

12. Пахмурский В.Н. Основы формирования защитных и восстановительных покрытий электродуговым напылением порошковыми проволоками / В.Н.Пахмурский, М.М.Студент, В.С.Пук // Физико-химическая механика материалов. 1986. №6. С.11-16

Zaharova I.V.

ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF CORED WIRES FOR OBTAINING INCREASED WEAR-RESISTANT PROPERTIES OF METALLIZATION COATING USING A PULSATING SPRAY AIR FLOW

Currently, the main direction in the development of powder wire charge compositions is the use of powders of carbides, nitrides, as well as powders used for gas flame, plasma and detonation sputtering. The expected effect here is always achieved due to active oxidation and decay of some components of the charge. At the same time, the cost of the material remains quite high and the adhesion strength of the coating to the base is relatively low.

In the presented work, the solution to the problem of resource conservation due to the created powdered wires, consisting of a low-carbon sheath and a filler of non-scarce, widespread powders of metals and ferroalloys and a pulsating supply of atomized air flow, which ensure the production of highly wear-resistant coatings with increased adhesion strength, as well as hard, strong oxides in the applied coating.

This work presents a study of the compositions of powder-coated wires, an analysis of the obtained coatings was carried out, and the composition of powders was recommended, which will allow obtaining a high-quality applied coating with the use of a pulsating air flow.

Keywords: flux-cored wire, arc spraying, wear resistance, coating, microhardness.

Стаття надійшла 16.11.2023 р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990262023294131

Щетинін С.В.

ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА НИЗЬКІЙ ЕНЕРГІЇ

Природа зварювання та наплавлення електромагнітна, так як природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Міжатомні зв'язки обумовлені пінч-ефектом мікрострумів, обертаючихся навколо ядра електронів, діють на міжелектронному рівні, що дорівнює діаметру електронів 10^{-19} м і значно підвищує міжатомні зв'язки. Згідно закону збереження енергії, при електродуговому наплавленні дуга передає основному металу теплову та кінетичну енергію плазмових потоків, під дією яких і термодформаційного циклу виникають мікроспостворення кристалічної решітки, міронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги.

При зростанні швидкості наплавлення збільшується швидкість кристалізації, здрібнюється мікроструктура, зменшується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспостворень кристалічної решітки, міронапруг, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості. Розрахунково-експериментальним способом встановлено, що, згідно закону збереження енергії та принципу суперпозиції, з підвищенням

Машинобудування і зварювальне виробництво

товщини наплавленого металу зварювальні напруги сумуються, що призводить до збільшення зварювальних напруг і, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, утворенню тріщин. Тому, для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати товщину наплавленого металу. Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків зі сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус.

При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшенні товщини до 0,04 м, в результаті підвищення зварювальних напруг, наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів, допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017 м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням. Зі зниженням енергії, при високошвидкісному зварюванні, ширина валиків, тепловкладення, зварювальні напруги зменшуються, мікроструктура здрібнюється, міжатомна відстань скорочується, міжатомні зв'язки зростають, що забезпечує підвищення ударної в'язкості, тріщиностійкості та зносостійкості наплавленого металу,

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії за рахунок зменшення товщини наплавленого металу, при якому знижується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Ключові слова: високошвидкісне наплавлення на низькій енергії, товщина наплавленого металу, принцип суперпозиції, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, зварювальні напруги міжатомна відстань, міжатомні зв'язки, тріщиностійкість.

Постановка проблеми. Валки прокатних станів експлуатуються при високих тисках і температурах, агресивних середовищах і виготовляються з високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення гарячих і холодних тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості при електродуговому наплавленні високовуглецевих сталей є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що при збільшенні швидкості зварювання та зниженні погонної енергії схильність до утворення тріщин зростає. На природу утворення тріщин немає однієї точки зору і всі вони суперечливі. Для підвищення тріщиностійкості рекомендують проводити наплавлення на високій погонній енергії. Однак, М.М. Прохоров [1] відмічає, що при значному зменшенні погонної енергії тріщиностійкість зростає. Вплив товщини наплавленого металу на зварювальні напруги, тріщиностійкість, зносостійкість та корозійну стійкість досліджено недостатньо [1–9].

Мета досліджень. Встановити механізм регулювання енергії, зварювальних напруг і розробка процесу високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, що забезпечує підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості високовуглецевих сталей.

