

УДК 621.791.2:620.193.19

**Вовк А. О., Бережний С. П., Капустян О. Є., Осіпов М. Ю.,  
Андрущенко М. І., Бриков М. М.**

## **ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ**

Однією із проблем багатьох підприємств є вихід із ладу деталей обладнання внаслідок гідроабразивного зношування, яке відбувається під час переміщення потоку рідини, що містить абразив, вздовж зношеної поверхні. Матеріал руйнується за одночасної дії як мінімум двох механізмів: корозії і зношування твердими абразивними частинками. В результаті втрата маси деталі (зразка) залежить від інтенсивності кожного із складових механізмів.

Можливі декілька варіантів руйнування матеріалу в умовах гідроабразивного впливу:

– інтенсивність втрати маси від корозії перевищує втрати маси від зношування абразивом. У такому разі сумарна втрата маси визначається здібністю матеріалу опиратися корозії у визначених умовах процесу;

– абразивна складова процесу руйнування є більш інтенсивною, ніж корозійна, отже опірність матеріалу суто зношуванню твердими частинками відіграє визначальну роль і переважає антикорозійні властивості.

Останній випадок може також бути поділено на певні варіанти згідно із кутами атаки гідроабразивного струменя:

– практично нульовий (або дуже малий) кут атаки. В такому випадку гідроабразивний струмінь рухається паралельно поверхні, тверді частинки в абсолютній більшості випадків не дряпають матеріал. Матеріал руйнується у багатоцикловому режимі;

– критичний, або близький до нього кут атаки (приблизно  $30...40^\circ$ ). Тверді частинки інтенсивно дряпають матеріал, швидкість руйнування збільшується на порядок або вище. Матеріал руйнується у малоцикловому режимі.

В реальних умовах гідроабразивного зношування, як правило, неможливо відокремити дію кожного з механізмів руйнування робочих поверхонь. Тому висновок про оптимальний матеріал тієї чи іншої деталі можна робити тільки після випробувань самої деталі або зразка-свідка в натурних умовах.

Підвищення зносостійкості матеріалів в умовах абразивного і, зокрема, гідро- або газоабразивного зношування, можливо за рахунок підвищеного вмісту твердої фази (карбіди, бориди, нітриди і т. і.). Або шляхом застосування іншої групи матеріалів, в яких карбіди практично відсутні, а зносостійкість досягається за рахунок максимально можливого використання потенціалу металеві матриці.

Одним з найбільш зносостійких матеріалів першої групи можна вважати такий, що отримано наплавленням порошковим дротом ПП-АН170 (тип наплавленого металу 80X20P3T) [1-2]. Високий вміст хрому і особливо бору забезпечують в наплавленому металі заевтектичну структуру з високим вмістом евтектичних та первинних карбідів та карбоборидів. Але в багатьох випадках експлуатаційна надійність наплавленого металу і деталі в цілому недостатня через великий вмісту в структурі твердих фаз.

В такому разі виникає необхідність використання матеріалів іншої групи, представником якої може бути сталь типу 120Г3С2 [3-4]. Вона дозволяє за рахунок гартування від різних температур забезпечувати різну структуру металеві основи (мартенсит, аустеніт, бейніт) в залежності від умов зношування. Кількість карбідної фази цементитного типу в сталі 120Г3С2 є невеликою, і вона не відіграє вирішальної ролі в опірності матеріалу абразивному

впливу. Оскільки заздалегідь невідомо, яка структура виявиться найбільш зносостійкою та надійною в експлуатації в певних умовах гідроабразивного зношування, необхідно проводити випробування обох матеріалів одночасно.

Метою роботи є проведення натурних випробувань на гідроабразивне зношування зразків сталі 120Г3С2 після гартування за різними режимами, а також зразків після ручного дугового наплавлення електродами, які забезпечують структуру наплавленого шару, ідентичну до металу, що наплавлено порошковим дротом ПП-АН170. Проведено випробування зразків-свідків, які було встановлено у робочому тракті пульпопроводу земснаряду АСК «УКРРІЧФЛОТ», Філія «Запорізький річковий порт».

