

© Щетинін С.В.¹, Щетиніна В.І.², Коваль О.В.³,
Никитенко П.В.⁴, Елсаєд Халед⁵

ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ АРГОНОДУГОВОМУ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ

Встановлено закономірності впливу концентрації дуги і енергії на магнітне поле зварювального струму і тріщиностійкість валків. Зі зменшенням діаметра електрода індукція магнітного поля зварювального струму, електромагнітна сила і магнітний тиск зростають, що приводить до збільшення пінч-ефекту, здрібненню мікроструктури і підвищенню тріщиностійкості. Розроблено процес аргонодугового високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує концентрацію дуги і енергії, зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, попередження утворення тріщин, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості валків.

Ключові слова: пінч-ефект, концентрація дуги і енергії, діаметр електрода, магнітне поле, зварювальні напруги, тріщиностійкість, аргонодугове високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії.

S.V. Shchetinin, V.I. Shchetinina, O.V. Koval, P.V. Nikitenko, Elsaed Khaled. Crack resistance increase in argon arc high-speed welding at low heat input. The rolling mills are operated under high specific pressures, therefore the rolls are produced from high carbon steel 90HF, prone to hot and cold cracking. Therefore, crack resistance and wear resistance increase is an important scientific and technical problem. An effective way to increase crack resistance is arc and energy concentration, which increase the surfacing process. Arc concentration due to electrode diameter decrease provides increase in magnetic field induction, electromagnetic pressure of compression, pinch effect, the weld pool liquid metal crystallization speed, crack resistance and wear resistance. It also provides droplets and microstructure grinding, welding stresses reduction. It has been established that with the carbon content increase, the heat input decreases, thus ensuring heat input decrease, welding stresses reduction, liquid metal crystallization rate increase, microstructure grinding, the interatomic compression pressure and deposited metal crack resistance increase. The argon-arc high-speed surfacing at low heat input of roll necks with chromium-nickel wire, which provides arc and energy concentration, heat input and welding stresses reduction, crystallization rate increase, microstructure grinding, interatomic distance reduction, the pinch effect and interatomic pressures of compression enhancement, rolls crack resistance, wear resistance and durability increase, has been developed.

Keywords: pinch-effect, arc and energy concentration, electrode diameter, welding stresses, crack resistance, argon arc high-speed surfacing at low heat input.

Постановка проблеми. Валки прокатних станів, які експлуатуються в умовах високих питомих тисків, виготовляються з високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, що в значному ступені визначають зносостійкість. Тому підвищення тріщиностійкості та зносостійкості є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тріщиностійкість в значній мірі залежить від вмісту вуглецю в металі. З підвищенням вмісту вуглецю тріщиностійкість металу знижується,

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

³ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁴ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁵ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

що пов'язують з утворенням мартенситу, який характеризується високою твердістю, низькою пластичністю та великим об'ємом, приводить до значного зросту зварювальних напруг і утворення тріщин. Існують дві теорії утворення холодних тріщин – гартівна і воднева теорія, які пов'язують утворення тріщин з мартенситом. Гарячі тріщини, що утворюються при кристалізації, пов'язують з утворенням легкоплавкої евтектики FeS в температурному інтервалі крихкості, коли зварювальні напруги стають більше межі міцності. Загальновідомо, що при зменшенні погонної енергії, внаслідок зростання швидкості охолодження, підвищується вірогідність утворення холодних тріщин [1]. Зі зростанням ступеню легування зварювальних проволоку, зменшенням їх діаметра і використанням в якості захисного газу суміші на основі аргону підвищується негативний вплив водню і підвищених швидкостей охолодження зони термічного впливу з'єднань на їх опірність утворенню холодних тріщин. Однак М.М. Прохоров [1] відзначає, що значне зниження погонної енергії зварювання і відповідне зростання швидкості охолодження можуть призвести до зниження вірогідності утворення холодних тріщин. Дані впливу концентрації дуги і енергії на магнітне поле зварювального струму і тріщиностійкість наплавленого металу при високошвидкісному аргонодуговому наплавленні на низькій погонній енергії [1-11] відсутні.

Мета статті – вивчення механізму підвищення тріщиностійкості наплавленого металу за рахунок магнітного поля зварювального струму і розробка процесу аргонодугового високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії шийок валків.

Виклад основного матеріалу. При електродуговому зварюванні створюється електромагнітне поле зварювального струму, яке визначає процес зварювання. Магнітне поле при протіканні струму по провіднику вивчено Р.М. Уайтом [5]. Наявність сильного магнітного поля при зварюванні в області активної плями підтверджується тим, що дуга діє як насос, який всмоктує з навколишнього середовища повітря, що є діаманетиком, і втягує його в неоднорідне магнітне поле, розігріває і викидає в сторону виробів у вигляді потужних плазмових потоків зі швидкістю до 10^3 м/с [6]. Потужні плазмові потоки створюють тиск зварювальної дуги, який залежить від руху активної плями по торцю електрода. Однак магнітне поле зварювального струму досліджено недостатньо.

