

В.Мастенко, канд.техн.наук; Б.Татарин, канд.техн.наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ СХИЛЬНОСТІ СТАЛІ МАРКИ 10Г2НМФА ДО УТВОРЕННЯ НАДРИВІВ (ТРИЩИН) ПІД ЗОНОЮ ПЕРЕКРИТТЯ НАПЛАВЛЕНИХ ВАЛИКІВ ПРИ НАСТУПНОМУ ТЕРМІЧНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Досліджено вплив одношарового однорідного антикорозійного покриття, наплавленого електрошлаковим способом стрічковими електродами на низьколеговану сталь 10Г2НМФА, на схильність до утворення піднаплавлювальних надривів (тріщин) в зоні перекриття валиків при наступному термічному обробленні. В результаті проведених досліджень встановлено, що піднаплавлювальні тріщини в зоні перекриття валиків при наступному термообробленні в зоні термічного впливу відсутні, а це свідчить про схильність металу цієї зони до значної пластичної деформації.

V.Mastenko, B.Tataryn

INVESTIGATION OF THE 10G2NMFA STEEL QUALITY UNDER THE OVERLAPPING ZONE OF FACED (OVERLAYED) ROLLERS DURING THE FOLLOWING HEAT TREATMENT

The effect of one-layer homogenous icorrosion-resistant coating surfaced by the electrode method by band electrodes on the low-alloyed 10G2NMFA steel tend to cracking in the overlapping zone of rollers during the following heat treatment is investigated. As a result the cracks in the overlapping zone of rollers during the following heat treatment were not available. It testified the steel zone tend to be under sufficient plastic deformation.

В атомному енергомашинобудуванні широко використовуються технології наплавлення антикорозійного покриття із високолегованої аустенітної сталі на контактуючі з робочим середовищем поверхні конструкційних вузлів, що виготовляються із низьколегованих перлітних сталей. Якість виготовлених біметалевих наплавлених з'єднань залежить, в першу чергу, від металургійних властивостей наплавленого аустенітного і основного низьколегованого металу в сукупності з технологічними особливостями використовуваних процесів наплавлення. При цьому характеристики останніх суттєво впливають на матеріало- і працємісткість наплавлювальних робіт.

В практиці енергомашинобудування найчастіше застосовують, в даний час, технологію автоматичного дугового наплавлення з використанням плавлених флюсів одним стрічковим електродом із аустенітної сталі шириною 60 мм і товщиною 0,5 мм. Продуктивність такого електродугового наплавлення стрічковим електродом складає 10-12,6 кг/год, а доля участі основного металу в наплавленому знаходиться в межах 15-20 %.

В даний час використовується типова схема, яка передбачає виконання наплавлення в два шари для того, щоб забезпечити отримання верхнього шару з необхідними хімічним складом і механічними властивостями (при частковому розбавленні першого, легованішого наплавленого шару основним низьколегованим металом) і разом з тим, перекристалізувати великозернисту структуру, що прилягає до лінії сплавлення зони термічного впливу в основному металі, яка стає після термічної дії наплавленого другого шару дрібнозернистішою, що підвищує її міцність і пластичність, обмежуючи тим самим можливість виникнення в ній невеликих міжкристалітних піднаплавлювальних тріщин, які утворюються в металі при його

повзучості в процесі наступного термооброблення під зонами перекриття країв наплавлених валиків [1 – 7].

Дослідження впливу таких піднаплавлювальних тріщин на безпеку посудин тиску, в тому числі ядерних реакторів, показали, що такі тріщини (надриви) довжиною біля 10 мм і глибиною до 5 мм ще не є критичними з точки зору безпеки таких конструкцій.

Дефекти такого розміру не розвиваються за рахунок втоми до значної степені за 40-літній термін служби посудин і поширюються в процесі аварійної зупинки реактора, викликаної аварією. Розрахунки показали, що приріст тріщини втоми розміром 12 мм буде в межах 0,1 – 3 мм за 30 років експлуатації, а розмір, достатній для критичного ініціювання росту в процесі аварійної зупинки (охладження) корпусної конструкції, може скласти біля 3,5 мм.