Земснаряд ГПП-15 є спеціалізованим судном, який обладнано системою забору донного ґрунту (здебільшого річковий пісок) і завантаження його на баржі (рис. 1).

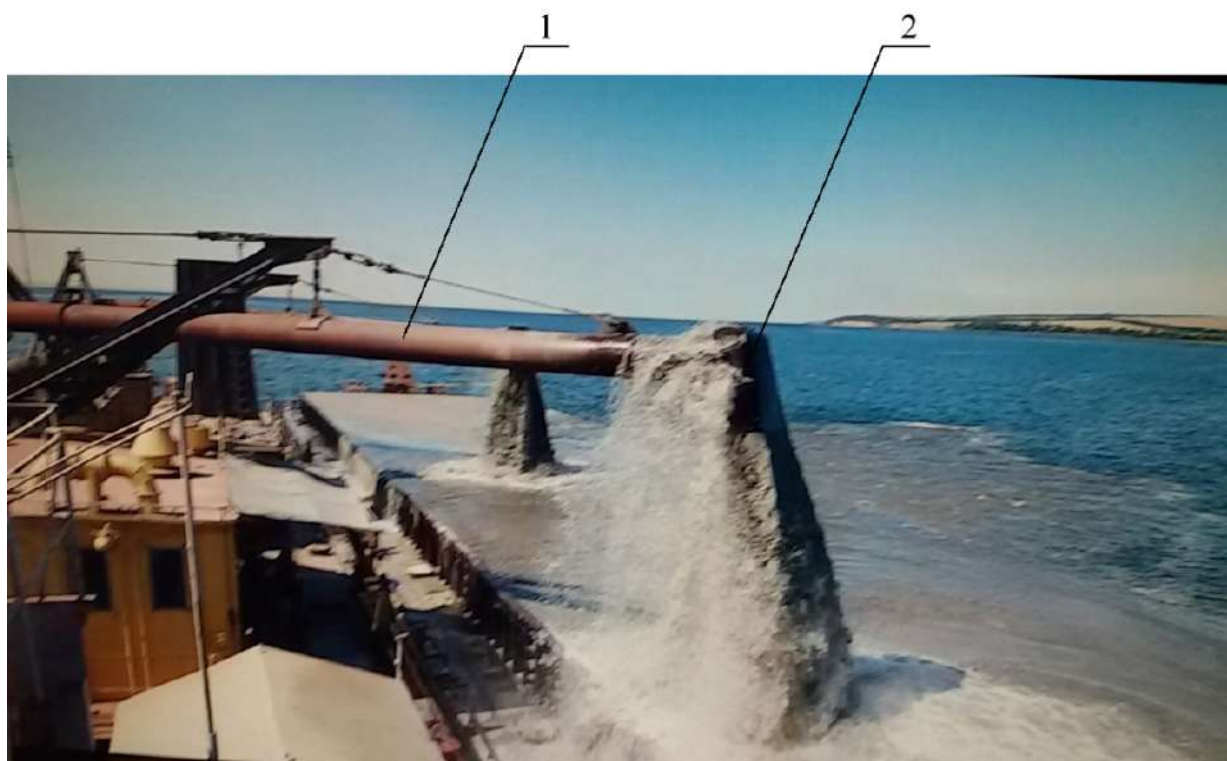


Рис. 1. Робота земснаряду ГПП-15. Завантаження річного піску на баржу:  
1 – завантажувальний трубопровід; 2 – шарнірна лапа

Донний ґрунт всмоктується через заборний трубопровід, який захищено решітками від потрапляння великого каміння. Далі пульпа рухається через транспортний трубопровід до насосного вузла (рис. 2), який і створює розрядження і тиск у трубопроводі земснаряду.

З насосного вузла пульпа потрапляє до поворотного завантажувального трубопроводу, на виході з якого змонтовано шарнірну лапу, що направляє потік вниз до вантажної баржі (див. рис. 1).

Зразки зі сталі 120Г3С2 виготовлено з експериментальної смуги, яка мала поверхневий шар із зниженим вмістом вуглецю [5]. Зразки гартували від температури 970...1000 °С та 800...820 °С.

