

УДК 621.822.6:620.178.16

КОНТАКТНА ДОВГОВІЧНІСТЬ БІГОВИХ ДОРІЖОК ЦАПФ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

Ю. Д. ПЕТРИНА¹, І. С. ЯКИМ¹, Н. В. КРЕТ², Ю. М. НИКИФОРЧИН¹

¹ Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ;

² Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

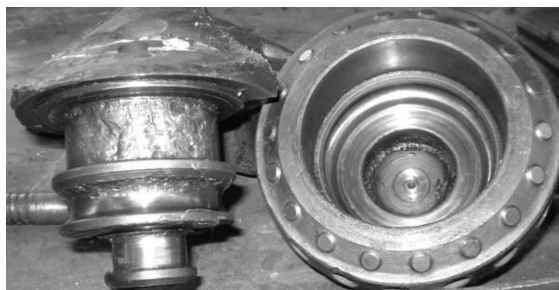
Досліджено взаємозв'язок між характером розподілу твердості і концентрації вуглецю в загартованих цементованих шарах бігових доріжок опор зі сталі 14ХНЗМА та контактною довговічністю. Виявлено, що оптимальне зміцнення бігових доріжок залежить від твердості поверхні НРС (60...63) та вмісту вуглецю (0,95...1,1%), які на глибині 1,6...2,2 mm становлять відповідно 51,5 та 0,45...0,55%.

Ключові слова: бурове долото, контактна довговічність, руйнування, корозивне середовище, бігові доріжки, опора, цементация, твердість.

Сьогодні під час буріння широко застосовують тришарошкові долота з відкритою опорою на основі радіальних підшипників кочення. Опори працюють в умовах суттєвих контактних навантажень за дії корозивних середовищ та абразиву, що істотно пришвидшує контактне руйнування їх елементів [1, 2], призводячи до передчасної відмови долота на вибої. Найбільших руйнувань тут зазнають цапфи лап доліт. Особливо значні пошкодження виникають на бігових доріжках підшипників кочення у найбільш навантаженій нижній частині цапфи (див. рисунок).

Типове контактне руйнування цапф лап та зношування опорних елементів порожнини шарошок бурових доліт 244,5 ОК-ПГВ.

Typical contact failure of arm pins and wear of bearing elements of 244.5 ОК-ПГВ rock bits cones chamber.



Для зміцнення робочі поверхні цапф цементують та гартують за відповідною технологією [3], яка забезпечує твердість НРС цементованого шару приблизно 60...64, а у серцевині – 25...40 [4]. Тому провідні зарубіжні виробники використовують хромонікельмолібденові сталі зі строго регламентованими хімічним складом і фізико-механічними властивостями та здатністю до прогартування згідно зі вимогами ASTM. У вітчизняному долотобудуванні для лап застосовують сталі аналогічного складу [3], зокрема, 14ХНЗМА, 19ХГНМА та 21ХГНМА. Однак це не завжди забезпечує експлуатаційні показники на рівні зі світовими.

Оскільки між розподілом твердості зміцненого шару і вуглецю, а також якістю зміцнення існує кореляційний зв'язок, можна встановити оптимальні параметри цементованого шару для конкретних умов технології виготовлення доліт.

Тут розглядають ефективну глибину цементованого шару, за яку приймають сумарну товщину заевтектоїдної, евтектоїдної і половину перехідної науглекеної зон. У зарубіжній практиці її визначають за відстанню від поверхні до прошарку металу з твердістю HRC 51,5. Нижче досліджено вплив розподілу твердості і вуглецю у зміцненому поверхневому шарі цапф лап на їх контактну довговічність як характеристику роботоздатності долота.

Методики досліджень. Випробовували зразки – цапфи лап зі сталі 14ХНЗМА зі зміцненим поверхневим шаром, виготовлені за стандартною технологією [3, 5]: цементация з подальшим гартуванням за різними параметрами і кінцевим механічним обробленням, що давало можливість змінювати глибину та твердість цементованого шару. Концентрацію вуглецю визначали експрес-аналізатором моделі АН-7529 за стандартною методикою.

Контактну витривалість сталі досліджували на спеціальному стенді [6], що відтворює умови роботи цапф лап. Випробовували найнавантаженішу бігову доріжку великого роликового підшипника кочення діаметром 63,87 mm, використовуючи серійні тіла кочення, взяті з однієї партії. Стенд забезпечує осьове навантаження на секції доліт та обертовий рух шарошок. У зоні контакту між роликами та біговою доріжкою створювали напруження 5700 МПа, а тіла кочення оберталися навколо бігових доріжок за частоти $8,3 \text{ s}^{-1}$. У зону контакту, імітуючи вплив промивного і охолоджувального розчинів, подавали проточну технічну воду. Критерієм довговічності був час до появи першого пітинга. Виконали два цикли досліджень.

