

УДК 621.791.92

© Мазур В.О.*

ПЛАЗМОВА ОБРОБКА КРАНОВИХ РЕЙОК

Експлуатація кранів супроводжується зношуванням рейок та кранових колес. Актуальним напрямком є реновація та підвищення працездатності цих деталей. Сучасні технології відновлення колес та рейок передбачають наплавлення. Запропоновано підвищувати працездатність кранових рейок поверхневою плазмовою обробкою. Проведено роботу з вибору режимів обробки, що відповідають вимогам виробництва. Досліджено структурні перетворення в матеріалі кранової рейки при плазмовому зміцненні.

Ключові слова: рейка, кран, плазма, структура, перетворення, зміцнений шар, твердість.

Мазур В.А. Плазменная обработка крановых рельсов. Эксплуатация кранов сопровождается изнашиванием рельсов и крановых колес. Актуальным направлением является реновация и повышение работоспособности этих деталей. Современные технологии восстановления колес и рельсов предусматривают наплавку. Предложено повышать работоспособность крановых рельсов поверхностной плазменной обработкой. Проведена работа по выбору режимов обработки, которые отвечают требованиям производства. Исследованы структурные превращения в материале кранового рельса при плазменном упрочнении.

Ключевые слова: рельс, кран, плазма, структура, превращение, упрочненный слой, твердость.

V.O. Mazur. Plasma treatment of crane rails. Crane operation results in wear and tear of rails and crane wheels. Renovation and efficiency of these details is therefore relevant. Modern technologies of wheels and rails restoration use surfacing or high-frequency currents treatment. Surface treatment with highly concentrated streams of energy- with a laser beam, plasma jet- is a promising direction.. It is proposed to increase the efficiency of crane rails by means of surface plasma treatment. The modes of treatment have been chosen.. Modelling of plasma jet thermal impact on a solid body of complex shape has been made. Plasma hardening regimes that meet the requirements of production have been defined. Structural transformation of the material in the crane rails on plasma treatment has been investigated. It has been concluded that for carbon and low alloy crane steels the plasma exposure zone is characterized by a high degree of hardened structure dispersion and higher hardness as compared to the hardness after high-frequency quenching. As this takes place phase transformations are both shift (in the upper zone of plasma influence) and fluctuation (in the lower zone of the plasma). With high-speed plasma heating granular or lamellar pearlite mainly transforms into austenite. The level of service characteristics of hardened steel, which is achieved in this case is determined by the kinetics and completeness of pearlite → austenite transformation. For carbon and low alloy rail steels plasma hardening can replace bulk hardening, hardening by high-frequency currents, or surfacing. The modes for plasma treatment which make it possible to obtain a surface layer with a certain service characteristics have been defined.

Keywords: rail, faucet, plasma, structure, transformation, work-hardened layer, hardness.

Постановка проблеми. Взаємодія колеса і рейки є фізичною основою руху. Від параметрів цієї взаємодії багато в чому залежать безпека руху і основні техніко-економічні по-

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, v.a.mazurini@gmail.com

казники. Так, зокрема, втрати енергії, обумовлені зношуванням в системі колесо-рейка, складають 10% - 30%, що витрачаються на переміщення. Крім того, витрати на реновацію рейок і колісних пар складають чималу частину загальних витрат кранового господарства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Підвищення працездатності кранових рейок та колес є важливим та перспективним напрямком застосування поверхневої обробки висококонцентрованими джерелами нагріву.

Відомі способи підвищення працездатності кранових колес та рейок дуговим наплавленням матеріалами з вмістом марганцю [1-3]. Окрім того, підвищення працездатності можливо за рахунок поверхневого зміцнення токами високої частоти (ТВЧ) [4, 5]. Перспективною, але найменш дослідженою, є обробка кранових рейок та колес висококонцентрованими джерелами нагріву: лазерним випромінюванням, плазмовим струменем. Вплив лазерного променя на структуру та властивості сталей, подібних до рейкових, досліджено в роботі [6].

