

УДК 621.792.4

Сергій Щетинін, д.т.н., проф.; Віра Щетиніна, д.т.н., проф.
Приазовський державний технічний університет, Україна

МЕХАНІЗМ ВИНИКНЕННЯ ТРІЩИН ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

Serhii Shchetynin, Ph.D., Prof.; Vira Shchetynina, Ph.D., Prof.

THE MECHANISM OF THE OCCURRENCE OF CRACKS DURING ELECTRIC ARC WELDING

Abstract. Electric arc welding of high-carbon steels and cast iron, from which the working and support rolls of sheet rolling mills are made, is limited by the occurrence of cracks. The energy of the arc is transferred to the main metal, in which, under the action of the thermal deformation cycle, microdistortions of the crystal lattice, microstresses and density of dislocations occur. Therefore, increasing crack resistance and wear resistance is an important scientific and technical problem.

Keywords: electric arc welding, microdistortions of the crystal lattice thermal deformation cycle

Електродугове наплавлення високовуглецевих сталей та чавуну, з яких виготовляються робочі та опорні валки листопрокатних станів, обмежено виникненням тріщин. Тому, підвищення тріщиностійкості та зносотійкості є важливою науково-технічною проблемою.

При електродуговому наплавленні, енергія дуги передається основному металу, в якому, під дією термодформаційного циклу (рис.1), виникають мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги та щільність дислокацій. Термодформаційний цикл виміряли за допомогою тензometру, в якості якого використовували електронний мікрометр, що працює на основі механотрону 6MX1C.

Тензометром, на базі 0,01 м, вимірювали деформації, що спостерігаються, ϵ_n і термічний цикл нагрівання точки, розташованої між охолоджуваними ніжками тензometра, який визначає вільні деформації $\epsilon_{зв}$. Деформації в процесі наплавлення та термічний цикл фіксували за допомогою осцилографа. Власні деформації основного металу $\epsilon_{зв}$, на відстані $5 \cdot 10^{-3}$ м від зони сплавлення, визначали диференціальним способом:

$$\epsilon_i = \epsilon_{упр} + \epsilon_{пл} = \epsilon_n - \epsilon_{зв}, \% \quad (1)$$

Наплавлення проводили на ребро пластини $(30 \times 125 \times 400) \cdot 10^{-3}$ м складовим електродом. Спостерігаючи деформації фіксували в напрямку наплавлення. В результаті вимірювання термодформаційних циклів (рис.1) встановлено, що в процесі наплавлення, спочатку, при наближенні дуги, відбувається стиск під дією металу, що розширюється. Потім, коли дуга розташовується в площині вимірювання термодформаційного циклу, відбувається розширення металу на базі і розтяг. У міру видалення дуги та охолодження, відбувається стиск основного металу.

Як при нагріванні, так і при охолодженні криві ϵ_i та $\epsilon_{зв}$ значно відрізняються за величиною миттєвих значень, що призводить до розвитку власних деформацій та мікронапруг у наплавленому металі, які визначаються мікроспотвореннями кристалічної решітки:

$$\sigma = E \frac{\Delta a}{a}, \text{ МПа} \quad (2)$$

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

$\frac{\Delta a}{a}$ – мікроспотворення кристалічної решітки.

Мікроспотворення кристалічної решітки визначали при п'ятишаровому наплавленні на пластини, розміром $(30 \times 300 \times 400) \cdot 10^{-3}$ м, дротом діаметром $4 \cdot 10^{-3}$ м, стрічкою розміром $(0,5 \times 45) \cdot 10^{-3}$ м, розташованою в подовжньому та перпендикулярному напрямках і складовим електродом. Наплавлення проводили під керамічним флюсом ЖСН-5 на характерних для кожного способу оптимальних

режимах: дротяним електродом – при струмі $I=650-750$ А, напруги на дузі $U=31-33$ В і швидкості наплавлення $V_H=(0,56, 0,83$ і $1,1)\cdot 10^{-2}$ м/с, поздовжньою стрічкою та перпендикулярною стрічкою – $I = 450-550$ А, $U = 29 -31$ В, $V_H= (0,33, 0,5$ і $0,67)\cdot 10^{-2}$ м/с, складовим електродом – $I = 1950-2050$ А, $U = 29-31$ В, $V_H = (1,4, 2,1, 2,8)\cdot 10^{-2}$ м/с. Погонна енергія для кожного способу наплавлення змінювалась в межах $q_{II}/V = 1,8; 2,7$ і $3,6$ МДж/м.