На першому етапі вивчали вплив глибини t зміцненого шару зразків на їхню контактну довговічність. Твердість HRC поверхонь 59...61, а концентрація вуглецю на глибині 0,1...0,25 mm від поверхні становила 0,96...1,0% (табл. 1). З ростом глибини шару до 1,6 mm контактна довговічність суттєво підвищується, однак, на глибині до 2,6 mm вже спостерігали протилежний ефект – витривалість дещо падала.

Таблиця 1. Розподіл твердості HRC по глибині цементованого шару та контактна довговічність бігових доріжок зразків

Середня глибина t , mm	К-сть зразків	Твердість HRC по глибині загартованого шару (mm)									Довговічність, h
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	
0,90	5	59,1	58,1	56,1	52,6	51,2	51,1	48,2	43,8	38,1	0,53
1,10	6	59,1	58,4	57,2	55,0	53,8	51,2	49,1	44,5	39,2	0,97
1,25	4	59,5	58,1	57,2	55,2	54,1	51,5	49,6	43,8	43,0	2,10
1,30	4	59,3	58,6	56,9	55,5	54,2	52,0	49,6	43,8	42,9	2,02
1,46	9	60,0	57,2	55,5	53,5	53,0	52,5	50,5	49,5	48,5	2,95
1,65	10	61,1	60,0	58,2	57,1	56,5	55,0	53,1	52,0	49,6	3,32
1,81	9	60,1	58,8	57,4	56,7	55,5	54,2	53,2	51,3	47,1	2,86
1,91	8	59,3	58,5	57,8	57,1	56,1	55,4	54,1	52,5	44,6	2,42
2,0	8	60,2	59,1	59,0	58,5	58,0	57,0	55,1	53,2	51,5	3,26
2,6	4	60,2	59,3	59,0	58,1	58,0	55,5	55,2	54,2	53,1	3,15

На другому етапі аналізували вплив на контактну довговічність зразків розподілу концентрації вуглецю в цементованому шарі (табл. 2). Максимально позитивного ефекту можна досягти насиченням вуглецем до концентрації на поверхні 0,95...1,05%, однак за його вмісту 1,1% вже з'являється протилежна тенденція. Екстремум на концентраційній залежності довговічність–концентрація вуглецю слід, очевидно, пов'язувати з агресивним проявом корозивного середо-

вища. Відомо [7], що з підвищенням його вмісту чутливість конструкційних сталей до зародження і поширення корозійних тріщин посилюється, а отже, полегшується викришування металу. Таким чином, тут проявляється протиборна дія двох чинників: позитивна охолоджувально-змащувальної рідини та негативна, пов'язана з інтенсифікацією корозійно-механічного руйнування. Зазначимо, що водне середовище спричиняє корозійний ріст тріщин у високоміцних сталях за механізмом водневого окрихчування, в тому числі і в матеріалах нафтогазового обладнання [8].

Таблиця 2. Розподіл концентрації (%) вуглецю по глибині зміцненого шару та контактна довговічність бігових доріжок зразків

Вміст С на поверхні	К-сть зразків	Вміст С по глибині загартованого шару (mm)									Довговічність, h
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	
0,63	5	0,60	0,53	0,51	0,45	0,40	0,37	0,29	0,21	0,14	0,53
0,80	6	0,73	0,60	0,53	0,48	0,42	0,39	0,35	0,29	0,21	0,97
0,96	4	0,83	0,75	0,69	0,59	0,55	0,50	0,47	0,41	0,37	2,02
1,03	9	0,89	0,82	0,78	0,75	0,67	0,58	0,54	0,47	0,42	2,86
1,10	8	0,94	0,88	0,75	0,71	0,64	0,55	0,50	0,45	0,39	2,42

Отже, у вітчизняному долотобудуванні для проектування технологічних процесів зміцнення деталей доліт, а також оцінки їх якості доцільний критерій, що характеризує твердість ефективного загартованого цементованого шару. Для підвищення контактної довговічності цапф лап відкритих опор тришарошкових бурових доліт можна рекомендувати хіміко-термічну обробку, яка повинна забезпечити плавний розподіл твердості та концентрації вуглецю від поверхні (HRC 60...63 та 0,95...1,1%С) до глибини 1,6...2,2 mm. При цьому на ділянці ефективного цементованого шару (на глибині 1,6...2,2 mm) ці показники повинні становити 51,5 та 0,45...0,55% відповідно.