Основний матеріал дослідження. В основі утворення тріщин лежать закони природи – закон збереження енергії та принцип суперпозиції. Згідно закону збереження енергії – енергія не зникає і не з'являється, вона тільки переходить з одного виду до іншого, в кількості еквівалентній першій. При цьому енергія зберігається. Згідно принципу суперпозиції, енергія сумується. При електродуговому наплавленні енергія дуги передається основному металу та електроду.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При електродуговому наплавленні тріщиностійкість високовуглецевих сталей визначається вмістом вуглецю та енергією. Для підвищення тріщиностійкості, зі зростанням вмісту вуглецю, погонну енергію необхідно зменшувати.

Тріщини утворюються, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, тому, для підвищення тріщиностійкості, необхідно забезпечити мінімальні зварювальні напруги, які визначаються енергією, тепловкладенням і деформаціями.

Для дослідження впливу енергії та товщини наплавленого металу на деформацію виконували зварювання пластин $(8 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м і наплавлення на пластини $(30 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м, з різною швидкістю, погонною енергією та товщиною наплавленого металу.

Електродугове наплавлення валків проводиться за 5 – 6 проходів, тому досліджено вплив товщини наплавленого металу на деформації та зварювальні напруги, які визначали розрахунково-експериментальним способом.

Залежність зварювальних напруг від погонної енергії [9]:

$$\sigma \geq \mu E \frac{q_{II}}{VF}, \text{ Па} \quad (1)$$

де, μ – коефіцієнт Пуассона, для вуглецевої сталі $\mu = 0,335$ а/сγ;

E – модуль пружності, $19,68 \cdot 10^4$ МПа,

q_{II}

V – погонна енергия, МДж/м;

F – поперечний переріз пластини, м².

Деформація пластин залежить від зварювальних напруг:

$$f = 0,613l \sqrt{\frac{\sigma - \sigma_{кр}}{E}}, \text{ м} \quad (2)$$

де, l – довжина пластини, м;

$\sigma_{кр}$ – критичне значення зварювальної напруги, Па.

Критичне значення зварювальних напруг:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{12} \left(\frac{\delta}{l} \right)^2, \text{ Па} \quad (3)$$

При напруги більше критичного значення здійснюється деформація пластини.

З наведених виразів випливає, що зварювальні напруги прямо пропорційні деформації пластини:

$$\sigma = \frac{f^2 E}{0,613^2 l^2} + \frac{\pi^2 E}{12} \left(\frac{\delta}{l} \right)^2, \text{ Па} \quad (4)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

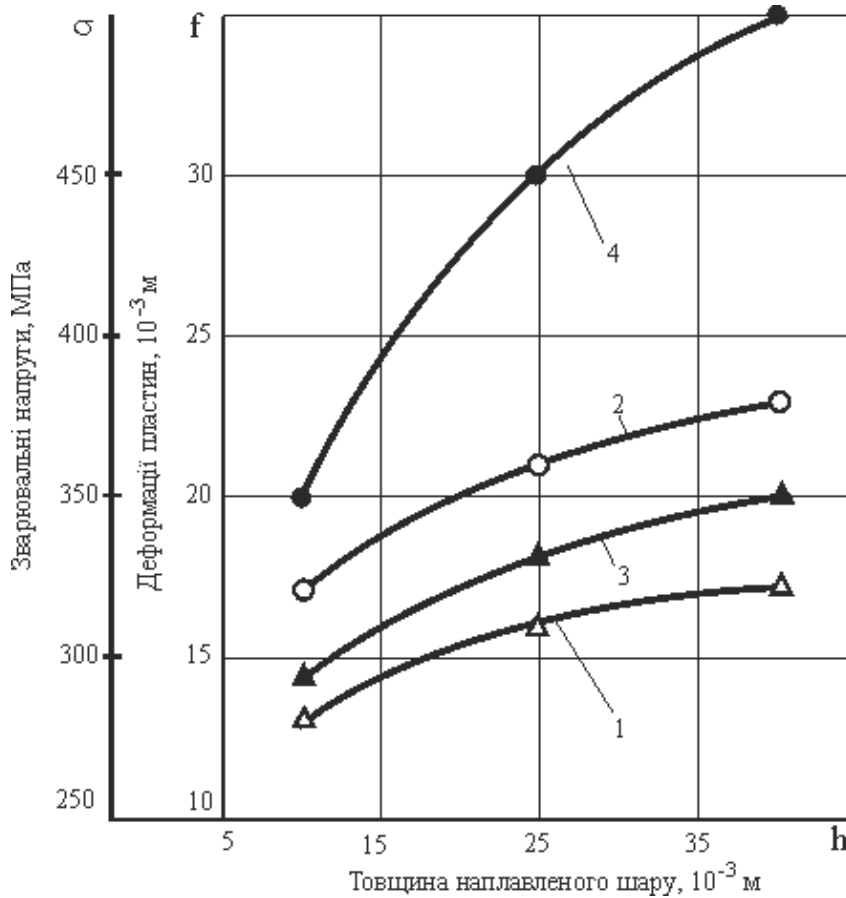


Рисунок – Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформацію (1,2) і зварювальні напруги (3,4) в пластинах 30x120x900) 10^{-3} м (1,3); (8x120x900) 10^{-3} м (2,4)