Плазмовий струмінь є найбільш економічним висококонцентрованим джерелом нагріву в порівнянні з лазерним і електронним променями, має достатньо високий ККД (50% і більш – залежно від типу плазмотрону) [7]. З використанням доступного серійного устаткування при мінімальних матеріальних витратах можна отримати джерело нагріву з високою щільністю теплового потоку ($10^5 - 10^6$ Вт/см²) при загальній тепловій потужності 30 кВт і більше, що значно вище за потужність сучасних лазерних і електронно-променевих технологічних установок. Це дозволяє отримувати зміцнені шари набагато більших розмірів, ніж при лазерній обробці.

Мета статті. Встановити можливість підвищення експлуатаційних властивостей кранових рейок та колес поверхневою обробкою висококонцентрованим плазмовим струменем. Визначити режими плазмової модифікації, що дозволяють сформуванню в поверхневому шарі металу рейок комплекс властивостей, відповідний до вимог виробництва та технічних умов.

Викладення основного матеріалу. Виконувалась обробка головки кранової рейки, виготовленої зі сталі М76, плазмовим струменем за допомогою плазмотрону непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою. Для попереднього визначення режимів виконувалось моделювання процесу плазмового нагріву рейки за допомогою прикладного пакету FEMAP, що дозволяє виконувати кінцево-елементне моделювання розповсюдження теплового потоку в тілах складної форми. Плазмова обробка виконувалась з варіюванням сили струму плазмової дуги при постійних значеннях швидкості сканування та розходу плазмоутворюючого газу. Застосовувалась обробка як без оплавлення поверхні, так і з оплавленням. Проводилося дослідження зразків №№ 1-3, виготовлених з голівки рейки крану КР-100 (матеріал – сталь М 76), з метою визначення структурного складу, геометрії зони плазмового впливу та твердості загартованого шару, отриманого плазмовим гартуванням.

У зразках №№ 1, 2 плазмове гартування виконане по ширині голівки рейки. Загартована зона розташовується в центрі проби. У зразку № 3 загартування виконане по резу з боку шийки рейки. Зовнішній вигляд досліджуваних проб показан на рис. 1.

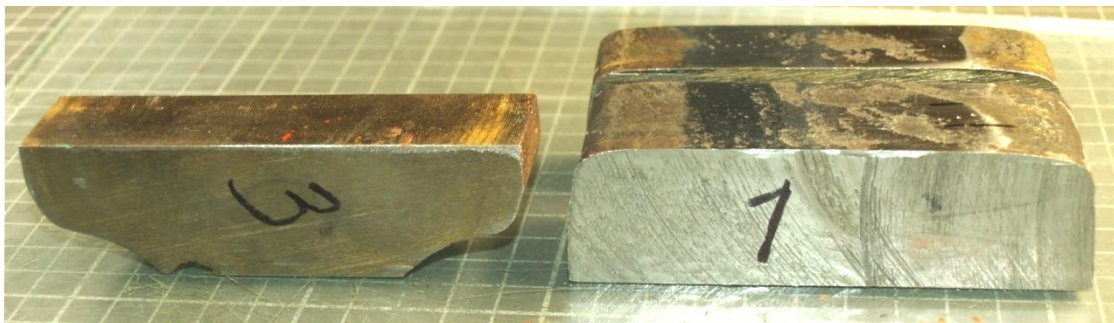


Рис. 1 – Зовнішній вигляд досліджуваних зразків з загартованою поверхнею

Для вивчення структурної будови і визначення глибини загартованого шару в поперечному перерізі виготовлялися мікрошліфи. На зразках була виміряна мікротвердість по глибині загартованого шару. Також була оцінена мікроструктура основного металу зразків.

Твердість основного металу і обробленої поверхні виміряна згідно з ГОСТ 9013-59.

Мікроструктуру виявляли хімічним трюїнням 4% спиртовим розчином азотної кислоти. Мікроструктура основного металу феррито-перлитна крупнозерниста, феррит виділився у вигляді сітки. Величина зерна 2-1 номера по ДОСТ 5639-82. Мікроструктура сталі М76 у вихідному стані показана на рис. 2.