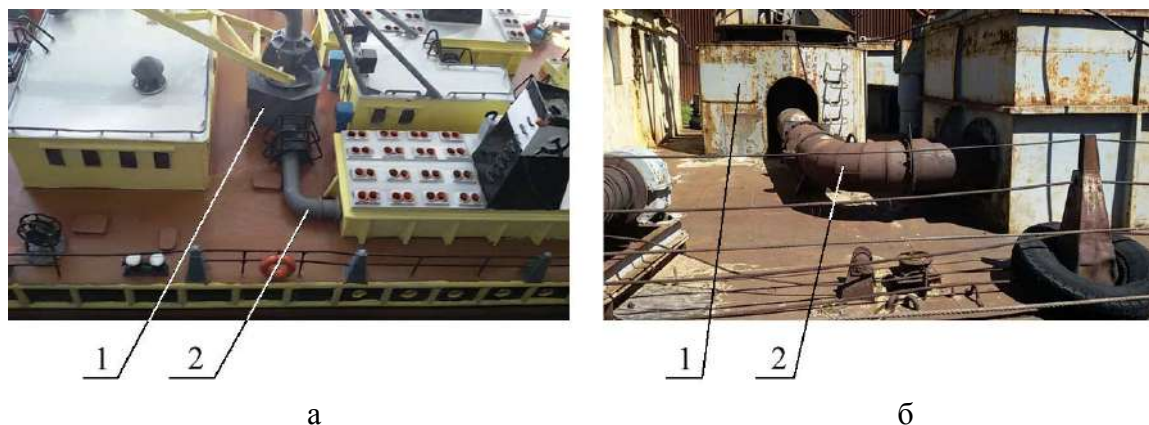


Рис. 2. Насосний вузол земснаряду ГПП-15:

а – макет; б – натурний вигляд; 1 – насосний вузол; 2 – транспортний трубопровід

Наплавлені зразки та зразки термічно обробленої сталі встановлено на кронштейнах поруч з еталонними зразками (Ст3), з якої виготовляють шарнірні лапи та трубопровід. Кронштейни приварено у шаховому порядку до поверхні лапи (рис. 3). Зразки розташовано так, що вони орієнтовані ребрами назустріч потоку гідроабразивної пульпи. Таким чином, ребра зразків зазнавали переважно механічного, абразивного зношування, а плоскі поверхні руйнувались здебільшого внаслідок корозії, оскільки потік пульпи рухався паралельно цим поверхням (практично нульовий кут атаки).

Габаритні розміри еталонів і зразків становили приблизно  $70 \times 50$  мм, товщина 5 мм.

