

**ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО**

УДК 621.791.753.042

© Щетинин С.В.<sup>1</sup>, Щетинина В.И.<sup>2</sup>**МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ НАПЛАВКЕ НА НИЗКОЙ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ**

Установлены закономерности влияния формы электрода и погонной энергии на зону термического влияния. Разработан процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, обеспечивающий сокращение зоны термического влияния, предотвращение образования холодных трещин и отслаивания наплавленного металла, снижение сварочных напряжений и измельчение микроструктуры, повышение трещиностойкости и износостойкости.

**Ключевые слова:** зона термического влияния, холодные и горячие трещины, сварочные напряжения, высокоскоростная наплавка на низкой погонной энергии.

**Щетинін С.В., Щетиніна В.І. Механізм підвищення тріщиностійкості та зносостійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії опорних валків листопрокатних станів.** Встановлені закономірності впливу форми електроду і погонної енергії на зону термічного впливу. Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує скорочення зони термічного впливу, попередження утворення холодних тріщин і відшарування наплавленого металу, зниження зварювальних напруг і здрібнення микроструктури, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості.

**Ключеві слова:** зона термічного впливу, холодні та гарячі тріщини, зварювальні напруги, високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії.

**S.V. Shchetinin, V.I. Shchetinina. Way to increase back-up rolls cracking and wearing resistances at high-speed deposition with low heat input.** The rolling-mill back-up rolls operate under high specific pressures conditions and are produced of high-carbon steel, prone to hot and cold cracking. Therefore crack resistance increase is an important scientific and technical problem. The impact of the electrode shape and heat input on the arc motion, and heat affected zone, the size of which determines the cold cracks formation and deposited metal flaking has been found. The arc moves along the electrode end face along the longitudinal axis or perpendicular to the weld pool in dependence on the ribbon position. The arc movement governs the heat input in the pool and if the surfacing regime is constant, the heating and cooling rates of the molten metal and heat affected zone as well. At surfacing with a perpendicular ribbon the heat affected zone decreases; at surfacing with a longitudinal ribbon and wire the heat affected zone increases. At surfacing with a composite electrode the heat affected zone reduces sharply while resistance to cracking and wearing increases. With the heat input reduction in weld pool side edges the heat affected zone reduces as well. At high speed surfacing with low heat input, the heat affected zone reduces, the tendency to cold cracking and deposited metal flaking decrease, welding stresses and specific pressure decrease, what results in resistance to cracking increase as well as the increase in wearing resistance. When energy decreases the deposited metal quality increases. Energy minimum results in maximum quality. The process of energy-saving high-speed deposition with low heat input, which provides microstructure reduction, heat input in the base metal and heat affected zone decrease, prevent cold cracking and deposited metal flaking increases both

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

*rolling mill back-up cracking resistance and wearing resistance has been developed.*

**Keywords:** *heat affected zone, cold and hot cracks, welding stresses, high-speed surfacing, low heat input.*

**Постановка проблеми.** Одними из основных деталей прокатных станов являются опорные валки, которые предотвращают прогиб и поломку рабочих валков, эксплуатируются в условиях высоких удельных давлений и изготавливаются из высокоуглеродистой стали 90ХФ, склонной к образованию трещин. Поэтому повышение трещиностойкости и износостойкости является важной научно-технической проблемой.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общеизвестно, что при уменьшении погонной энергии вследствие увеличения скорости охлаждения повышается вероятность образования холодных трещин [1]. Однако Н.Н. Прохоров [1] отмечает, что значительное снижение погонной энергии и соответствующее увеличение скорости охлаждения могут привести к снижению вероятности образования холодных трещин. Данные влияния погонной энергии на трещиностойкость наплавленного металла противоречивы [1-9]. Закономерности воздействия формы электрода и погонной энергии на зону термического влияния и склонность к образованию холодных трещин исследованы недостаточно.

**Цель статьи** – изучение механизма образования холодных трещин и разработка процесса высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, обеспечивающего повышение трещиностойкости и износостойкости опорных валков.

**Изложение основного материала.** Опорные валки в процессе эксплуатации испытывают значительные удельные давления, что приводит к образованию в зоне сплавления холодных трещин и отслаиванию наплавленного металла. При наплавке ленточным электродом дуга движется по торцу электрода в поперечном направлении, уменьшается тепловложение в боковые кромки ванны, что приводит к образованию подрезов и ограничивает скорость наплавки. Наплавка производится с низкой скоростью 15 м/ч на высокой погонной энергии. В результате повышаются сварочные напряжения, укрупняется структура и образуются трещины. Поэтому наплавка опорных валков не производится.

