

УДК 621.791.753.042

Щетиніна В. І., Коваль О. В., Елсаєд Халед

МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БАНДАЖОВАНИХ ОПОРНИХ ВАЛКІВ

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість наплавленого металу, особливо при наплавленні бандажованих опорних валків, які експлуатуються при великих питомих тисках, що приводить до поломок бандажів. Головною характеристикою тріщиностійкості наплавленого металу є ударна в'язкість зварних з'єднань, яка в значному ступені визначається міжатомними зв'язками стиснення. Тріщиностійкість наплавленого металу визначається зварними напругами і міжатомними зв'язками. Встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає. При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною. Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин. Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносно подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносно подовження і звуження свідчать про підвищення тріщиностійкості наплавленого металу. Розроблений енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який знижує тепловкладення, деформації, зварювальні напруги, забезпечує здрібнення мікроструктури, збільшення міжатомних зв'язків стиснення, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Ключові слова: Механізм підвищення тріщиностійкості, високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, ударна в'язкість, мікронапруги, зварювальні напруги, подрібнення мікроструктури, бандажовані опорні валки.

Постановка проблеми. Опорні валки, які в процесі експлуатації попереджують прогин і поломку робочих валків, виготовляються з високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення гарячих і холодних тріщин. Одним із основних показників тріщиностійкості є ударна в'язкість зварних з'єднань, з підвищенням якої тріщиностійкість зростає. Тріщиностійкість валків визначає зносостійкість, тому підвищення тріщиностійкості наплавленого металу і ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість валків, тому вивченню механізму утворення тріщин надають важливе значення [1–10]. При електродуговому наплавленні під дією тепловкладення виникають мікроспотворення кристалічної решітки і мікронапруги. Мікронапруги приводять до інтенсивного утворення і зростанню тріщин [10]. Загальновідомо, що при зменшенні погонної енергії, внаслідок зростання швидкості

охолодження підвищується ймовірність утворення холодних тріщин [3, 4]. Погонна енергія визначає тепловкладення в ванні, швидкість нагріву і охолодження рідкого металу і околошовної зони. Це змінює умови кристалізації ванни, дифузійні процеси, структурні та фазові перетворення [3–5] і якість наплавленого металу. В. М. Фінкель [2] пов'язує механізм зародження тріщин з дислокаціями. Однак вплив погонної енергії на якість наплавленого металу і механізм утворення тріщин при наплавленні високовуглецевих сталей, з яких виготовляються робочі та опорні валки, повністю не встановлено.

Мета досліджень. Вивчення механізму утворення тріщин і розробка способу підвищення тріщиностійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії бандажованих опорних валків.

Основний матеріал досліджень. Як встановлено, при підвищенні швидкості нагріву і охолодження мікроструктура подрібнюється, збільшується площа контакту і міжатомні зв'язки, тріщиностійкість наплавленого металу зростає. При наплавленні перпендикулярною і поздовжньою стрічками мікроструктура наплавленого металу грубозерниста і неоднорідна. Наплавлення дротом і складовим електродом призводить до подрібнення мікроструктури, яка є дрібнодисперсною і однорідною.

Аналогічно подрібнюється мікроструктура наплавленого металу і околошовної зони при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії, внаслідок підвищення швидкості нагріву, охолодження і кристалізації, яка прямо пропорційна швидкості наплавлення $V_K = V_3 V \cos \alpha$.

Вимірювання ударної в'язкості виробляли для зварних з'єднань зі сталі 09Г2С. Сталі 90ХФ і 09Г2С різні за хімічним складом і схильності до утворення гартівних структур. Однак, як при наплавленні високовуглецевих сталей 90ХФ важко забезпечити відсутність тріщин, так і під час зварювання сталі 09Г2С важко забезпечити ударну в'язкість при низьких температурах, яка якісно характеризує тріщиностійкість.

При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною (рис. 1). Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення зварювальних напруг, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруги і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин.

Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносне подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносного подовження і звуження свідчать про підвищену тріщиностійкість наплавленого металу.

Тимчасовий опір розриву при підвищенні швидкості зварювання і зменшенні погонної енергії зростає. При цьому високі значення тимчасового опору розриву, ударної в'язкості і відносного подовження досягаються при погонній енергії 2,7 МДж/м і нижче, що підтверджує достовірність експериментальних даних.

Аналогічні дані отримані при дослідженні впливу форми електрода і погонної енергії на статичний злам (рис. 2), яке виробляли на зразках розміром (9×7, 5×20)·10-3м з V-подібним надрізом. Як встановлено, максимальне значення статичного навантаження забезпечується при погонній енергії 2,7 МДж /м і нижче.

При високошвидкісному наплавленні, внаслідок зниження погонної енергії зменшуються глибина проплавлення і частка участі основного металу, підвищується градієнт

Машинобудування і зварювальне виробництво

концентрацій і посилюється дифузія вуглецю із зони термічного впливу в шов. Еквівалент вуглецю в зоні термічного впливу стає менше 0,45, і тріщини не утворюються.

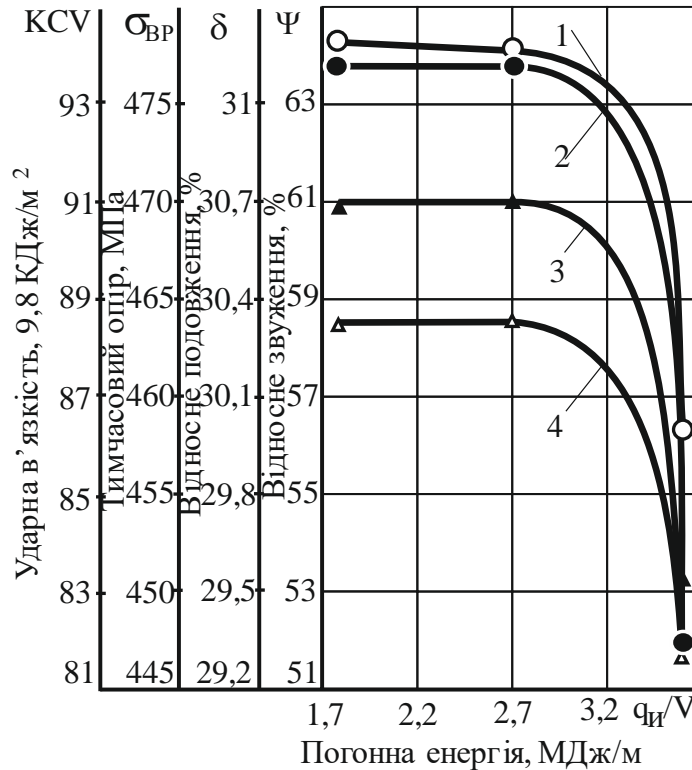


Рисунок 1 – Механічні властивості зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом: 1 – тимчасовий опір; 2 – ударна в'язкість; 3 – відносьне звуження; 4 – відносьне подовження

Незважаючи на те, що дослідження проведені для сталі 09Г2С, отримані дані підтверджені при наплавленні бандажованих опорних валків зі сталі 90ХФ. Це є наслідком того, що при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії значно знижуються зварювальні напруги, подрібнюється мікроструктура і підвищується пластичність, зменшуються розмір зони відпустки і питомі тиски при прокатці, що підвищує тріщиностійкість наплавлених бандажованих опорних валків і виключає поломку бандажів.

Для підвищення зносостійкості бандажованих опорних валків розроблений енергозберігаючий спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії. Високошвидкісне наплавлення бандажованих опорних валків зі сталі 90ХФ виробляли з попереднім і супутнім підгрівом до 573-623 К. На початку наплавлили буферний шар низьковуглецевим дротом Св08Г2С діаметром 0,005 м під флюсом АН-60, потім зносостійкий шар, наплавлення якого виробляли дротяним електродом Св 08Г2С діаметром 0,005 м під керамічним флюсом ЖСН-5 з погонною енергією 1,1 МДж/м на режимі: величина струму $I = 750 - 800$ А, напруга на дузі $U = 30-32$ В, швидкість наплавлення $V = 0,021$ м/с. Після наплавлення виробляли термічну обробку і уповільнене охолодження.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Таким чином, встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає. Для підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків розроблений енергозберігаючий спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує підвищення тріщиностійкості і зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Встановлені закономірності впливу швидкості наплавлення і погонної енергії на ударну в'язкість зварних з'єднань, тріщиностійкість і зносостійкість можуть бути використані для розробки процесів високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії робочих і опорних валків прокатних станів.

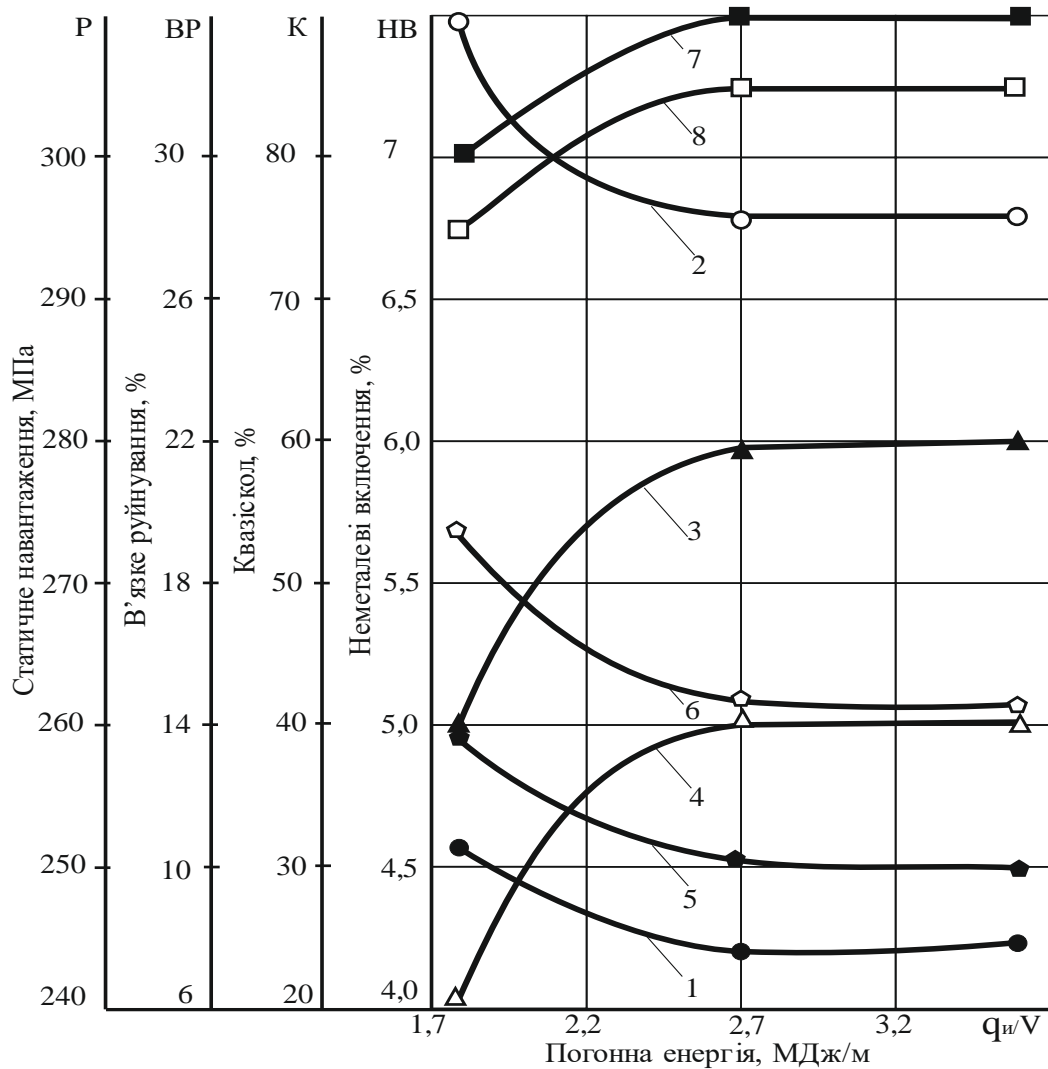


Рисунок 2 – Вплив форми електроду і погонної енергії на якість зварних з'єднань:
 1, 3, 5, 7 – дріт; 2, 4, 6, 8 – складовий електрод; 1, 2 – статичне навантаження;
 3, 4 – неметалеві включення; 5, 6 – в'язкість руйнування; 7, 8 – квазіскол

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, які забезпечують підвищення тріщиностійкості та зносостійкості робочих і опорних валків.

ВИСНОВКИ

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість наплавленого металу, особливо при наплавленні бандажованих опорних валків, які експлуатуються при великих питомих тисках, що приводить до поломок бандажів. Головною характеристикою тріщиностійкості наплавленого металу є ударна в'язкість зварних з'єднань, яка в значному ступені визначається міжатомними зв'язками стиснення. Тріщиностійкість наплавленого металу визначається зварними напругами і міжатомними зв'язками.

Встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає.

При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною. Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин.

Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносне подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносного подовження і звуження свідчать про підвищення тріщиностійкості наплавленого металу.

Розроблений енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який знижує тепловкладення, деформації, зварювальні напруги, забезпечує здрібнення мікроструктури, збільшення міжатомних зв'язків стиснення, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Список використаних джерел:

1. *Рябцев, И. А.* Наплавка деталей машин и механизмов / *И. А. Рябцев.* – Киев: Экотехнология, 2004. – 160 с.
2. *Финкель, В. М.* Физика разрушения / *В. М. Финкель.* – М. : Металлургия, 1970. – 376 с.
3. 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.
4. *Прохоров, Н. Н.* Физические процессы в металле при сварке / *Н. Н. Прохоров.* – М. : Металлургия, 1976. – 600 с.
5. *Шоршоров, М. Х.* Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / *М. Х. Шоршоров, В. В. Белов.* – М. : Наука, 1972. – 228 с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Николаев, Г. А. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1982. – 272 с.
7. Винокуров, В. А. Теория сварочных деформаций и напряжений / В. А. Винокуров, А. Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
8. Фрумин, И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. – М. : Металлургия, 1961. – 250 с.
9. 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.
10. Савицкий, А. М. Влияние скорости сварки и длительности периодического охлаждения на формирование структуры сварных соединений закаливающих сталей при дуговой сварке с термоциклированием / А. М. Савицкий, М. М. Савицкий, Д. П. Новикова // Автоматическая сварка. – 2004. – № 8. – С. 41–45.

Щетинина В. И., Коваль А. В., Элсаед Халед

МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БАНДАЖИРОВАННЫХ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ

Трещиностойкость в значительной степени определяет износостойкость наплавленного металла, особенно при наплавке бандажированных опорных валков, которые эксплуатируются при больших удельных давлениях, что приводит к поломкам бандажей. Главной характеристикой трещиностойкости наплавленного металла является ударная вязкость сварных соединений, которая в значительной степени определяется межзатомными связями сжатия. Трещиностойкость наплавленного металла определяется сварочными напряжениями и межзатомными связями.

Установлен механизм повышения трещиностойкости бандажированных опорных валков при высокоскоростном наплавке за счет низкой погонной энергии, уменьшения деформаций и сварочных напряжений. Установлено, что трещиностойкость качественно характеризует ударная вязкость, которая при увеличении скорости наплавки и снижении погонной энергии возрастает.

При увеличении скорости сварки до 0,021 м / с и снижении погонной энергии до 2,7 МДж/м ударная вязкость резко возрастает, а затем остается почти неизменной. Увеличение ударной вязкости при повышении скорости сварки является результатом измельчения микроструктуры и уменьшения микроискажений кристаллической решетки, микронапряжений и плотности дислокаций, с которыми связывают зарождение трещин.

Аналогично ударной вязкости изменяются, при повышении скорости сварки предел прочности, относительное удлинение и сужение. При этом высокие значения ударной вязкости, относительного удлинения и сужения свидетельствуют о повышении трещиностойкости наплавленного металла.

Разработан энергосберегающий процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, который снижает тепловложения, деформации, сварочные напряжения, обеспечивает измельчение микроструктуры, увеличение межзатомных связей сжатия, повышения трещиностойкости и износостойкости бандажированных опорных валков и отсутствие поломок бандажей.

Ключевые слова: *механизм повышения трещиностойкости, высокоскоростная наплавка на низкой погонной энергии, ударная вязкость, микронапряжения, сварочные напряжения, измельчение микроструктуры, бандажированные опорные валки.*

Shchetinina V. I., Koval A. V., Elsaed Khaled

THE BANDED SUPPORT ROLLS CRACK RESISTANCE INCREASE MECHANISM

Crack resistance largely determines the weld metal wear resistance, especially when surfacing banded support rolls, which are operated at high specific pressures, which leads to the bands breakage. The main characteristic of the weld metal crack resistance is the welded joints impact toughness, which is largely determined by the interatomic compression bonds. The weld metal crack resistance is determined by the weld stresses and interatomic bonds. The mechanism of crack resistance increase of banded support rolls at high-speed surfacing at low heat input, deformations and welding stresses reduction is established. It is established that crack resistance qualitatively characterizes impact toughness, which increases with increasing surfacing speed and decreasing heat input. As the welding speed increases to 0.021 m / s and the heat input decreases to 2.7 MJ / m, the impact toughness increases sharply and then remains almost unchanged. The increase in impact toughness with increasing welding speed is the result of the microstructure grinding and reduction of the crystal lattice microdistortions, microstresses and dislocation density, which are associated with the cracks formation. Similarly, the impact toughness changes, with increasing welding speed, the tensile strength, elongation and narrowing. The high values of impact toughness, elongation and narrowing indicate an increase in weld metal crack resistance. An energy-saving high-speed surfacing at low heat input process has been developed, which reduces heat input, deformations, welding stresses, provides microstructure crushing, interatomic compression bonds increase, banded support rolls crack resistance and wear resistance increase and bandage breakages absence.

Keywords: *The crack resistance increase mechanism, high-speed surfacing at low heat input, impact toughness, microstresses, welding stresses, microstructure grinding, banded support rolls*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.
Стаття надійшла 19.09.2020 р.*

УДК 621.9

Манойлов О. В., Гагарін В. О., Кудінова К. В.

ЗДОБУТКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ

Розглянуто проблему впровадження міжнародних стандартів у промисловості та технічній освіті України. Перед фахівцями з технологій металообробки, логістики і