

УДК 537.6:544.64

Т.А. Роїк, Д.Б. Глушкова, В.П. Тарабанова, Л.М. Рак

**ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ МІЖ СТРУКТУРНИМ СТАНОМ І ЗНОСОСТІЙКІСТЮ СТАЛЕЙ
ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**

The paper is devoted to establishing of connection between of hardness, wear-resistance and the nature of structure. It is used structural analysis, measuring of microhardness and wearing tests. It is conducted the comparison of wear-resistances speed, microhardness of three steels 30Г, 25ХГСП, А335/А335М grade P22 (ASTM) for the details of scraper conveyer, which subjected to wear during the exploitation. It is established on the frequency curve of hardness distribution, that most of grains in the steel 25ХГСП was great hardness. That is one out of factors, which explains the very small wear-resistance's speed for 6 and 36 hours in this steel in the comparison with others steels. Such particular properties of steel 25ХГСП are connected with its structure, which is troostite with small quantity of dispersed carbides, arranged uniformly. The investigations, which are executed with using the method of electron microscope, allowed to establish, that the carbides of alloy elements in the steel 25ХГСП are enough dispersed, have spherical form and are disposed uniformly in the structure. It is positive fact for the wear-resistance, which promotes slowing – down and braking of intensive wearing details.

Вступ

Темпи розвитку вугільної промисловості багато в чому залежать від розроблення високоефективних технологічних процесів і матеріалів деталей, що забезпечували б збільшення надійності та довговічності шахтного обладнання. В цьому контексті особливе місце займають скребкові конвеєри, які є основною ланкою механізованого комплексу при видобутку вугілля [1, 2].

Передчасне руйнування найвідповідальніших деталей скребкових конвеєрів призводить до зменшення видобутку вугілля і створює умови для появи аварійних ситуацій. Аналіз досвіду експлуатації цього устаткування показав, що причиною виходу з ладу є зношування деталей вузлів конвеєрів в умовах абразивного зносу, що потребує частої заміни таких деталей, великої кількості запасних частин, призводить до позапланових простоїв обладнання та скорочення строків міжремонтних періодів. Тому встановлення характеру зносу деталей скребкових конвеєрів і виявлення чинників, що впливають на зносостійкість, є актуальним завданням, вирішення якого дасть змогу істотно підвищити строк служби шахтного устаткування.

Відомо, що твердість матеріалу впливає на величину взаємного проникнення мікронерівностей поверхонь, що повною мірою стосується і деталей, які піддаються тертю [3]. Від величини твердості залежать площа фактичного торкання поверхонь та об'єм матеріалу, що піддається деформаційному впливу [4].

Для збільшення зносостійкості та працездатності скребкових конвеєрів насамперед необхідно збільшити твердість елементів, що спрацьовуються. При цьому треба враховувати, що деталі скребкових конвеєрів зношуються не тільки абразивною масою, але й деталями самого конвеєра: профіль боковини риштака контактує з тяговим ланцюгом, а скребок – з днищем риштака. Деталі шахтного устаткування піддаються прискореному руйнуванню, викликаному спільною дією на них великих абразивних мас вугілля, рідкого середовища (води), гірських порід, високого механічного напруження [1]. Все це істотно ускладнює визначення характеру зносу і руйнування таких деталей.

Всі види взаємодії контактуючих поверхонь деталей скребкових конвеєрів відбуваються за кількома схемами. Одна зі схем враховує зниження опору матеріалу руйнуванню в результаті дії на поверхневий шар деталі одночасно рідкої фази з абразивною, які входять до складу робочого середовища [4]. Природу руйнування деталей днища і ланки тягового ланцюга скребкового конвеєра можна охарактеризувати як специфічну форму абразивного зносу з елементами механіко-корозійного зносу [5, 6].

Одним із чинників, що зменшують інтенсивність зношування, є збільшення твердості поверхневих шарів ланок ланцюгів до величин, що перевищують твердість елементів, які входять в абразивний прошарок гірської породи. Відомості про технологічні способи зміцнення поверхневих шарів такого роду деталей наведені у працях [3–6]. Проте на сьогодні залишаються не з'ясованими питання впливу структур-

ного стану на зносостійкість і, особливо, на швидкість зношування.