Для уменьшения зоны термического влияния необходимо производить высокоскоростную наплавку на низкой погонной энергии, при которой увеличивается скорость кристаллизации и измельчается структура, что повышает стойкость к образованию трещин.

Пинч-эффект сжимает дугу, концентрирует тепловложение и обеспечивает расплавление электрода и основного металла. В зависимости от формы и расположения электрода дуга под действием магнитного поля сварочного тока движется по торцу электрода в перпендикулярном, продольном направлениях, концентрируется при сварке проволокой и движется в продольном и перпендикулярном направлениях при сварке составным электродом.

Для изучения механизма образования холодных трещин наплавку производили под керамическим флюсом ЖСН-5 на характерных для каждого способа оптимальных режимах: проволочным электродом – при токе  $I = 650-750$  А, напряжении на дуге  $U = 31-33$  В и скорости наплавки  $V_H = (0,56, 0,83 \text{ и } 1,1) \cdot 10^{-2}$  м/с, продольной и перпендикулярной лентой –  $I = 450-550$  А,  $U = 29-31$  В,  $V_H = (0,33, 0,5 \text{ и } 0,67) \cdot 10^{-2}$  м/с, составным электродом –  $I = 1950-2050$  А,  $U = 29-31$  В,  $V_H = (1,4, 2,1, 2,8) \cdot 10^{-2}$  м/с. Погонная энергия для каждого способа наплавки изменялась в пределах  $q_{\text{п}}/V = 1,8, 2,7 \text{ и } 3,6$  МДж/м.

На основании исследований установлено, что с повышением скорости наплавки, вследствие увеличения скорости охлаждения и дисперсности структуры, микротвердость наплавленного металла возрастает. В зоне термического влияния микротвердость металла, измеренная микротвердомером ПМТ-3 с автоматическим нагружением, снижается (рис. 1, рис. 2).

Минимальный размер зоны отпуска характерен для наплавки перпендикулярной лентой (рис. 1, а, рис. 2), вследствие минимального тепловложения в боковые кромки ванны. При наплавке продольной лентой размер зоны отпуска увеличивается (рис. 1, б). Применение составного электрода (рис. 1, г) уменьшает размер зоны отпуска, по сравнению с проволочным (рис. 1, в) в два раза, вследствие повышения скорости наплавки, рассредоточения дуги и увеличения количества тепла, распространяющегося впереди источника.

При повышении скорости наплавки, в результате снижения погонной энергии, размер зоны отпуска уменьшается (рис. 2), что соответствует данным Ю.Н. Готальского [9], и повышает

стойкость против отслаивания [7], так как эта зона может быть очагом разрушения, улучшает качество наплавленного металла и снижает удельные давления в процессе прокатки, что повышает износостойкость валков.