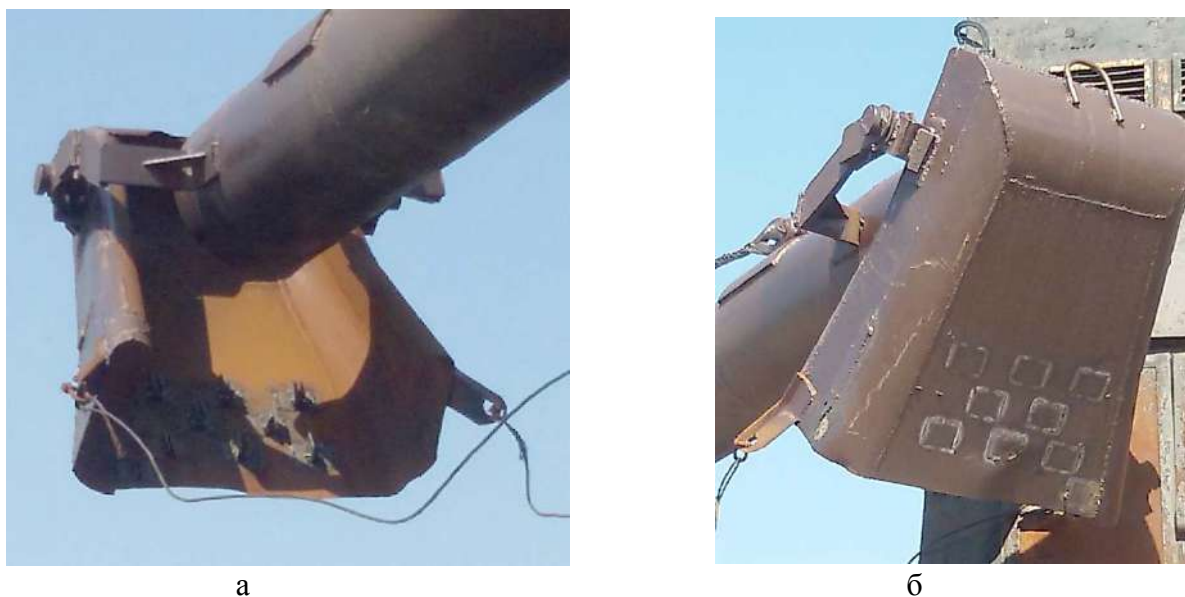


Рис. 3. Шарнірна лапа із привареними кронштейнами зі зразками:

а – робоча сторона; б – зворотна сторона

Зовнішній вигляд пари зразок-еталон наведено на рис. 4. Привертає увагу поверхня шарнірної лапи, яку вкрито шаром іржі.

Зовнішній вигляд внутрішньої поверхні шарнірної лапи та зразків після випробування впродовж періоду травень-грудень 2017 р. наведено на рис. 5. Звертають увагу блискучі поверхні шарнірної лапи, еталонів, наплавлених зразків. Одночасно зразки сталі 120Г3С2 було вкрито плівкою продуктів корозії (див. рис. 5, в).

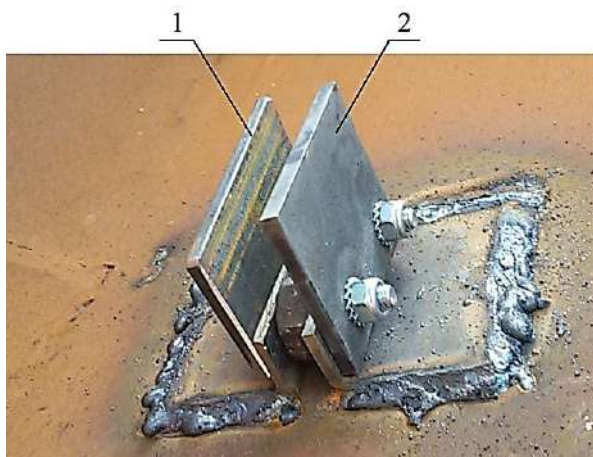


Рис. 4. Пара зразок-еталон, яку встановлено на кронштейнах  
1 – еталон; 2 – зразок із досліджуваних матеріалів



а



1 2

б



2 1

в

Рис. 5. Шарнірна лапа із зразками після випробувань:  
а – загальний вигляд; б – наплавлені зразки поруч з еталонами; в – зразок сталі 120Г3С2 поруч з еталоном; 1 – еталон; 2 – зразок

Вихідні дані щодо зразків і еталонів та результати їх випробувань наведено в табл. 1.



Аналіз результатів приводить до таких висновків.

Відносне зменшення товщини  $h$  зразка сталі 120Г3С2 після гартування від 800...820 °С в середньому в 3,2 рази більше, ніж еталона. Для зразків, що загартовано від 970...1000 °С цей показник становить 1,6. Отже, на перший погляд, і втрата маси  $m$  зразків повинна бути більшою, за втрату маси еталонів. Однак, відбувається навпаки. Відносна втрата маси для зразків, що загартовано від 800...820 °С, становить 0,9. Для зразків, які загартовано від 970...1000 °С, відповідно 1,0. Таким чином, зразки сталі 120Г3С2, незважаючи на значно більший лінійний знос, ніж у еталона, втратили масу практично на рівні еталона, або навіть менше.

Пояснення випливає з аналізу зовнішнього вигляду еталонів і зразків після випробувань.

На рис. 6 наведено зразок сталі 120Г3С2 та еталонний зразок після випробувань. Крайки зразків, які на рисунку показано зліва, зазнавали безпосередньої дії потоку пульпи. Отже, навіть без спеціальних вимірювань можна порівняти стійкість зразків до механічної складової гідроабразивного зношування.



