

Гриджук Ярослав Степанович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Гриців Василь Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра буріння нафтових і газових свердловин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Юрич Лідія Романівна, аспірант, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: lidusiau@ukr.net.

Івасюк Василь Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Гриджук Ярослав Степанович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Гриців Василь Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра буріння нафтяних і газових скважин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Юрич Лідія Романівна, аспірант, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Ivasiuk Vasil, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Grydzhuk Jaroslav, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Grytsiv Vasyl, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Yurich Lidia, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: lidusiau@ukr.net

УДК 621.791.92

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.55866

Мазур В. О.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ КРАНОВИХ РЕЙОК

Експлуатація кранів супроводжується зношуванням рейок та кранових коліс. Актуальним напрямком є реновація та підвищення працездатності цих деталей. Запропоновано підвищувати працездатність кранових рейок поверхневою плазмовою обробкою. Проведено роботу з вибору та оптимізації 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.

1. Вступ

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

Актуальною задачею є підвищення експлуатаційних властивостей (твердості, тріщиностійкості, зносостійкості) поверхневого шару головки рейки, що дозволить збільшити ресурс деталі, зменшити витрати на ремонт та заміну рейки.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Підвищення працездатності кранових рейок та коліс є важливим та перспективним напрямком застосування поверхневої обробки висококонцентрованими джерелами нагріву.

Відомі способи підвищення працездатності кранових коліс 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

коліс 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].

Важливою задачею є моделювання процесу розповсюдження тепла в об'єкті складної форми для визначення оптимальних режимів плазмової обробки, які дозволять отримати в поверхневому шарі комплекс потрібних властивостей. Відомі способи кінцево-елементного аналізу теплових процесів при зварюванні та споріднених технологіях [8–10], але питання моделювання плазмової обробки залишається актуальним.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — кранові рейки.

Метою проведених досліджень було визначення технології та оптимальних режимів плазмової поверхневої модифікації кранових рейок.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Встановити можливість підвищення експлуатаційних властивостей кранових рейок поверхневою обробкою висококонцентрованим плазмовим струменем.

2. Визначити режими, що дозволяють сформувати в поверхневому шарі металу рейок комплекс властивостей, відповідний до вимог виробництва та технічних умов.

4. Результати моделювання плазмового нагріву та досліджень структури та властивостей

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. Був розроблений алгоритм розрахунку на підставі рішення нелінійного диференційного рівняння теплопровідності (1) методом кінцевих елементів (рис. 1).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right]. \quad (1)$$

Початкові та граничні умови при моделюванні нагріву описані залежностями (2)–(4).

3) характер теплообміну з навколишнім середовищем:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = \alpha \Delta T \quad (x, z \in G), \quad (4)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі; ΔT – різниця температур поверхні і навколишнього середовища.

На рис. 2 наведені результати розрахунку процесу розповсюдження тепла в крановій рейці від дії плазмового джерела нагріву методом кінцевих елементів.

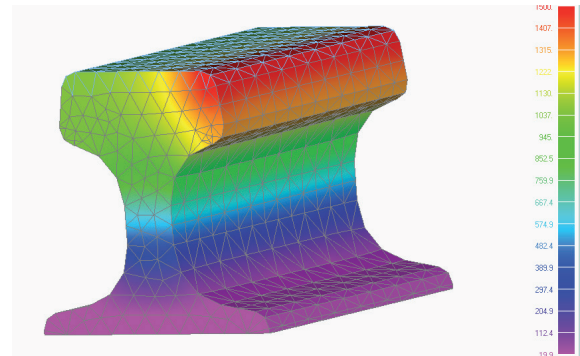


Рис. 2. Розподіл теплових полів від дії плазмового джерела нагріву на рейку



Рис. 1. Алгоритм моделювання процесу плазмової модифікації за допомогою системи FEMAP

Оскільки теплофізичні властивості сталей залежать від температури нагріву вони задаються у вигляді функції (5).

Початкові і граничні умови:

1) розподіл температури у всіх точках матеріалу:

$$T(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = T_0; \quad (2)$$

2) розподіл щільності теплового потоку:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = q \quad (x, z \in G); \quad (3)$$

загартованого шару. Також була оцінена мікроструктура основного металу зразків.

Твердість основного металу і обробленої поверхні виміряна по ГОСТ 9013-59. Мікроструктуру виявляли хімічним трюінням 4 % спиртовим розчином азотної кислоти.

Мікроструктура основного металу ферито-перлітна крупнозерниста, ферит виділився у вигляді сітки. Величина зерна 2-1 номера по ГОСТ 5639-82. Мікроструктура сталі M76 у вихідному стані показана на рис. 3.

Поперечний переріз поверхонь оброблених плазмою наведено на рис. 4.

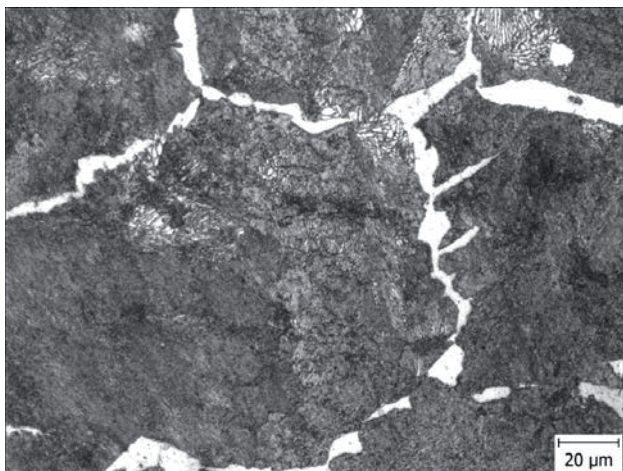


Рис. 3. Мікроструктура сталі М76 у вихідному стані, × 500

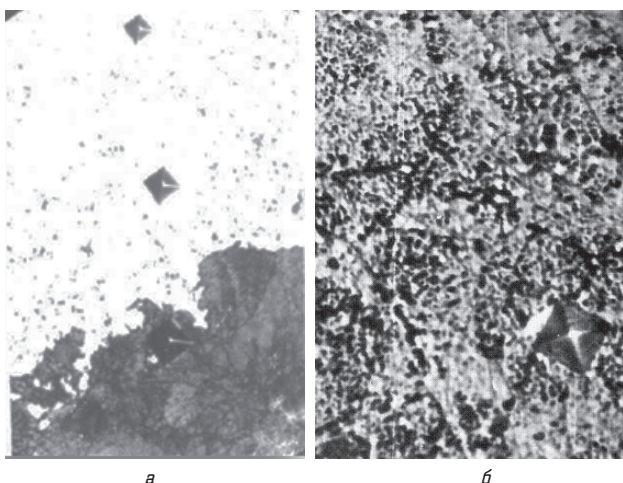


Рис. 4. Мікроструктура вуглецевої сталі евтектоїдного складу М76: а — перехідна зона, × 500; б — зона плазмового зміцнення, × 1000

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 загартовування 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 та основного металу по ГОСТ 9013-59 приведені в табл. 1. Режими плазмової обробки наведено в табл. 2.

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).

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 сканування, см/хв	Витрата плазموутворюючого газу, л/хв
1	300–320	50	11–12
2	250–280	50	11–12
3	360–400	50	11–12

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. Межі аустенітних зерен в структурі загартованої зони металографічно не виявляються.

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.

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 повнотою і кінетикою $P \rightarrow A$ -перетворень.

5. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Розроблено методику моделювання плазмової обробки кранових рейок, яка дозволяє на стадії проектування технологічного процесу поверхневої обробки обирати діапазони режимів, що забезпечують необхідні властивості металу.

2. Обробка натурних зразків та дослідження структурних перетворень в матеріалі кранових рейок при плазмовій обробці за різними режимами дозволило встановити, що у вуглецевих та низьколегованих кранових сталях 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 флуктуаційний (у нижніх шарах ЗПД) механізми фазових перетворень.

Література

1. Малинов, В. Л. Ресурсосберегающие инновационные наплавочные материалы и упрочняющие технологии, обеспечивающие динамическое деформационное мартенситное превращение [Текст] / В. Л. Малинов // Вісник Приазовського державного технічного університету. — 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 [Текст] / 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 [Текст] / В. Л. Малинов // Автоматическая сварка. — 2011. — № 8. — С. 15–20.
4. Рудюк, А. С. Повышение качества и расширение сортамента закаленных рельсов из конвертерной стали [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский. — Донецк: Новый мир, 2002. — 338 с.
8. Rouquette, S. Estimation of the parameters of a Gaussian heat source by the Levenberg-Marquardt method: Application to the electron beam welding [Text] / S. Rouquette, J. Guo, P. Le Masson // International Journal of Thermal Sciences. — 2007. — Vol. 46, № 2. — P. 128–138. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2006.04.015
9. Yang, J. Effect of FCAW Current on the Hardfacing Layer — Microstructure and Wear Resistance [Text] / J. Yang, X. Hou, X. Xing, C. Wang, Y. Yang, X. Ren, Q. Yang // Welding journal. — 2015. — Vol. 94, № 11. — P. 358–365.
10. Heinze, C. Numerical calculation of residual stress development of multi-pass gas metal arc welding [Text] / C. Heinze, C. Schwenk, M. Rethmeier // Journal of Constructional Steel Research. — 2012. — Vol. 72. — P. 12–19. doi:10.1016/j.jcsr.2011.08.011

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ КРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ

Эксплуатация кранов сопровождается изнашиванием рельсов и крановых колес. Актуальным направлением является реновация и повышение работоспособности этих деталей. Предложено повышать работоспособность крановых рельсов поверхностной плазменной обработкой. Проведена работа по выбору и оптимизации 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.

Мазур Владислав Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорезальных верстатив та інструментів, ДВНЗ Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Україна, e-mail: v.a.mazurini@gmail.com.

Мазур Владислав Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорежущих станков и инструментов, ГВУЗ Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина.

Mazyr Vladislav, Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine, e-mail: v.a.mazurini@gmail.com