

6. Leshchinskiy L.K., Matvienko V.N. Osobennosti tekhnologii naplavki mnogosloinykh iznosostoi-kikh kompozitsii s plastichnym podsloem [Features of the technology of surfacing multilayer wear-resistant compositions with a plastic sublayer]. *Visnik Donbas'koї derzhavnoї mashinobudivnoї akademii – Herald of the Donbass state engineering academy*, 2018, № 2(44), pp. 64-67. (Rus.)
7. Erokhin A.A. *Osnovy svarki plavleniem. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti* [Fundamentals of fusion welding. Physical and chemical patterns]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 448 p. (Rus.)
8. Matvienko V.N., Leshchinskiy L.K., Mazur V.A. Formoobrazovanie svarochnoi vannы pri shirokosloinoi naplavke pod flusom sostavnym lentochnym elektrodom [Shaping of the weld pool in wide-layer submerged arc surfacing with a composite tape electrode]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2013, vol. 26, pp. 144-151. (Rus.)
9. Matvienko V.N. Sovershenstvovanie tekhnologii naplavki uplotnitel'nykh poverkhnostei truboprovodnoi armatury [Improving the technology of surfacing sealing surfaces of pipeline fittings]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2011, vol. 22, pp. 169-176. (Rus.)
10. Goncharov I.A., Sokolsky V.E., Davidenko A.O., Galinich V.I., Mishchenko D.D. Formation of spinel in melts of the MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> system agglomerated welding flux and its effect on viscosity of slag. *The Paton Welding Journal*, 2012, № 12, pp. 18-25.
11. Goncharov I.A., Galinich V.I., Mishchenko D.D., Shevchenko M.A. Prediction of thermodynamic properties of melts of MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> system. *The Paton Welding Journal*, 2011, № 10, pp. 2-4.
12. Kuz'menko V.G. Opredelenie temperaturnogo intervala plavleniia svarochnykh flusov po dannym ikh termicheskogo analiza [Determination of the melting temperature range of welding fluxes according to their thermal analysis]. *Avtomaticheskaiя svarka – Automatic welding*, 1992, № 9-10, pp. 34-41. (Rus.)

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

Стаття надійшла 15.09.2021

УДК 621.791.753.042

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.8

© Щетинін С.В.<sup>1</sup>, Щетиніна В.І.<sup>2</sup>, Коваль О.В.<sup>3</sup>, Никитенко П.В.<sup>4</sup>,  
Елсаєд Халед<sup>5</sup>

### ВИСОКОШВИДКІСНЕ НАПЛАВЛЕННЯ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

*Встановлено закономірності впливу криволінійної поверхні на взаємодію дуги і рідкого металу зварювальної ванни, порушення рівноваги в ванні, зниження стабільності процесу, формування швів і тріщиностійкості наплавленого металу. Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії циліндричних деталей зі зміщенням електроду з осі в напрямку, протилежному обертанню деталі, на величину зварювальної ванни, що забезпечує стабільність процесу, рівновагу дуги і рідкого металу зварювальної ванни, зростання швидкості кристалізації рідкого металу, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані та підвищення міжатомних зв'язків і тріщиностійкості наплавленого металу.*

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

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

<sup>3</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>4</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>5</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

**Ключові слова:** рівновага дуги і рідкого металу, мінімум енергії, стабільність процесу, зміщення електрода з zenіту циліндричної деталі на довжину ванни, зварювальні напруги, тріщиностійкість, високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії.