Для дослідження впливу концентрації дуги, швидкості наплавлення і погонної енергії на тріщиностійкість розроблена методика дослідження впливу діаметра дроту на магнітне поле зварювального струму, яка полягає в наступному. По зварювальному дроту різних діаметрів $(1,6; 2,8 \text{ і } 3,6) \cdot 10^{-3}$ м пропускається постійний струм величиною 300 А, і проводяться виміри індукції магнітного поля на поверхні дроту. Вимірювання виконувалися тесламетром EM4305.

В результаті встановлено, що зі зменшенням діаметра дроту індукція магнітного поля зростає відповідно з законом Біо-Савара, згідно якому індукція прямо пропорційна величині струму і обернено пропорційна відстані від провідника зі струмом (рис.):

$$B = \mu \frac{I}{2\pi R}, \text{ Т}, \quad (1)$$

де μ – магнітна проникність середовища, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; I – величина струму, А; R – відстань від провідника зі струмом, м.

На осі дроту індукція дорівнює нулю, при наближенні до поверхні зростає і досягає максимального значення на поверхні дроту. При зменшенні діаметра дроту від $3,6 \cdot 10^{-3}$ м до $1,6 \cdot 10^{-3}$ м максимальне значення індукції магнітного поля зварювального струму збільшилось з 0,033 Т до 0,075 Т. При видаленні від поверхні дроту індукція магнітного поля на початку різко, а потім менше, значно зменшується. При переході від однієї до іншої поверхні дуги індукція змінює напрямок на протилежне відповідно до напрямку силових ліній магнітного поля.

Експериментальні дані добре узгоджуються з розрахунковими значеннями, що підтверджує можливість використання розрахункових значень для визначення індукції магнітного поля зварювальної дуги.

Пропорційно індукції змінюється електромагнітна сила [6]:

$$F = IBL, \text{ Н}, \quad (2)$$

де B – індукція магнітного поля, Т; L – довжина дуги, м.

В квадратичній залежності від індукції змінюється магнітний тиск [7], який прямо пропорційний квадрату індукції магнітного поля і обернено пропорційний магнітній проникності середовища:

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{B^2}{2\mu}, \text{ Па.} \quad (3)$$

Магнітний тиск визначає пінч-ефект, який залежить від діаметра зварювального дроту та площі, по якій переміщується дуга, концентрацію дуги и тепловкладення.