Рис. 6. Зразки після випробувань:  
а – еталонний зразок; б – зразок сталі 120Г3С2

Контур робочої крайки зразка сталі 120Г3С2 практично не відрізняється від контуру протилежної крайки, яка не зазнавала дії гідроабразивного струменя (див. рис. 6, б). У той же час робоча крайка еталонного зразка зазнала досить великого зносу (див. рис. 6, а). Отже, стійкість робочої крайки зразку сталі 120Г3С2 до механічної складової гідроабразивного зношування є значно вищою у порівнянні з крайкою еталонного зразка із Ст3.

З метою кількісного порівняння характеристик стійкості вимірювали і порівнювали площини зношених контурів зразка і еталона. Для цього співставляли контури зразка і еталона до випробувань із їх контурами після випробувань. Схему наведено на рис. 7.

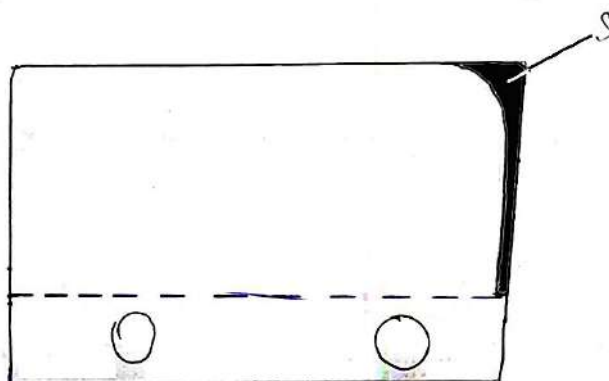


Рис. 7. Схема визначення зносу зразка

Для кожного зразка було знято його контур обведенням на папері до випробувань на гідроабразивне зношування. Після випробувань зразок прикладали до його вихідного контуру і повторно обводили контур зношеної крайки. Таким чином одержували проекцію зносу  $S$ . Площу проекції визначали у пікселях після сканування зображення у графічному пакеті ПК. Відносну зносостійкість зразка визначали як відношення проекції зносу відповідного еталону (якій зношувався поруч на кронштейні) до проекції зносу зразка. Проекції зносу всіх зразків і відповідних еталонів наведено на рис. 8.

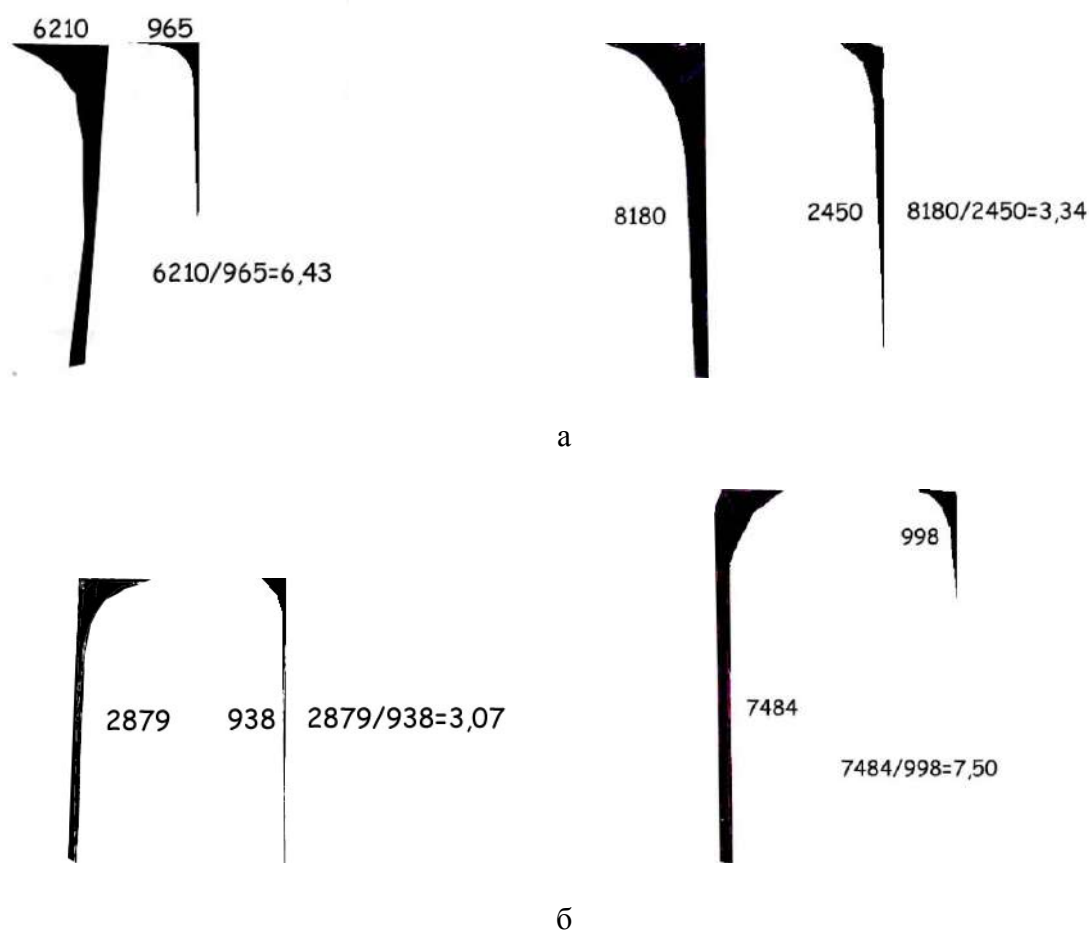


Рис. 8. Проекції зносу зразків сталі 120Г3С2 і відповідних еталонів, а також розрахунки відносної зносостійкості:

а – для зразків сталі 120Г3С2 після гартування від 800...820 °С та відповідних еталонів;  
б – для зразків сталі 120Г3С2 після гартування від 970...1000 °С та відповідних еталонів

На кожному рисунку більша площа відповідає еталону із Ст3, менша – зразку із сталі 120Г3С2. Розрахунки показують, що зносостійкість сталі 120Г3С2 коливається у досить широких межах, але можна стверджувати, що вона у будь-якому випадку у декілька разів вища, ніж зносостійкість еталону. В середньому відносна зносостійкість сталі 120Г3С2 до механічної складової гідроабразивного зношування складає 5,1.

Звертає увагу певна особливість зношування еталонних зразків. У деяких місцях відбувся дуже великий локальний знос (рис. 9). Це додатково свідчить про невелику стійкість еталонного матеріалу до механічної складової гідроабразивного зношування. До того ж зрозуміло, що неможливо передбачити, де саме з'являться місця локальної зміни кута атаки струменя і, отже, підвищеного зносу.



Рис. 9. Характер локального підвищеного зносу еталонного зразка

На зразках сталі 120Г3С2 також можна бачити місця підвищеного локального зносу, але загальний об'єм зношеного матеріалу в таких місцях є значно меншим (рис. 10).

