

Машинобудування і зварювальне виробництво

of high concentration to areas of low concentration, which leads to a random equalization of concentrations. Therefore, the carbon content in the deposited metal decreases and crack resistance increases.

It is recommended surfacing the first two passes of the buffer layer on high-carbon steels to carry out with low-carbon wire, which ensures a reduction in carbon due to the diffusion of carbon from the base metal into the weld metal, pores form in the weld metal due to the release of CO. To prevent the formation of pores when surfacing the first two passes of the buffer layer, it is recommended to use Zv08G2S silicon-manganese wire instead of Sv08A wire, which, due to the increased content of silicon and manganese, which have a high affinity for oxygen, ensures the deoxidation of the weld pool liquid metal, prevent CO pores the formation and increase wear resistance.

High-speed surfacing prevents the hot and cold cracks formation, reduces linear energy, the brittleness temperature range, crystal lattice microdistortions, microstresses, welding stresses, dislocation density, increases the surfacing and crystallization speed, grinds microstructure, reduces interatomic distances, increases interatomic bonds, crack resistance and wear resistance

A process has been developed for high-speed, low-energy surfacing of working rolls of rolling mills with heating and surfacing of a buffer layer using low-carbon silicon-manganese welding wire Sv08G2S, which ensures a reduction in the temperature range of brittleness due to a reduction in the sulfur content by binding sulfur into the MnS compound, preventing the formation of hot and cold cracks and pores, reducing energy, crystal lattice microdistortions, microstresses, welding stresses, dislocation density, surfacing and crystallization speed, refining the microstructure, reducing interatomic distances, increased interatomic bonds, crack resistance and wear resistance.

Keywords: *rolling mill rollers, hot and cold cracks, the brittleness temperature range, sulfur, high-speed surfacing low energy, the buffer layer, surfacing with low-carbon, pores, welding stresses, silicon-manganese welding wire Zv08G2S, crack resistance, wear resistance.*

Стаття надійшла 16.03.2026р.

Стаття прийнята 21.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.

131 – Прикладна механіка

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990312026359310

Ніколаєв Р.В., Мінін Д.І., Плешаков А.О.

ВПЛИВ ФОРМИ ВИРОБУ НА МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТА НАПЛАВЛЕННІ

При зварюванні та наплавленні труб для газо- і нафтопровідних магістралей, індукція магнітного поля підвищується, внаслідок концентрації силових ліній у замкненій трубі, що володіє великою магнітною проникністю. Струм тече шляхом найменшого опору, силові лінії магнітного поля – шляхом найменшого магнітного опору. Адекватність методики вимірювання магнітного поля реальним умовам підтверджена при вимірюванні індукції поля струму, що тече виробом, у виробничих умовах при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб діаметром 0,426 м, з товщиною стінки 0,008 м.

Машинобудування і зварювальне виробництво

В результаті досліджень встановлено, що, при протіканні струму пластинами, індукція магнітного поля в середині товщини пластини дорівнює нулю. При наближенні до поверхні пластини, індукція зростає та досягає максимального значення на поверхні. При віддаленні поверхні пластини індукція зменшується. Відповідно до силових ліній поля, при переході від середини до нижньої поверхні пластин, напрямок індукції змінюється на протилежне. Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що при протіканні струму по трубі, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в вододіючій великою магнітною проникністю трубі, максимальне значення індукції різко зростає в π разів, порівняно зі зварюванням пластин, з $0,1 \text{ T}$ до $0,35 \text{ T}$. При наближенні до верхньої та нижньої поверхонь стінки труби, індукція магнітного поля знижується і різко падає при виході з ферромагнетика. При цьому, напрямок індукції в стику не змінюється, а максимальне значення досягається в середині стінки труби. Індукція підвищується внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в замкнутій, що володіє більшою магнітною проникністю, феромагнітної труби, контур якої збігається з силовими лініями поля. За межами феромагнітної труби магнітна проникність знижується і індукція різко падає. Індукція на осі труби дорівнює нулю і має протилежний напрямок в області нижньої стінки. Форма виробу, відповідно, впливає на електромагнітну силу, яка підвищується з $0,42 \text{ H}$ при протіканні струму пластинами до $1,47 \text{ H}$ і магнітний тиск, який при протіканні струму трубою зростає з $3,98 \text{ кПа}$ до $48,8 \text{ кПа}$, більш ніж в 10 разів. Тому, при зварюванні труб, посилюється магнітне дуття та вплив магнітного поля на формування швів. В результаті магнітного дуття, при зварюванні труб від струмопідводу, електромагнітна сила відхиляє дугу вперед, її довжина періодично збільшується до природного обриву дуги, яка знову збуджується при закорочуванні електрода на виріб. При цьому, режим стає нестабільним, формування швів порушується. При зварюванні на струмопідводі, дуга відхиляється назад, занурюється в основний метал і стабілізується, але шов формується з підрізами. При нестабільному процесі зростає енергія, підвищення якої, згідно з рентгеноструктурним аналізом, призводить до появи мікроспотворень кристалічних ґрат, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин і зниження ударної в'язкості зварних сполук. При стабільному процесі енергія зменшується, що забезпечує зниження мікроспотворень кристалічних ґрат, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Розроблено енерго- і матеріалозберігаючий спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, з двостороннім струмопідводом до труби, при якому струм ззаду дуги в 2 рази вище струму попереду дуги, створює магнітне поле, яке забезпечує зниження енергії і наплавленого металу, мікроспотворень кристалічного решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, схильності до утворення тріщин, рівновагу діючих на дугу і рідкий метал ванни електромагнітних сил, стабільність процесу, збільшення швидкості зварювання і кристалізації, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, якості зовнішнього шва, зворотного валика на флюсовій подушці, незалежно від зазору, і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 рази.

Ключові слова: одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, магнітне поле, енергія, стабільність, ударна в'язкість.

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей обмежено порушенням стабільності процесу та формування швів, що призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка енерго- і матеріалозберігаючого способу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує підвищення стабільності процесу, формування швів і ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною

Машинобудування і зварювальне виробництво

проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для запобігання утворення підрізів при дводуговому зварюванні перша дуга проплавляє основний метал, а друга забезпечує відсутність підрізів і якісне формування швів. Однак, при дводуговому зварюванні, не забезпечується рівномірне формування зворотного валику на флюсовій подушці. Вплив регулювання енергії, переміщення дуги торцем електрода, магнітного поля, за рахунок форми електрода, на формування швів при односторонньому високошвидкісному зварюванні та ударну в'язкість зварних з'єднань досліджено недостатньо [1 – 10].

Мета досліджень. Зниження енергії та розробка енерго-і матеріалозберігаючого процесу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує, підвищення стабільності, формування швів і ударної в'язкості зварних з'єднань

Основний матеріал дослідження. Ефективним енерго- та матеріалозберігаючим процесом є одностороннє високошвидкісне зварювання, яке забезпечує збільшення швидкості зварювання та кристалізації, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків та ударної в'язкості зварних з'єднань. Однак підвищення швидкості зварювання обмежене порушенням стабільності процесу, що знижує ударну в'язкість зварних з'єднань.

При електродуговому зварюванні стабільність процесу та формування швів визначаються магнітним полем зварювального струму, що створюється дугою і струмом, що тече виробом. Магнітне поле струму дуги створює пінч-ефект, тиск дуги і спрямовані вниз електромагнітні сили, що діють, на рідкий метал і призводять до витікання метала з ванни при односторонньому зварюванні та утворенню підрізів, при високошвидкісному зварюванні. Магнітне поле струму, що тече виробом, визначає стабільність процесу, магнітогідродинамічні явища в ванні, формування швів і ударну в'язкість зварних з'єднань.

Магнітне поле визначається розтіканням струму в зварювальній ванні та залежить від струмовідводу до виробу. При зварюванні від струмопідводу, більшість струму протікає позаду дуги і лише частина попереду. При зварюванні на струмопідвод, більша частина струму протікає попереду дуги. В результаті змінюється магнітне поле зварювального струму і діючи на дугу і рідкий метал електромагнітні сили.

Магнітне поле струму, що тече виробом, створює поперечне магнітне поле, під дією якого дуга відхиляється у бік меншого поля, у бік, протилежний струмопідводу до обриву. Стабільність процесу та формування швів порушується. Діючи на дугу електромагнітна сила зварювального струму пропорційна струму I , індукції магнітного поля B і довжині дуги L_d [3]:

$$F_{EMD} = IBL_d, H.$$

В результаті зростає спрямований вниз магнітний тиск [3] $P_{EM} = \frac{B^2}{2\mu} \text{ Па}$, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

Особливо посилюються магнітне поле при зварюванні труб для газо-і нафтопровідних магістралей. При зварюванні труб від струмовідводу електромагнітна сила магнітного поля відхиляє дугу від більшого до меншого магнітного поля вперед до обриву. Стабільність процесу і формування швів порушуються, що знижує ударну в'язкість зварних з'єднань. Для забезпечення стабільності процесу та ударної в'язкості зварних з'єднань, розроблено спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб.

Для дослідження магнітного поля зварювального струму, що тече виробом, розроблено методику, згідно з якою, до виробу з моделлю зварювальної ванни підводяться струмопровідні кабелі. У зазорі стику знаходиться зонд тесламетра. По пластинах і трубі пропускається струм, і проводяться вимірювання магнітної індукції поля тесламетром EM4305. Розміри датчика

Машинобудування і зварювальне виробництво

Холла, діаметром $1 \cdot 10^{-3}$ м та зонда $1 \times 5 \times 80 \cdot 10^{-3}$ м, дозволяють виміряти величину та розподіл індукції у зазорі стику. Як датчик тесламетра використовується ЕРС Холла, похибка вимірювання $\pm 2,5$ %. Зонд встановлюється таким чином, щоб силові лінії магнітного поля входили в датчик Холла. Напрямок силових ліній магнітного поля визначається за правилом буравчика, з урахуванням напрямку струму від плюса до мінуса. Для регулювання та використання магнітного поля зварювального струму, вимірювання індукції виробляються у зазорі стику на верхній та нижній поверхнях, середині товщини металу та на відстані від виробу.

В результаті досліджень встановлено, що при протіканні струму пластинами індукція магнітного поля в середині товщини пластини дорівнює нулю. При наближенні до поверхні пластини, індукція зростає та досягає максимального значення на поверхні. При віддаленні поверхні пластини індукція зменшується. Відповідно напрямку силових ліній поля, при переході від середини до нижньої поверхні пластин, напрямку індукції змінюється на протилежне.

Розподіл індукції в зазорі стику пластин є результатом рівномірного розподілу струму перерізом виробу. Відповідно до принципу суперпозиції, магнітне поле, створене декількома струмами, дорівнює алгебраїчної сумі полів, створених кожним струмом окремо. Згідно закону Біо-Савара, індукція магнітного поля, створеного прямолінійним струмом провідника нескінченної довжини, прямо пропорційна величині струму I і обернено пропорційна відстані R від струму:

$$B = \mu \frac{I}{2\pi R}$$

де μ – магнітна проникність середовища, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

У середині товщини пластини струми, що протікають по верхній і нижній поверхнях, створюють рівні за величиною і протилежні магнітні поля, які взаємно знищуються. Тому, індукція всередині товщини пластини дорівнює нулю.

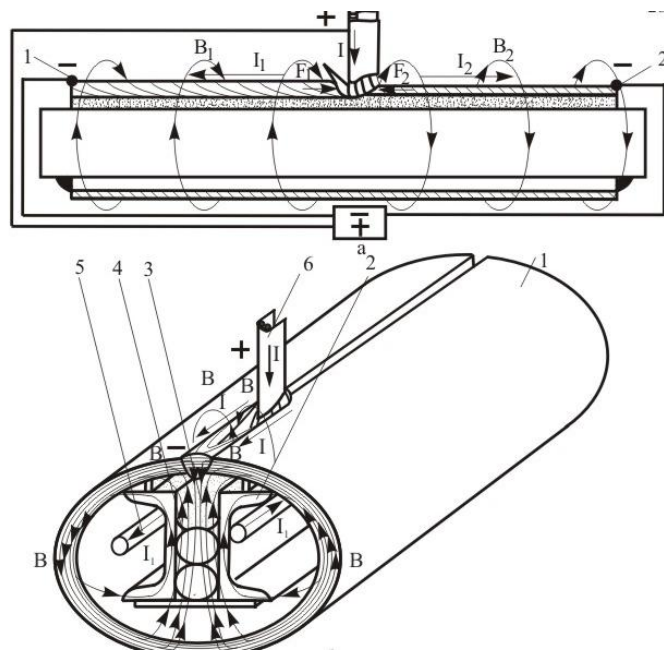
При наближенні до поверхні пластин, відстань від іншої поверхні збільшується, компенсуюча дія струмів зменшується, і величина індукції магнітного поля зростає. Максимальне значення індукції на поверхні свідчить, що максимальна магнітна міжатомна взаємодія визначають міцність зварного з'єднання.

Хороша збіжність розрахункових та експериментальних даних, при моделюванні процесу, підтверджує достовірність отриманої математичної моделі для визначення індукції магнітного поля струму, що тече пластинами.

Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що при протіканні струму трубою (рис.1), внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в замкнутій, що володіє більшою магнітною проникністю феромагнітної труби, контур якої збігається з силовими лініями поля. Максимальне значення індукції магнітного поля підвищується в π раз, порівняно зі зварюванням пластин:

$$B = \mu \frac{I}{2R}, T.$$

Машинобудування і зварювальне виробництво



б

Рисунок 1 – Одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо-і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмовідводом(а) і токоведучим витком(б)

де I – струм; F – електромагнітна сила; B – силові лінії магнітного поля;
1, 2 – струмовідводи на початок і кінець труби(а)

1 – феромагнітна труба; 2 – штанга; 3 – флюсова подушка; 4 – пневмошланг; 5 – токоведучий виток; 6 – складовий електрод(б)

При цьому, напрямок індукції в стику не змінюється, а максимальне значення досягається в середині стінки труби. За межами феромагнітної труби магнітна проникність знижується і індукція різко падає. Індукція на осі труби дорівнює нулю і має протилежний напрямок в області нижньої стінки.

Форма виробу, відповідно, впливає на електромагнітну силу, яка підвищується з 0,42 Н, при протіканні струму пластинами, до 1,47 Н і магнітний тиск, який при протіканні струму трубою зростає з 3,98 кПа до 48,8 кПа, більш ніж в 10 разів. Тому, при зварюванні труб, посилюється магнітне дуття та вплив магнітного поля на формування швів. В результаті магнітного дуття, при зварюванні труб від струмопідводу, електромагнітна сила відхиляє дугу вперед, її довжина періодично збільшується до природного обриву дуги, яка знову збуджується при закорочуванні електрода на виріб. При цьому, режим стає нестабільним, формування швів порушується. При зварюванні на струмопідводі, дуга відхиляється назад, занурюється в основний метал і стабілізується, але шов формується з підрізами.

У процесі зварювання труб зонд тесламетра розташовувався в зазорі стику на середині товщини металу, верхній, нижній поверхнях і на відстані від поверхні. Для запобігання пошкодженню зонда, максимальне наближення до дуги, що швидко рухається, становило 0,25 м.

Як встановлено, при зварюванні труб у виробничих умовах, максимальне значення індукції магнітного поля дорівнює значенню індукції, отриманому при моделюванні за розробленою методикою, що підтверджує адекватність моделі реальним умовам зварювання труб.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При односторонньому зварюванні якість формування швів визначається стабільністю процесу, що знижується при магнітному дутті. Замкнений контур труб посилює магнітне поле, внаслідок чого порушується стабільність процесу формування швів. Тому, для забезпечення якісного формування швів при односторонньому високошвидкісному зварюванні необхідно зменшувати магнітне поле і стабілізувати процес.

Згідно з рентгеноструктурним аналізом, при нестабільному процесі, зростає енергія, підвищення якої призводить до появи мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин і зниження ударної в'язкості зварних сполук. При стабільному процесі енергія зменшується, що забезпечує зниження мікроспотворень кристалічних решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

При зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей індукція магнітного поля підвищується, внаслідок концентрації силових ліній у замкненій трубі, що володіє великою магнітною проникністю. Струм тече шляхом найменшого опору, силові лінії магнітного поля – шляхом найменшого магнітного опору. Адекватність методики вимірювання магнітного поля реальним умовам підтверджена при вимірюванні індукції поля струму, що тече виробом, у виробничих умовах при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб діаметром 0,426 м, з товщиною стінки 0,008 м для газо-і нафтопровідних магістралей.

Для запобігання магнітному дуттю, розроблено спосіб зварювання труб з двостороннім струмопідводом, при якому регулюється діюча на дугу і рідкий метал ванни електромагнітна сила, за рахунок пропускання зварювального струму попереду та позаду дуги різних значень.

При протіканні позаду і попереду дуги струмів однакового значення, електромагнітні сили призводять до стабілізації процесу, однак, шви формуються з підрізами, тому, для якісного формування швів, розроблено спосіб, при якому величина струму позаду дуги в 2 рази більше ніж попереду дуги. Розроблений процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб забезпечує стабільність та формування швів без підрізів.

Встановлено, що при протіканні струму по пластинах і трубі створюється два види магнітного поля – поперечне та поздовжнє. Індукція поздовжнього поля різко зростає при зазорі $(1,5-2) \cdot 10^{-3}$ м, в результаті розпору силових ліній поля, що приводить дугу в обертання і підвищує стабільність процесу зварювання. Під дією поздовжнього магнітного поля, створюються спрямовані вперед по напрямку зварювання і до бокових кромek ванни магнітні тиски, що забезпечує формування швів без підрізів.

Зазор у стику визначає умови існування дуги, саморегулювання, автоматичне регулювання та значною мірою формування зовнішнього та зворотного валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці, незалежно від зазору.

Для якісного формування швів, при односторонньому високошвидкісному зварюванні, необхідно встановити механізм регулювання і використовувати магнітне поле зварювального струму, що тече виробом. Магнітне поле має поперечну і поздовжню складову. Поперечне магнітне поле призводить до магнітного дуття, визначає положення дуги та рідкого металу, магнітогідродинамічні явища у ванні та формування зварних швів. Поздовжнє магнітне поле діє на горизонтальну складову струму, що протікає по рідкому металу, визначає рух рідкого металу в кратерну частину і до бокових кромek ванни, магнітогідродинамічні явища та формування швів. Поздовжнє поле приводить дугу та рідкий метал у обертання, що підвищує стабільність процесу та покращує формування швів.

Поздовжнє магнітне поле, що діє на дугу, підвищує стабільність процесу зварювання. Діюче на рідкий метал ванни поздовжнє поле створює спрямовані до кромek електромагнітні сили та магнітний тиск, що запобігає утворенню підрізів, тому необхідно вивчати механізм і регулювати магнітне поле зварювального струму.

Машинобудування і зварювальне виробництво

На основі проведених досліджень розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання на флюсовій подушці труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом з двостороннім струмопідводом, на режимі: величина струму $I = 2000-2100$ А, напруга на дузі $U = 27-29$ В, величина струму позаду дуги $I_1 = 1400$ А, попереду дуги $I_2 = 700$ А, швидкість зварювання $V = 75$ м/г.

Розроблено спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом до труби, при якому, струм позаду дуги в 2 рази вище струму попереду дуги, створює магнітне поле, яке забезпечує зниження енергії, мікроспотворень кристалічного решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, схильності до утворення тріщин, рівновагу діючих на дугу і рідкий метал ванни електромагнітних сил, стабільність процесу, збільшення швидкості зварювання і кристалізації, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, якості швів і ударної в'язкості зварних з'єднань

Встановленні закономірності та розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання з двостороннім струмопідводом струмів різної величини можуть бути використані при зварюванні котлів залізничних цистерн і хребтових балок.

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

ВИСНОВКИ

При зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей, індукція магнітного поля підвищується, внаслідок концентрації силових ліній у замкненій трубі, що володіє великою магнітною проникністю. Струм тече шляхом найменшого опору, силові лінії магнітного поля – шляхом найменшого магнітного опору. Адекватність методики вимірювання магнітного поля підтверджена у виробничих умовах при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб, діаметром 0,426 м, з товщиною стінки 0,008 м.

В результаті досліджень встановлено, що при протіканні струму пластинами, індукція магнітного поля в середині товщини пластини дорівнює нулю. При наближенні до поверхні пластини, індукція зростає та досягає максимального значення на поверхні. При віддаленні поверхні пластини індукція зменшується. Відповідно до силових ліній поля, при переході від середини до нижньої поверхні пластин, напрямок індукції змінюється на протилежне.

Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що при протіканні струму по трубі, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в володіючій великою магнітною проникністю трубі, максимальне значення індукції різко зростає в π разів, порівняно зі зварюванням пластин, з 0,1 Т до 0,35 Т. При наближенні до верхньої та нижньої поверхонь стінки труби, індукція магнітного поля знижується і різко падає при виході з ферромагнетика. При цьому, напрямок індукції в стику не змінюється, а максимальне значення досягається в середині стінки труби. Індукція підвищується внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в замкнутій, що володіє більшою магнітною проникністю феромагнітної труби, контур якої збігається з силовими лініями поля. За межами феромагнітної труби магнітна проникність знижується і індукція різко падає. Індукція на осі труби дорівнює нулю і має протилежний напрямок в області нижньої стінки.

Форма виробу відповідно впливає на електромагнітну силу, яка підвищується з 0,42 Н, при протіканні струму пластинами, до 1,47 Н і магнітний тиск, який, при протіканні струму трубою, зростає з 3,98 кПа до 48,8 кПа, більш ніж в 10 разів. Тому, при зварюванні труб, посилюється магнітне дуття та вплив магнітного поля на формування швів. В результаті магнітного дуття, при зварюванні труб від струмопідводу, електромагнітна сила відхиляє дугу

Машинобудування і зварювальне виробництво

вперед, її довжина періодично збільшується до природного обриву дуги, яка знову збуджується при закорочуванні електрода на виріб. При цьому, режим стає нестабільним, формування швів порушується. При зварюванні на струмопідводі дуга відхиляється назад, занурюється в основний метал і стабілізується, але шов формується з підрізами.

При нестабільному процесі зростає енергія, підвищення якої, згідно з рентгеноструктурним аналізом, призводить до появи мікроспотворень кристалічних ґрат, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин і зниження ударної в'язкості зварних сполук. При стабільному процесі енергія зменшується, що забезпечує зниження мікроспотворень кристалічних ґрат, мікронапруг, щільності дислокацій, тріщин та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Розроблено енерго- і матеріалозберігаючий спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей з двостороннім струмопідводом до труби, при якому, струм позаду дуги в 2 рази вище струму попереду дуги, створює магнітне поле, яке забезпечує зниження енергії, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, схильності до утворення тріщин, рівновагу діючих на дугу і рідкий метал ванни електромагнітних сил, стабільність процесу, збільшення швидкості зварювання і кристалізації, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, якості зовнішнього шва, зворотного валика на флюсовій подушці незалежно від зазору і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 рази.