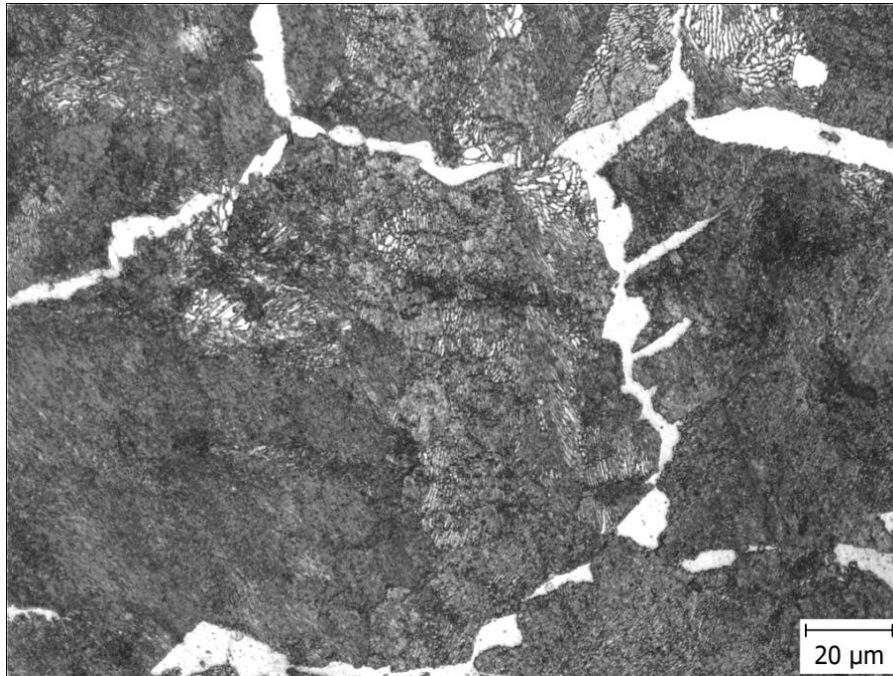


Рис. 2 – Мікроструктура сталі М76 у вихідному стані; $\times 500$

Поперечний переріз поверхонь, оброблених плазмою, наведено на рис. 3.