**S.V. Shchetinin, V.I. Shchetinina, A.V. Koval, P.V. Nikitenko, Elsaed Khaled. The high-speed welding with low heat input of cylindrical parts.** At the electric arc surfacing of cylindrical parts, the weld pool is located on a curved surface, downward hydrodynamic pressure acts on the arc and the pool liquid metal, which leads to an imbalance in the pool, metal leakage from the pool, decrease in the process stability, decrease in deposited metal crack resistance and decrease in corrosion resistance. Therefore, the increase in crack resistance and in corrosion resistance is an important scientific-technical problem. The influence of current and voltage across the arc on the process stability and on the weld pool length, which increases with increasing current and voltage, that results in the process stability violation and in the leakage of liquid metal from the pool, has been established. With high-speed surfacing, the pool mass decreases, the process stability increases as well as the formation, deposited metal corrosion resistance and crack resistance. To increase the deposited metal crack resistance, it is necessary to ensure the arc and liquid metal balance by displacing the electrode from the zenith in the direction opposite to the part rotation on the weld pool length, which directs the hydrodynamic pressure towards the arc, increases the time before the pool reaches the curved surface, liquid metal crystallization in the absence of metal leakage. It has been established that with the surfacing rate increase and heat input decrease, liquid metal crystallization rate increases, while the mass and the weld pool lifetime decrease. The arc and liquid metal are in interaction. The arc deviates forward under the liquid metal action, the metal flows into the pool crater, and the balance and the process stability are established. Balance – energy minimum – quality maximum. The high-speed surfacing with low heat input of cylindrical parts with the electrode displacement from the zenith in the direction opposite to the detail rotation on the weld pool length a process, which ensures the process stability, the arc and the liquid metal pool balance, the liquid metal crystallization rate increase, the microstructure refinement, the interatomic distance decrease and the increase of interatomic bonds, of metal deposit crack resistance, of corrosion resistance and of wear resistance has been developed.

**Key words:** arc and liquid metal balance, energy minimum, process stability, electrode displacement from the zenith of the cylindrical part on the weld pool length, welding stresses, crack resistance, high-speed surfacing with low heat input.

**Постановка проблеми.** Ролики машин безперервного лиття заготовок і ролюгангів прокатних станів малих діаметрів наплаваються на криволінійній поверхні, що приводить до порушення рівноваги рідкого металу і дуги, витікання рідкого металу зі зварювальної ванни, зниження корозійної стійкості, якості формування і тріщиностійкості наплавлених циліндричних деталей. Тому підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості є важливою науково-технічною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тріщиностійкість і корозійна стійкість в значній мірі залежать від стабільності процесу наплавлення і формування наплавленого металу. Стабільність процесу визначається рівновагою дуги і рідкого металу в зварювальній ванні. При наплавленні на горизонтальній поверхні між дугою і рідким металом зварювальної ванни встановлюється рівновага, яка характеризується мінімумом енергії. Під дією тиску дуги і спрямованого вниз електромагнітного тиску метал переміщується в хвостову частину зварювальної ванни. При переміщенні дуги вперед рідкий метал повертається назад до дуги. Між дугою і рідким металом встановлюється рівновага, що забезпечує стабільність процесу, якісне формування швів, тріщиностійкість і корозійну стійкість. При наплавленні на криволінійній поверхні хвостова частина ванни розташовується під кутом, що приводить до порушення рівноваги та витікання рідкого металу із зварювальної ванни. Тріщиностійкість і корозійна стійкість знижується. Однак даних впливу розташування ванни на криволінійній поверхні та довжини зварювальної ванни на рівновагу дуги і рідкого металу в зварювальній ванні, стабільність процесу, формування швів,

тріщиностійкість і корозійну стійкість наплавленого металу недостатньо [1-10].

**Мета статті** – вивчення механізму рівноваги дуги і рідкого металу зварювальної ванни при наплавленні на криволінійній поверхні циліндричних деталей і розробка процесу високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, що забезпечує підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості і зносостійкості роликів машин безперервного лиття заготовок і рольгангів.

**Виклад основного матеріалу.** При електродуговому наплавленні циліндричних деталей малого діаметру зварювальна ванна розташовується на криволінійній поверхні, що приводить до порушення рівноваги дуги і рідкого металу ванни. Зростання довжини зварювальної ванни (рис. 1) при розташуванні на криволінійній поверхні приводить до витікання рідкого металу з ванни. Однак вплив довжини ванни на рівновагу дуги і рідкого металу ванни при наплавленні роликів машин безперервного лиття заготовок і рольгангів досліджено недостатньо.

