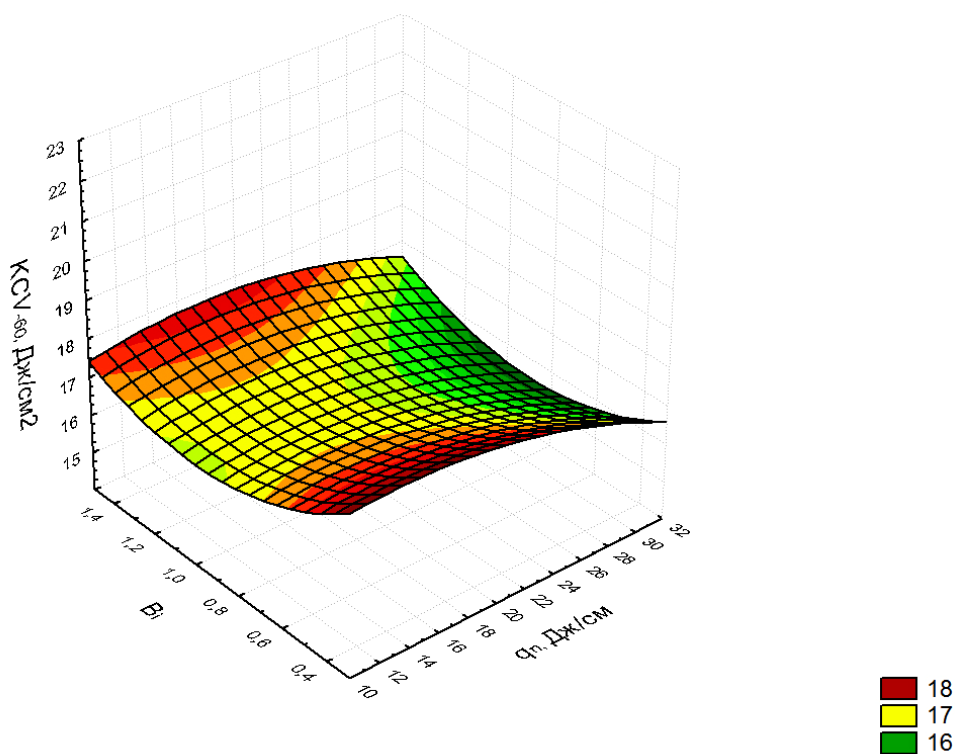


Рисунок 3 – Залежність ударної в'язкості від $q_{п}$ і V_i при $-60^{\circ}C$ при зварюванні флюсом АН-60П

Графічні залежності механічних властивостей наплавленого металу шва зварного з'єднання від факторів впливу наведено на рис.4.

Адекватність отриманих моделей оцінювалася за F-критерієм Фішера, який був меншим від табличних значень, а перевірка значимості коефіцієнтів регресії – за t-критерієм Стьюдента при $\alpha=0,05$. Значення коефіцієнтів детермінації $R^2 = 0,85326 - 0,88645$. Отримані результати свідчать про адекватність моделей і можливість їх використання.

Експериментально показана перевага агломерованого флюсу АНКС-28 перед плавним АН-60П при дводуговому автоматичному зварюванні ВМНЛ сталі 17Г1С-У для зварювання труб діаметром 1020 мм при низьких температурах навколишнього середовища і динамічному навантаженні.

При автоматичному багатодуговому зварюванні під агломерованим флюсом АНКС-28 механічні властивості металу шва і зварного з'єднання у порівнянні з плавним флюсом АН-60П підвищуються наступним чином:

метал шва, %: $\sigma_b = 18,95$; $\sigma_T = 19,12$; $KCV_0 = 37,04$; $KCV_{-20} = 54,0$;
 $KCV_{-40} = 60,26$; $KCV_{-60} = 65,51$;
 зварне з'єднання, %: $\sigma_b = 16,46$; $KCV_0 = 43,33$; $KCV_{-60} = 65,79$.