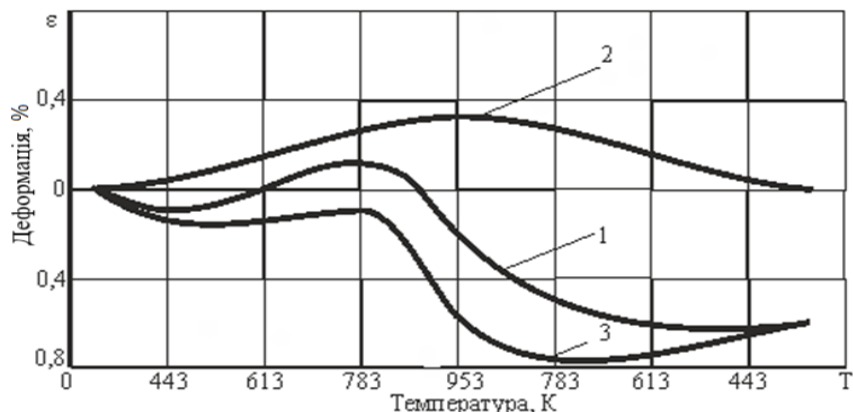


Рисунок 1 – Термодформаційний цикл зони термічного впливу за напрямком наплавлення на відстані $5 \cdot 10^{-3}$ м від зони сплавлення:

- де 1 – спостережувані деформації;
2 – вільні деформації;
3 – власні деформації, $q_{II}/V = 3,6$ МДж/м

Для підвищення тріщиностійкості наплавленого металу, проведено дослідження впливу форми електроду та погонної енергії на структурні та фазові перетворення, шляхом вимірювання мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і щільності дислокацій та мікроструктури. Дослідження величини мікроспотворень кристалічної решітки проводили методом рентгеноструктурного аналізу на рентгенівському дифрактометрі.

При електродуговому наплавленні, під дією теплового збудження і кінетичної енергії плазмових потоків, в наплавленому металі виникають вакансії, оскільки енергія активації виникнення вакансій менша за енергію утворення міжвузельних атомів. У зоні виникнення вакансій порушується статична рівновага міжатомної взаємодії, що призводить до усунення сусідніх атомів з їх рівноважних положень та мікроспотворень кристалічної решітки.

На основі проведеного рентгеноструктурного аналізу встановлено, що, з підвищенням погонної енергії, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги збільшуються, мікроструктура стає крупнозернистою, що призводить до утворення тріщин.

Мікронапруги призводять до інтенсивного виникнення і зростання тріщин, механізм зародження яких пов'язують з дислокаціями. Вивчення впливу форми електроду та погонної енергії на щільність дислокацій проводили за поширенням рентгенівських ліній. Отримані данні щільності дислокацій співпадають з результатами рентгеноструктурного аналізу впливу енергії на фазові та структурні перетворення. Дислокації – недосконалість кристалічної решітки. На основі рентгеноструктурного аналізу, квантової теорії магнітного поля і досліджень мікроструктури, встановлено механізм виникнення тріщин при електродуговому наплавленні високовуглецевих сталей та чавуну. Природа виникнення тріщин електромагнітна. Тріщини виникають, коли енергія стає більше міжатомних зв'язків.

Для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати енергію, тепловкладення, мікроспотворення кристалічної решітки, щільність дислокацій, зварювальні напруги, здрібнювати мікроструктуру, що скорочує міжатомну відстань і збільшує міжатомні зв'язки, тріщиностійкість та зносостійкість деталей металургійного обладнання.