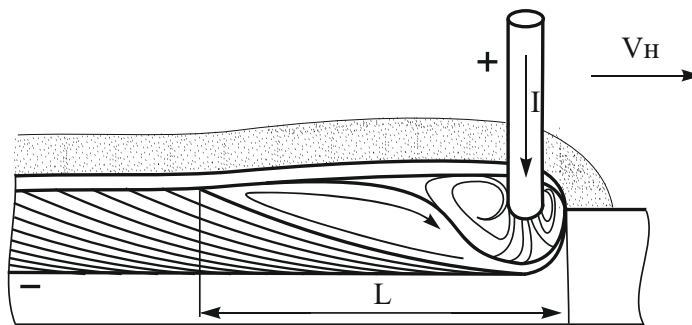


Рис. 1 – Довжина зварювальної ванни і рівновага дуги і рідкого металу

З підвищенням струму і напруги на дузі довжина зварювальної ванни зростає (рис. 2), що приводить до витікання рідкого металу з ванни, порушення стабільності процесу, формування валиків, тріщиностійкості та корозійної стійкості наплавленого металу.

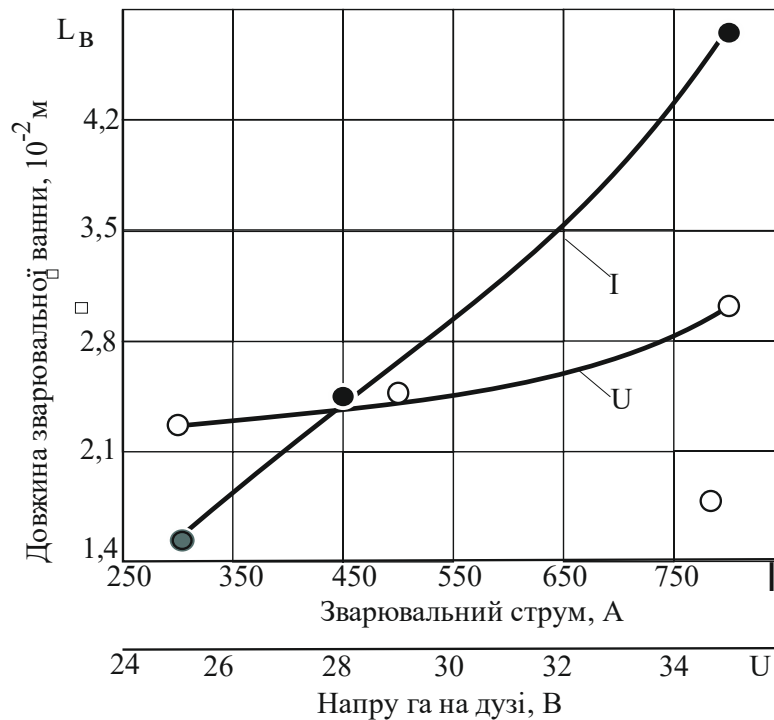


Рис. 2 – Закономірність впливу зварювального струму I і напруги на дузі U на довжину зварювальної ванни

Для зменшення довжини зварювальної ванни наплавлення циліндричних деталей малого діаметра проводять дротами малих діаметрів на низьких струмах і напругах на дузі, що

забезпечує підвищення власного магнітного поля і пінч-ефекту, стабільності процесу, рівновагу дуги і рідкого металу ванни. Дуга і рідкий метал знаходяться во взаємодії, положення дуги впливає на рідкий метал, який впливає на положення дуги. Пінч-ефект за рахунок стиснення власним магнітним полем створює плазмові потоки, які спрямовані від більшого тиску в області активної плями до меншого тиску в області стовпа, і тиск дуги. Рівновага досягається, коли тиск дуги дорівнює гідродинамічному тиску. Коли тиск дуги стає більшим за гідродинамічний тиск, рівновага порушується і рідкий метал витікає зі зварювальної ванни.

При розташуванні зварювальної ванни на горизонтальній поверхні рідкий метал знаходиться в рівновазі з тиском дуги (рис. 1) і забезпечується стабільність процесу, якісне формування валика, тріщиностійкість і корозійна стійкість наплавленого металу.

При наплавленні на криволінійній поверхні роликів електродом, розташованим у zenіті, гідродинамічний тиск, спрямований вниз, збігається з напрямком дуги і рідкий метал витікає зі зварювальної ванни, внаслідок чого порушується рівновага, формування валиків і знижується тріщиностійкість.