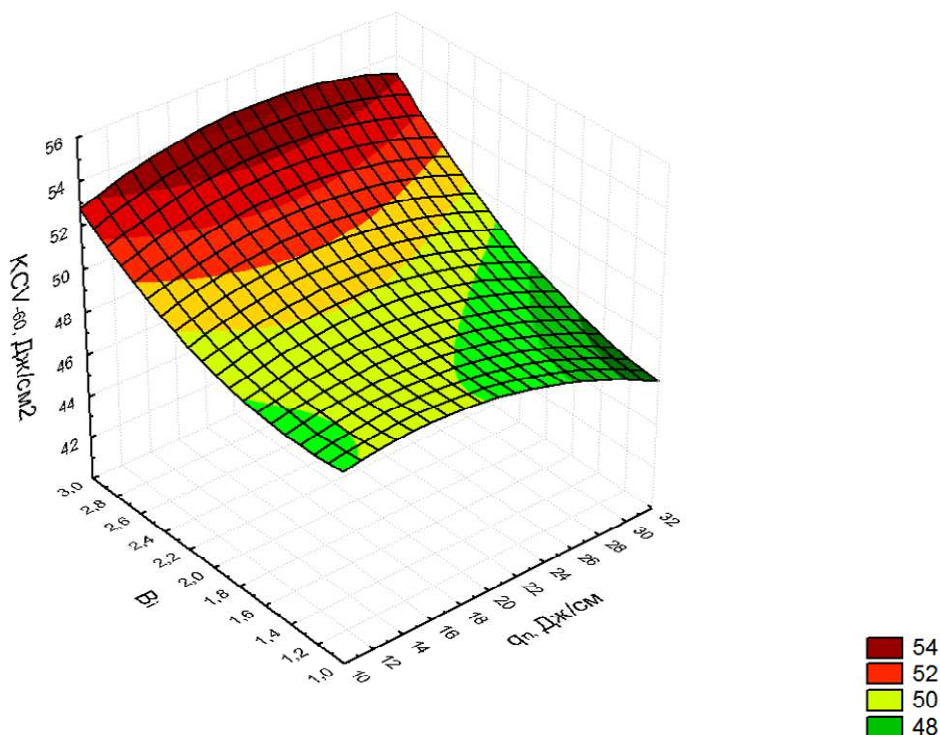


Рисунок 4 – Залежність ударної в'язкості при -60°C від q_p і B при зварюванні флюсом АНКС-28

Ударна в'язкість наплавленого металу при зварюванні під флюсами АН-60П і АНКС-28 при зниженні температури від 0 до -60°C знижується відповідно в 4 (75,0%) і 2,33 рази (57,0%). Ударна в'язкість швів при зварюванні під флюсом АНКС-28 при 0°C в 1,7 рази (40,74%), а при -60°C в 2,9 рази (65,52%) вища, ніж при зварюванні під флюсом АН-60П, а межа плинності при зварюванні під флюсом АН-60П вища відповідно при 0°C в 1,98 рази (49,57%), а при -60°C в 4,44 рази (77,50%). Таким чином, при зварюванні під агломерованим флюсом АНКС-28 отримані механічні властивості вищі, ніж при зварюванні під плавленим флюсом АН-60П. Отримані результати показують перевагу використання агломерованих флюсів перед плавленими при експлуатації зварних конструкцій в умовах низьких температур атмосферного повітря.

Висновки. На підставі проведених досліджень можна рекомендувати для використання при зварюванні низьковуглецевих ВНЛ сталей агломерованих флюсів нового покоління марки АНКС-28 для забезпечення високих механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання при експлуатації конструкцій в умовах низьких температур навколишнього середовища і динамічного навантаження як більш гідна заміна флюсів АН-348А і АН-60.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осипов О.Я. Отечественные агломерированные флюсы для многодуговой сварки / О.Я.Осипов // Автоматическая сварка. – 2009. – № 10. – С.60-61.
2. Агломерированные флюсы – новая продукция ОАО «Запорожстеклофлюс» / Головка В.В. Галинич В.И. Гончаров А.И. Осипов Н.Я. // Автоматическая сварка. – 2008. – № 10 (642). – С.41-44.
3. Головка В.В. Применение агломерированных флюсов при сварке низколегированных сталей / В.В.Головка // Автоматическая сварка. – 2009. – № 2. – С.37-42.