

Машинобудування і зварювальне виробництво

Ключевые слова: *контактное напряжение, фотоупругость, оптически-активный материал, изохром, изоклин, поле изоклин, поле изохром, касательные напряжения, нормальные напряжения, метод разности касательных напряжений.*

Shiryayev A. V., Butsukin V. V., Shiryayev I. A., Golovacheva I. V., Gritsyuk A. A.

RESEARCH OF CONTACT VOLTAGES BY THE METHOD OF PHOTOELASTICITY

A brief comparative analysis of the known theoretical studies of the distribution of contact stresses over the surface of two bodies is carried out. On the basis of the analysis carried out, conclusions were drawn about the absence of experimental data on the distribution of contact stresses. One of the most reliable methods for the experimental study of the stress distribution in the contact of elastic bodies is the method of optically active materials. The photoelasticity method allows obtaining the necessary and sufficient data for determining the shear stresses. The maximum shear stress values can be obtained from the strip pattern, and the isoclines give the directions of the principal stresses. The shear stress difference method is used to determine the vertical and horizontal normal stresses. The study of stresses in the contact of a body with bevels and a body with a rectilinear generatrix simulating a plane was carried out by the photoelasticity method on a polarization-projection device PPU-5. In the course of the experiment, the method of separation of principal stresses by the method of difference in shear stresses was tested and the reliability of the results obtained was confirmed. An experimental study of the distribution of stresses in the contact of parts made of epoxy resin by the method of photoelasticity has been carried out. Preliminary conclusions are made about the possibility of applying the theoretical laws of the distribution of contact stresses: the formula for the contact of the punch with a rectilinear base is the most consistent with the experimental data. Some discrepancy between the experimental data and the theoretical dependence was revealed, which can be caused by the presence of friction forces in the real contact of the samples.

Keywords: *contact stress, photoelasticity, optically active material, isochrome, isocline, isocline field, isochromic field, shear stresses, normal stresses, shear stress difference method.*

Стаття надійшла 08.02.2021 р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990242021267035

Щетинін С. В., Щетиніна В. І., Никитенко П. В., Елсаєд Халед, Коваль О. В.

СТАБІЛЬНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ЗВАРЮВАННІ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- І НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

При односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в феромагнітній трубі значно зростає електромагнітне поле зварювального струму, виникає магнітне дуття, знижується стабільність процесу і ударна в'язкість зварних з'єднань, утворюються подрізи та порушується формування зворотного валику на флюсовій подушці. Для підвищення стабільності, якості та ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб з двостороннім струмопідводом, при якому струм підводиться в начало і кінець труби, що забезпечує регулювання струму, який тече ззаду і попереду дуги в зварювальній ванні. Механізм підвищення стабільності процесу з двостороннім струмопідводом полягає в

Машинобудування і зварювальне виробництво

зниженні електромагнітного поля зварювального струму, що тече ззаду дуги, діючої на дугу і рідкий метал зварювальної ванни електромагнітної сили, яка відхиляє дугу вперед до обриву, порушує рівновагу, приводить до утворення підрізів, зниженню якості зворотного валику і ударної в'язкості зварних з'єднань. В виробничих умовах одностороннього високошвидкісного зварювання труб встановлено оптимальне співвідношення струмів ззаду і попереду дуги, що забезпечує стабільність процесу, відсутність підрізів, підвищення якості формування зовнішнього і зворотного валиків та ударної в'язкості зварних з'єднань. Регулювання струмів, що протікають ззаду і попереду дуги, і електромагнітних сил, які діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни, забезпечує стабільність процесу, якісне формування зовнішнього і зворотного валиків при односторонньому високошвидкісному зварюванні на флюсовій подушці та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом, який за рахунок зниження електромагнітного поля зварювального струму і електромагнітних сил, що діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни, забезпечує відсутність магнітного дуття, стабільність, підвищення якості зовнішнього і зворотного валиків на флюсовій подушці та ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Ключові слова: Стабільність процесу, магнітне дуття, електромагнітне поле, одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом, підрізи, формування зовнішнього і зворотного валиків, ударна в'язкість зварних з'єднань

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей обмежене порушенням стабільності процесу, що приводить до зниження якості формування швів, і трудностю забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань. Тому регулювання стабільності процесу і розробка процесу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує підвищення стабільності процесу і ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стабільність процесу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей визначає коливання струму, напруги на дузі, формування зовнішнього і зворотного валиків та ударну в'язкість зварних з'єднань. Дуга в процесі зварювання рухається по торцю електроду під дією електромагнітних сил в сторону меншого магнітного поля. Величина електромагнітних сил визначається струмом, індукцією магнітного поля і довжиною дуги. При зварюванні труб індукція магнітного поля зростає в порівнянні з пластинами, так як силові лінії магнітного поля, які прагнуть пройти по шляху найменшого магнітного опору, концентруються в феромагнітному металі. Пропорційно зростає діюча на дугу і рідкий метал електромагнітна сила, під дією якої дуга відхиляється до обриву, що посилює магнітне дуття, порушує стабільність процесу, формування зварних швів і ударну в'язкість зварних з'єднань. Однак магнітне поле при зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей досліджено недостатньо [1–11].

Мета досліджень. Регулювання електромагнітного поля, стабільності і розробка процесу одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує стабільність, підвищення якості та ударної в'язкості зварних з'єднань.

Основний матеріал дослідження. Природа електродугового зварювання електромагнітна, так як в основі процесу лежить електромагнітне поле зварювального струму. Величина зварювального струму визначає індукцію, електромагнітну силу і магнітний тиск, що діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни. При високошвидкісному односторонньому зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей з товщиною стінки 7 – 15 мм по трубі

Машинобудування і зварювальне виробництво

протікає струм, який утворює пропорційне електромагнітне поле зварювального струму, під дією якого дуга відхиляється в сторону меншого магнітного поля. Згідно закону Біо-Савара індукція магнітного поля пропорційна величині струму, що протікає по трубі. При зварюванні від струмовідводу весь струм тече позаду дуги і під дією електромагнітної сили дуга відхиляється вперед по обриву дуги. Виникає магнітне дуття, порушується стабільність процесу, формування зварних швів і знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Електромагнітна сила пропорційна величині струму I , індукції магнітного поля B і довжині дуги L :

$$F=I[Bl], H. \quad (1)$$

При зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей збільшується індукція магнітного поля зварювального струму, пропорційно зростає електромагнітна сила, виникає магнітне дуття і порушується стабільність процесу.

Одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей обмежено, так як існує чотири проблеми – магнітне дуття і порушення стабільності процесу, утворення підрізів, формування зворотного валику на флюсовій подушці і ударна в'язкість зварних з'єднань. Магнітне дуття і порушення стабільності процесу приводить до утворення підрізів, нерівномірного формування зворотного валику на флюсовій подушці і зниженню ударної в'язкості зварних з'єднань.

Встановлено, що при зварюванні труб від струмопідводу утворюються підрізи, так як природа підрізів електромагнітна. Дуга під дією електромагнітної сили струму, що тече по трубі ззаду, відхиляється вперед, зростає величина струму в області бокових кромek ванни. На рідкий метал ванни, по якому тече струм, діє спрямована вниз електромагнітна сила струму дуги, що приводить до стікання рідкого металу з бокових кромek ванни і утворенню підрізів.

Порушення стабільності процесу при зварюванні зі струмовідводом в началі труби приводить до відхилення дуги вперед до обриву, коливання струму і напруги на дузі, порушенню формування зворотного валику на флюсовій подушці та ударної в'язкості зварних з'єднань (рис. 1).

Для підвищення стабільності процесу, якості формування зовнішнього і зворотного валику при односторонньому високошвидкісному зварюванні на флюсовій подушці розроблено спосіб зварювання з двостороннім струмопідводом, при якому магнітне поле регулюється за рахунок зміни величини струму, що протікає ззаду I_1 і попереду I_2 дуги.

Зварювальний струм I розтікається в зварювальній ванні $I = I_1 + I_2$. Протікаючи струми утворюють електромагнітні сили F_{EM1} , під дією якої дуга і рідкий метал зварювальної ванни рухається вперед, і F_{EM2} , яка спрямована назад. Згідно принципу суперпозиції протилежний напрямок електромагнітних сил приводить до зниження результуючої електромагнітної сили, що підвищує стабільність процесу.

$$F_{EM} = F_{EM1} - F_{EM2},$$

В виробничих умовах при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей встановлено оптимальне співвідношення струмів ззаду і спереду дуги 1,7–1,9, при якому забезпечується стабільність процесу, підвищення якості та ударної в'язкості зварних з'єднань (рис. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

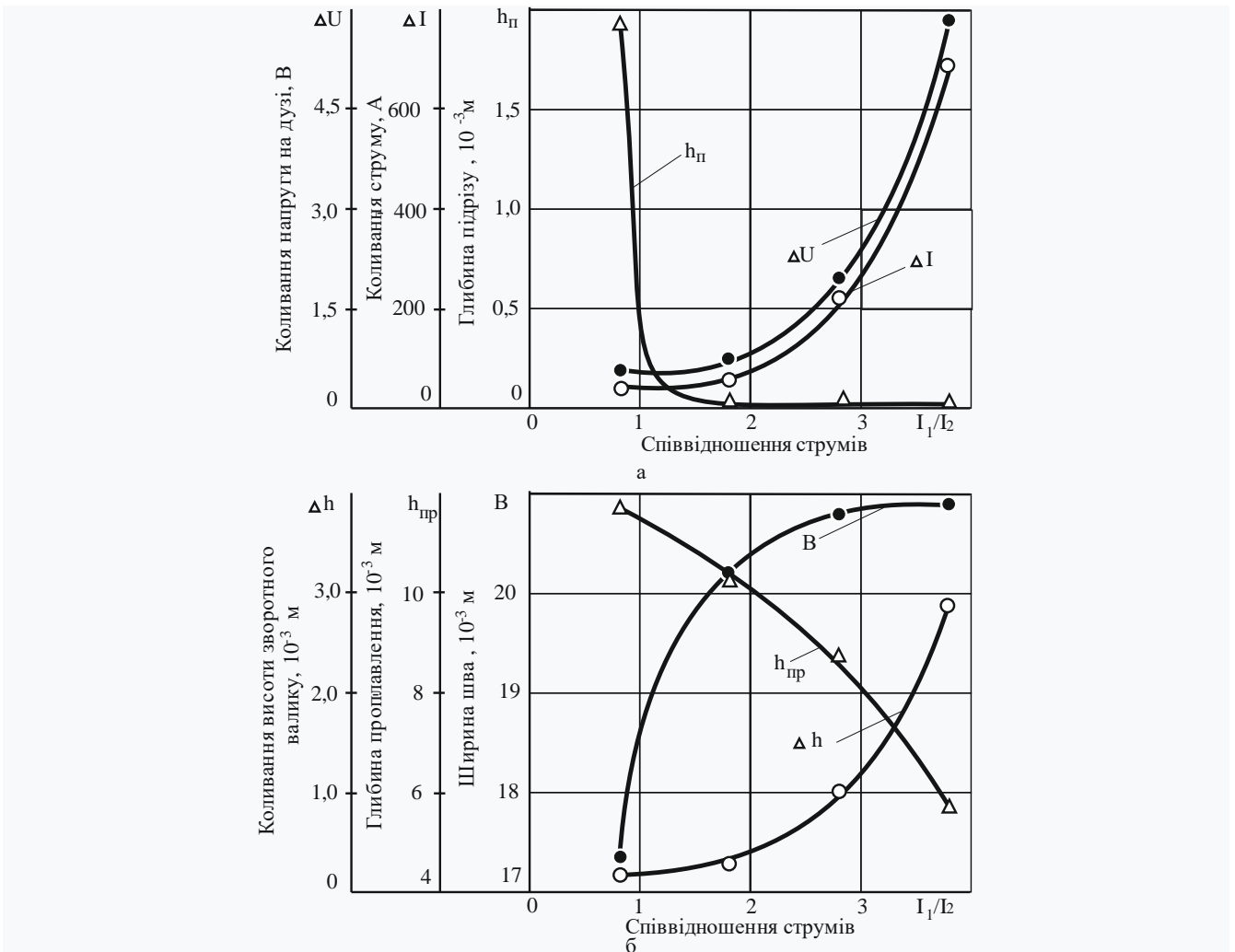


Рисунок 1 – Закономірності впливу магнітного поля зварювального струму на стабільність процесу (а) і якість зварних швів (б):

$V = 0,021$ м/г, товщина стінки труби 0,008 м, складовий електрод

При співвідношенні струмів ззаду і попереду дуги менш 1,7 шви формуються з підрізами, При співвідношенні струмів ззаду і попереду дуги більше 1,9 знижується стабільність процесу внаслідок посилення коливання струму і напруги на дузі, відповідно коливання висоти зворотного валику, зниження глибини проплавлення, якості формування зовнішнього та зворотного валиків і ударної в'язкості зварних з'єднань.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом величина зварювального струму 2100 А, напруга на дузі 27 – 29 В, швидкість зварювання 75 м/г. Величина струму, що протікає ззаду дуги 1400 А, попереду дуги 700 А. Ззаду дуги величина струму більше, тому дуга відхиляється вперед, що забезпечує відсутність підрізів.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом, який за рахунок зниження електромагнітного поля зварювального струму і електромагнітних сил, що діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни, забезпечує відсутність магнітного дуття, стабільність, підвищення якості зовнішнього і зворотного валиків на флюсовій подушці та ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом

Машинобудування і зварювальне виробництво

складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні котлів залізничних цистерн.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечують підвищення стабільності, якості та ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

При односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в феромагнітній трубі значно зростає електромагнітне поле зварювального струму, виникає магнітне дуття, знижується стабільність процесу і ударна в'язкість зварних з'єднань, утворюються подрізи та порушується формування зворотного валику на флюсовій подушці.

Для підвищення стабільності, якості та ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб з двостороннім струмопідводом, при якому струм підводиться в начало і кінець труби, що забезпечує регулювання струму, який тече ззаду і попереду дуги в зварювальній ванні.

Механізм підвищення стабільності процесу з двостороннім струмопідводом полягає в зниженні електромагнітного поля зварювального струму, що тече ззаду дуги, діючої на дугу і рідкий метал зварювальної ванни електромагнітної сили, яка відхиляє дугу вперед до обриву, порушує рівновагу, приводить до утворення подрізів, зниженню якості зворотного валику і ударної в'язкості зварних з'єднань.

В виробничих умовах одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом встановлено оптимальне співвідношення струмів ззаду і попереду дуги, що забезпечує стабільність процесу, відсутність подрізів, підвищення якості формування зовнішнього і зворотного валиків та ударної в'язкості зварних з'єднань.

Оптимальне співвідношення струмів, що протікають ззаду і попереду дуги, і електромагнітних сил, які діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни, забезпечує стабільність процесу, якісне формування зовнішнього і зворотного валиків при односторонньому високошвидкісному зварюванні на флюсовій подушці та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом, який за рахунок зниження електромагнітного поля зварювального струму і електромагнітних сил, що діють на дугу і рідкий метал зварювальної ванни, забезпечує відсутність магнітного дуття, стабільність, підвищення якості зовнішнього і зворотного валиків на флюсовій подушці та ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Список використаних джерел:

1. Уайт, Р. М. Квантовая теория магнетизма / Р. М. Уайт. – М. : Мир, 1972. – 306 с.
2. Корольков, П. М. Природа возникновения и методы устранения магнитного дутья при сварке / П. М. Корольков // Сварочное производство. – 1998. – № 5. – С. 6–8.
3. Зильберман, Г. Е. Электричество и магнетизм / Г. Е. Зильберман. – М. : Наука, 1970. – 383 с.
4. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

5. *Blakeley, P. J.* Magnetic arc blowcanses, effects and cures / P. J. Blakeley // Metal Construction. – 1988. – № 2, vol. 20. – P. 10–13.
6. *Norman, E.W.D.* Magnetic arc blow. Pt. 1. The origin of magnetic fields / E.W.D. Norman // Metal Construction. – 1984. – № 7, vol. 16. – P.441–445.
7. *Blakeley, P. J.* The origin and effects of magnetic fields in electron beam welding / P. J. Blakeley, A. Sanderson // Welding Journal. – 1984. – №1. – P. 42–49.
8. *Norman, E.W.D.* Magnetic arc blow. Pt. 2. Effects and solutions / E.W.D. Norman // Metal Construction. – 1984. – № 8, vol. 16. – P. 496–500.
9. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г. М. Шеленков. – К. : Техника, 1983. – 127 с.
10. *Рижов, Р. М.* Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р. М. Рижов, В. Д. Кузнецов. – К. : Екотехнологія, 2010. – 288 с.
11. *Черныш, В. П.* Зависимость параметров управляющего магнитного воздействия от энерговложения встык при дуговой сварке / В. П. Черныш, Р. Н. Рыжов // Автоматическая сварка. – 1998. – № 5. – С. 49–51.

Щетинин С. В., Щетинина В. И., Никитенко П. В., Элсаед Халед, Коваль О. В.

СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СВАРКЕ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

При односторонней высокоскоростной сварке труб для газо- и нефтепроводных магистралей вследствие концентрации силовых линий магнитного поля в ферромагнитной трубе значительно возрастает электромагнитное поле сварочного тока, возникает магнитное дутье, снижается стабильность процесса и ударная вязкость сварных соединений, образуются подрезы и нарушается формирование обратного валика на флюсовой подушке.

Для повышения стабильности, качества и ударной вязкости сварных соединений разработан процесс односторонней высокоскоростной сварки труб с двухсторонним токоподводом, при котором ток подводится в начало и конец трубы, что обеспечивает регулирование тока, который протекает сзади и впереди дуги в сварочной ванне.

Механизм повышения стабильности процесса с двухсторонним токоподводом заключается в снижении электромагнитного поля сварочного тока, протекающего сзади дуги, действующей на дугу и жидкий металл ванны электромагнитной силы, которая отклоняет дугу вперед до обрыва, нарушает равновесие, приводит к образованию подрезов, снижению качества обратного валика и ударной вязкости сварных соединений

В производственных условиях односторонней высокоскоростной сварки труб с двухсторонним токоподводом установлено оптимальное соотношение токов, протекающих сзади и впереди дуги, которое обеспечивает стабильность процесса, отсутствие подрезов, повышение качества формирования внешнего и обратного валиков и ударной вязкости сварных соединений.

Оптимальное соотношение токов, которые протекают сзади и впереди дуги и электромагнитных сил, действующих на дугу и жидкий металл сварочной ванны, обеспечивает стабильность процесса, качественное формирование внешнего и обратного валиков при односторонней высокоскоростной сварке на флюсовой подушке и повышение ударной вязкости сварных соединений.

Разработан процесс односторонней высокоскоростной сварки труб для газо- и нефтепроводных магистралей с двухсторонним токоподводом, который за счет снижения

электромагнитного поля сварочного тока и электромагнитных сил, действующих на дугу и жидкий металл сварочной ванны, обеспечивают отсутствие магнитного дутья, стабильность, повышение качества внешнего и обратного валиков на флюсовой подушке и ударной вязкости сварных соединений в 2 – 2,5 раза.

Ключевые слова: Стабильность процесса, магнитное дутье, электромагнитное поле, односторонняя высокоскоростная сварка труб для газо- и нефтепроводных магистралей с двусторонним токоподводом, подрезы, формовка наружного и обратного валиков, ударная вязкость сварных соединений

Shchetinin S. V., Shchetinina V. I., Nikitenko P. V., Elsad Khaled, Koval O. V.

THE PROCESS STABILITY AT THE ONE-SIDED HIGH-SPEED PIPES WELDING FOR GAS AND OIL PIPELINES

At the one-sided high-speed pipes welding for gas and oil pipelines, due to magnetic field lines in the ferromagnetic pipe the concentration, the welding current electromagnetic field increases significantly, magnetic blowing occurs, the process stability and welded joints the impact toughness decreases, undercuts are formed and the reverse roller on the flux cushion formation is disturbed.

The stability, quality and welded joints impact toughness to increase, the one-sided high-speed pipes welding with the double-sided current lead a process has been developed, in which the current is supplied to the pipe beginning and end, which provides current regulation that flows the arc behind and in front in the weld pool.

The increasing the process stability with the double-sided current lead mechanism consist in reduce the welding current electromagnetic field the flowing from the arc back, acting on the arc and the pool liquid metal of electromagnetic force, which deflects the arc forward until it breaks, the balance is disturbed, leads to the undercuts formation, the reverse bead quality and the welded joints impact toughness decreases.

The currents flowing the arc behind and in front optimal correlation at one-sided high-speed pipes welding for gas and oil pipelines with a double-sided current lead in the production condition has been established, which ensures the process stability, the undercuts absence, the external and reverse beads the quality formation and the welded joints impact toughness an increase.

The currents that flow the arc behind and in front and electromagnetic forces acting on the arc and the weld pool liquid metal, regulation ensures the process stability, high-quality external and reverse beads formation at the one-sided high-speed welding on a flux cushion and the welded joints impact pipes toughness an increase.

The one-sided high-speed welding for gas and oil pipelines with double-sided current lead a process has been developed, which, by reducing the welding current electromagnetic field and electromagnetic forces, acting on the arc and the weld pool liquid metal, ensures the magnetic blowing absence, stability, and the external and reverse beads on a flux cushion, quality and welded joints impact toughness by 2 – 2.5 times increase.

Keywords: Process stability, magnetic blowing, electromagnetic field, one-sided high-speed pipes welding for gas and oil pipelines with the double-sided current lead, undercuts, external and reverse beads formation, welded joints impact toughness.

Стаття надійшла 01.09.2021 р.