Вказані обставини зумовили необхідність проведення досліджень твердості та зносостійкості деталей скребкового конвеєра, що є найбільш інформативними для оцінки працездатності та надійності вказаних деталей залежно від характеру їх структуроутворення.

Виконання досліджень у цьому напрямі дає можливість науково обґрунтовано підходити до вибирання марок сталей для деталей, що піддаються інтенсивному зношуванню у процесі функціонування, зокрема деталей скребкового конвеєра, та рекомендувати для них оптимальні режими експлуатації.

Постановка задачі

Мета досліджень – встановити зв'язок між твердістю, зносостійкістю і характером структуроутворення матеріалів деталей скребкового конвеєра та на цій основі рекомендувати сталь, яка здатна забезпечити високу зносостійкість, надійність і довговічність деталей.

Матеріали і методика дослідження

Матеріалами дослідження були три сталі, які застосовуються для виготовлення деталей скребкового конвеєра: 30Г, 25ХГСП, А335/А335М grade P22 (ASTM, США), які піддавались нормалізації (нагріванню вище критичної точки A_{c3} і охолодженню на повітрі).

Порівняльні випробування сталей на зносостійкість проводили за схемою “колодка–диск” на лабораторному стенді СМЦ-2. Припрацювання становило 30 хв при навантаженні 1,0 кгс з подальшим збільшенням до 3,0 кгс; швидкість ковзання – 0,63 м/с. Склад робочого середовища: вугілля марки ДГен дисперсністю 400 мкм і нижче – 3 г; кварцовий пісок дисперсністю 200 мкм і нижче – 10 г; тальк – 5 г; графіт – 0,5 г; вода – 60 г. Досліджувалась зносостійкість вказаних сталей у парі тертя зі сталлю 35ХГСА, твердість якої становила 340–350 НВ.

Мікроструктуру досліджуваних матеріалів вивчали при збільшенні у 600 разів з допомогою портативного металографічного мікроскопа МЕТ1, який призначений для дослідження мікроструктури металів і сплавів у віддзеркаленому світлому полі при прямому освітленні та оснащений програмним забезпеченням. Тонку

структуру металу вивчали на електронному мікроскопі при збільшенні в 10000 разів.

Результати експериментів і їх обговорення

Результати металографічних досліджень показали, що після нормалізації структура сталі 30Г складається із зерен фериту і перліту у співвідношенні приблизно 1:1. Зерна переважно дрібні та мають твердість у межах 220–250 НВ. Інформацію про більш точну будову структурних складових було підтверджено з використанням електронного мікроскопа.

На рис. 1 зображено частотні криві розподілення мікротвердості перлітної (а) та феритної (б) структурних складових. Як видно, пік розподілення мікротвердості феритних зерен відповідає $H_{\mu} = 1750$ МПа, а перлітних зерен – $H_{\mu} = 2500$ МПа, що є незадовільними величинами твердості з точки зору опору абразивному зношуванню.