Зазначимо, що для цапф лап, виготовлених зі сталей, що уможливають деформацію і викривлення бігових доріжок після хіміко-термічної обробки, необхідна кінцева механічна обробка. Тому товщина загартованого цементованого шару повинна мати припуск на зняття верхніх шарів і перевищувати 2,2 mm. Особливо високої точності у розрахунку параметрів ефективного загартованого цементованого шару слід дотримуватись під час фінішного механічного оброблення лезовим інструментом ще до гартування. За цих умов рекомендують застосовувати сталі, які менш схильні до деформацій та викривлень. Водночас, контролюючи прогартування долотних сталей, а також використовуючи зразки-свідки для оцінювання якості бігових доріжок опор за критерієм, що визначає параметри ефективного цементованого шару за твердістю, вдалося на долотному виробництві (м. Дрогобич) уникнути передчасної відмови опор через їхнє контактне руйнування.

Слід поглиблено вивчити роль охолоджувального середовища у контактному руйнуванні, щоб зрозуміти вплив на нього характеристик зміцненого шару за розподілом твердості та концентрації вуглецю. Для цього необхідно залучати електрохімічні підходи, а стендові випробування на контактну довговічність [6] використати не тільки, щоб пояснити дію певного середовища на інтенсивність зношування бігових доріжок, але і для оцінювання ефективності інгібіторного захисту від корозійно-механічного руйнування за контактної втоми. Тут важливо вивчити деградацію фізико-механічних властивостей металу під час стендових випробувань, враховуючи можливу агресивну роль охолоджувального середовища, якщо воно є джерелом наводнювання поверхні [9].

ВИСНОВКИ

Встановлено закономірності впливу глибини зміцненого хіміко-термічною обробкою поверхневого шару та розподілу твердості по його глибині на контактну довговічність бігової доріжки зразків зі сталі 14ХНЗМА. На цій основі проаналізовано критерій, що визначає параметри ефективного загартованого цементованого шару за його твердістю. Зміцнення повинно забезпечувати на поверхні твердість HRC та концентрацію вуглецю відповідно в діапазоні 60...63 та 0,95...1,1% та їх плавне зниження від поверхні так, щоб на глибині 1,6...2,2 mm від неї ці характеристики відповідали значенням 51,5 та 0,45...0,55%.

РЕЗЮМЕ. Исследована взаимосвязь между характером распределения твердости и концентрации углерода в закаленных цементируемых слоях беговых дорожек опор из стали 14ХНЗМА и контактной долговечностью. Выявлено, что оптимальное упрочнение беговых дорожек зависит от твердости поверхности HRC (60...63) и содержания углерода (0,95...1,1%), которые на глубине 1,6...2,2 mm становятся соответственно 51,5 и 0,45...0,55%.

SUMMARY. The relationship between the character of distribution of hardness and carbon concentration in the hardened cemented layers of arm pin races of 14ХНЗМА steel and contact durability is investigated. Optimal strengthening of arm pin races depends on surface hardness HRC (60...63) and carbon content (0.95...1.1%) that at a depth of 1.6...2.2 mm are 51.5 and 0.45...0.55%, respectively.

1. *Контактне руйнування тіл кочення відкритих опор тришарошкових бурових доліт у водних середовищах* / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – **46**, № 5. – С. 37–42.
(*Kryzhaniv's'kyi E. I., Yakym R. S., Shmandrov's'kyi L. E., Petryna Yu. D. Contact fracture of rolling bodies of open bearings of three-cone rock bits in aqueous environment // Materials Science. – 2011. – 46, № 5. – P. 607–612.*)
2. *Яким Р. С. Контактна витривалість цементованих поверхонь опор Р-К-Р тришарошкових бурових доліт* // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 2 (39). – С. 106–112.
3. *Яким Р. С., Петрина Ю. Д. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт.* – Івано-Франківськ: Вид. Нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2011. – 190 с.
4. *Drilling engineering workbook, a distributed learning course.* – Houston: Baker Hughes INTEQ, 1995. – 410 p.
5. *Яким Р. С., Петрина Ю. Д., Яким І. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності.* – Івано-Франківськ: Вид. Нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2011. – 384 с.
6. *Патент 96644, Україна, МПК² E 21 В 10/10 (2011.01). Стенд для випробовувань секцій шарошкових доліт* / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина. – Опубл. 25.11.2011; Бюл. № 22.
7. *Механіка разрушения и прочность материалов: Справ. пос. в 4-х т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов* / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 680 с.
8. *Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання* / В. І. Похмурський, Є. І. Крижанівський, В. М. Івасів та ін.: Під ред. В. І. Похмурського і Є. І. Крижанівського. – Львів; Івано-Франківськ: Вид. Нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2006. – 1194 с.
9. *Крижанівський Є. І., Никифорчин Г. М. Особливості корозійно-водневої деградації сталей нафтогазопроводів і резервуарів зберігання нафти* // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2011. – **47**, № 2. – С. 11–20.
(*Kryzhaniv's'kyi E. I. and Nykyforchyn H. M. Specific features of hydrogen-induced corrosion degradation of steels of gas and oil pipelines and oil storage reservoirs // Materials Science. – 2011. – 47, № 2. – P. 127–136.*)

Одержано 26.12.2014