Список використаних джерел

1. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму. - К.: Світ, 2002. - 306с.
2. Грановський В.Л. Електричний струм у газі. Встановлений струм / В. Л. Грановський. - К.: Наука, 2001. - 543с.
3. Фінкельбург В. Електричні дуги та термічна плазма / В. Фінкельбург та Г. Меккер. - К.: Вид-во іностр. літ., 2011. - 369 с.
4. Кесаєв І.Г. Катодні процеси електричної дуги/І.Г. Кесаєв. - К.: Наука, 2008. -244 с.
5. Рикалін Н.М. Розрахунок теплових процесів при зварюванні/Н.М. Рикалін. - К.: Металургія, 2001. - 296 с.
6. Акулов А. І. Утримання рідкого металу зварювальної ванни поперечним магнітним полем / А.І. Акулов, А.М. Рибачук // Зварювальне виробництво. - 2002. - № 2. - С. 3 - 4.
7. Чигарьов В.В. Розрахунок процесу поширення тепла при зварюванні змішаним електродом / В. В. Чигарєв, С. В. Щетінін // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2001. – Вип.11. – С.175–177.
8. Гулаков С.В. Наплавлення під флюсом стрічковим електродом/С.В. Гулаков, В.М. Матвієнко, Б.І. Носовський. - Маріуполь, 2006. - 136с.
9. Акулов А.І. Граничні струми при зварюванні електродом, що плавиться /А.І.Акулов, Б.Л. Боженко, Г.Г. Чернишов // Изв. вишів. Машинобудування. - 2008. - №3. - С.132 - 137.
10. Акулов А.І. Формування стикових швів при зварюванні в СО₂ в умовах технологічних збурень /А.І. Акулов, Б.Л. Боженко, Г.Г.Чернишов // Автоматичне зварювання. - 2009. - №12. - С.26 - 28.

EFFECT OF PRODUCT SHAPE ON MAGNETIC FIELD DURING WELDING AND SURFACING

When welding gas and oil pipeline pipes, magnetic field induction increases due to the concentration of magnetic field lines within a closed, highly magnetically permeable pipe. Current flows along the path of least resistance, and magnetic field lines follow the path of least magnetic resistance. The adequacy of the magnetic field measurement method for real-world conditions has been confirmed by single-sided high-speed welding of 0.426-meter diameter pipes.

The research revealed that when current flows through the plates, the magnetic field induction at the center of the plate thickness is zero. As the plate surface is approached, the induction increases and reaches its maximum value at the surface. As the surface distance increases, the induction decreases. When moving from the center to the bottom surface of the plates, the direction of induction reverses.

Calculations and experiments have shown that when current flows through a pipe, due to the concentration of magnetic field lines in the pipe's high magnetic permeability, the maximum induction value increases sharply by a factor of π compared to welding plates from 0.1 T to 0.35 T. The maximum value is reached in the middle of the pipe wall and does not change direction. As it approaches the upper and lower surfaces of the pipe wall, the magnetic induction decreases and drops sharply upon exiting the ferromagnet.

Due to magnetic field induction, the electromagnetic force during pipe welding increases from 0.42 N when current flows through the plates to 1.47 N. Magnetic pressure also increases more than tenfold when current flows through the pipe, from 3.98 kPa to 48.8 kPa. Therefore, during pipe welding, process instability and the influence of the magnetic field on weld formation increase. As a result, when welding pipes, the electromagnetic force deflects the arc forward from the current lead until it naturally breaks, only to re-ignite when the electrode shorts to the workpiece. This makes the welding process unstable, disrupting weld formation. When welding with a current lead, the arc deflects back, plunges into the base metal, and stabilizes, but the weld is formed with undercuts.

During an unstable process, energy increases, which, according to X-ray diffraction analysis, leads to the appearance of microdistortions in the crystal lattice, microstresses, dislocation density, cracks, and a decrease in the impact toughness of welded joints. During a stable process, energy decreases, resulting in reduced microdistortions in the crystal lattice, microstresses, dislocation density, cracks, and an increase in the impact toughness of welded joints.

An energy- and material-saving method has been developed for one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines with double-sided current supply to the pipe, in which the current flowing behind the arc is 2 times higher than the current flowing in front of the arc, which creates a magnetic field that ensures a reduction in energy and deposited metal, microdistortions of the crystal lattice, microstresses, dislocation density, welding stresses, tendency to crack formation, equilibrium of the forces acting on the arc and liquid metal bath of electromagnetic forces, process stability, increased welding and crystallization speed, refinement of the microstructure, reduction of interatomic distances, improvement of interatomic bonds, quality of the outer weld, back bead on the flux cushion regardless of the gap in the joint and welded joints impact toughness by 2 times.

Keywords: *the one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines, welded joints impact toughness, magnetic field, energy.*

Стаття надійшла 20.03.2026р.

Стаття прийнята 24.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.