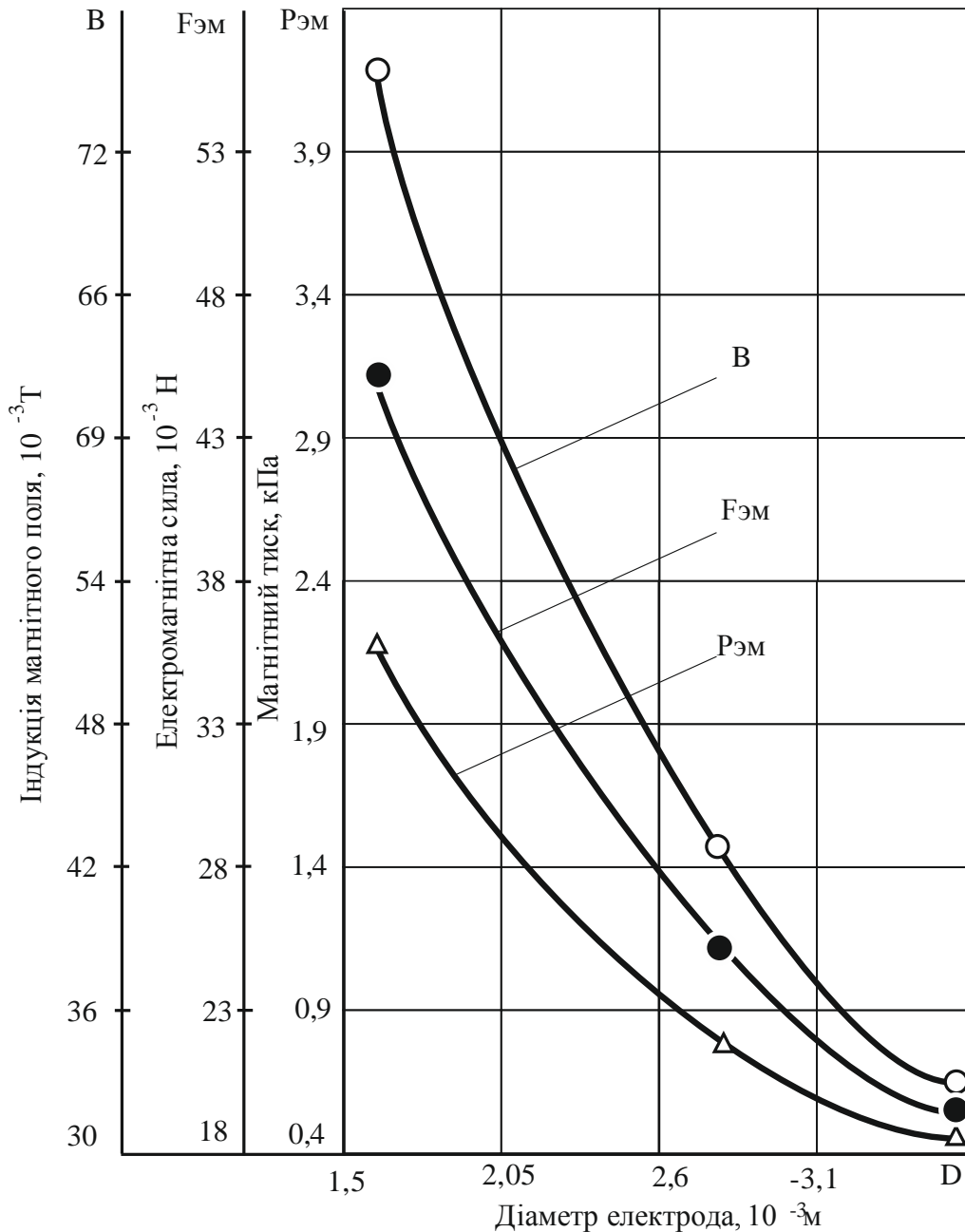


Рисунок – Залежність магнітного поля зварювальної дуги від діаметра електрода, величина струму 300 А

Пропорційно індукції зі зменшенням діаметра дроту зростає електромагнітна сила з 0,02 Н до 0,045 Н і підвищується з 0,43 кПа до 2, 24 кПа магнітний тиск, який визначає пінч-ефект і діаметр дуги (рис.).

З підвищенням пінч-ефекту посилюється електромагнітний тиск і відрив краплі з торця електрода, перенесення крапель стає дрібнокрапельним і струменевим. Перенесення крапель визначає товщину шару і швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни. Процес кристалізації рідкого металу періодичний, періодичність якого визначається перенесенням крапель. З посиленням пінч-ефекту і зменшенням розміру крапель товщина кристалізаційного шару знижується і тріщиностійкість наплавленого металу підвищується.

Ефективним способом підвищення тріщиностійкості є високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, що забезпечує зниження зварювальних напруг, подрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, зростання міжатомних зв'язків, природа яких електромагнітна.

Наплавлення в захисних газах є одним з найбільш ефективних процесів. Аргонодугове наплавлення характеризується низьким значенням суми приелектродних падінь напруги і градієнта потенціалу в стовпі дуги, високою щільністю струму, струменевим перенесенням металу, стабільністю процесу і якістю формування зварних швів. Аргонодугове наплавлення проводиться в суміші газів аргону і вуглекислого газу, що забезпечує відсутність пор за рахунок зв'язування водню киснем вуглецевого газу.

На основі встановлених закономірностей розроблено процес аргонодугового високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує зниження тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, попередження утворення гарячих і холодотріщин, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості валків.

Встановлені закономірності впливу діаметра електрода на магнітне поле зварювального струму та розроблений процес аргонодугового високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії можуть бути використані при наплавленні робочих та опорних валків.

Подальше дослідження в даному напрямку є перспективним, так як дозволяє розробити нові процеси, що забезпечують підвищення тріщиностійкості та зносостійкості валків.

Висновки

1. Ефективним способом підвищення тріщиностійкості є концентрація дуги і енергії, яка підвищує ефективність процесу наплавлення. Концентрація дуги за рахунок зменшення діаметра електрода забезпечує зростання індукції магнітного поля, електромагнітного тиску стиснення, пінч-ефекту, подрібнення крапель і мікроструктури, зниження зварювальних напруг, підвищення швидкості кристалізації рідкого металу зварювальної ванни, тріщиностійкості і зносостійкості наплавленого металу.

2. Встановлено, що з підвищенням концентрації погонна енергія знижується, що забезпечує зменшення тепловкладення, зварювальних напруг, збільшення швидкості кристалізації рідкого металу, подрібнення мікроструктури, підвищення міжатомного тиску стиснення і тріщиностійкості наплавленого металу.