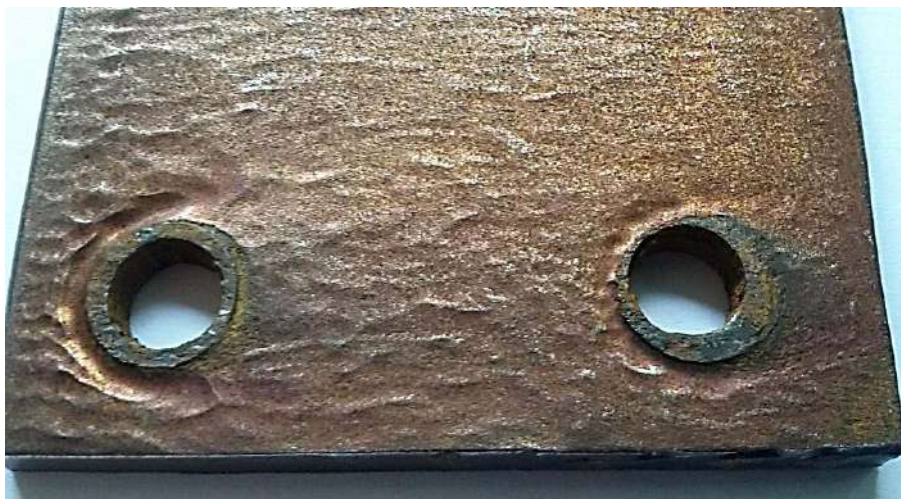


Рис. 10. Характер локального підвищеного зносу зразка сталі 120Г3С2

Таким чином встановлено, що характерною особливістю зношування деталей робочого тракту земснаряду є дуже великий діапазон умов руйнування поверхонь, оскільки кут атаки гідроабразивних струменів може змінюватись від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . За малих кутів атаки руйнування відбувається переважно за рахунок корозії. Якщо кути атаки наближаються до критичних, механізм зношування змінюється, і руйнування відбувається в режимі механічного зношування. Ця різниця в режимах руйнування добре простежується на різних елементах робочого тракту пульпопроводу. Більшість робочих поверхонь зношується незначно, їх знос за період однієї навігації складає приблизно 0,1 мм. Але в певних місцях, де гідроабразивні струмені рухаються непаралельно поверхням (всілякі завихрення потоків) спостерігається катастрофічний локальний знос. Деякі місця навіть зношено до наскрізних отворів (товщина металу 4–5 мм). Саме ці місця і є такими, що лімітують термін роботи тракту земснаряду. Через локальні катастрофічні зноси робочий тракт земснаряду потребує ремонту кожену навігацію.

Втрата маси наплавлених зразків виявилася приблизно вдвічі меншою, ніж еталонних зразків. Це свідчить про високу стійкість наплавленого металу як до механічної складової гідроабразивного зношування, так і до корозії. Поверхня наплавлених зразків після випробувань не має ознак корозії, а форма зразків практично не змінилася за весь час випробувань (рис. 11).





Рис. 11. Наплавлений зразок після випробувань

### ВИСНОВКИ

Використання наплавлення має сенс для локального захисту поверхонь, які зазнають гідроабразивного зношування за критичних кутах атаки і такі місця є заздалегідь відомими. Недоліком цього способу захисту є непрактичність виробництва у великих об'ємах, а також підвищена коштовність такого захисту. Якщо необхідно забезпечити високу зносостійкість великих об'ємів деталей для умов гідроабразивного зношування, а точні місця підвищеного зносу не є відомими, необхідно використовувати високоуглецеві сталі після гартування. Це дозволить у декілька разів підвищити термін експлуатації обладнання до поточного ремонту, незважаючи на підвищену швидкість корозії таких матеріалів у річковій воді.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 26101-84. Проволока порошковая наплавочная. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 76 с.
2. Осінов М. Ю. Изыскание и исследование износостойких наплавочных сплавов для работы в условиях абразивного изнашивания при повышенных температурах / М. Ю. Осінов // Нові матеріали і технології в металургії і машинобудуванні. – 2014. – № 1. – С. 52–57.
3. Abrasive Wear Resistance of High-Carbon Low-Alloy Steels After Isothermal Transformation of Metastable Austenite / O. Hesse, J. Liefelth, M. Kunert, A. Kapustyan, M. Brykov, V. Efremenko // The Ninth International Conference on Material Technologies and Modeling MMT-2016. – Ariel University, Ariel, Israel. July 25–29, 2016. – V. 1. – P. 58–64.
4. Bainit in Stählen mit hohem Widerstand gegen Abrasivverschleiß / O. Hesse, J. Liefelth, M. Kunert, A. Kapustyan, M. Brykov, V. Efremenko // Tribologie + Schmierungstechnik. – 2016. – № 2. – S. 5–13.
5. Износостойкость обезуглероженного слоя высокоуглеродистой низколегированной стали в экстремальных условиях трения / О. Хессе, М. Кунерт, В. Г. Ефременко, К. Шмицу, М. Н. Брыков, А. Е. Капустян // Наукові нотатки. – 2017. – № 58. – С. 301–307.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2018 р.