Такі тріщини вважаються відносно безпечними, проте їх в більшості випадків вважають недопустимими, і для надійного уникнення можливості їх утворення на практиці, як правило, використовують випробовану технологію двошарового наплавлення.

Виходячи з необхідності зниження матеріальних і працевитрат, в закордонній практиці рекомендується при виготовленні корпусного устаткування, наплавляти одношарове однорідне антикорозійне покриття із застосуванням електрошлакового процесу. При цьому, за умов використання параметрів режиму електрошлакового наплавлення стрічковим електродом, що гарантує обмежене 6-10 % розбавлення наплавленого металу основним, його хімічний і фазовий склад може бути легко отриманий в умовах одношарового наплавлення, особливо у випадку застосування стрічки з пониженим вмістом вуглецю і при напавленні при цьому шару металу товщиною до 5-6 мм.

Так, наприклад, як показали результати експериментів, при напавленні одним стрічковим електродом, (перерізом (0,5×60) мм), оптимальними параметрами режиму наплавлення є: струм наплавлення – 1250 А; напруга – 24 В; швидкість наплавлення – 12 м/год. При такій великій величині струму в процесі наплавлення виникає значне власне магнітне поле, яке може привести до зміщення рідкої металевої ванни в один бік, з можливим утворенням односторонніх підрізів, які приводять до незадовільного формування напавленої поверхні. Для усунення цього явища рекомендується впливати на рідку металеву ванну компенсуючим зовнішнім магнітним полем. Це дозволяє забезпечити добре формування зовнішньої поверхні напавленого металу без западань і підрізів по лінії сплавлення валиків, а також величину перевищення висоти валиків не більше 2 мм. При цьому товщина валиків повинна бути не менше 4-5 мм.

В закордонній практиці успішно пройшли апробацію різні комбінації застосування стрічкових електродів, які забезпечують стійкість напавленого металу проти утворення гарячих тріщин і міжкристалітну корозію одношарового однорідного антикорозійного покриття. Так, наприклад, в біметалевих конструкціях із сталі А 508/СІ 2 і споріднених їй типів в деяких випадках не вдається уникнути можливості утворення підшарових надривів, які виникають при наступному термообробленні під зонами перекриття крайніх поздовжніх ділянок, напавлених аустенітних валиків, навіть невеликих підшарових міжкристалітних тріщин (надривів). Проте в практиці для виготовлення деяких вузлів атомноенергетичних установок використовується основний метал – низьколегована сталь марки 10ГН2МФА, в процесі виготовлення яких внутрішня поверхня підлягає двошаровому напавленню.

Виходячи з необхідності зменшення матеріало- і працевитрат пропонується наплавляти антикорозійне покриття на сталь марки 10ГН2МФА в один шар за один прохід. В зв'язку з цим необхідно дослідити вплив одношарового однорідного антикорозійного покриття, напавленого на вказану марку сталі, на схильність до утворення піднаплавлювальних тріщин в зоні перекриття валиків, а при необхідності

запропонувати варіанти використання технологій, які забезпечать уникнення їх виникнення.

Для вивчення можливості утворення таких піднаплавлювальних тріщин наносили одношарове однорідне антикорозійне покриття на оптимальних параметрах режиму електрошлакового наплавлення, в першу чергу, при однозахідному варіанті з використанням стрічкових електродів перерізом (0,5×60) мм, орієнтуючись на забезпечення доброго формування зовнішньої поверхні валиків при обмеженому тепловкладенні в основний метал і долі участі основного металу в наплавленому. Разом з тим, з метою попередження можливості утворення піднаплавлювальних тріщин може бути застосована відносно затратніша технологія одношарового електрошлакового наплавлення розсунутими валиками з використанням стрічкових електродів різної ширини, забезпечуючи формування на ділянці перекриття валиків, в зоні термічного впливу, чутливому до розтріскування при наступному термообробленні однорідної дрібнозернистої структури, аналогічної мікроструктурі зони термічного впливу, яка утворюється при двошаровому наплавленні. Виходячи з цього, досліджували технологію електрошлакового наплавлення з використанням стрічкових електродів шириною 60мм, для наплавлення валиків з певним кроком між ними, а потім заповнювали ці проміжки між ними валиками з використанням стрічки шириною 30мм. Це дозволяє в області перекриття валиків, в зоні термічного впливу, забезпечити формування перекристалізованої дрібнозернистої зони основного металу, прилягаючої до поверхні сплавлення.

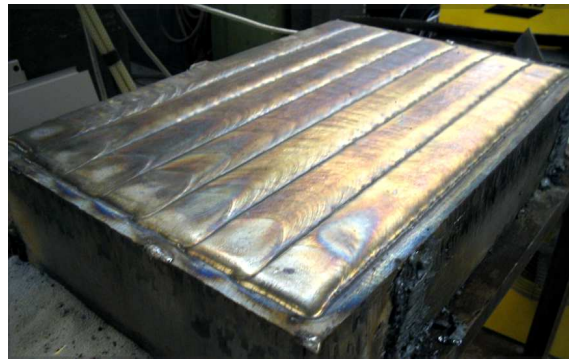
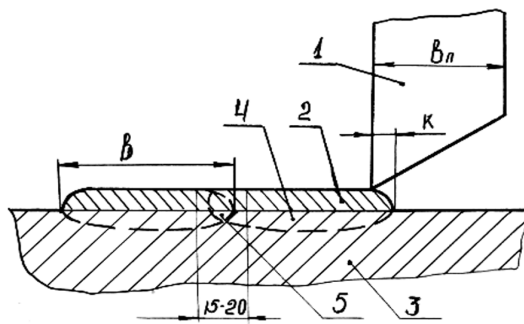
Для дослідження ймовірності виникнення піднаплавлювальних тріщин в основному металі проводили випробування технологічних варіантів виконання одношарового однорідного антикорозійного покриття з використанням темплетів із сталі марки 10Г2НМФА розміром 400×600×120 мм, хімічний склад якої наведений в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі марки 10ГН2МФА

ТУ, № плавки	Масова доля елементів, %											
	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Al	Cr	Cu	Ti	S	P
								не більше				
ТУ089 3-014- 002121 79-004	0,08 - 0,12	0,17 - 0,37	0,8- 1,1	1,8- 2,3	0,4- 0,7	0,03- 0,07	0,005 - 0,035	0,30	0,30	0,015	0,020	0,020
190843 -2	0,09	0,28	0,90	2,16	0,45	0,04	0,008	0,19	0,19	0,005	0,004	0,004

Наплавлення виконували в електрошлаковому режимі одинарними стрічками перерізами (0,5×30) і (0,5×60) мм під флюсом ОК Flux 10.10 за двома варіантами:

- варіант 1: однозахідне електрошлакове наплавлення стрічкою перерізом (0,5×60) мм під флюсом ОК Flux 10.10 з послідовним накладанням валиків на параметрах режиму: I=1250 А; U=24 В; V_н=13 м/год; l_е (вільний виліт електроду) = 35 мм; l_ф (висота засипаного флюсу) = 20 мм; κ (величина перекриття валиків) = 8 мм. Схема електрошлакового наплавлення стрічками однакової ширини з послідовним накладанням валиків і зовнішній вигляд валиків показано на рис. 1.

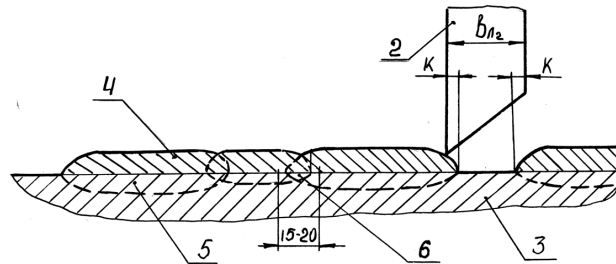
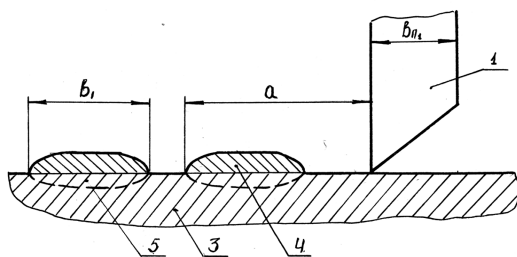


а

б

Рисунок 1 – Схема наплавлення стрічками однакової ширини з послідовним накладанням валиків(а) і зовнішній вигляд темплету із сталі марки 10ГН2МФА з наплавленням одношарового однорідного антикорозійного покриття (б): b – ширина валика; b_n – ширина стрічки; k – величина перекриття валиків; 1 – стрічка; 2 – наплавлений валик; 3 – основний метал; 4 – зона термічного впливу; 5 – зона перекриття валиків

— варіант 2: двозахідне електрошлакове наплавлення стрічками різного перерізу (0,5×60) і (0,5×30) мм під флюсом ОК Flux 10.10 з покрововим накладанням валиків на параметрах режиму: для стрічки перерізом (0,5×60) мм — $I = 1250$ А; $U = 24$ В; $V_n = 13$ м/год; $l_e = 35$ мм; $l_\phi = 20$ мм; для стрічки перерізом (0,5×30) мм — $I = 620$ А; $U = 24$ В; $V_n = 13$ м/год; $l_e = 35$ мм; $l_\phi = 20$ мм (рис. 2).



а

б

Рисунок 2 – Схема двозахідного електрошлакового наплавлення стрічками різного перерізу з покрововим накладанням валиків: а–наплавлення перших валиків; б–наплавлення металу між валиками; b_1 – ширина валика; b_{n1} ; b_{n2} – ширина широкої і вузької стрічок відповідно; k – величина перекриття валиків; a – крок наплавлення; 1; 2 – широка і вузька стрічка відповідно; 3 – основний метал; 4 – наплавлений валик; 5 – зона термічного впливу; 6 – зона перекриття валиків

При напавленні стрічками різного перерізу величину кроку приблизно можна розрахувати за формулою:

$$a = [b + (10 \dots 15) + b + (10 \dots 15)] - 3k,$$

де: b_{n1} – ширина першої стрічки, мм; b_{n2} – ширина другої стрічки, мм; k – величина перекриття валиків, мм.

Спочатку однозахідне наплавлення виконували стрічкою перерізом (0,5×30) мм. Відстань між валиками складала 48-50 мм, а потім проміжок між напавленими, вузькою стрічкою валиками, заплавляли стрічкою перерізом (0,5×60) мм (рис. 3)

Напавлення темплетів проводили з попереднім підігріванням до температури 50°C, а при накладанні наступного валика температура темплету не перевищувала 100°C. В процесі напавлення зону перекриття валиків фіксували за допомогою постановки керна на основному металі з торця темплету. Зовнішнє формування валиків при напавленні по обом варіантам задовільне (рис.1; 3).

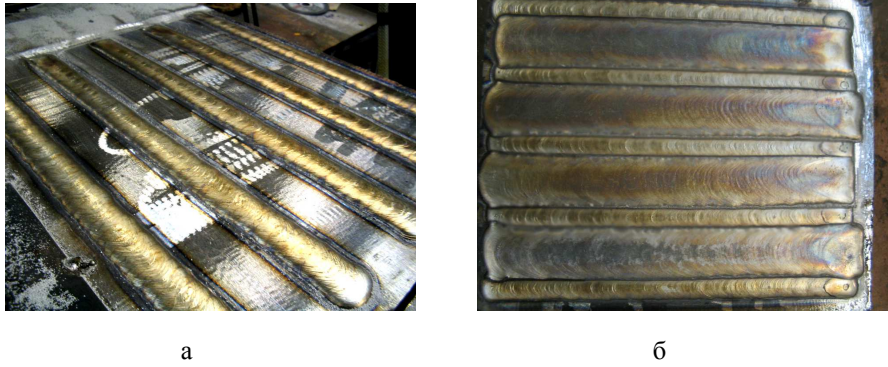


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд темплетів, наплавлених стрічковими електродами різної ширини:
а – валики, наплавлені з кроком стрічками перерізом (0,5×30) мм; б – одношарове однорідне антикорозійне покриття із заплавленими проміжками стрічкою перерізом (0,5×60) мм

Після наплавлення темплети розрізали на дві частини для випробовування на схильність основного металу в зоні перекриття валиків проти утворення піднаплавлювальних тріщин в початковому стані і після тривалого термооброблення за режимом: $620 \pm 10^\circ\text{C} - 30$ год, $+ 650 \pm 10^\circ\text{C} - 15$ год.

Для виявлення наявності підваликових тріщин в зоні перекриття валиків антикорозійне покриття знімали при забезпеченні на досліджуваній поверхні не більше 10-20 залишкових островків наплавленого аустенітного металу (рис.4; 5).

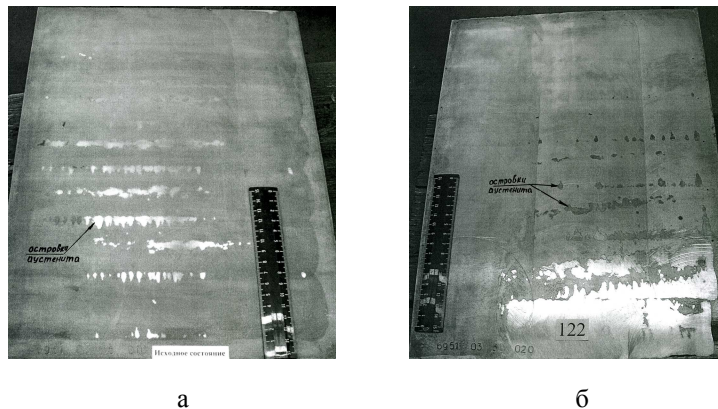


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд темплетів після видалення наплавленого антикорозійного покриття (наплавлення виконували стрічками перерізом (0,5×60) мм з послідовним наплавленням валиків за варіантом 1 з островками наплавленого аустенітного металу: а – початковий стан; б – після тривалого термооброблення

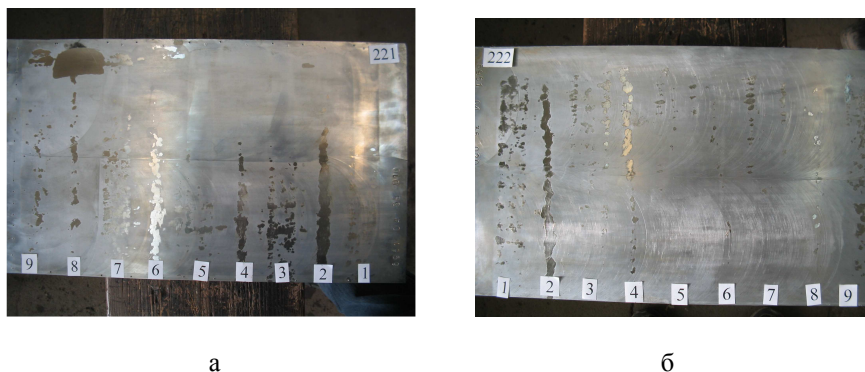
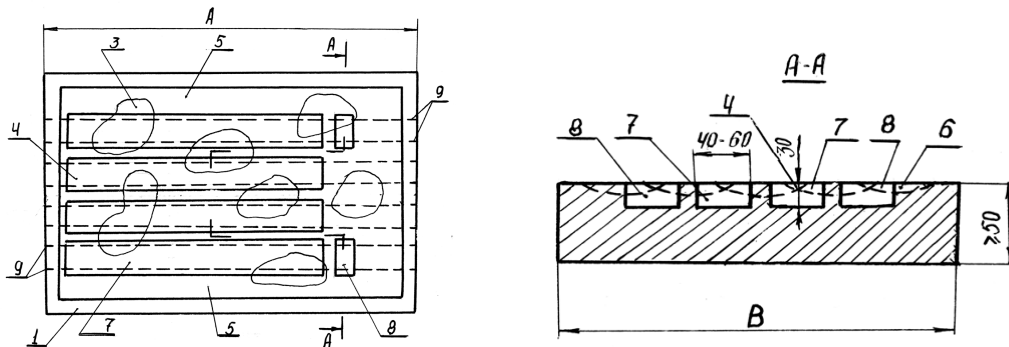