Зі зменшенням погонної енергії, при зростанні швидкості зварювання зварювальні напруги знижуються (рис.1), що значно підвищує тріщиностійкість та ударну в'язкість зварних з'єднань, яка кількісно характеризує тріщиностійкість і залежить від мікроструктури.

Тріщиностійкість наплавленого металу, в значній мірі, визначається зварювальними напругами, які при наплавленні, згідно принципу суперпозиції сумуються, що призводить зі зростанням товщини наплавленого металу до підвищення деформацій, зварювальних напруг (рис.1) і утворенню тріщин.

Встановлена закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформацію та зварювальні напруги підтверджують закон мінімуму енергії, згідно якому, мінімум енергії максимум якості, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків, виготовлених із сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус. При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшення товщини до 0,04 м, в результаті підвищення зварювальних напруг, наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів, допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, який за рахунок зростання швидкості наплавлення, зниження товщини наплавленого металу забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і тріщиностійкості.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, за рахунок зниження товщини наплавленого металу, можуть бути використані при високошвидкісному наплавленні засипних апаратів.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, які забезпечують підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

ВИСНОВКИ

Природа зварювання та наплавлення електромагнітна, так як природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Міжатомні зв'язки обумовлені пінч-ефектом мікрострумів обертаючихся навколо ядра електронів, діють на міжелектронному рівні, що дорівнює діаметру електронів 10^{-19} м і значно підвищує міжатомні зв'язки.

Згідно закону збереження енергії, при електродуговому наплавленні дуга передає основному металу теплову та кінетичну енергію плазмових потоків, під дією яких і термодеформаційного циклу виникають мікроспотворення кристалічної решітки, міронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги.

При зростанні швидкості наплавлення збільшується швидкість кристалізації, здрібнюється мікроструктура, зменшується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, зварювальних напруг,

скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Розрахунково-експериментальним способом встановлено, що згідно закону збереження енергії та принципу суперпозиції, з підвищенням товщини наплавленого металу зварювальні напруги сумуються, що призводить до збільшення зварювальних напруг і, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, утворенню тріщин. Тому, для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати товщину наплавленого металу.

Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків зі сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус. При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшенні товщини до 0,04 м в результаті підвищення зварювальних напруг наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017 м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням.

Зі зниженням енергії при високошвидкісному зварюванні ширина валиків, тепловкладення, зварювальні напруги зменшуються, мікроструктура здрібнюється, міжатомна відстань скорочується, міжатомні зв'язки зростають, що забезпечує підвищення ударної в'язкості, тріщиностійкості та зносостійкості наплавленого металу,

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, за рахунок зменшення товщини наплавленого металу, при якому знижується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки,

Машинобудування і зварювальне виробництво

мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Список використаних джерел

1. Прохоров Н.М. Фізичні процеси у металі при зварюванні / Н.М.Прохоров. – Т.П. – М.: Металургія, 1976. – 600 з
2. Шоршоров М.Х. Фазові перетворення та зміни властивостей сталі при зварюванні / М.Х. Шоршоров, В.В. Белов. - М.: Наука, 1972. - 228 с.
3. Рябцев І.А. Наплавлення деталей машин та механізмів. - Київ: Екотехнологія, 2004. - 160 с.
4. Фінкель В.М. Фізика руйнування / В.М. Фінкель. - М.: Металургія, 1970. - 376с.
5. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму. - М.: Світ, 1972. - 306с.
6. Каленський В.К. Вплив погонної енергії на утворення відколів при наплавленні високовуглецевої сталі аустенітними дротиками / В.К. Каленський, Я.П. Черняк, В.Г. Васильєв, Т.Г. Соломійчук // Автоматичне зварювання. - 2001. - №11. – С. 11–14.
7. Рябцев І.А. Технологія, матеріали, обладнання / І.А. Рябцев, І.А. Кондратьєв, Є.Ф.Переплетчиков, Ю.М. Кусков. – Київ, ІЕЗ ім. О.О. Патона НАНУ, 2015. – 402 с.
8. Миколаїв Г.А. Міцність зварних з'єднань та деформації конструкцій / Г.А. Миколаєв, С.А. Куркін, В.А. Винокур. - М.: Вища школа, 1982. - 272 с.
9. Винокуров В.А. Теорія зварювальних деформацій та напруг / В.А.Винокуров, А.Г. Григор'яни. - М.: Машинобудування, 1984. -280 с.