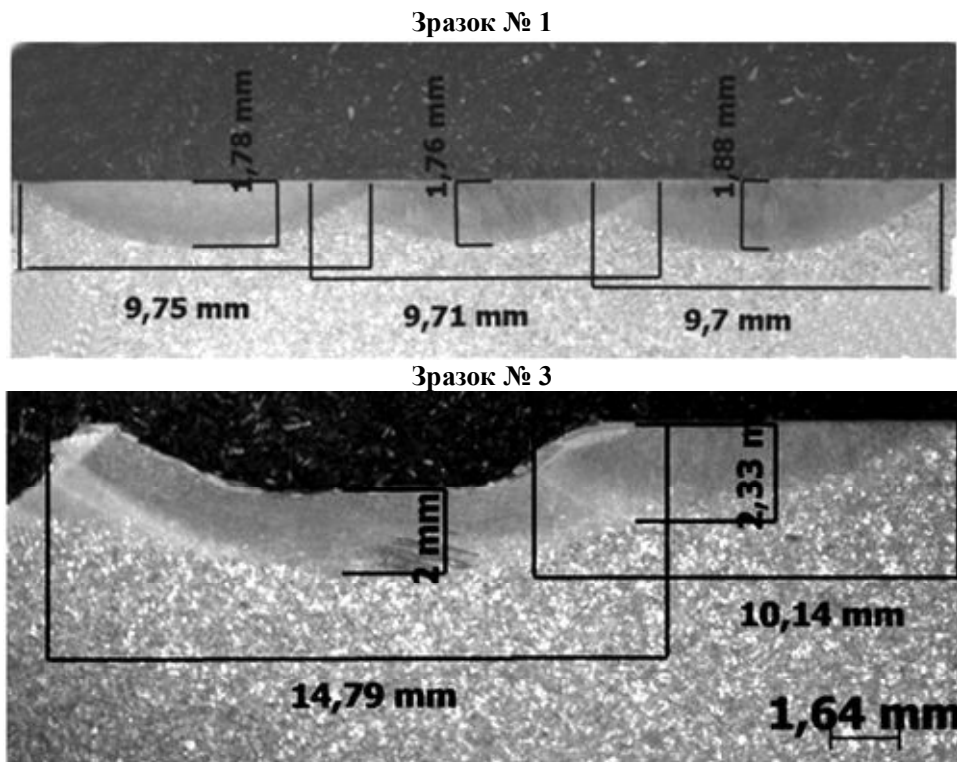


Рис. 3 – Макроструктура загартованого шару досліджуваних зразків $\times 6,5$

У зразку № 1 загартований шар шириною 29,2 мм виконано за три проходи, має глибину 1,76-1,88 мм. Обробка плазмою в зразку № 2 виконана за два проходи з відстанню 1 мм між ними. Ширина загартованої зони 13 мм, глибина 0,9 мм. Розміри зони плазмового гартування цього зразка виявилися занадто малими і режим обробки було визнано не оптимальним. На зразку № 3 загартування виконане за декілька проходів. Обробка проводилася з оплавленням поверхні. Глибина виплеску становила 1 – 1,5 мм. Загартована ділянка має ширину 22 мм, глибину 2-2,3 мм. В місцях перекриття проходів виявлена зона термічного впливу (перехідна або зона відпуску).

Оскільки вимоги до кранових рейок регламентують твердість поверхні, режими плазмового гартування були відповідно скореговані і отримана глибина зони плазмового впливу дещо менша, ніж при обробці на максимальну твердість.

Результати виміру твердості обробленої поверхні і основного металу згідно з ДОСТ 9013-59 приведені в таблиці 1. Режими плазмової обробки наведено в таблиці 2.

Таблиця 1

Твердість зразків з кранової рейки КР-100

Номер зразка	Твердість, HRC	
	загартований шар	основний метал
1	55-59	21
2	56-59	
3	45-50	

Таблиця 2

Режими плазмової обробки кранової рейки КР-100

Номер зразка	Сила струму, А	Швидкість скасування см/хв	Витрата плазмотворюючого газу л/хв
1	300 - 320	50	11-12
2	250 - 280	50	11-12
3	360 - 400	50	11-12

При вимірі мікротвердості по товщині загартованого шару встановлено, що в зразках №№ 1, 2 твердість загартованої зони 610-800 HV1 (55-60 HRC). У зразку № 3 отримані неоднорідні значення мікротвердості. На поверхні зразка в місцях накладення проходів твердість металу 226-240 HV1 (22-24 HRC), в перехідній зоні 285-320 HV1 (30-35 HRC), в зміцненій зоні 502-587 HV1 (48-52 HRC).

Перехідна зона в усіх зразках має глибину до 0,2 мм і твердість 24-30 HRC.

Мікроструктура загартованого шару досліджуваних зразків показана на рис. 4. У зразках №№ 1, 2 вона є дисперсною структурою гартування. На поверхні зразка № 3 на ділянках перекриття проходів структура характерна для відпущеної.

Швидкісний плазмовий нагрів високовуглецевих сталей до температур, близьких до $T_{пл}$, викликає інтенсивніше, ніж при об'ємному гартуванні або гартуванні ТВЧ, розчинення первинних карбідів і додаткове легування твердого розчину вуглецем і легуючими елементами. Це зафіксовано по збільшенню періоду кристалічної ґратки мартенситу. У зв'язку з дуже малою тривалістю витримки при високих температурах процеси гомогенізації не встигають пройти в повному обсязі, що призводить до концентраційної неоднорідності твердого розчину.