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд темплетів після видалення наплавленого антикорозійного покриття (наплавлення виконувалось стрічками перерізом (0,5×30)мм і (0,5×60) мм з послідовним наплавленням валиків за варіантом 2 з островками наплавленого аустенітного металу: а – початковий стан; б – після тривалого термооброблення

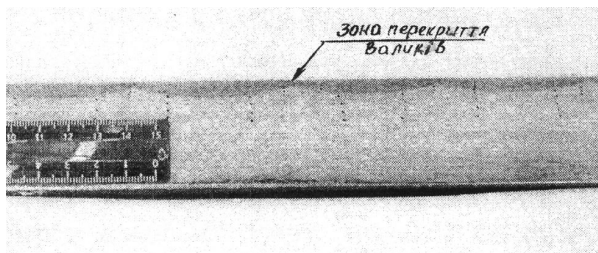
Капілярний контроль не виявив на поверхні темплетів – без одношарового однорідного антикорозійного покриття, дефектів як в початковому стані, так і після

тривалого термооброблення. Після цього, торець темплета без одношарового однорідного антикорозійного покриття травили з метою уточнення місця розміщення перекриття валиків і виготовляли зразки розміром $30 \times 40 \dots 60 \times 200 \dots 300$ мм для випробування на статичний згин

Зразки виготовляли таким чином, щоб зона перекриття валиків знаходилась приблизно посередині (рис. 6). Випробовування проводили на спеціальній машині (рис. 7). При цьому відстань між опорами складала 150 мм, а діаметр пуансона 60 мм. Розтягненню піддавали зону перекриття валиків (рис. 8).



а



б



в

Рисунок 6 – Схема вирізання зразків для визначення схильності зони термічного впливу основного металу проти утворення піднаплавлювальних тріщин (надривів) при статичному згині: а – схема вирізання зразків; б – макрошліф з зонами перекриття валиків; 1 – основний метал; 3 – острівки залишків аустенітного наплавленого металу; 4 – зона перекриття валиків; 5 – поверхня основного металу із знятим наплавленим металом; 6 – зона термічного впливу; 7 – зразки для випробування на статичний згин; 8 – зразки для металографічних досліджень; 9 – мітки зони перекриття валиків. Розміри А і В визначаються в залежності від кількості необхідних зразків



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд машини для випробування зразків на статичний згин