Shchetinin S.V.

INCREASED CRACK RESISTANCE AT THE HIGH SPEED SURFACING ON LOW ENERGY

The welding and surfacing nature is electromagnetic, since the interatomic bonds nature is electromagnetic. Interatomic bonds are caused by the pinch-effect of electrons rotating around the nucleus microcurrents, act on the interelectronic level equal to the electron diameter 10-19 m and significantly increase interatomic bonds According to the energy conservation law during electric arc surfacing, the arc transfers to the base metal the thermal and kinetic plasma flows energy, under the influence of which and the thermaldeformation cycle the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density and welding stresses arise.

As the surfacing speed increases, the crystallization speed increases, the microstructure becomes refined, energy and heat input decrease, which ensures the crystal lattice microdistortions, microstresses, welding stresses a decrease, the interatomic distance a reduction, interatomic bonds, crack resistance, wear resistance and corrosion resistance an increase. By calculation and experiment it has been established that, according to the conservation energy law and the superposition principle, with increasing the deposited metal thickness welding stresses are summed up, which leads to welding stresses an increase and when welding stresses become greater than interatomic bonds, the cracks formation. Therefore, to increase crack resistance, it is necessary to reduce the deposited metal thickness The regularity of the deposited metal thickness the influence on deformations, welding stresses and crack resistance has been confirmed practically under production conditions. It has been established that the optimal of deposited metal thickness for work and back-up rolls 90HF steel made, which is prone to cracking, is 0.025 m on radius. When surfacing the 1700 mill work rolls and increasing the thickness to 0.04 m, as a result of welding stresses

increasing, the deposited metal peeled off along the line of fusion with the base metal. With an increase in the carbon content in the deposited metal to 5.3% when surfacing the charging apparatus cones, the permissible thickness is limited to 0.012 – 0.017 m, which is controlled by turning the groove before surfacing.

The regularity of increasing welding stresses and decreasing crack resistance with increasing of the deposited metal thickness confirms the minimum energy law, according to which minimum energy – maximum quality. With a decrease in energy during high-speed welding, the beads width, heat input, and welding stresses are reduced, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced, interatomic bonds increase, which ensures the impact toughness, the deposited metal crack resistance and wear resistance an increase. The high-speed surfacing on low energy energy-saving process by reducing the deposited metal thickness, which reduces energy and heat input, reduces the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density, welding stresses, reduces interatomic distances, increases interatomic bonds, crack resistance strength, wear resistance and corrosion resistance has been developed. Minimum energy – maximum crack resistance, wear resistance and corrosion resistance.

Keywords: high speed surfacing on low energy, deposited metal thickness, superposition principle, crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density, welding stresses, interatomic distance, interatomic bonds, crack resistance, wear resistance, corrosion resistance.

Стаття надійшла 09.10.2023 р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990262023294132

Щетиніна В.І.

ЕНЕРГО-І МАТЕРІАЛОЗБЕРІГАЮЧИЙ ПРОЦЕС ОДНОСТОРОННЬОГО ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання обмежено витіканням рідкого металу з ванни та утворенням підрізів, що призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою. Ефективним способом підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань є зростання швидкості зварювання та кристалізації, що обмежено утворенням підрізів, природа яких повністю не встановлена.

На основі дослідження магнітного поля зварювального струму при односторонньому зварюванні встановлено, що з підвищенням швидкості зварювання індукція попереду дуги не задежить від швидкості, позаду дуги зменшується, а в зоні сплавлення, де утворюються підрізи, збільшується. Встановлено, що індукція магнітного поля в зоні сплавлення, при зварюванні зростає, внаслідок зменшення кількості теплоти в бокових кромках, зниження електричного опору і збільшення струму, що тече кромками ванни. Індукція визначає магнітний тиск на метал в зоні сплавлення. При збільшенні швидкості зварювання, зростає спрямований вниз магнітний тиск, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

Розроблена електромагнітна теорія утворення підрізів, згідно якої при підвищенні швидкості зварювання посилюється охолодження активних плям, концентрується дуга і зменшується тепловкладення в бокові кромки ванни, електричний опір яких знижується. В результаті зростає величина струму, що тече боковими кромками ванни, індукція магнітного поля і в квадратичній залежності магнітний тиск, під дією якого рідкий метал