3. Ефективним способом зниження погонної енергії є аргонодугове наплавлення, при якому зменшуються діаметр електрода, зварювальний струм, тепловкладення, зварювальні напруги, здрібнюється мікроструктура і підвищується тріщиностійкість наплавленого металу. Мінімум енергії – максимум якості.

4. Розроблено процес високошвидкісного аргонодугового наплавлення на низькій погонній енергії шийок валків хромонікелевим дротом, який забезпечує концентрацію дуги і енергії, зниження тепловкладення і зварювальних напруг, збільшення швидкості кристалізації, подрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, посилення пінч-ефекту і міжатомних тисків стиснення, підвищення тріщиностійкості, зносостійкості і довговічності валків.

Перелік використаних джерел:

1. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металле при сварке : в 2 т. Т. 2. Внутренние напряжения, деформации и фазовые превращения / Н.Н. Прохоров. – М. : Металлургия, 1976. – 600 с.
2. Шоршоров М.Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / М.Х. Шоршоров, В.В. Белов. – М. : Наука, 1972. – 228 с.
3. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов / И.А. Рябцев. – К. : Экотехнология,

2004. – 160 с.

4. Финкель В.М. Физика разрушения / В.М. Финкель. – М. : Metallurgiya, 1970. – 376 с.
5. Уайт Р.М. Квантовая теория магнетизма / Р.М. Уайт. – М. : Мир, 1972. – 306 с.
6. Финкельбург В. Электрические дуги и термическая плазма / В. Финкельбург, Г. Меккер. – М. : Иностранная литература, 1961. – 369 с.
7. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.
8. Николаев Г.А. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1982. – 272 с.
9. Винокуров В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений / В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
10. Влияние погонной энергии на образование отколов при наплавке высокоуглеродистой стали аустенитными проволоками / В.К. Каленский, Я.П. Черняк, В.Г. Васильев, Т.Г. Соломийчук // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 11-14.
11. Сулова Е.А. Влияние технологических факторов на склонность к образованию трещин / Е.А. Сулова, В.А. Игнатов, А.С. Зубченко // Сварочное производство. – 1990. – № 5. – С. 35-36.

References:

1. Prokhorov N.N. *Fizicheskie protsessy v metalle pri svarke. Tom 2: Vnutrennie napriazheniia, deformatsii i fazovye prevrashcheniia* [Physical processes in the metal during welding. Vol. 2: Internal stresses, deformations and phase transformations]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1976. 600 p. (Rus.)
2. Shorshorov M.H., Belov V.V. *Fazovye prevrashcheniia i izmeneniia svoistv stali pri svarke* [Phase transformations and changes in properties of the steel during welding]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 228 p. (Rus.)
3. Ryabtsev I.A. *Naplavka detalei mashin i mekhanizmov* [Surfacing of machine parts and mechanisms]. Kiev, Ekotekhnologiiia Publ., 2004. 160 p. (Rus.)
4. Finkel V.M. *Fizika razrusheniia* [Destruction Physics]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1970. 376 p. (Rus.)
5. White R.M. *Kvantovaia teoriia magnetizma* [Quantum theory of magnetism]. Moscow, Mir Publ., 1972. 306 p. (Rus.)
6. Finkelburg V., Mekker G. *Elektricheskie dugi i termicheskaia plazma* [Electric arcs and thermal plasma]. Moscow, Inostrannaia literature Publ., 1961. 369 p. (Rus.)
7. Abramovich G.N. *Prikladnaia gazovaia dinamika* [Applied Gas Dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 824 p. (Rus.)
8. Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokourov V.A. *Prochnost' svarnykh soedinenii i deformatsii konstruksii* [Strength of welded joints and structural deformations]. Moscow, Vysshaia shkola Publ., 1982. 272 p. (Rus.)
9. Vinokurov V.A., Grigoryants A.G. *Teoriia svarochnykh deformatsii i napriazhenii* [Theory of welding deformations and stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 280 p. (Rus.)
10. Kalensky V.K., Chernyak J.P., Vasilyev V.G., Solomiychuk T.G. *Vliianie pogonnoi energii na obrazovanie otkolov pri naplavke vysokouglerodistoi stali austenitnymi provolokami* [Effect of heat input on the formation of splits in high steel deposition austenitic wires]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 2001, no. 11, pp. 11-14. (Rus.)
11. Suslova E.A., Ignatov V.A., Zubchenko A.S. *Vliianie tekhnologicheskikh faktorov na sklonnost' k obrazovaniiu treshchin* [Influence of technological factors on the crack susceptibility]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1990, no. 5, pp. 35-36. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самотугін
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 23.09.2020