

УДК 621.7 : 621.981.1 : 621.791.762 : 539.412 DOI: 10.37142/2076-2151/2023-1(52)145

Кухар В. В.
Малій Х. В.
Штода М. М.
Грудкіна Н. С.
Бойко І. О.
Спічак О. Ю.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ШТРИПСА, РЕЖИМІВ СТИКОВОГО ВАРЮВАННЯ ТА ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНОГО ШВУ ХОЛОДНОГНУТИХ КОРИТНИХ ПРОФІЛІВ

При дослідженні впливу умов з'єднання заготовки з холоднокатаної штаби (штрипсу) товщиною від 1,0 мм до 1,35 мм електричним стиковим зварюванням на межу міцності (σ_0), показник міцності (Π) і відносне подовження ($\delta\%$) коритного профілю в його фланцях і в основі після багатопрохідної холодної прокатки, проводили експериментальне варіювання напруги у вторинному колі зварювальної котушки від 2,7 В до 3,6 В. Після випробувань на розтяг отримано дані, що характеризують залежність міцнісних характеристик профілю від товщини матеріалу заготовки при стабільних режимах зварювального струму стикового зварювального апарату. Встановлено нерівномірний розподіл міцнісних властивостей по поперечному перерізу (довжині поперечного зварювального шва), що пов'язано з незадовільним притиском торців штрипсу при стиковому зварюванні в режимі вимкнення (зменшення) поточного зварювання. Виявлені випадки зниження міцнісних характеристик відкритого перетину в одній з полук і в основі, що слід однозначно віднести до впливу початкової непаралельності торців штрипсу, що зварюється. Найкращі результати показав режим зварювального струму $U = 2,7$ В для штрипсу товщиною 1,0 мм. Отримані регресійні рівняння, що пов'язують характеристики міцності профілів з режимами їх зварювання попереду профілювання.

Ключові слова: коритний профіль, гнуття, профілювання, зварювальний струм, стикове зварювання, штрипс, показник міцності.

При виробництві гнутих профілів відкритого перерізу, які застосовують, наприклад, у металопластикових віконних системах різних брендів [1], поширене використання стикового зварювання [2]. Вихідною заготовкою для гнутих профілів є листова оцинкована сталь марок типу Ст.0-Ст.3, 08пс тощо товщиною від 0,65 до 2,0 мм, яку виробляють у вигляді рулонів на станах холодної прокатки з нанесенням цинкового покриття [3, 4]. Рулони розрізають подовжньо на штрипси. Сتيкове електрозварювання застосовують через те, що готовий профіль після формування штрипсу ріжуть на стандартизовані розміри за довжиною (3...6 м), що супроводжується утворенням некротних залишків. Для зменшення відходів металу з обрізанням некротного залишку після використання штрипсового бунту (рулону) виконують зварювання кінцевої ділянки бунту, що закінчується, з початковою ділянкою наступного бунту [5]. Це дозволяє досягати економії металу до кількох сотень кілограм за зміну [6, 7]. Багаторазово виявлялася проблема, пов'язана з тим, що якість зварного шва не є стабільною і залежить від режимів електрозварювання, характеру подачі та регулювання зварювального струму, конструкції зварювальної машини (розрахованої на з'єднання штрипсу певної ширини), умов зварювання та режимів валкового гнуття-формування [8]. Ці обставини є причиною невідповідності вимогам щодо міцності, що викликає рекламу від клієнтів.

Отже, актуальним науково-практичним завданням є виявлення режимів стикового зварювання штрипсу, залежно від його товщини та ширини, які забезпечують необхідні міцнісні властивості готової металопродукції в місцях стикозварних з'єднань після багатовалкового гнуття-формування.