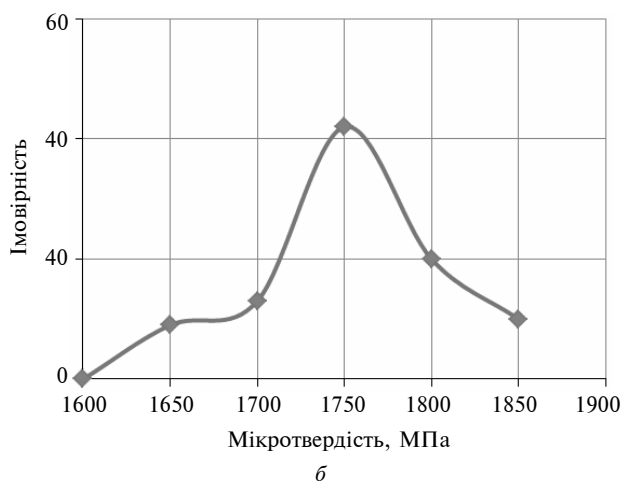
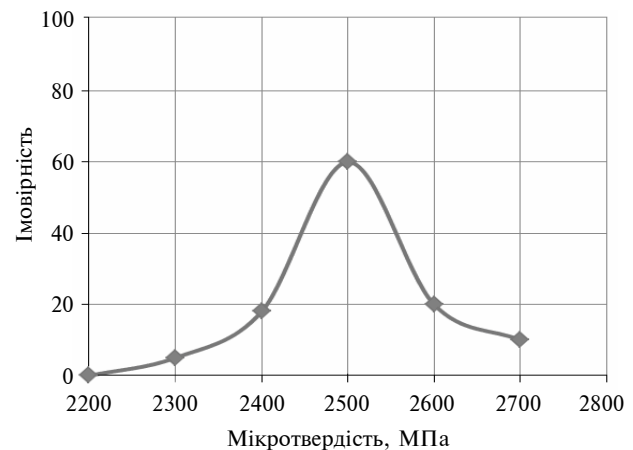


Рис. 1. Частотні криві розподілення мікротвердості перлітної (а) і феритної (б) структурних складових сталі 30Г

При дослідженні сталі 25ХГСП було визначено, що її структура – це троостит і невелика кількість дрібних карбідів, розміщених рівномірно (рис. 2). Хоча вуглецю в цій сталі невелика кількість (0,25 %) і навіть дещо менше, ніж у сталі 30Г, але наявність таких легуючих елементів, як Cr, Mn, Si, В, зсуває точку “S” на діаграмі Fe–Fe₃C ліворуч, що призводить до формування структур, наближених до евтектоїдних. Також ці легуючі елементи зміщують С-подібну діаграму праворуч, зменшують критичну швидкість охолодження й сприяють формуванню при охолодженні на повітрі трооститної структури, яка значно дисперсніша за перліт, у результаті чого досягається більша твердість, ніж у сталі 30Г. Твердість сталі 25ХГСП перебуває в межах 380–390 НВ.

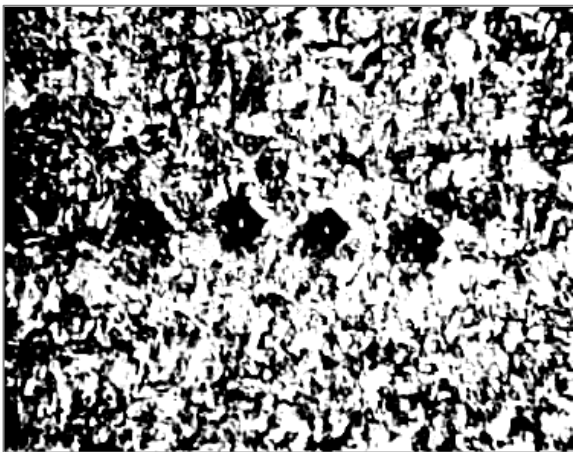


Рис. 2. Мікроструктура сталі 25ХГСП, $\times 600$

Дослідження, які проведені з використанням методу електронної мікроскопії, дали можливість встановити, що карбіди легуючих елементів достатньо дисперсні, мають сферичну форму і розміщені рівномірно у структурі сталі 25ХГСП.

З точки зору зносостійкості це позитивний факт, який свідчить про уповільнення та гальмування процесів інтенсивного зношування деталей внаслідок вказаного розподілу карбідної фази в структурі сталі, що сприяє стабільній роботі деталей, які піддаються зношуванню.

На рис. 3 зображена частотна крива розподілення мікротвердості сталі 25ХГСП. Як свідчать результати вимірювань, більшість зерен трооститу ($\approx 60\%$) мають мікротвердість $H_{\mu} = 3800$ МПа.

Значення мікротвердості сталі 25ХГСП (рис. 3) більш ніж у 1,5 разу перевищує цей

показник для низьколегованої сталі 30Г, що вказує на здатність сталі 25ХГСП чинити більший опір зношуванню в процесі експлуатації.

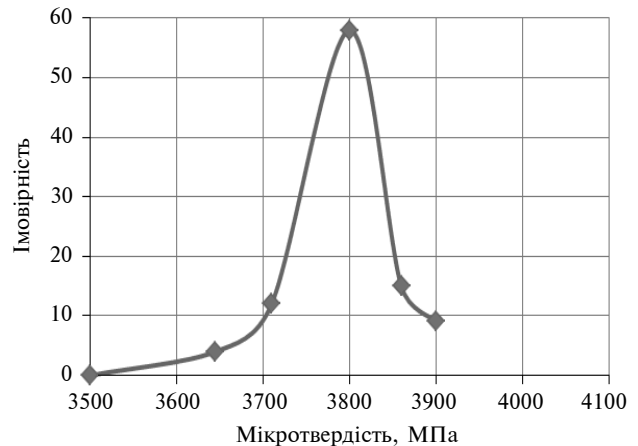


Рис. 3. Частотна крива розподілення мікротвердості сталі 25ХГСП

Дослідження сталі A335/A335M grade P22 (ASTM, США) показали, що її структура – сорбіто-трооститна, наявні у невеликій кількості перліт і вкраплення карбідів. Характерною є повна відсутність феритних зерен. Це пов'язано з тим, що хоча в сталі вміст вуглецю 0,15–0,20 %, але наявність легуючих елементів Cr, Mn, Si наближує сталь до евтектоїдного стану. Вказані легуючі елементи зменшують критичну швидкість охолодження, сприяючи формуванню при охолодженні на повітрі сорбіто-трооститної структури. Оскільки в цьому випадку інкубаційний період розпаду аустеніту в сталі A335/A335M менший, ніж у сталі 25ХГСП, то в структурі сталі A335/A335M з'являється сорбіт, а у деяких випадках і перліт.

Якщо порівняти результати електронно-мікроскопічних досліджень сталей 25ХГСП і A335/A335M, то можна сказати, що, як правило, в сталі A335/A335M карбіди більші за розміром. Цей факт спричиняє зменшення зносостійкості деталі, виготовленої зі сталі A335/A335M.

На рис. 4 зображена частотна крива розподілення мікротвердості в сталі A335/A335M. Видно, що більшість зерен сталі A335/A335M мають мікротвердість $H_{\mu} = 3300$ МПа. Макротвердість цієї сталі перебуває в межах 320–330 НВ.

Аналіз порівняльних даних показує, що за значеннями твердості сталь A335/A335M поступається сталі 25ХГСП, яка має іншу структурну будову, а отже, і відмінні значення твердості.

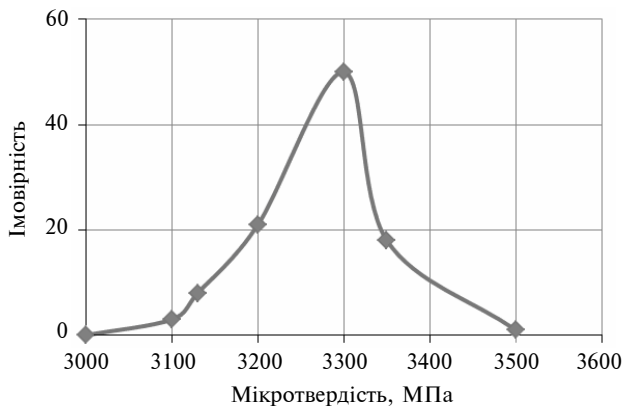


Рис. 4. Частотна крива розподілення мікротвердості сталі A335/A335M

Таким чином, на основі аналізу мікроструктури, макро- і мікротвердості сталей, що досліджувалися, можна визначити, що кращі результати щодо зносостійкості має показати сталь 25ХГСП. Таке припущення ґрунтується на тому факті, що сталь 25ХГСП має найбільші з порівнюваних сталей мікротвердість і макротвердість, що є, як показали електронно-мікроскопічні дослідження, наслідком особливостей її структури (насамперед завдяки наявності більш дисперсних і рівномірно розміщених карбідів у структурі матеріалу — це має істотно вплинути на збільшення зносостійкості сталі).

Зносостійкість матеріалів часто оцінюють за величиною, що зворотна швидкості або інтенсивності зношування. Інтенсивність зношування залежить від великої кількості чинників, насамперед від твердості матеріалів пари, що

підлягає тертю. У процесі експериментів досліджувалась зносостійкість сталей 30Г, 25ХГСП і А335/А335М у парі тертя зі сталлю 35ХГСА.

Практично при будь-якому характері процесу зношування металів і сплавів важливою характеристикою є не стільки абсолютна величина зносу за певний проміжок часу, скільки кінетика самого процесу. Її оцінюють зазвичай швидкістю зношування матеріалу за одиницю часу з одиниці площі тертя $V_{\text{зн}}$. Саме зміна швидкості зношування дає можливість прогнозувати величину можливого зносу деталей (зразків) за будь-який тривалий період їх експлуатації.

На рис. 5, 6 наведені гістограми швидкості зношування досліджуваних сталей відповідно після 6 і 36 год випробувань. Як видно, зі збільшенням часу випробувань з 6 до 36 год швидкості зношування всіх досліджуваних сталей зростають. Цей факт пояснюється двома причинами. При більш тривалому перебуванні металу в контакті з водою, яка входить до складу робочого середовища, відбувається його корозія спочатку на поверхні, а далі розповсюджується у глибину деталі, захоплюючи все більші ділянки об'єму і тим самим спричиняючи знеміцнення матеріалу. Крім того, у процесі роботи з часом відбувається подрібнення абразивних частинок вугілля, піску (абразивної маси), і тоді їх вплив на процес зношування металу проявляється більш активно, хоча сама собою абразивна дія маси повинна зменшуватися під дією води. Тобто тут відбуваються два конкуруючих процеси, які перекривають один одно-

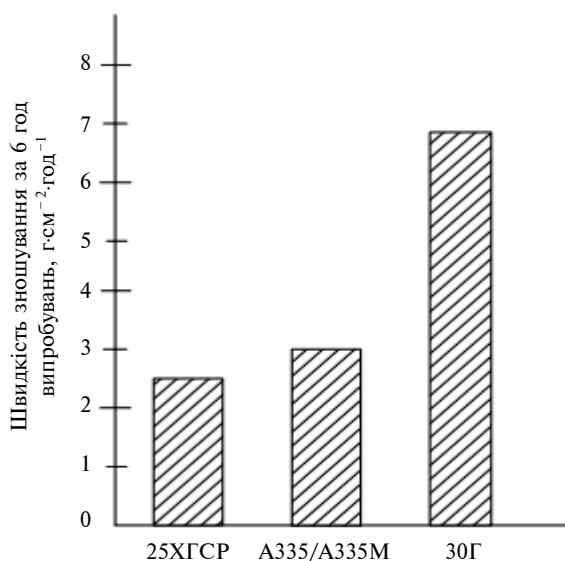


Рис. 5. Гістограма швидкості зношування сталей за 6 год випробування

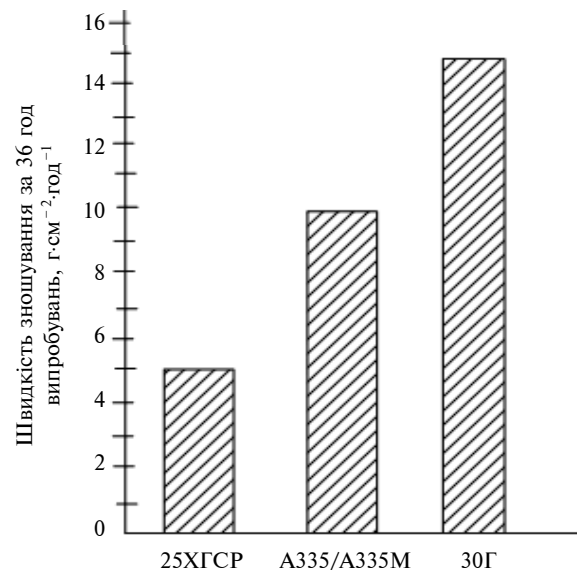


Рис. 6. Гістограма швидкості зношування сталей за 36 год випробування

го, але з часом превалюючим процесом є зростання абразивної дії маси.