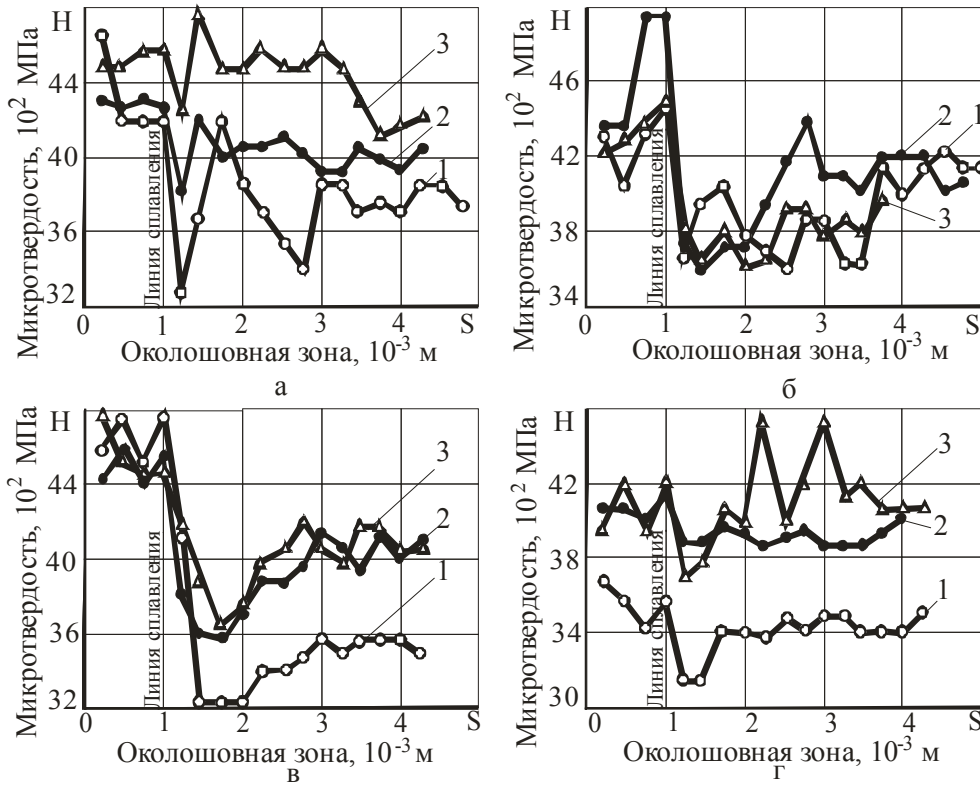


Рис. 1 – Зависимость микротвердости наплавленного металла от формы электрода и погонной энергии: а – перпендикулярна лента; б – продольная лента; в – проволока; г – составной электрод; погонная энергия 3,6 МДж/м (1), 2,7 МДж/м (2), 1,8 МДж/м (3)

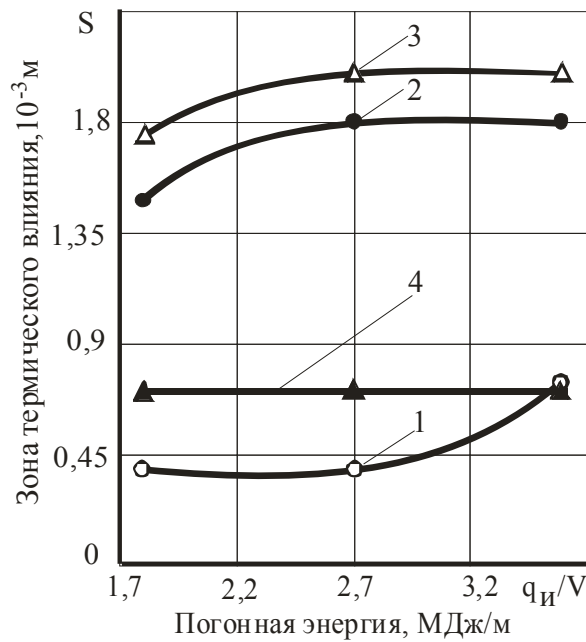


Рис. 2 – Зависимость зоны термического влияния от формы электрода и погонной энергии: 1 – перпендикулярна лента; 2 – продольная лента; 3 – проволока; 4 – составной электрод

На основании установленных закономерностей разработан процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, который обеспечивает снижение тепловложения и сварочных напряжений, зоны термического влияния, предотвращение образования холодных трещин и отслаивание наплавленного металла, повышение трещиностойкости и износостойкости опорных валков.

Установленные закономерности влияния формы электрода и погонной энергии на зону термического влияния и разработанный процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии могут быть использованы при наплавке валков и роликов.

Дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными, так как позволяют разработать новые процессы, обеспечивающие повышение трещиностойкости и износостойкости опорных валков.

### Выводы

Форма электрода и погонная энергия значительно влияют на движение дуги, тепловложение в основной металл и зону термического влияния, в которой образуются холодные трещины, что приводит к отслаиванию наплавленного металла. При наплавке перпендикулярной лентой размер зоны термического влияния уменьшается, продольной лентой и проволокой – увеличивается. При наплавке составным электродом зона термического влияния резко сокращается, что повышает трещиностойкость и износостойкость наплавленного металла.

При высокоскоростной наплавке на низкой погонной энергии уменьшается зона термического влияния, склонность к образованию холодных трещин и вероятность отслаивания наплавленного металла, снижаются сварочные напряжения, что обеспечивает повышение трещиностойкости и износостойкости опорных валков. С уменьшением энергии качество наплавленного металла улучшается. Минимум энергии – максимум качества.

Разработан энергосберегающий процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, который обеспечивает уменьшение тепловложения в основной металл и зоны термического влияния, предотвращение образования холодных трещин и отслаивание наплавленного металла, снижение сварочных напряжений и удельных давлений при прокатке, измельчение микроструктуры, повышение трещиностойкости и износостойкости опорных валков.

### Список использованных источников:

1. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металле при сварке / Н.Н. Прохоров. – Т. II. – М. : Металлургия, 1976. – 600 с.
2. Шоршоров М.Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / М.Х. Шоршоров, В.В. Белов. – М. : Наука, 1972. – 228 с.
3. Финкель В.М. Физика разрушения / В.М. Финкель. – М. : Металлургия, 1970. – 376 с.
4. Лысов В.С. Структура и стойкость против образования холодных трещин металла около шовной зоны стали 38ХС / В.С. Лысов, Т.А.Макарова, В.Г. Федоров // Сварочное производство. – 1982. – № 6. – С. 19-21.
5. Иванова Н.В. Хладостойкость металла ЗТВ сварных соединений резервуарных конструкций / Н.В. Иванова, В.Н. Дикун, В.А. Винокуров // Сварочное производство. – 1985. – № 11. – С. 15-17.
6. Влияние погонной энергии на образование отколов при наплавке высокоуглеродистой стали аустенитными проволоками / В.К. Каленский [и др.] // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 11-14.
7. Стеклов О.И. Стойкость наплавленного слоя против отслаивания в водородсодержащих средах / О.И. Стеклов, А.П. Алексеев, О.А. Александров // Сварочное производство. – 1989. – № 12. – С. 8-10.
8. 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.
9. Готальский Ю.Н. Способы сужения мартенситной прослойки в зоне сплавления перлитной стали с аустенитным швом / Ю.Н. Готальский, В.В. Снисарь, Д.П. Новикова // Сварочное производство. – 1981. – № 6. – С. 7-9.

## References:

1. Prokhorov N.N. *Fizicheskie processy v metalle pry svarke* [Physical processes in the metal during welding]. Moscow, Metallurgija Publ., 1976. 600 p. (Rus.)
2. Shorshorov M.H., Belov V.V. *Fazovije prevrashchenija e izmenenija svoystv staly pry svarke* [Phase transformations and changes in properties of the steel during welding]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 228 p. (Rus.)
3. Finkel V.M. *Fizika razrushenija* [Destruction Physics]. Moscow, Metallurgija Publ., 1970. 376 p.
4. Lisov V.S., Makarova T.A., Fedorov V.G. Structura i stoykost protiv obrazovaniya holodnikh treshchyn metalla okoloshovnoy zony staly 38HS. [The structure and firmnees against of the cold crack formation of the metal heat affected zone steel 38HS]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1982, no. 2, pp. 19-21. (Rus.)
5. Ivanova N.V., Dykun V.N., Vinokurov V.A. Hladostoykost metalla ZTW svarnykh sojedyneniy rezervuarnykh constructsiy [Cold resistance of HAZ metal of tank constructions welded joints]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1985, no. 11, pp. 15-17. (Rus.)
6. Kalensky V.K., Chernyak J.P., Vasilyev V.G., Solomiychuk T.G. Vlijaniye pogonnoy energiji na obrazovaniye otkolov pry naplavke vysokouglerodystoy staly austenitnymi provolokamy [Effect of heat input on the formation of splits in high steel deposition austenitic wires]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic welding*, 2001, no. 11, pp. 11-14. (Rus.)
7. Steklov O.I., Alekseev A.V., Alexandrov O.A. Stoykost naplavlennogo sloja protyv otslaivaniya v vodorodosoderzhashchykh sredakh [The deposited layer resistance against layer removing in hydrogen environments]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1989, no. 12, pp. 8-10. (Rus.)
8. Suslova E.A., Ignatov V.A., Zubchenko A.S. Vlyjaniye tekhnologicheskikh faktorov na sklonnost k obrazovaniyu treshchyn [Influence of technological factors on the crack susceptibility]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1990, no. 5, pp. 35-36. (Rus.)
9. Gotalsky Yu.N., Snisar V.V., Novikova D.P. Sposoby suzheniya martensytnoy prosloykji v zonje splavleniya perlytnoy staly s austenytnim shvom [Martensitic layer contraction methods in pearlite steel fusion zone with austenitic weld]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1981, no. 6, pp. 7-9. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самоутугин  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.04.2017

УДК 621.771.01

© Бережная Е.В.\*

### ВЫБОР РЕЖИМА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

*Предложен и аналитически исследован режим индукционного нагрева при постоянной удельной мощности. Определены основные параметры нагрева, обеспечивающие расчет индуктора. Предложенный режим индукционного нагрева является промежуточным между закалочным и сквозным нагревом, и позволяет одновременно получить необходимые значения температуры на поверхности и на заданной глубине прогретого слоя цилиндрических деталей при нормализации их поверхностей, восстановленных электроконтактной наплавкой.*

**Ключевые слова:** индукционный нагрев, наплавка, восстановление поверхности.

**Бережна О.В. Вибір режиму індукційного нагріву для нормалізації наплавлених поверхонь циліндричних деталей. Запропоновано та аналітично досліджено ре-**

\* канд. техн. наук, доцент, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, [elena\\_kassova@mail.ru](mailto:elena_kassova@mail.ru)