Відомі способи виробництва армуючих профілів відкритого перерізу (наприклад, коритного типу) пресуванням [9] або гнуттям в штампах [10], при цьому використовують заготовки розрахункової ваги і обрізання кінців профілю після пресування або штампування. Така технологія виключає стикове зварювання, але призводить до суттєвої залежності показників якості профілів від сили пресування, конструкції преса та штампу, що потребує застосування при-

строїв, що компенсують похибки через пружні деформації системи [11]. Профілювання у вигляді послідовного багатоперехідного згинання штрипсу у профіль, призводить до режимів інтенсивної пластичної деформації, що супроводжується елементами вигину стиснення [12], через вплив якого стикозварювальну машину слід налаштовувати на глибшу величину осадки [13]. Використання електричного стикового зварювання відомо при виробництві нескінченною прокаткою ободів коліс транспортних засобів, що також потребує регулювання режимів стикозварювальних машин [14]. При проведенні електричного стикового зварювання використовують машини з мідними електродами, що вимагають точного дотримання технології підготовки заготовок під зварювання [15]. Важливими аспектами є забезпечення якісної зачистки зварюваних поверхонь і паралельності торців, які з'єднуються, що завжди викликає суттєві труднощі реалізації. Налаштування стикозварювальної машини базується на поєднанні роботи електричної та механічної системи обладнання для чого використовують методико-теоретичні основи та керівництво до користування, а також експериментальний підхід, що дозволяє врахувати реальні умови та, за інших рівних умов, більшість факторів, що впливають на процес.

Конструкція стикозварювальної машини зі схемою зварювального трансформатора наведена на рис. 1, її характеристики – у табл. 1. Нагрів кінців смуг при стиковому зварюванні відбувається завдяки тому, що через них проходить електричний струм I_w і на загальному електричному опорі R торців смуг, що зварюються, виділяється тепло Q (закон Джоуля-Ленца) [16]:

$$Q = I_w^2 \cdot R \cdot \tau , \quad (1)$$

де τ – час зварювання.

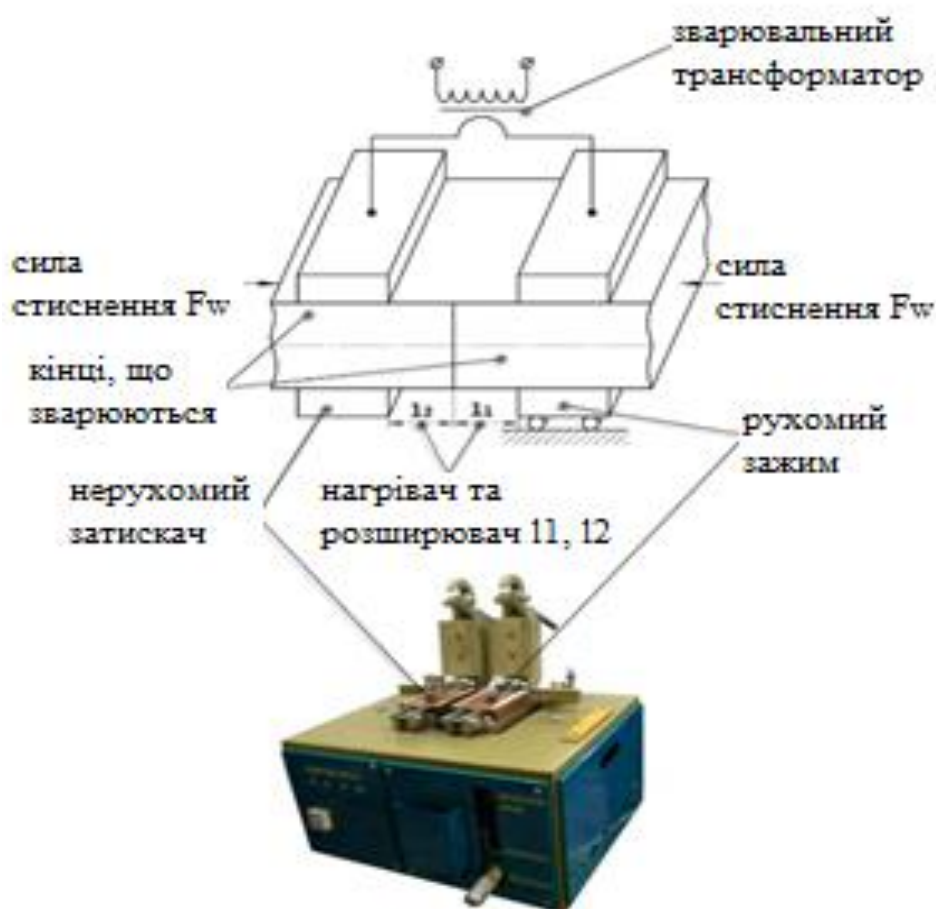


Рис. 1. Конструкція та принцип дії електричної стикозварювальної машини

Загальний електричний опір торців, що зварюються, визначається виразом:

$$R = 2R_p + R_c, \quad (2)$$

де R_p – опір торців смуг (вильотів l_1 і l_2 торців смуг із електродів машини);
 R_c – контактний опір між торцями штаб.

Таблиця 1

Технічні характеристики стикозварювальної машини

Параметри	Одиниці вимірювання
Первинна напруга мережі, В	380
Максимальний первинний струм (при зварюванні), А	55
Ширина/товщина смуг, що зварюються, мм	50...130/0,9...1,4
Кількість зварювань (смуг) на годину	10...15
Час зварювання, с	1.5...5,5
Напруга зварювання, В	2.9...3.6
Охолодження	водяне, автономне
Зусилля осадки, Н	400...1500
Регулювання термообробки	плавна
Габаритні розміри Н×L×В, мм	280×540×430
Маса, кг	135

Електричний опір зварюваних торців смуг $2R_p$ залежить від питомого електричного опору металу ρ , довжини вильоту торців смуг із електродів машини (установчих довжин під зварювання l_1 , l_2 , див. рис. 1) та площі поперечного перерізу смуг S [17]:

$$2R_p = k_{se} \cdot \rho \cdot L_{св} / S, \quad (3)$$

де k_{se} – коефіцієнт поверхневого ефекту (помітно зростає до температури феромагнітного перетворення).

Контактний опір R_c через малий тиск у торцях відносно великий. Однак при нагріванні до 600...700 °С він практично зникає, і подальше нагрівання деталей здійснюється за рахунок їх питомого електричного опору. Наявність контактної опору пов'язана з обмеженістю площі електричного контакту через нерівну поверхню деталей, а також через наявність оксидних і гідрооксидних плівок, адсорбованої вологи, олій, продуктів корозії, пилу та ін. Контактний опір деталей зменшується зі збільшенням осадки (збільшення стадії стиснення).

Нерівномірність нагрівання торців смуг пов'язана з випадковим розташуванням ділянок контакту та є основною проблемою при зварюванні опором. При нагріванні широких смуг практично неможливо забезпечити рівномірний розподілений контакт вздовж довжини стику. Це зумовлено тим, що при різанні стрічки ножицями неможливо отримати необхідну шорсткість і лінійність різку, і при встановленні стрічок у затискачі зварювальної машини контакт зазвичай утворюється з одного боку стику. У процесі зварювання ця ділянка первинного контактування більш тривалий період часу піддається термічній дії та нагрівається до більш високих температур. Це призводить до перегріву металу на цій ділянці з такими наслідками, як зростання зерен, відкладення домішок по границях зерен та ін. Пластичні та міцнісні властивості металу даної зони знижуються. При з'єднанні торців більшість рідкого металу разом із

поверхневими плівками і частиною твердого металу видавлюється із зони зварювання, утворюючи потовщення – грат. Зварювальний струм вимикається під час осадки деталей. Значення R_c при зварюванні сталей оплавленням становить 100...1500 мкОм [16, 17].

Установчі довжини торців смуги під зварювання l_1, l_2 визначають виразом:

$$l_1, l_2 = (0,7 \dots 1,2) \cdot t, \quad (4)$$

де t – товщина смуги.

При виборі установчої довжини враховують, що при малій її величині відбувається велике відведення теплоти в електроди машини, зона нагріву звужується. При збільшенні l_1, l_2 зростає необхідна електрична потужність та погіршується стійкість деталей при осадці [18].