Як після 6 год, так і після 36 год (див. рис. 5, 6) випробувань найбільша швидкість спрацьовування спостерігається для сталі 30Г, а найменша – для сталі 25ХГСР.

Для пояснення отриманих кількісних характеристик зносостійкості сталей 30Г, 25ХГСР і А335/А335М необхідно проаналізувати деякі особливості їх структурного стану, величин твердості, що прямо чи опосередковано впливають на процес зношування в абразивно-корозійному середовищі.

Результати металографічних досліджень дали змогу пояснити закономірності отриманих даних щодо зносостійкості, а саме: сталь 30Г має найменшу зносостійкість, насамперед тому, що має ферито-перлітну структуру і, як наслідок, найменшу твердість.

У сталі 25ХГСР твердість істотно більша за твердість сталей 30Г і А335/А335М за рахунок трооститної структури з дрібними вкрапленнями карбідів. Що стосується сталі А335/А335М, то наявність в її структурі поряд з трооститом зерен сорбіту, а також більших за розміром карбідів змінює характер тертя у парі з більш твердим матеріалом, яким є сталь 35ХГСА, що призводить до зниження зносостійкості деталі.

Висновки

Встановлено взаємозв'язок між твердістю, зносостійкістю та характером структуроутво-

рення деталей скребкового конвеєра, що дає змогу вибрати матеріал, структура якого здатна забезпечити максимальний рівень зносостійкості. Такою структурою є структура трооститу сталі 25ХГСР.

У результаті експериментів виявлено, що швидкість зношування залежить від структурного стану матеріалу та його мікро- і макротвердості.

Серед досліджуваних сталей найбільша швидкість зношування виявлена у сталі 30Г, яка має ферито-перлітну структуру і твердість 220–250 НВ. Найменша швидкість зношування – у сталі 25ХГСР, яка має трооститну структуру і твердість 380–390 НВ.

Показано, що зі збільшенням часу випробувань з 6 до 36 год швидкість зношування усіх досліджуваних сталей зростає. Мінімальні показники зношування демонструє сталь 25ХГСР, що пов'язано з відмінностями її структурного стану. Це дає змогу рекомендувати сталь 25ХГСР для виготовлення деталей скребкового конвеєра, які піддаються специфічній формі абразивного зносу з елементами механіко-корозійного зносу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення впливу структурного стану сталей для деталей скребкового конвеєра на комплекс їх фізико-механічних характеристик та корозійну стійкість, що сприятиме цілеспрямованому вибиранню марок сталей для забезпечення надійності та довговічності шахтного обладнання.

1. *Высоцкий Г.В., Кириченко И.Г., Леусенко А.В.* Шахтные скребковые конвейеры: Монография. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2011. – 566 с.
2. *Ковальчук А.Н., Глушкова Д.Б., Мощенок В.И.* Материалы для ответственных деталей машин // Сб. 7-й Междунар. конф. “Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях”, Карпаты, Славское, 2007. – С. 226–229.
3. *Тененбаум М.М.* Стойкость конструкционных материалов и деталей при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1996. – 332 с.
4. *Файнлейб А.М.* Влияние твердости деталей на абразивную износостойкость сопряжения // *Металловедение и терм. обработка металлов.* – 1997. – № 4. – С. 64–65.
5. *Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П., Нестеренко Е.А.* Влияние различных видов поверхностной обработки на состояние поверхности трения // 8-я Междунар. научно-практ. конф. “Дни науки-2012”. – Прага, 2012. – 89. – С. 53–58.
6. *Роик Т.А., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П.* Влияние химического состава на твердость и износостойкость деталей // *Вестник НТУ “ХПИ”.* – 2012. – № 63. – С. 92–98.