Нагрів до дуже високої температури при вкрай малій тривалості витримки (по розрахунковим оцінкам – порядку 0,1..0,01 с) не викликає зростання зерна аустеніту (як при об'ємному гартуванні з перегрівом) – структура загартованої зони має високий ступінь дисперсності і однорідна за всім обсягом ЗПД – аж до межі з початковим металом (рис.4, а). Межі аустенітних зерен в структурі загартованої зони металографічно не виявляються (рис. 4, б).

Температура нагріву та швидкість охолодження в різних точках ЗПД істотно відрізняються. Проте, не дивлячись на це, структура загартованої зони однорідна як за ступенем дисперсності, так і за значеннями твердості. Отже, металографічні дослідження показують,

що при плазмовому гартуванні мають місце обидва механізми фазових перетворень – і флюктуаційний, і зсувний.

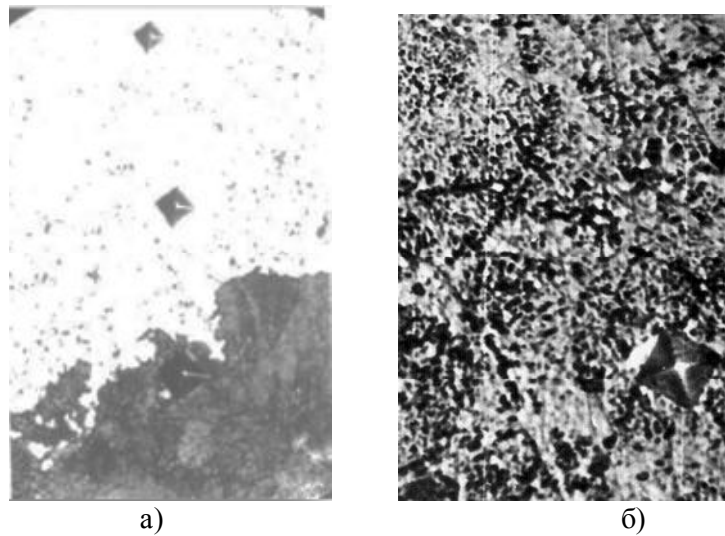


Рис. 4 – Мікроструктура вуглецевої сталі евтектоїдного складу М76: а – перехідна зона; б – зона плазмового зміцнення; а $\times 500$; б $\times 1000$

Висока однорідність дисперсної структури у всьому об'ємі ЗПД свідчить про важливу роль дифузійних процесів. Хоча зсувне перетворення не пов'язане з концентраційним перерозподілом вуглецю, можливе підвищення його концентрації у фериті полегшує протікання $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення по зсувному механізму.

У структурі вуглецевих сталей М76 надмірна фаза (ферит) знаходиться в незначній кількості, тому при швидкісному плазмовому нагріві основним є перетворення зернистого або пластинчастого перліту на аустеніт. Рівень експлуатаційних властивостей зміцнених сталей, що досягається, при цьому визначається повною і кінетикою $P \rightarrow A$ -перетворень.

Висновки

1. Плазмова обробка є ефективним напрямом підвищення працездатності кранових рейок та колес. Зміцнення ВКДН дозволяє отримати експлуатаційні властивості вищі за відповідні при наплавленні або гартуванні ТВЧ. При цьому збільшення твердості не призводить до зростання крихкості поверхні за рахунок зменшення розмірів зерна зони плазмового впливу.

2. Для вуглецевих і низьколегованих рейкових сталей плазмове зміцнення по властивостях, що досягаються, може ефективно замінити гартування ТВЧ або наплавлення. Встановлено діапазон режимів плазмової обробки, який дозволяє отримати поверхневий шар з визначеним комплексом експлуатаційних властивостей.

3. Досліджено структурні перетворення в матеріалі кранових рейок при плазмовій обробці. У вуглецевих та низьколегованих кранових сталей зона плазмового впливу характеризується високим ступенем дисперсності загартованої структури і більш високою в порівнянні з гартуванням ТВЧ твердістю. При цьому реалізується як зсувний (у верхніх шарах ЗПД), так і флюктуаційний (у нижніх шарах ЗПД) механізми фазових перетворень.