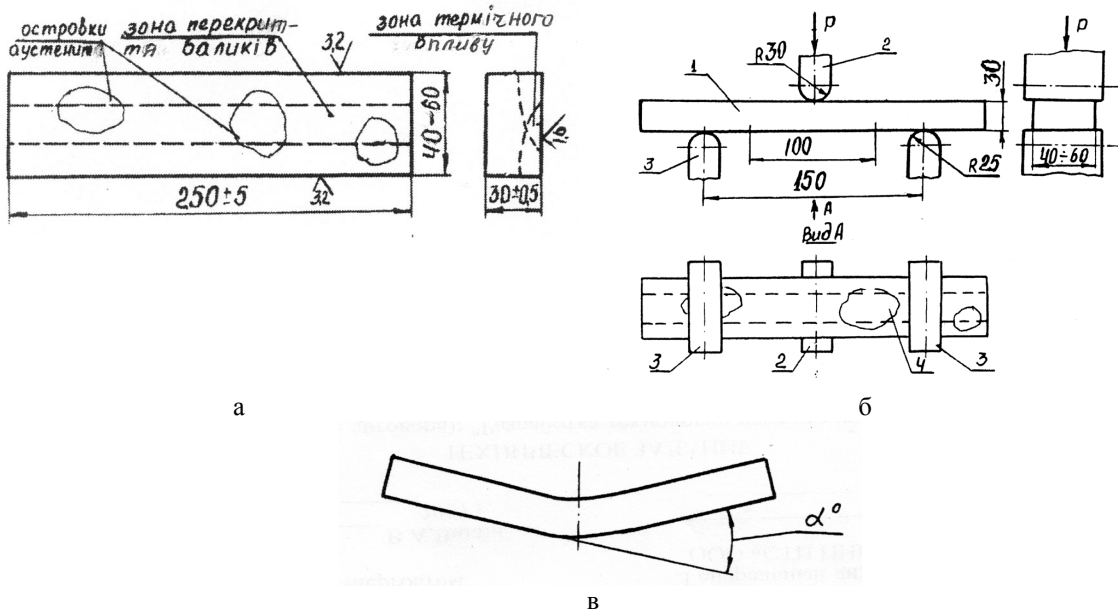


Рисунок 8 – Схема випробувань металу зони перекриття валиків на статичний згин:
 а – ескіз зразка; б – схема випробувань; в – схема заміру кута деформацій;
 1 – зразок; 2 – пуансон; 3 – опори; 4 – острівки аустеніту

Критерієм оцінки при випробуваннях на статичний згин було вибрано кут згину, при якому на поверхні зразка виникають надриви або тріщини. При випробуваннях, через кожні 10° згину, зразок знімали з машини і проводили візуальний контроль розтягнутої поверхні за допомогою лупи з 5-кратним збільшенням. При куті згину 60° проводили капілярний контроль. На поверхні дефектів не виявлено.

Результати випробування зразків на статичний згин наведено в табл. 2 і на рис. 9.

Таблиця 2 – Результати випробування зразків на статичний згин

Варіант наплавлення	Кут згину, град	Наявність дефектів (тріщини, надриви)	
		Початковий стан	Після термічного оброблення
1	30	немає	немає
	40	немає	немає
	50*	немає	немає

	120	немає	немає
2	30	немає	немає
	40	немає	немає
	50*	немає	немає

	120	немає	немає

* випробування проводились через кожні 10 градусів кута згину (від 50 до 120 град).

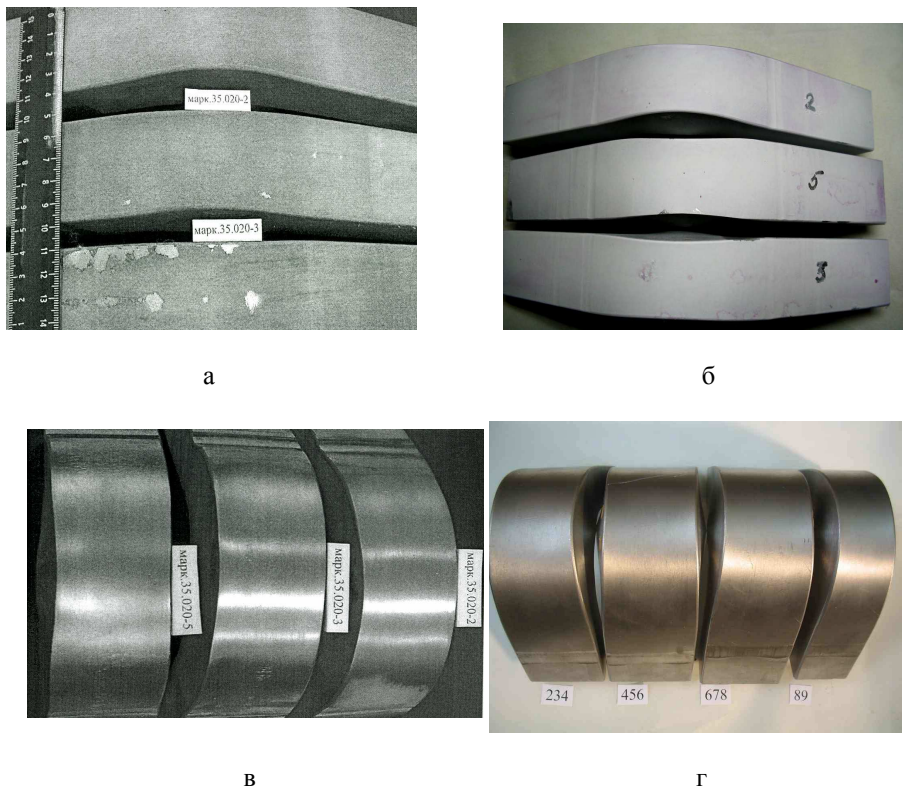


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд зігнутих зразків, випробованих після тривалого термооброблення: а – кут згину 30°; б – кут згину 60° після капілярного контролю; в – кут згину 120°; а,б,в – наплавлення стрічками однакової ширини (варіант 1); г – наплавлення стрічками різної ширини (варіант 2)

Проведенні дослідження показали відсутність в області перекриття валиків в зоні термічного впливу основного металу, при випробуванні зразків на статичний згин до кута 120°, піднаплавлювальних тріщин, що може свідчити про схильність цієї зони до значної пластичної деформації. Для підтвердження цього досліджували особливості структурних змін в зоні термічного впливу основного металу із сталі марки 10ГН2МФА, на яку наплавляли одношарове однорідне антикорозійне покриття за двома, наведеними вище, різними варіантами і вивчали характер зміни твердості, величину зерна і особливості мікроструктури цих зон.

Висновок. Аналіз отриманих результатів при проведенні досліджень одношарового однорідного антикорозійного покриття, напавленого стрічковими електродами в електрошлаковому режимі, свідчить про відсутність схильності сталі марки 10Г2НМФА до виникнення підваликових тріщин (надривів).

Література

1. Brooks J.A., Thompson A.W., Williams J.C. A fundamental study of the beneficial effects of delta ferrite in reducing weld cracking. – *Welding Journal*, 1984, 63, 3. p. 71 - 83.
2. Kataijma S., Fujimoto T., Matsunawa A. Correlation among solidification process, microstructure, microsegregation and solidification cracking susceptibility in stainless steel weld metals. – *Trans JWR* y, 1985, 14, 1. p. 123 - 138.
3. Старченко Е.И., Мاستенко В.Ю. Особенности изменения некоторых технологических характеристик при наплавке двумя ленточными электродами // *Автоматическая сварка*. – 1984. – № 7. – С. 60 - 63.
4. Мاستенко В.Ю., Старченко Е.И. Влияние параметров режима двухэлектродной ленточной наплавки на интенсивность протекания металлургических реакций. Сб. *Материалы и технология наплавки в энергомашиностроении. Труды ЦНИИТМАШ*. – Москва. – 1985. – № 188. – С. 43 - 48.
5. Мاستенко В.Ю., Татарин Б.П. Основні причини виникнення гарячих тріщин при автоматичному напавленні під флюсом антикорозійними матеріалами // *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. – 2001. – Т. 6. – № 3. – С. 5 - 13.
6. Мاستенко В.Ю., Татарин Б.П. Дослідження впливу неметалевих включень в електродних стрічках на ймовірність утворення тріщин при антикорозійному напавленні під флюсом // *Машинознавство*. – Львів. – 2003. – № 5. – С. 45 - 49.

Одержано 15.08.2008 р.