На основі проведених досліджень встановлено, що для попередження витікання рідкого металу і якісного формування наплавленого металу, наплавлення циліндричних деталей необхідно проводити зі зміщенням з zenіту у напрямку, протилежному до обертання деталі, на величину  $S$ , яка дорівнює довжині зварювальної ванни  $S = L$  (рис. 3).

Довжина зварювальної ванни при наплавленні валика на масивне тіло визначається для потужного джерела тепла, що швидко рухається, за рівнянням для ізотерми плавлення [10]:

$$T_{пл} = \frac{q_{II}}{2\pi\lambda V_{зв} t_p}, \text{ } ^\circ C, \quad (1)$$

де  $q_{II}$  – ефективна потужність джерела тепла,  $Вт$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $Вт/(м \cdot К)$ ;

$V_{зв}$  – швидкість зварювання,  $м/с$ ;

$t_p$  – час перебування ванни в рідкому стані,  $с$ .

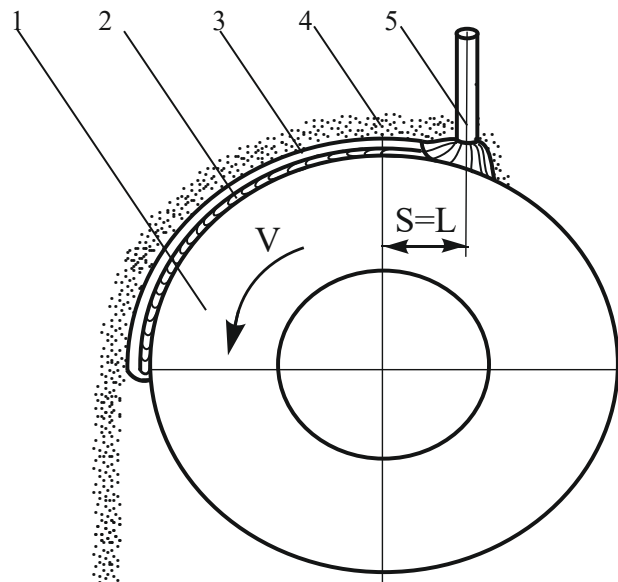


Рис. 3 – Зміщення електроду з zenіту у напрямку, протилежному до обертання деталі, на величину зварювальної ванни: 1 – циліндрична деталь; 2 – наплавлений метал; 3 – шлак; 4 – флюс; 5 – електрод

Час перебування ванни в рідкому стані залежить від погонної енергії наплавлення:

$$t_p = \frac{q_{II}}{2\pi\lambda V_{св} T_{пл}}, \text{ } с. \quad (2)$$

Для зменшення часу перебування ванни в рідкому стані та поліпшення формування наплавленого металу необхідно проводити високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, що забезпечує підвищення швидкості кристалізації ванни  $V_{KP} = V_{3B} \cos \alpha$  і здрібнення мікроструктури, стійкість до утворення кристалізаційних, підсолідусних тріщин і корозійну стійкість наплавленого металу.

Зі зменшенням часу перебування ванни в рідкому стані довжина зварювальної ванни і зміщення з zenіту зменшується:

$$L = V_{3B} t_P = \frac{q_H}{2\pi\lambda T_{пл}} = \frac{0,24IU\eta_H}{2\pi\lambda T_{пл}}, \text{ м.} \quad (3)$$

Зміщення з zenіту залежить від величини струму  $I$  і напруги на дузі  $U$ , з підвищенням яких зміщення зростає:

$$S = \frac{0,24IU\eta_H}{2\pi\lambda T_{пл}}, \text{ м.} \quad (4)$$

Найбільш ефективно проводити високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, що забезпечує зростання швидкості кристалізації, зменшення часу перебування ванни в рідкому стані та попереджує витікання рідкого металу зі зварювальної ванни.