Контроль якості зварних з'єднань широких смуг, виконаних контактним стиковим зварюванням, проводили без руйнування (зовнішній огляд), так і з руйнуванням з'єднання після профілювання. Контроль з руйнуванням проводили шляхом випробування на розрив зразків, їх фланців, що вирізуються, і основи (рис. 2). Попередньо смуги різної товщини (t от 1,0 мм до 1,35 мм) зі сталі 08пс розрізали в поперечному напрямку на гільйотинних ножицях, змонтованих на стикозварювальному апараті. Стикове зварювання здійснювали за рекомендованими режимами зварювальних напруг ($U = 2.7V; 3.0V; 3.3V; 3.6V$). Витримували відстань між зварювальними швами (відстань між різаними) ≥ 600 мм. Зварювальні шви нумерували маркером та записували в журнал випробувань відповідні режими зварювальних напруг та товщин сталевих смуг. У табл. 2 наведено відомості про лабораторні зразки.

Зварені смуги піддавали багатовалковому гнуттю-формуванню в П-подібний профіль на профілезгинальному стані, встановлених у цеху. Профілі розрізали кутовою шліфувальною машинкою («болгаркою») на мірні заготовки довжиною 600 – 700 мм та передавали до місця випробувань. Випробовуванням піддавали зразки з наявністю поперечного зварного шва, вирізаних з основи та фланців профілю (рис. 2). Додатково проводили випробування цілісних еталонних зразків без наявності зварювального шва. Навантаження зразків виконували на стандартному випробувальному обладнанні: універсальній випробувальній машині УММ-20.

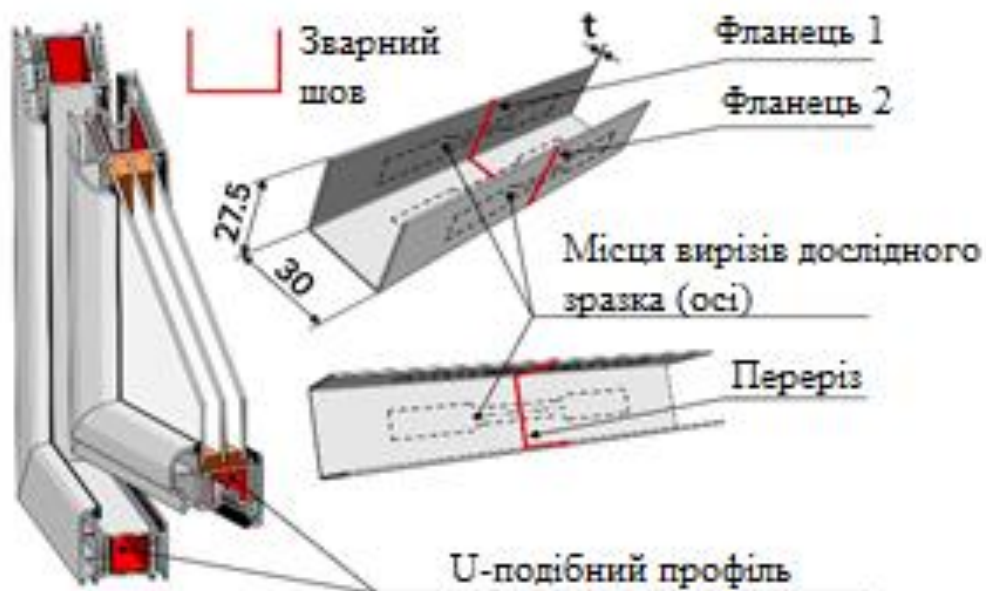


Рис. 2. Фрагмент віконної системи армованої коритним профілем та визначенням місць вирізів зразків на розтяг (фланець = полка)