Перелік використаних джерел:

1. Малинов В.Л. Ресурсосберегающие инновационные наплавочные материалы и упрочняющие технологии, обеспечивающие динамическое деформационное мартенситное превращение / В.Л. Малинов // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2011. – Вип. 22 – С. 96-103.
2. Малинов Л.С. Ресурсосбережение за счет применения экономнолегированных сплавов и упрочняющих технологий, обеспечивающих получение многофазных метастабильных структур и управление структурными и фазовыми превращениями / Л.С. Малинов,

- В.Л. Малинов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2011. – № 1. – С. 93-105.
3. Малинов В.Л. Влияние марганца на структуру и износостойкость наплавленного металла типа низкоуглеродистой стали / В.Л. Малинов // Автоматическая сварка. – 2011. – № 8. – С. 15-20.
 4. Повышение качества и расширение сортамента закаленных рельсов из конвертерной стали / А.С. Рудюк, А.А. Азаркевич, А.Д. Лебедев, Е.С. Попов, Е.В. Гончаренко, О.И. Труфанова // Металл и литье Украины. – 2013. – № 6 (241). – С. 25-29.
 5. Дегтярев С.И. Исследование и разработка технологии поверхностной индукционной закалки железнодорожных рельсов из низколегированной стали / С.И. Дегтярев, Т.С. Скобло, В.Е. Сапожков // Металловедение и термическая обработка материалов. – 1998. – № 2. – С. 7-12.
 6. Лясоцкий И.В. Образование аустенита и кинетика растворения цементита в сталях с рекристаллизованной структурой зернистого перлита при лазерном нагреве / И.В. Лясоцкий, Д.В. Штанский // Физика металлов и металловедение. – 1993. – Т. 75. – Вып. 1. – С. 109-118.
 7. Самотугин С.С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С.С. Самотугин, Л.К. Лещинский. – Донецк : Новый мир, 2002. – 338 с.

Bibliography:

1. Malinov V.L. Resource innovative surfacing materials and strengthening technologies that enable dynamic deformation martensite transformation / V.L. Malinov // Reporter of the Priazovskyi state technical university : Collection of scientific works / PSTU. – Mariupol, 2011. – Issue 22. – P. 96-103. (Rus.)
2. Malinov L.S. Resource conservation through the use of economically alloys and hardening technologies for obtaining polyphase metastable structures and management of structural and phase transformations / L.S. Raspberry, V.L. Malinov // New materials and technologies in metallurgy and machine building. – 2011. – № 1. – P. 93-105. (Rus.)
3. Malinov V.L. Influence of manganese on structure and wear resistance of the deposited metal such as mild steel / V.L. Malinov // Automatic welding. – 2011. – № 8. – P. 15-20. (Rus.)
4. Improving the quality and assortment of hardened rails from converter steel / A.S. Rudyuk, A.A. Azarkevich, A.D. Lebedev, E.A. Popov, E.V. Goncharenko O.I. Trufanova // Metal & Cast Ukraine. – 2013. – №6 (241). – P. 25-29. (Rus.)
5. Degtyarev S.I. Research and development of technology of surface induction-hardened rails of low-alloy steel / S.I. Degtyarev, T.S. Scoble, V.E. Sapozhkov // Metallurgy and heat treatment of materials. – 1998. – №2. – P. 7-12. (Rus.)
6. Lyasotsky I.V. The formation of austenite and kinetics of dissolution of cementite in steels with a recrystallized grain pattern perlita by laser heating / I.V. Lyasotsky, D.V. Shtansky // Physics of Metals and Metallography. – 1993 – Т. 75. – Vol. 1. – P. 109-118. (Rus.)
7. Samotugin S.S. Plasma hardening of tool materials / S.S. Samotugin, L.K. Leszczynski. – Donetsk : Novyy mir, 2002. – 338 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 30.10.2015