Ефективність високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії встановлено в виробничих умовах наплавлення роликів рольгангу стану 3000, коли при зростанні швидкості наплавлення з 36 м/г до 75 м/г і зниженні погонної енергії з 2 МДж/м до 1 МДж/м різко підвищилась стабільність процесу, валик став рівномірний по ширині та висоті.

При високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії забезпечується саморегулювання і автоматичне регулювання стабільності процесу наплавлення, зменшується глибина проплавлення та частка участі основного металу в наплавленому, маса ванни та рівновага дуги і рідкого металу ванни. Зменшується тепловкладення і зварювальні напруги, зростає швидкість кристалізації, здрібнюється мікроструктура і підвищується тріщиностійкість і корозійна стійкість. За рівноваги енергія дорівнює нулю, тому у природі всі процеси мимоволі прагнуть до мінімуму енергії і підвищується стабільність процесу наплавлення.

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

На основі встановлених закономірностей розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує зниження тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, попередження утворення гарячих і холодних тріщин, підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості роликів машин безперервного лиття заготовок і рольгангів.

Встановленні закономірності впливу зміщення електроду з zenіту на стабільність процесу і формування валиків та розроблений процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії можуть бути використанні при наплавленні робочих та опорних валків.

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

### Висновки

1. При електродуговому наплавленні циліндричних деталей зварювальна ванна розташовується на криволінійній поверхні, на дугу і рідкий метал зварювальної ванни діє спрямований вниз гідродинамічний тиск, що приводить до порушення рівноваги в ванні, витіканню металу з ванни, зниження стабільності процесу, якості формування валиків, тріщиностійкості та корозійної стійкості наплавленого металу

2. Встановлено вплив струму і напруги на дузі на стабільність процесу і довжину зварювальної ванни, яка з підвищенням струму і напруги зростає, що приводить до порушення стабільності процесу і витіканню рідкого металу з ванни. При високошвидкісному наплавленні

зменшується маса ванни, підвищується стабільність процесу, формування, корозійна стійкість і тріщиностійкість наплавленого металу.

3. Для підвищення тріщиностійкості наплавленого металу необхідно забезпечити рівновагу дуги і рідкого металу за рахунок зміщення електроду з zenіту у напрямку, протилежному до обертання деталі на величину довжини зварювальної ванни, що забезпечує рівновагу в зварювальній ванні, стабільність процесу, якісне формування і підвищення тріщиностійкості і корозійної стійкості наплавленого металу.

4. Встановлено, що з підвищенням швидкості наплавлення і зниженням погонної енергії зростає швидкість кристалізації рідкого металу, зменшується маса і час існування металу в рідкому стані в зварювальній ванні. Дуга і рідкий метал знаходяться у взаємодії. Дуга під дією рідкого металу відхиляється вперед, метал підтікає у кратер ванни, встановлюється рівновага і стабільність процесу. Рівновага – мінімум енергії – максимум якості.

5. Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії циліндричних деталей зі зміщенням електроду з zenіту у напрямку, протилежному до обертання деталі на величину зварювальної ванни, що забезпечує стабільність процесу, рівновагу дуги і рідкого металу зварювальної ванни, зростання швидкості кристалізації рідкого металу, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані та підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, корозійної стійкості і зносостійкості наплавленого металу.

#### Перелік використаних джерел:

1. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металле при сварке: в 2 т. / Н.Н. Прохоров. – М. : Металлургия, 1976. – 600 с. – 2 т. – (Внутренние напряжения, деформации и фазовые превращения).
2. Управление геометрией сварного шва аппаратными средствами при механизированной и автоматической дуговой сварке плавящимся электродом / В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов, А.М. Жерносеков, Ю.Н. Сараев // Сварочное производство. – 2014. – № 5. – С. 10-16.
3. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и на плавки порошковой проволокой / И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, С.Ю. Максимов, И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34-42.
4. Финкель В.М. Физика разрушения / В.М. Финкель. – М. : Металлургия, 1970. – 376 с.
5. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов / И.А. Рябцев. – К. : Экотехнология, 2004. – 160 с.
6. 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.
7. Савицкий А.М. Влияние скорости сварки и длительности периодического охлаждения на формирование структуры сварных соединений закаливающихся сталей при дуговой сварке с термоциклированием / А.М. Савицкий, М.М. Савицкий, Д.П. Новикова // Автоматическая сварка. – 2004. – № 8. – С.41-45.
8. 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.
9. Винокуров В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений / В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
10. Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. – М. : Машгиз, 1951. – 296 с.