Таблиця 2

Зварені стиковим зварюванням зразки для випробувань

№ зразка	Товщина смуги, t , мм	Режим зварювання, U, V	Місце вирізки	Результат зовнішнього огляду зварного шву
1	2	3	4	5
1.1	1,35	3,0	полка 1	Шов цілий
1.2	1,35	3,0	основа	Шов цілий
1.3	1,35	3,0	полка 2	Шов цілий, наявність усадочних явищ
2.1	1,35	3,3	полка 1	Шов цілий
2.2	1,35	3,3	основа	Шов цілий, наявність усадочних явищ
2.3	1,35	3,3	полка 2	Шов погано проварений, непровар «на просвіт» на 46 % довжини шву
3.1	1,35	3,6	основа	Шов цілий
3.2	1,35	3,6	полка 1	Шов нецілий, з перемичками, непровар «на просвіт» на 87 % довжини шву
3.3	1,35	3,6	полка 2	Шов цілий
4.1	1,0	2,9	основа	Шов цілий, з ефектом «нахлест» (до 3,5 мм)
4.2	1,0	2,9	полка	Шов цілий
5.1(о)	1,15	3,3	основа	Непровар «на просвіт» на 38 % довжини шву
5.1(п)	1,15	3,3	полка	Шов цілий
5.2(о)	1,15	3,6	основа	Шов нецілий, непровар «на просвіт» 5 %
5.2(п1)	1,15	3,6	полка 1	Шов цілий, невеликий «нахлест» (до 2 мм)
5.2(п2)	1,15	3,6	полка 2	Шов нецілий, непровар «на просвіт» 7 %
5.3(о)	1,15	3,0	основа	Шов нецілий, з наявністю ґрата
5.3(п1)	1,15	3,0	полка 1	Шов цілий
5.3(п2)	1,15	3,0	полка 2	Шов нецілий, непровар «на просвіт» 7 %, зварний ґрат товщиною 3,3 мм
5.4(о)	1,15	3,6	основа	Шов нецілий, непровар на половину товщини та «на просвіт» 12 %
5.4(п)	1,15	3,6	полка	Шов нецілий, непровар на половину товщини та «на просвіт» 8 %
6.1	1,02	3,3	основа	Шов нецілий, непровар «на просвіт» на 40 %
6.2	1,02	3,3	полка	Шов цілий
7.1	1,15	-	основа	Цілісний зразок
7.2	1,15	-	полка	Цілісний зразок

Аналіз результатів вимірів зразків дозволив виявити шукані показники: тимчасовий опір розриву σ_b та відносне подовження $\delta\%$. Результати наведено у табл. 3. Відносне звуження ψ і межа текучості σ_m при випробуваннях на зварювальному шві не показали однозначних залежностей. Зміни ψ знаходяться в межах 3...26 %, а зміни σ_m – у межах 156...290 МПа.

Таблиця 3

Результати випробувань профілів у місцях стикового зварювання

№ зразка	σ_{δ} , МПа	$\Delta\sigma$, %	$\delta_{\%}$, %	$\Delta\delta$, %	Показник міцності профілю, P	Зниження міцності по шву, ΔP , %	Примітки
1	2	3	4	5	6	7	8
1.1	257,4	-19,06	1,15	-93,61	0,809	19,1	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
1.2	314,6	-1,07	3,21	-82,17	0,989	1,1	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, задовільна міцність
1.3	186,5	-41,35	0,92	-94,84	0,585	41,5	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
2.1	326,8	2,77	5,56	-69,11	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, висока міцність
2.2	163,4	-48,62	0,66	-96,33	0,514	48,6	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
2.3	181,3	-42,99	1,31	-97,72	0,570	43	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
3.1	298,5	-6,13	1,88	-89,56	0,939	6,1	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
3.2	5,7	-98,21	0,05	-99,72	0,018	98,2	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
3.3	319,5	0,47	4,60	-74,44	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, висока міцність
4.1	314,7	-1,04	5,90	-67,22	0,990	1,0	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, задовільна міцність
4.2	310,2	-2,45	5,59	-68,94	0,975	2,5	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, задовільна міцність
5.1(о)	157,9	-50,34	2,615	-85,47	0,496	50,3	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.1(п)	355,1	11,67	15,8	-12,22	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, задовільна міцність
5.2(о)	215	-32,38	3,02	-83,22	0,676	32,4	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.2(п1)	316,1	-0,59	7,12	-60,44	0,994	0,6	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, задовільна міцність
5.2(п2)	265	-16,67	4,02	-77,67	0,833	16,7	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.3(о)	164	-48,4	2,74	-84,8	0,515	48,4	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.3(п1)	328,4	3,27	14	-22,2	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, висока міцність
5.3(п2)	262	-16,9	4,39	-76,5	0,824	16,9	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.4(о)	190,1	-40,2	2,31	-88,2	0,598	40,2	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
5.4(п)	281	-11,63	3,29	-82,4	0,884	11,6	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
6.1	55,9	-82,42	0,769	-95,73	0,176	82,4	Розрив по зварювальному шву, низька якість зварювання, низька міцність
6.2	354,5	11,48	16,3	-9,44	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка (не по шву), гарна якість зварювання, висока міцність
7.1	359,5	13,05	24,75	-	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка
7.2	322	1,26	21,89	-	≥ 1	-	Розрив по тілу зразка

Обчислювали відносне відхилення $\Delta\sigma$ межі міцності σ_{δ} , отриманої в результаті випробувань, від стандартної величини $\sigma_{\delta.N}$:

$$\Delta\sigma = [(\sigma_{\delta} - \sigma_{\delta.N}) / \sigma_{\delta.N}] \cdot 100\%. \quad (5)$$

Результати обчислень занесено до табл. 3.

Проводили обчислення відхилення $\Delta\delta$ відносного подовження $\delta\%$, отриманого в результаті випробувань, від стандартної величини $\delta\%_N$:

$$\Delta\delta = [(\delta\% - \delta\%_N) / \delta\%_N] \cdot 100\%. \quad (6)$$

Результати обчислень занесено до табл. 3. Застосовували методику оцінки міцності профілю при заміні його матеріалу, зміні властивостей даного матеріалу, а також при доопрацюванні конструкції профілю (наприклад, нанесенні гофрів) зі зміною геометричних характеристик поперечного перерізу, зокрема моментів опору [18].

Крім того, обчислювали відносний показник міцності Π :

$$\Pi = W_t \cdot \sigma_\epsilon / W_N \cdot \sigma_{\epsilon,N}, \quad (7)$$

де W_t та W_N – моменти опору профілю, що піддається випробуванню, та стандартного профілю відповідно.

Геометричні характеристики поперечних перерізів профілю після профілювання однакові, тобто $W_t = W_N = W$. Отже, показник Π залежить від значення σ_ϵ :

$$\Pi = \sigma_\epsilon / \sigma_{\epsilon,N}. \quad (8)$$

Розрахунки відносного показника міцності Π та результати аналізу його зниження занесені до табл. 3.

Результати статистичної обробки у вигляді регресійних залежностей межі міцності від факторів, наведених у табл. 2, зведено до табл. 4.

Таблиця 4

Результати статистичної обробки для межі міцності σ_ϵ

Місце	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації R^2
Полка 1	$\sigma_\epsilon = -8207,2 + 3403,82 \cdot U - 77,12 \cdot t^5 - 6,01 \cdot U^5$	0,81
Полка 2	$\sigma_\epsilon = 3353,8 - 1217,41 \cdot U - 4,25 \cdot t^5 + 2,21 \cdot U^5$	0,69
Основа	$\sigma_\epsilon = 5915,18 - 2209,92 \cdot U + 30,81 \cdot t^5 + 3,62 \cdot U^5$	0,74

Розрив по зварювальному шву спостерігався у зразків №№ 1.1, 1.2, 1.3, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, що свідчить про низьку якість зварювання. Розрив по тілу зразка (не по зварювальному шву) спостерігався у зразків №№ 2.1, 3.3, 4.1, 4.2, що свідчить про високу якість зварювання. У всіх випадках спостерігається зниження показників пластичності $\delta\%$ на 67,2...99,7 %, тобто зварювальний шов є малопластичним. Показники міцності σ_ϵ та Π поводять себе неоднозначно. Висока та задовільна міцність спостерігалася у зразків №№ 1.2, 2.1, 3.3, 4.1, 4.2, причому розрив зразка № 1.2 стався по зварювальному шву за показниками міцності, які можна вважати задовільними. Для інших зразків були характерні низькі показники міцності, нижчі за обумовлені в стандартах на 6,1...98,2 %.

ВИСНОВКИ

Аналізуючи вплив величин зварювального струму (режимів стикового електричного зварювання) на властивості міцності сталевих профілів у місцях зварювання після багатовалкового профілювання в профілезгинальних станах, слід відзначити однаковість умов проведення деформування. Вперше встановлені закономірності впливу величини зварювального струму стиковозварювальної машини і товщини сталевих штрипсу, що зварюється, на розподіл

міцнісних властивостей по перерізу профілів відкритого типу в місці стикового зварювання після багатовалкового гнуття-формування. Це дозволило запропонувати раціональні режими роботи електричної стикозварювальної машини для забезпечення нормативної міцності гнутих профілів. Показано, що властивості міцності зварювального шва після валкового гнуття-формування розподілені за перерізом профілю нерівномірно. При задовільній міцності однієї з полиць профілю, інша полиця достатньої міцності не має. Встановлено, що режими зварювального струму необхідно застосовувати диференційовано, залежно від використовуваної товщини (а також довжини та перерізу) смуги, що зварюється. Встановлено, що для поліпшення якості зварювання широких смуг необхідно додаткове дотримання паралельності ділянок смуг, що стикуються, проведення ретельної підготовки зварюваних поверхонь (забезпечення необхідної шорсткості, очищення від оксидів), реалізація прижиму достатньої сили під час зварювання, регулювання та необхідність схоплювання розжареного металу з формуванням шву та зварювального грата.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Burmaka V., Tarasenko M., Kozak K., Burmaka O., Sabat N. Energy efficiency of modernization of translucent building envelope structures. *Energy Engineering and Control Systems*. 2021, 7, 2, pp. 87-96.
2. Demoulin L., Zahar Z., Mekkaoui A. E., Reignier A., Mocellin K., Montmitonnet P., Leger P. E. FEM Modelling of Weld Damage in Continuous Cold Rolling of MIG/MAG Butt-Welded Stainless Steel Strips. *Key Engineering Materials*. 2022, 926, pp. 569-579.
3. Kukhar V., Klimov E., Chernenko S. Analysis of Galvanized Steel Sheets Fabrication in Cold Rolling Shop and Identification of Local Impacts Contributing to Corrosion of Metal-Products. *Solid State Phenomena*. 2021, 316, pp. 873-879.
4. Felhősi I., Livia M., Szilvia H., Tamás P., János B., Tamás S., Zsófia K. Corrosion Protection and Heat Resistance of Paints for Outdoor Use. *Materials*. 2023, 16, 7, pp. 2753.
5. Mazur V., Timoshenko V., Prikhodko I. Efficient Cold Rolling and Coiling Modes. *Steel Transl.* 2019, 49, pp. 548-558.
6. Sitko J. Analysis the Influence of Steel Sheet Production Technology on the Quality Products in Steel Service Polska. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*. 2021, 4, 1, pp. 301-308.
7. Sikulskiy V., Kashcheyeva V., Romanenkov Y., Shapoval A. Study of the process of shape-formation of ribbed double-curvature panels by local deforming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017, 4, 1, pp. 43-49.
8. Xu Y., Yang B., Shi Y., Feng X., Li J., Feng C., Korzhyk V. Quality reliability analysis of flash welding joint of cold-rolled 50JW800 silicon steel strip. *Engineering Failure Analysis*. 2022, 138, pp. 106292.
9. Aliieva L., Markov O., Aliiev I., Hrudkina N., Levchenko V., Malii K. Analysis of power parameters of combined three-direction deformation of parts with flange. *FME Transactions*. 2021, 49, 2, pp. 344-355.
10. Baharuddin N., Abdul Manaf A., Jamaludin A. Study on Die Shoulder Patterning Method (DSPM) to Minimise Springback of U-Bending. *Int. J. Automot. Mech. Eng.* 2022, 19, 1, pp. 9509-9518.
11. Kukhar V., Balalayeva E., Nesterov O. Calculation method and simulation of work of the ring elastic compensator for sheet-forming. *Paper presented at the MATEC Web of Conferences*. 2017, 129, pp. 01041.
12. Kukhar V., Burko V., Prysiaznyi A., Balalayeva E., Nahnibeda M. Development of alternative technology of dual forming of profiled workpiece obtained by buckling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016, 3, 7-81, pp. 53-61.
13. Markov O., Khvashchynskiy A., Musorin A., Markova M., Shapoval A., Hrudkina N. Investigation of new method of large ingots forging based on upsetting of workpieces with ledges. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022, 122, pp. 1383-1394.
14. Kurpe O., Kukhar V., Klimov E., Chernenko S. Improvement of Process Parameters Calculation for Coil Rolling at the Steckel Mill. *Materials Science Forum*. 2020, 989, pp. 609-614.
15. Karnaukh S., Markov O., Kukhar V., Shapoval A. Classification of steels according to their sensitivity to fracture using a synergetic model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2022, 119, 7-8, pp. 5277-5287.
16. Chirileanu M., Gheorghiu D. Researches about Mechanical Characteristics of some Steels Resistance Spot Welded. *In Applied Mechanics and Materials*. 2023, 371, pp. 265-269.
17. Zhao Y., Wang W., Wei X. Optimization of Resistance Spot Welding with Inserted Strips via FEM and Response Surface Methodology. *Materials*. 2021, 14, pp. 7489.
18. Deng F., He Y., Deng L., Zhong W. Experimental and Numerical Study on the Flexural Behavior of Cold-Formed Steel Multi-Limb Built-Up Section Beams. *Buildings*. 2022, 12, pp. 1639.

Kukhar V., Malii Kh., Shtoda M., Hrudkina N., Boiko I., Spichak O. Determination of the influence of strip geometry, operating modes of the butt-welding and roll forming on the weld strength of cold-formed U-sections.

At research of influence of connection conditions for strip blank with thickness from 1.0 mm to 1.35 mm by electric butt-welding on the tensile strength (σ_s), the strength index (Π) and percentage elongation (δ_s) of the formed U-channel section in its flanges and in the web after multi-pass cold roll-forming experimentally varied of voltage in a secondary circuit of a weld coil from 2.7 V to 3.6 V were conducted. After tensile tests, data were obtained characterizing the dependence of the strength characteristics of the section on the thickness of the blank material at stable welding current modes of the butt-welding machine. It was found that the strength properties are distributed unevenly along the cross-section (length of the cross-weld seam), which is associated with unsatisfactory clamping of the strip ends during butt-welding in the mode of switching off (reducing) the welding current. The identified cases of decreased strength characteristics of the open section in one of the flanges and in the web should be unambiguously attributed to the influence of the initial non-parallelism of the ends of the strips to be welded. The welding current mode $U = 2.7$ V for a strip thickness of 1.0 mm showed the best results. Regression equations were obtained that relate the strength characteristics of the profiles to the modes of their welding before roll-forming.

Keywords: trough section, bending, roll-forming, welding current, butt welding, strip, strength characteristic.

Кухар Володимир Валентинович – д-р техн. наук, проф., проректор ТУ МП

Kukhar Volodymyr - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research of TU MP

E-mail: kvv.mariupol@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>

Малій Христина Василівна – канд. техн. наук, доцент ТУ МП

Malii Khrystyna – PhD, Associate Prof. TU MP

E-mail: kristina.v.goncharuk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9046-426>

Штода Максим Миколайович - канд. техн. наук, доцент ТУ МП

Shtoda Maksim – PhD, Associate Prof. TU MP

E-mail: maksym.shtoda@mipolytech.education

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3918-2492>

Грудкіна Наталія Сергіївна – д-р техн. наук, професор ТУ МП

Hrudkina Natali – Doctor of Technical Sciences, Professor of TU MP

E-mail: vm.grudkina@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0914-8875>

Бойко Ігор Олександрович – канд. техн. наук, доцент ТУ МП

Boiko Ihor – PhD, Associate Prof. TU MP

E-mail: igor.boyko@mipolytech.education

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7742-4694>

Спічак Олександр Юрійович – магістрант ТУ МП

Spichak Oleksandr – master student TU MP

E-mail: oleksandr.spichak@mipolytech.education

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9653-437X>

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка» (ТУ МП), м. Запоріжжя
Metinvest Polytechnic Technical University LLC (TU MP), Zaporizhzhia

Стаття надійшла до редакції 10.08.23 р.