#### References:

1. Prokhorov N.N. *Fizicheskie protsessy v metalle pri svarke. Tom 2. Vnutrennie napriazheniia, deformatsii i fazovye prevrashcheniia* [Physical processes in metal during welding. Vol. 2. Internal stresses, deformations and phase transformations]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1976. 600 p. (Rus.)
2. Lebedev V.A., Maksimov S.Iu., Zhernosekov A.M., Saraev Iu.N. *Upravlenie geometriei svarnogo shva apparatnymi sredstvami pri mekhanizirovannoi i avtomaticheskoi dugovoi svarke plaviashchimsia elektrodom* [Control of the geometry of the weld by hardware in mechanized and automatic arc welding with a consumable electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 2014, № 5, pp. 10-16. (Rus.)

3. Pokhodnia I.K., Shlepakov V.N., Maksimov S.Iu., Riabtsev I.A. Issledovaniia i razrabotki IES im. E.O. Patona v oblasti elektrodugovoi svarki i na plavki poroshkovoii provolokoi [Research and development of IES them. E.O. Paton in the field of electric arc welding and melting with flux-cored wire]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 2010, № 12, pp. 34-42. (Rus.)
4. Finkel' V.M. *Fizika razrusheniia* [Physics of destruction]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1970. 376 p. (Rus.)
5. Riabtsev I.A. *Naplavka detalei mashin i mekhanizmov* [Surfacing of machine parts and mechanisms]. Kyiv, Ekotekhnologiia Publ., 2004. 160 p. (Rus.)
6. Kalenskii V.K., Cherniak Ia.P., Vasil'ev V.G., Solomiichuk T.G. Vliianie pogonnoi energii na obrazovanie otkolov pri naplavke vysokouglerodistoi stali austenitnymi provolokami [Influence of heat input on the formation of spalls in the surfacing of high-carbon steel with austenitic wires]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 2001, № 11, pp. 11-14. (Rus.)
7. Savitskii A.M., Savitskii M.M., Novikova D.P. Vliianie skorosti svarki i dlitel'nosti periodicheskogo okhlazhdeniia na formirovanie struktury svarnykh soedinenii zakalivaiushchikhsia stali pri dugovoi svarke s termotsiklirovaniem [Influence of welding speed and duration of periodic cooling on the formation of the structure of welded joints of hardening steels in arc welding with thermal cycling]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, 2004, № 8, pp.41-45. (Rus.)
8. Suslova E.A., Ignatov V.A., Zubchenko A.S. Vliianie tekhnologicheskikh faktorov na sklonnost' k obrazovaniiu treshchin [The influence of technological factors on the tendency to cracking]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1990, № 5, pp. 35-36. (Rus.)
9. Vinokurov V.A., Grigor'iants A.G. *Teoriia svarochnykh deformatsii i napriazhenii* [Theory of welding deformations and stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 280 p. (Rus.)
10. Rykalin N.N. *Raschet teplovykh protsessov pri svarke* [Calculation of thermal processes during welding]. Moscow, Mashgiz Publ., 1951. 296 p. (Rus.)

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

Стаття надійшла 15.08.2021

УДК 621.791.753.042

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.9

© Щетинін С.В.<sup>1</sup>, Щетиніна В.І.<sup>2</sup>, Никитенко П.В.<sup>3</sup>, Елсаєд Халед<sup>4</sup>,  
Коваль О.В.<sup>5</sup>

### ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- І НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ СКЛАДОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

*Встановлені закономірності регулювання переміщення дуги по торцю електрода і ванні при зварюванні складовим електродом. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, що забезпечує за рахунок регулювання переміщення дуги по торцю електрода і зварювальній ванні, зниження тиску дуги і якісне формування зворотного валуку на флюсовій подушці, зменшення магнітного поля, відсутність*

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

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

<sup>3</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>4</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>5</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь