

Фесюк Артем Романович

Магістерська робота

**Дослідження та обґрунтування раціональних способів та заходів
підвищення абразивної стійкості
робочого обладнання гірничих машин**

Керівник

доц., к.т.н. Хруцький А.О.

ВСТУП

Підвищення якості будь-якої продукції, у тому числі гірничої техніки, стає все більш важливим в умовах конкурентної боротьби її виробників в усьому світі. Економічна сутність проблеми передбачає краще використання виробничих потужностей, заощадження сировини, матеріалів, палива та енергії і в кінцевому рахунку – підвищення продуктивності праці. В багатьох країнах для цього створюються національні організації з контролю за якістю і ця тенденція набуває характеру державної технічної та економічної політики.

Особлива роль у боротьбі за якість продукції належить машинобудівникам, адже від якості, надійності та довговічності машин і обладнання залежить технічний рівень усіх інших галузей промисловості.

Чим важче умови роботи техніки, тим важливіше значення має проблема забезпечення її надійної безвідмовної роботи. Гірниче обладнання – яскравий приклад такої ситуації. Гірничодобувні та гірничозбагачувальні машини працюють в надзвичайно важких умовах експлуатації, що відрізняються високими статичними і динамічними навантаженнями робочих процесів, міцністю та абразивністю більшості корисних копалин і продуктів їхньої переробки, запиленістю робочих зон видобутку, перевантаження, транспортування та переробки гірничої маси, агресивністю шахтних вод та хімічних реагентів деяких процесів збагачення, температурними та вітровими навантаженнями відкритих кар'єрів тощо [1-10].

Такі обставини призводять до швидкого зносу і виходу з ладу найбільш вразливих деталей і вузлів гірничих машин. А втрата працездатного стану технічного обладнання неминуче позначається на економічних показниках діяльності підприємства внаслідок зниження випуску продукції через його простої, необхідності в ремонтних роботах для пошуку причин відмов та відновлення техніки.

Відмови обладнання виникають з різних причин, але у значному ступені надійність та довговічність гірничої техніки залежить від якості поверхонь їхніх деталей, особливо тих, що безпосередньо контактують з гірничою масою. Поверхневий шар таких конструктивних елементів суттєво впливає на експлуатаційні хара-

ктеристики деталей, адже він є найбільш вразливим у випадках згинальних та крутних навантажень, а також корозійних процесів. Недивно, що створенню технологій та техніки для зміцнення поверхонь відповідальних деталей та вузлів гірничої техніки приділяється підвищена увага її дослідників та розробників.

З оглядку на це, важливість та актуальність тема представленої класифікаційної магістерської роботи, присвяченої дослідженню та обґрунтуванню раціональних способів і заходів підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничих машин, не викликає жодних сумнівів.

Об'єкт дослідження – технологічні операції підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничих машин та обладнання суміжних галузей промисловості.

Предмет дослідження – засоби підвищення абразивної стійкості гірничого обладнання.

Наукове положення – використання розглянутих розробок для захисту гірничого обладнання від зносу дозволяє скоротити економічні втрати на 15% у короткочасній перспективі (до 10 років) та на 30% – у більш тривалому терміні (до 20 років).

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Аналіз причин відмов механічного та електричного обладнання

Робота машин, механізмів, пристосувань відбувається в умовах постійного впливу на них різноманітних навантажень. Останні можна розділити на робочі і постійно діючі, зовнішні і внутрішні, механічні, електричні, теплові тощо.

Робочі навантаження зумовлені характером взаємодії машини з робочим об'єктом. Для машинобудівництва, наприклад, таким об'єктом є метали та інші матеріали, що обробляються різного роду верстатами. Для гірничої промисловості це гірський масив, в який впроваджуються робочі органи бурильних машин, відбита гірнича маса, яку завантажують і транспортують різноманітні машини, призначені для виконання таких операцій. Опори, що створюються при цьому робочим об'єктом, викликають появу зусиль, моментів і деформацій, можуть перевищувати допустимі межі міцності, витривалості та жорсткості деталей робочих органів машин і ставати причинами виходу останніх з ладу внаслідок зносу, руйнування, спотворення розмірів і форм тощо. Чим більш динамічні режими роботи машин (а сучасна техніка зазвичай працює в умовах високих швидкостей, прискорень та навантажень для підвищення продуктивності праці), тим важче умови їхньої експлуатації і тим більше причин для відмов особливо високонавантажених деталей. Робочі навантаження в процесі роботи обладнання можуть змінюватися у широких межах як за величиною, так і за інтенсивністю. Особливо це стосується таких несприятливих з точки зору надійності та довговічності режимів роботи, як ударні та вібраційні.

Постійно діючі навантаження виникають в результаті впливу на обладнання більш-менш мінливого навколишнього середовища. Мова йде про вітрові навантаження на техніку, що працює просто неба (наприклад, у кар'єрах), вплив температури повітря, сонячної радіації, агресивних шахтних вод, запиленості робочих зон. Змінність цих факторів набагато менша у порівнянні з робочими навантаженнями, але вона є (хоча останній із вказаних може варіюватися у часі достатньо по-

мітно). Постійно діючі навантаження можуть викликати серйозні відмови обладнання внаслідок зносу, корозії, старіння матеріалів.

Що стосується зовнішніх та внутрішніх навантажень, то різниця між ними полягає в основному в напрямку та місцях дії цих навантажень. Якщо перші з них є наслідком впливу зовнішніх факторів (зусиль, моментів, навколишнього середовища), що другі виникають в результаті процесів, що відбуваються у самій машині і залежать від її конструктивного виконання та режиму роботи. Прикладами таких внутрішніх навантажень можуть служити тертя контактних деталей (наприклад, у підшипникових вузлах), теплові та ударні навантаження в циліндрах двигунів внутрішнього згоряння.

Окрім механічних робочих навантажень значний вплив на працездатність сучасної техніки мають теплові та електричні. Значна частка промислових машин змушені працювати в умовах зовнішніх або внутрішніх теплових навантажень. Перші виникають внаслідок впливу зовнішніх джерел тепла (наприклад, в обладнанні, що працює в домнах, плавильних та випалювальних печах, агломераційних машинах, прокатних станах – всюди, де ми маємо справу з нагрітим або розплавленим металом або із згорянням того чи іншого палива. Другі виникають через виділення тепла всередині конструкції машини через тертя її деталей або протікання теплових процесів (тут знову можна згадати теплові двигуни різних конструкцій). В усіх таких випадках теплові навантаження виникають за рахунок лінійного та об'ємного розширення металевих деталей та вузлів під час нагрівання. В умовах щільного пакування деталей у вузлах це викликає появу надлишкових зусиль і небажаних деформацій. Теплові навантаження можуть мати й протилежний характер при дуже низьких температурах, коли деталі стискаються, а міцні у звичайних умовах сталі стають крихкими і не витримують ударів.

Під час роботи електричного обладнання звичайними є електричні навантаження, які можуть викликати перегрівання обмоток, підгоряння контактів тощо.

Таким чином, критеріями працездатності та ступеня опірності механічного обладнання виникненню відмов потрібно вважати міцність та жорсткість його найбільш відповідальних з точки зору умов експлуатації конструктивних елемен-

тів, а також (для деяких конструкцій машин) – тепло-, зносо- та вібростійкість їхніх вузлів та деталей [7]. Належне забезпечення цих вимог обов'язкове під час проектування, виготовлення та експлуатації будь-якого механічного та електричного обладнання, у тому числі гірничого.

1.2 Загальні відомості та класифікація видів зносу механічного обладнання

Тертя в деталях та вузлах машин призводить до суттєвих втрат енергії та зносу сполучних конструктивних елементів і робочих органів. Знос порушує нормальні взаємодії складових частин техніки, герметичність робочих просторів механізмів, знижує кінематичну точність машин, спотворює режим змащення, обумовлює додаткові навантаження та удари, стає причиною аварій і виходу з ладу механічного обладнання через втрату його працездатного стану.

Знос деталей машин і механізмів супроводжується величезними матеріальними втратами в усіх галузях промисловості. Наприклад, одна щоквадратна дробарка вагою у 5 т протягом року зношує під час дроблення високоміцних абразивних гірничих порід 17 т дробильних плит, виготовлених зі сталі Г13Л (сплав Гатфільда). Вартість цих зношених деталей у 2,5 рази перевищує вартість нової дробарки разом із запасним комплектом таких плит.

Взагалі, знос є однією з основних причин відмов обладнання в результаті досягнення ним граничних станів. Статистичні дані свідчать, що у низці галузей машинобудування відмови обладнання внаслідок зносу поверхонь деталей досягають 50-80% усіх експлуатаційних відмов.

Таким чином, знос у більшості випадків визначає не лише надійність та довговічність техніки, але й економічність машин. Тому не дивно, що процес створення високоякісного та надійного механічного обладнання безпосередньо пов'язаний з підвищенням зносостійкості його деталей.

Проблеми зносу в техніці вивчає наука трибологія, яка розглядає його особливості з урахуванням властивостей матеріалів та змащення.

Від зносу потерпають здебільшого зовнішні поверхні деталей. Руйнування

поверхневого шару твердих тіл під час тертя обумовлюється здебільшого впливом зовнішніх факторів механічного впливу на поверхні тертя, зовнішнього середовища та властивостями тертьових тіл. Параметрами зовнішніх умов тертя є величина питомого тиску, характер навантаження, швидкість відносного переміщення тертьових тіл, температура, форма і розмір контактних поверхонь, режим змащення, наявність абразиву у зоні тертя.

За І.В. Крагельським існує п'ять основних видів руйнування поверхонь металевих деталей внаслідок порушення існуючих фрикційних зв'язків [11] (рис. 1.1). Схема *I* показує пружне відтиснення (деформування) матеріалу виступами індентора у випадку, коли у зоні контакту не виникають напруження, що не перевищують межі текучості або міцності матеріалу. На схемі *II* – пластичне відтиснення матеріалу; контактні напруження досягають межі текучості, але матеріал обтікає виступи контр тіла, що впровадилося в нього. Мікрорізання на схемі *III* відбувається, коли контактні напруження стають руйнівними. Усі три описані види відносяться до порушень фрикційних зв'язків при механічному впливі. Наступні два характеризують молекулярний рівень впливу. На схемі *IV* адгезійне порушення фрикційного зв'язку не викликає руйнування, але впливає на величину діючих на контакті напружень та деформацій. Нарешті, на схемі *V* показаний когезійний відрив матеріалу так називаного схоплювання поверхонь.

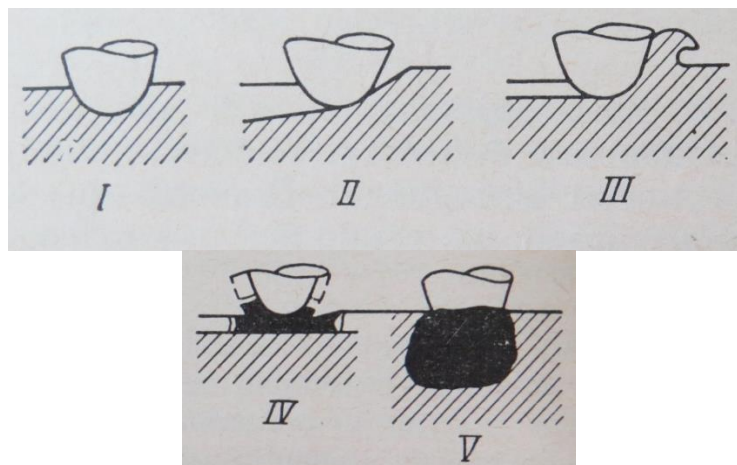


Рисунок 1.1 – Основні види руйнування поверхонь:

- I* – пружне відтиснення матеріалу; *II* – пластичне відтиснення матеріалу;
III – зрізання впровадженого матеріалу; *IV* – схоплювання плівок;
V – схоплювання поверхонь та виривання матеріалу

Отже, механізм зносу за І.В. Крагельським є процесом механічного руйнування, ускладненим фізико-хімічними зміненнями поверхневих шарів матеріалу. Число навантажень, необхідне для руйнування, залежатиме від початкової міцності матеріалу, його опору втомним явищам та умов навантаження.

Класифікація видів зносу має велике значення для підвищення довговічності машин та створення теорії цих процесів [12,13].

У загальному вигляді розділення видів зносу по категоріям може бути наступним (за класифікацією М.М. Хрущова) [14]:

- механічні види зносу:
 - абразивний знос в результаті взаємної ріжучої дії нерівностей поверхонь контактуючих деталей або сторонніх твердих частинок, які ушкоджують ці поверхні в процесі руху відносно них;
 - знос внаслідок дії пластичного деформування;
 - знос, пов'язаний з процесом крихкого руйнування;
 - втомний знос;
- молекулярно-механічний (адгезійний) знос в результаті взаємного схоплення або заїдання поверхонь;
- корозійно-механічні види зносу:
 - корозійний знос;
 - окислювальний знос;
 - фретінг-корозія.

Б.І. Костецький розрізняє такі види зносу [15]:

- адгезійний знос схоплюванням першого роду;
- окислювальний (корозійно-механічний) знос;
- тепловий знос (схоплювання другого роду);
- віспоподібний (втомний) знос;
- абразивний знос.

Кожна деталь, що працює в тих чи інших умовах сполучення і тертя, має певний чітко виражений домінуючий вид зносу, що лімітує її стійкість під час експлуатації. При цьому вона може мати й супутні види зносу, які впливатимуть на її

зносостійкість набагато менше. Така різноманітність режимів зносу пояснюється нерівномірністю навантажень на поверхні тертя.

Процеси зносу обумовлені виникненням в місцях контакту пластичних деформацій металу, його зміцнення, різання, утворення та руйнування металевих зв'язків, адсорбції, дифузії та появи нових хімічних сполук, нагріву та змінення завдяки ньому властивостей металів, розвитку втомних явищ тощо.

Наприклад, *знос захоплюванням першого роду (адгезійний знос)* виникає в процесі взаємного тертя ковзання контактних поверхонь з відносно малими швидкостями останніх (більше 1 м/с), але значними питомими тисками, які можуть перевищувати межу текучості металу на ділянках контакту в умовах відсутності змащення та захисних окисних плівок. Великі питомі тиски викликають місцеві пластичні деформації з утворенням металевих контактів, які провокують захоплювання металів та заїдання сполучних поверхонь. Коефіцієнт тертя ковзання при цьому може досягати значних величин (до 4-6). В результаті таких процесів тертьові поверхні інтенсивно руйнуються з відривом частинок від однієї та переносом їх на іншу. Мікрорельєфи поверхонь стають все більш шорсткими, на них утворюються глибокі задирки металу. На цих ділянках концентруються високі напруження та розвиваються втомні тріщини, які швидко призводять до руйнування деталей.

Окислювальний (корозійно-механічний) знос представляє собою процес поступового руйнування тертьових поверхонь металевих деталей машин під впливом дії тертя ковзання та тертя кочення. Він відбувається при достатньо високих відносних швидкостях (до 6-7 м/с при сухому терті та до 20 м/с в умовах граничного змащення) і характеризується одночасним протіканням двох взаємопов'язаних процесів: мікропластичної деформації у поверхневих шарах деталей та дифузії кисню у пластичнодеформований метал. Кожен з них суттєво сприяє підвищенню швидкості іншого.

Спочатку метал на поверхнях терті окислюється повільно з утворенням твердих розчинів кисню в ньому, потім процес прискорюється за рахунок хімічного поєднання кисню з металом, яке робить останній крихким і пришвидшує руйну-

вання його поверхневого шару. Утім, цей різновид зносу відрізняється порівняно невеликою інтенсивністю (0,1-0,5 мкм/год.).

Тепловий знос виникає за рахунок нагріву зони тертя до температури розм'якшення металу і супроводжується виникненням місцевих металевих зв'язків на тертьових поверхнях (схоплювань другого роду). Процес відбувається під час тертя ковзання з доволі високими швидкостями відносного переміщення поверхонь тертя (більше 3-4 м/с). З підвищенням температури металу його опір зносу падає і сприяє розвитку пластичних деформацій та утворенню зв'язків між контактуючими деталями. Інтенсивність зносу достатньо висока і може дорівнювати 1-5 мкм/год.

Віспоподібний знос має в основному втомне походження і виникає на тертьових поверхнях деталей машин при терті кочення в сухих умовах та зі змащенням коли питомі тиски перевищують межу текучості металу. При цьому на малих площинах контакту з'являються мікропластичні деформації стискання, зміцнення та розміцнення металу. Точковість контактів пояснюється неточністю виготовлення поверхонь, а також їхньою деформацією під впливом навантажень і температур. Структура поверхневого шару деталей змінюється при цьому в умовах надлишкового наклепу, який супроводжується відшаруванням дрібних металевих частинок. Окремі точкові дефекти поверхонь поступово об'єднуються у тріщини з поодинокими та груповими віспоподібними западинами.

Контактні циклічні навантаження мають високі градієнти напружень і діють в основному у поверхневих шарах деталей. При цьому мастила, які повинні захищати поверхні тертя від зносу, в даному випадку можуть відігравати негативну роль: вони потрапляють в тріщини і під час взаємного переміщення контактуючих поверхонь набувають високого тиску й додатково розклинюють і розривають ці тріщини. Подальший розвиток останніх перетворює їх на западини. Такий процес ще називається пітінгом.

Нарешті, *абразивний знос*, як вже говорилося вище, викликається дією сторонніх твердих частинок (наприклад, гірничої маси, пилу, піску, дрібної металевої стружки), що переміщаються відносно поверхні деталі. Оскільки тема представ-

леної роботи присвячена боротьбі саме з таким видом зносу, зупинимося на його природі більш докладно в наступному підрозділі.

1.3 Аналіз особливостей абразивного зносу деталей машин

Абразивний знос поверхонь деталей машин відбувається за рахунок їхнього інтенсивного руйнування шляхом мікропластичних деформацій та зрізання металу частинками абразивного середовища. Останні можуть вражати деталі зовні (наприклад, під час контакту робочих органів гірничих машин з породою), а також проникати у неякісно ущільнені закриті вузли тертя (наприклад, підшипники, зубчасті пари тощо). Різновиди абразивного зносу залежать від конкретної схеми взаємодії твердих частинок з поверхнями. Деякі з них показана на рис. 1.2 [13].

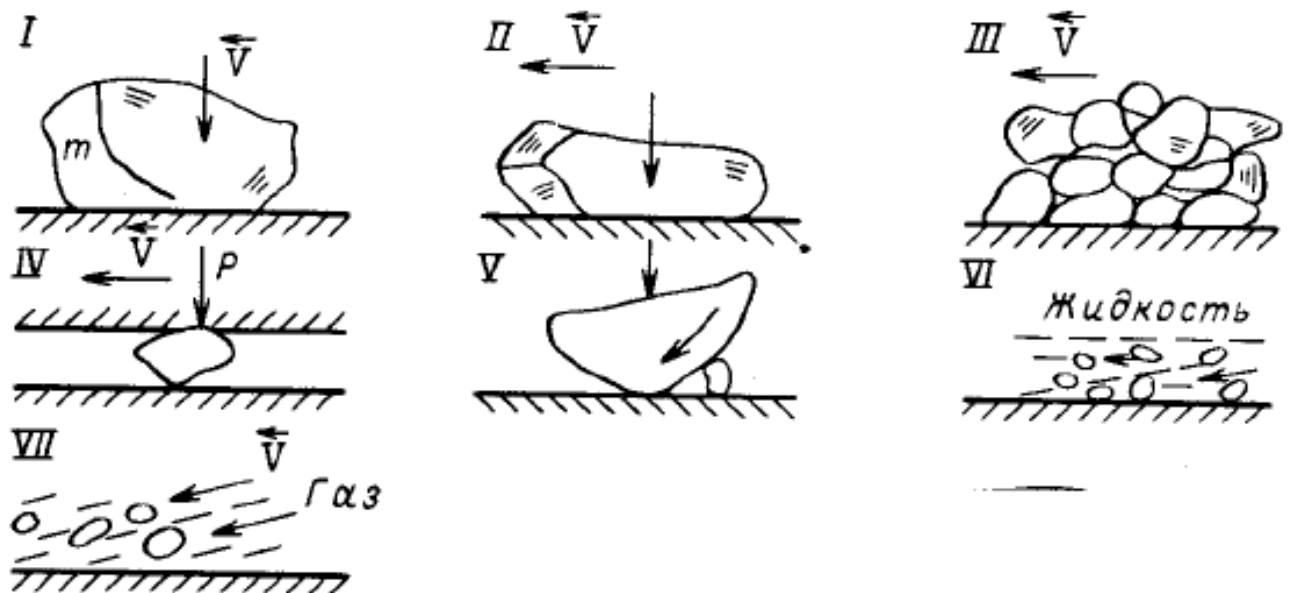


Рисунок 1.2 – Схеми взаємодії абразивних частинок з поверхнями деталей:

I – шляхом ударного впливу; *II* – за рахунок тертя поверхневого шару;

III – шляхом переміщенні деталей в плинній абразивній масі;

IV – під час тертя ковзання сполучених поверхонь з абразивними частинками між ними; *V* – за рахунок тертя кочення абразивних частинок;

VI – у рідкому середовищі; *VII* – у газовому середовищі

За схемою *I* зношуються деталі дробоструминного та дробильного обладнання, зуби ковшів екскаваторів під час виймання скельних порід, робочі поверхні колосникових грохотів, виконавчі органи бурильних машин, кузови автосамо-

скидів та іншого транспортного обладнання, робочі органи та камери дроблення дробарок ударної дії.

Схема II характерна для ковшів екскаваторів, рудоспусків, завантажувальних цапф млинів, робочих органів вібротранспортних машин.

Схема III ілюструє процес абразивного зносу ковшів екскаваторів різного призначення, спіралей класифікаторів, робочих органів віброживильників, віброконвеєрів та віброгрохотів, робочих поверхонь дробильно-розмельного обладнання, торцевих решіток барабанних млинів, поверхонь барабанних грохотів і бутар.

За схемою IV відбувається процес зношення конструктивних елементів ланцюгів скребкових та пластинчастих конвеєрів, дробильних плит щоккових дробарок, дробильних конусів і корпусів конусних дробарок, валків валкових дробарок.

Схема V характерна для шестірень відкритих зубчастих передач, а також котків гусеничних ходів різноманітного гірничого обладнання.

Результати абразивного зносу за схемою VI можна побачити на деталях шламових та піскових насосів відцентрового типу, різного збагачувального обладнання, на трубопроводах та гідроциклонах.

Нарешті, схема VII працює на різноманітному устаткуванні вентиляційного призначення.

Характер взаємодії абразивної частинки з поверхнею робочого органу гірничої машини суттєво залежить від кута нахилу вектору її швидкості до цієї поверхні. Цей кут називається кутом атаки α_0 . На рис. 1.3 показані варіанти впливу частинок на поверхню в залежності від величини α_0 . При цьому розрізняють два граничних випадки: кут атаки близький до нуля ($\alpha_0 \approx 0^\circ$); кут атаки близький до прямого ($\alpha_0 \approx 90^\circ$). Перехід від 90° до нуля супроводжується зміненням умов зовнішнього впливу на поверхневий шар та відповідними кількісними та якісними зміненнями процесу зносу.

При малих кутах атаки (рис. 1.3a) визначальний ефект на протікання цього процесу забезпечується за рахунок дії дотичних напружень. В результаті ударів абразивних частинок на поверхні утворюються характерні витягнуті лунки з відвалами по краях. Руйнування відбувається шляхом зрізання або відривання фраг-

ментів металу. Інтенсивність зносу при цьому залежить від твердості матеріалу поверхні.

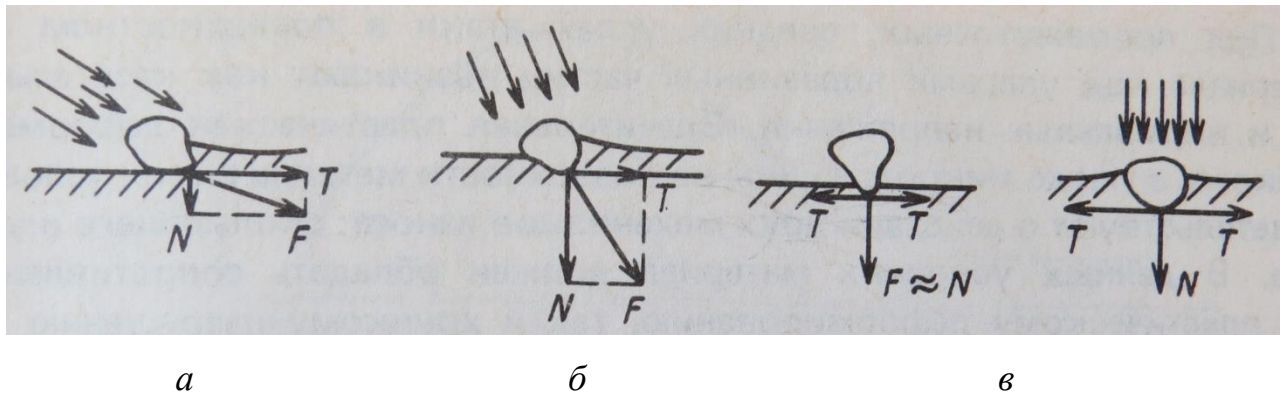


Рисунок 1.3 – Характер взаємодії абразивної частинки з поверхнею

При кутах атаки, близьких до нормальних (рис. 1.3в), механізм зносу набуває іншої природи. Основний динамічний вплив на метал здійснюють нормальні напруження, але в силу їхнього напрямку пластичні деформації локалізуються у досить малих об'ємах металу. Частинки зносу утворюються в результаті багаторазових ударів абразивних частинок та зникнення пластичності матеріалу. Руйнування розповсюджується по мікротріщинам, що зароджуються у поверхневому шарі.

При проміжних (середніх) кутах атаки (рис. 1.3б) у поверхневому шарі матеріалу внаслідок ударів абразивних частинок виникають як дотичні, так і нормальні напруження. Діють два механізми зносу: ковзний та ударний, які викликають значні пластичні деформації і наклеп. У цьому найгіршому випадку матеріал має одночасно протистояти і процесу пластичного деформування, і крихкому руйнуванню.

Інтенсивність процесу зносу W залежить від швидкості взаємодії частинок з поверхнею [13]:

$$W = kv^m,$$

де k – коефіцієнт пропорційності; v – швидкість співударяння; $m = 1,5-1,4$ – показник ступеню.

З підвищенням величини v відбувається зменшення кута атаки та зростання зносу. Підвищення рівня місцевих напружень обумовлює підвищення крихкості

матеріалу.

Таким чином, механізм абразивного зносу матеріалів можна представити у вигляді підсумку одиничних актів, що створюють в окремих мікрооб'ємах певний спектр напружень.

Висновки:

- важкі умови роботи сучасної динамічно навантаженої гірничої техніки є причиною швидкого зносу робочих органів машин, що контактують з високоміцною абразивною гірничою масою, та деталей численних вузлів тертя, які працюють в запиленій та корозійнонебезпечній атмосфері гірничодобувних і гірничопереробних підприємств. У таких обставинах важливість та актуальність досліджень та обґрунтування раціональних способів і заходів підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничих машин не викликає жодних сумнівів;

- навантаження, що діють на машини, механізми, пристосування в процесі їхньої експлуатації, можна розділити на робочі і постійно діючі, зовнішні і внутрішні, механічні, електричні, теплові тощо. Усі вони можуть викликати відмови обладнання і тим самим впливають на працездатність техніки. Останній показник характеризується наступними критеріями: міцністю, жорсткістю, тепло-, зносо- та вібростійкістю. Належне забезпечення цих властивостей обов'язкове під час проектування, виготовлення та експлуатації будь-якого механічного та електричного обладнання, у тому числі гірничого;

- знос деталей машин і механізмів стає причиною величезних матеріальних втрат в усіх галузях промисловості, тому у більшості випадків він визначає не лише надійність та довговічність техніки, але й економічність машин. В роботі проаналізовано основні види зносу поверхонь деталей механічного обладнання та фактори, що їх викликають;

- абразивний знос відбувається за рахунок інтенсивного руйнування шляхом мікропластичних деформацій та зрізання металу частинками абразивного середовища. Останні можуть вражати деталі зовні (наприклад, під час контакту робочих органів гірничих машин з породою), а також проникати у неякісно ущільнені за-

криті вузли тертя (наприклад, підшипники, зубчасті пари тощо). Різновиди абразивного зносу залежать від конкретної схеми взаємодії твердих частинок з поверхнями. Механізм абразивного зносу матеріалів можна представити у вигляді підсумку одиничних актів, що створюють в окремих мікрооб'ємах певний спектр напружень.

1.4 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – обґрунтування способів і засобів підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничої та загальнопромислової техніки.

За результатами здійсненого аналізу причин відмов механічного обладнання в умовах використання в різних галузях промисловості, у першу чергу в гірництві, загальних закономірностей його зносу під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів, особливостей абразивного зносу деталей машин в роботі сформульовані задачі, які необхідно вирішити під час подальших досліджень:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- дослідити фактори, що впливають на рівень зносостійкості поверхневих шарів деталей промислових машин;
- проаналізувати особливості абразивного зносу конструктивних елементів техніки;
- дослідити залежність зносостійкості деталей машин від якості їхнього поверхневого шару;
- проаналізувати зносостійкість деталей в процесі абразивного зносу;
- дослідити та проілюструвати результати зносу футерівок гірничого обладнання на прикладі конусних дробарок, що працюють в умовах переробки залізних руд Кривбасу;
- проаналізувати існуючі заходи боротьби з абразивним зносом гірничого обладнання;
- оглянути пропоновані на міжнародному ринку новітні зносостійкі матеріали, у тому числі сталі, карбідне литво, кераміку та полімери таких відомих фірм, як HARDOX WEARPARTS[®], HARDOX IN MY BODY[®] та SANDVIK;

- проаналізувати основні властивості та галузі використання зносостійких сталей HARDOX[®] в промисловості;

- запропонувати шляхи підвищення зносостійкості робочого обладнання гірничої техніки за допомогою зазначених матеріалів.

Об'єкт дослідження – технологічні операції підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничих машин та обладнання суміжних галузей промисловості.

Предмет дослідження – засоби підвищення абразивної стійкості гірничого обладнання.

Наукове положення – використання розглянутих розробок для захисту гірничого обладнання від зносу дозволяє скоротити економічні втрати на 15% у короткочасній перспективі (до 10 років) та на 30% – у більш тривалому терміні (до 20 років).

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка нових зразків техніки неможлива без використання останніх досягнень наукової думки, адже вони служать не лише для загального пізнання навколишнього світу, але й для удосконалення технологій та технічних засобів виробництва. Знаходження новітніх способів видобутку корисних копалин та виготовлення різноманітних видів продукції, створення більш якісних, продуктивних та довговічних машин для їхньої механізації потребують застосування результатів діяльності представників фундаментальної та прикладної науки, останніх винаходів та раціоналізаторських пропозицій для покращання техніко-економічних показників машин і механізмів.

Особливої важливості це питання набуває у надзвичайно складних та важких умовах експлуатації техніки в таких галузях промисловості, як розробка родовищ мінеральної сировини та переробка гірничої маси з метою підготовки її до подальшого застосування, наприклад металургійного переділу та виготовленню продукції з отриманих металів. Така техніка повинна відповідати найвищим вимогам якості та надійності. Тому процесу проектування машин обов'язково мають передувати ретельні наукові дослідження, під час яких потрібно обґрунтувати оптимальні показники призначення та надійності виробів для максимального забезпечення тих вимог, що ставляться перед ними.

Під час виконання цих робіт використовуються теоретичні, експериментальні та комбіновані методи наукових досліджень (як загальновідомі, так і спеціальні). Серед найбільш розповсюджених традиційних методів слід згадати аналіз і синтез, індукції та дедукцію, абстрагування та конкретизацію, моделювання тощо. Усі вони допомагають знайти найкращі рішення, що гарантуватимуть найвищий технічний рівень майбутніх проектних розробок.

Наукові дослідження мають місце також й на етапах розробки конструкції, виготовлення її в металі, використання на практиці за призначенням.

Під час виконання представленої кваліфікаційної магістерської роботи використовувалися згадані методи. Наприклад, аналітичний метод застосовувався

при розгляді та оцінці факторів, що впливають на терміни служби робочих органів гірничодобувної та гірничо-переробної техніки в умовах роботи з міцною та високоабразивною гірничою масою, при вивченні закономірностей процесу зносу деталей машин, особливо їхніх робочих поверхонь, при пошуку шляхів боротьби з передчасним абразивним зносом техніки.

Метод синтезу використовувався в процесі розробки нових зносостійких матеріалів для важконавантаженої гірничих та загальнопромислових машин. Зокрема, під час розробки сталей HARDOX[®] це допомогло отримати новітній спосіб металургійного очищення продукції, а також створити унікальну технологію її зміцнення. В результаті сталеві листи набули надзвичайних рівнів твердості і міцності при збереженні хорошою оброблюваності.

Теоретичні дані перевірялися за допомогою експериментальних методів досліджень, які забезпечили підтвердження достовірності проведених робіт.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РІВЕНЬ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Загальні зауваження

Як впливає з матеріали, викладеному в розділі 1, знос – це процес механічного руйнування поверхонь деталей механічного обладнання, який може бути ускладнений фізико-хімічними зміненнями поверхневих шарів матеріалу.

Мірою зносу є сумарна величина руйнування, що визначається зменшенням лінійних розмірів деталі, її об'єму або ваги. Основною мірою зносу вважається лінійний знос, який характеризується зменшенням розмірів деталі по нормалі до поверхні тертя. Об'ємний знос визначається зменшенням об'єму деталі, а ваговий – зменшенням ваги. Розрізняють також поняття місцевого зносу – лінійного зменшення розмірів на окремій ділянці поверхні тертя.

В усіх випадках знос є функцією часу, тому для його кількісної оцінки використовують такий показник, як швидкість зносу, тобто відношення лінійного зносу деталі до часу, протягом якого визначається знос. В якості допоміжного показника застосовують також інтенсивність зносу – відношення лінійного зносу до пройденого шляху тертя.

Зносостійкість матеріалу або конкретної деталі є кількісною характеристикою їхньої здатності опиратися зносу у певних умовах зовнішнього впливу. Відносною зносостійкістю називають відношення абсолютних величин зносу двох матеріалів (A і B), з яких один матеріал (A) приймається за еталон:

$$\frac{\sigma}{W} = \frac{W_A}{W_B}.$$

Ця величина показує, у скільки разів зносостійкість випробуваного матеріалу більше або менше зносостійкості матеріалу-еталону.

Однією з найважливіших задач конструктора в процесі проектування машини є вибір матеріалів для її деталей виходячи з їхньої зносостійкості. Але зносо-

стійкість конкретної деталі, окрім властивостей її матеріалу, буде також залежати від особливостей її конструкції, режимів навантаження і змащення, способів відведення надлишкового тепла, тривалості роботи тощо.

Конструкційна зносостійкість деталі буде змінюватися на різних етапах її експлуатації (рис. 3.1). На першому етапі роботи (періоді припрацювання конструкції протягом часу $T_{\text{пр}}$ – ділянка *а*) швидкість зносу буде відносно великою, адже контактуючі поверхні будуть прилаштовуватися одна до іншої з руйнуванням найбільших виступів та заповненням найбільших западин. При цьому поверхня з кращою якістю обробки буде погіршуватися, а інша, з гіршою – покращуватися. На ділянці *б* спостерігатиметься постійна відносно невисока швидкість зносу. Тривалість цього періоду нормального зносу $T_{\text{зн}}$ – максимальна. Нарешті, внаслідок діє різних причин (втоми, корозії, часу тощо) настає період аварійного зносу $T_{\text{ав}}$ (ділянка *в*), на якій швидкість зносу стає максимальною. Деталь на цій ділянці наближається до відмови.

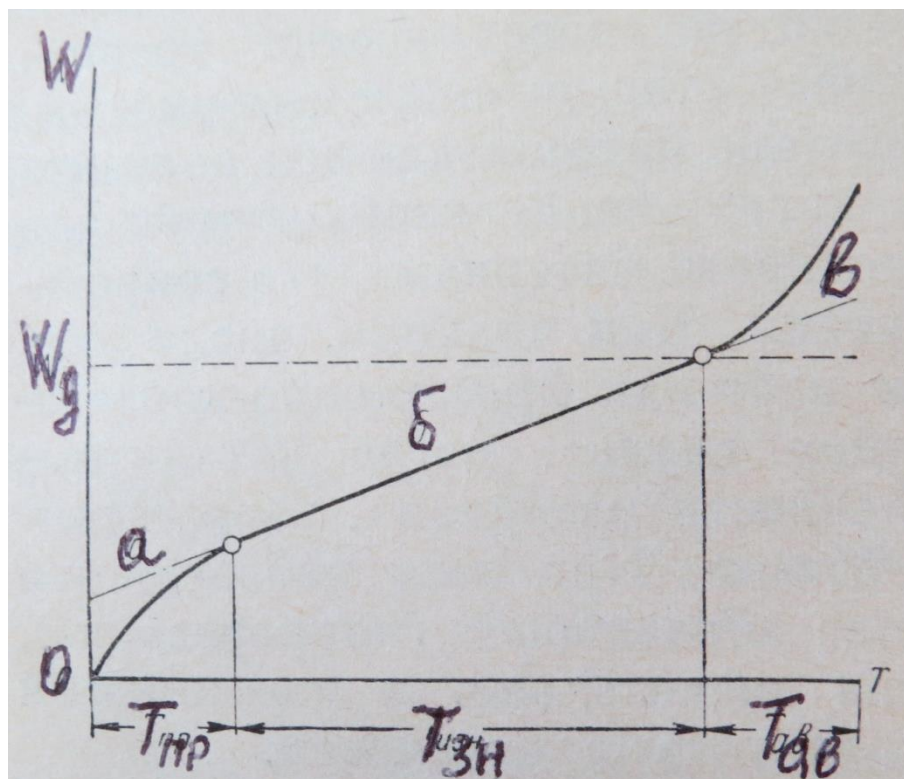


Рисунок 3.1 – Крива зносу (залежність зносу W від часу T):
а – період припрацювання машини; *б* – нормальний період усталеної роботи;
в – період аварійного зносу

3.2 Дослідження залежності зносостійкості деталей машин від якості поверхневого шару

Поверхневий шар деталей має велике значення для їхньої надійної експлуатації. Від його якості залежать такі найважливіші властивості, як абразивна та корозійна зносостійкості, втомна та контактна міцності, надійність пресових посадок, щільність рухомих та нерухомих з'єднань.

Якість поверхні деталі характеризується сукупністю геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей, обумовлених процесом її утворення під час обробки.

До геометричних параметрів поверхневого шару відносяться:

- *макрогеометрія*, тобто відхилення поверхні від правильної геометричної форми (площинності, циліндричності, конусності тощо). Причинами можливих відхилень можуть бути силові та температурні деформації системи ВПД (верстат – пристосування – інструмент – деталь), що виникають внаслідок неточності металорізального обладнання, погрішності установки заготовок, знос інструменту, високої динамічності процесів обробки;

- *хвилястість*, під якою розуміють сукупність більш-менш регулярно повторюваних виступів та западин з кроком хвилі, що значно перевищує її висоту. Вона з'являється через нерівномірність подачі різця під час точіння або шліфування, вимушені коливання системи ВПД, наявність неврахованих мас;

- *шорсткість (мікрогеометрія)* – сукупність нерівностей з відносно невеликим кроком, яка характеризується висотою цих нерівностей та середнім арифметичним відхиленням профілю. Такі дефекти виникають через погану якість інструменту, вібрації компонентів системи ВПД, а також під час утворення стружки;

- *напрямок штрихів (рисок)* від металорізального інструменту. У загальному випадку прийнято вважати, що найменший негативний вплив на зносостійкість буде забезпечуватися у випадку максимального наближення напрямків рисок та дії напружень, а максимальний – при їхній взаємній перпендикулярності. Утім, на цей процес будуть також впливати режим змащення тертьових поверхонь та ве-

личини їхньої шорсткості.

Поверхневі шари металу відрізняються від нижніх характером, структурою та фізико-механічними властивостями. На відміну від внутрішніх атомів, які оточені суміжними атомами з усіх боків, поверхневі поєднуються з твердим тілом лише частково. Наявність в них вільних зв'язків та дія внаслідок цього атомного притягання сприяють утворенню на поверхнях тонких окисних плівок речовин, що присутні в атмосфері. Останні поглинаються металом за допомогою процесу адсорбції.

Під час вирішення питання про якість поверхонь тертьових деталей потрібно виходити з умов забезпечення таких первинних характеристик, які б могли призвести до покращання поверхонь тертя та додаткового зміцнення поверхневих шарів в процесі експлуатації.

Для запобігання ушкоджень поверхонь елементів тертьових сполучень та зберігання регламентованих зазорів в них, що забезпечить високий рівень надійності та довговічності машин, нові конструкції останніх піддають обкатуванню вхолосту з поступовим навантаженням. Особливе значення обкатування має для тих вузлів та сполучень, які працюють в умовах високих питомих навантажень, підвищених температур, в агресивних середовищах, при недостатньому змащенні.

В основі цього етапу припрацювання (переходу від початкового стану до робочого) лежать складні процеси механічного, фізичного та хімічного плану, а його метою є усереднення шорсткості контактуючих поверхонь до оптимального значення. Грубо шорсткі поверхні працюють на обмежених площах контакту при високих питомих тисках, а надмірно гладкі хоч і мають велику контактну площу, але вони гірше адсорбовують мастила.

Слід пам'ятати, що в залежності від зовнішніх механічних впливів середовища, що викликають у поверхневих шарах металу різноманітні механічні та теплові деформації, окислювальні процеси, дифузії, механічне та фазове зміцнення і розміцнення, якості та властивості тертьових металевих поверхонь деталей можуть достатньо різко змінюватися і викликати такі негативні руйнівні наслідки, як схоплювання металу, абразивні та втомні процеси.

Величезний вплив на процес зносу сполучних деталей має їхнє змащення, яке може у десятки разів зменшити опір тертю та в тисячі разів знизити знос.

Таким чином, вибір та забезпечення оптимальних характеристик тертьових деталей машин є надзвичайно важливою комплексною задачею. Під час її вирішення потрібно враховувати якість вихідних характеристик, забезпечених технологічною обробкою виробу, припрацювання, а також процеси вторинного експлуатаційного формування геометрії поверхні та її властивостей. Найбільш ефективними засобами боротьби із зносом можна вважати:

- технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей;
- зміцнення та змінення властивостей тонких поверхневих шарів в процесі експлуатації за допомогою різного роду присадок та мастильних речовин.

3.3 Аналіз зносостійкості деталей в процесі абразивного зносу

Інтенсивний абразивний знос є однією з головних причин виходу з ладу гірничодобувного та гірничо-переробного механічного обладнання. До найбільш вразливих з цієї точки зору технічних об'єктів слід віднести деталі вугільних комбайнів та врубових установок, конвеєрів, прохідницького устаткування, екскаваторів, дробарок та багатьох інших гірничих машин і механізмів. В залежності від умов експлуатації та особливостей режимів роботи обладнання можуть виникати різні види абразивного зносу.

Зносостійкість сталі залежить від її твердості, мікроструктури та хімічного складу.

Із збільшенням твердості зносостійкість зростає, хоча суворої залежності між цими властивостями не існує через суттєвий вплив на зносостійкість хімічного складу та структурних особливостей металів. Наприклад, середньовуглецеві сталі зі структурами зернистого та пластинчастого перліту мають різні зносостійкості, незважаючи на однакову твердість. Особливо це помітно в умовах абразивно-корозійного тертя. В табл. 3.1 приведені величини відносної зносостійкості різних марок сталі в залежності від їхньої твердості [12].

Таблиця 3.1 – Відносна зносостійкість різних марок сталі
в залежності від їхньої твердості

Марка сталі	Режим термічної обробки матеріалу	Твердість, 10^7 Н/м^2	Відносна зносостійкість
40	Без термообробки	163	22,4
	Гартування, відпуск при t°, C :		
	300	460	29,8
	250	505	31,0
	200	560	32,8
	150	615	34,7
	100	675	36,4
	50	700	36,8
	Гартування без відпуску	730	37,9
У8	Без термообробки	186	25,6
	Гартування, відпуск при 150°C	822	44,4
9ХС	У стані поставки	341	31,9
	Гартування, відпуск при 150°C	795	48,3
Х12	Без термообробки	218	30,1
	Гартування, відпуск при t°, C :		
	600	429	39,2
	450	550	45,1
	300	680	51,3
	150	840	58,6
РФ1	Без термообробки	220	30,1
	Гартування, відпуск при 550°C (дворазовий)	800	62,0
ШХ15	Гартування, відпуск при 150°C	840	54,6

Численними дослідженнями встановлено, що підвищення вмісту вуглецю та карбідоутворюючих легуючих елементів у сталі сприяє зростанню її зносостійкості [12]. На рис. 3.2 показана залежність відносної зносостійкості ε термічно необробленої вуглецевої сталі від її твердості та вмісту вуглецю в ній, а на рис. 3.3 –

залежність відносної зносостійкості різних марок сталей від твердості при різних температурах. В табл. 3.2 приведені дані про відносну зносостійкість різних марок сталей в залежності від їхньої твердості.

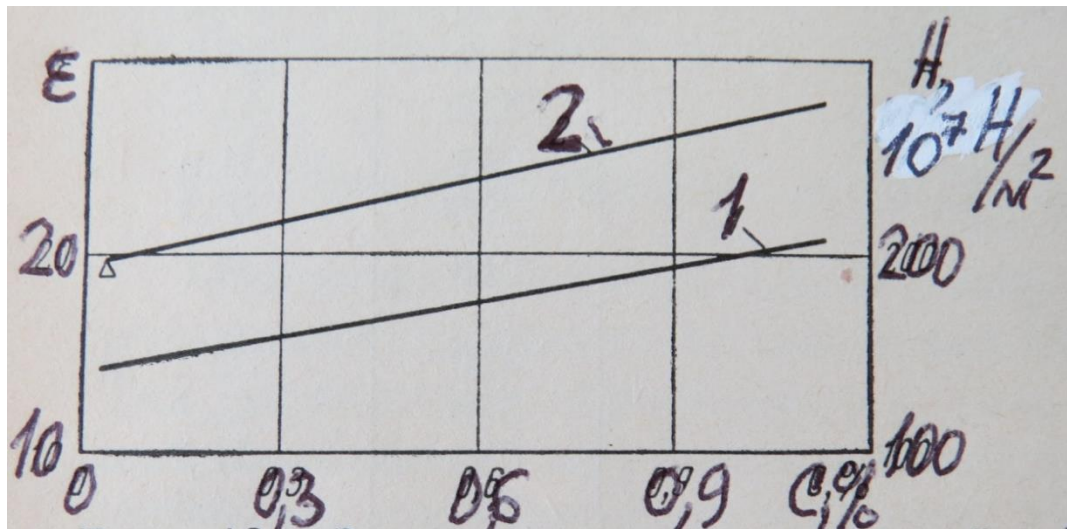


Рисунок 3.2 – Залежність відносної зносостійкості відпалених вуглецевих сталей:
1 – від вмісту вуглецю; 2 – від твердості

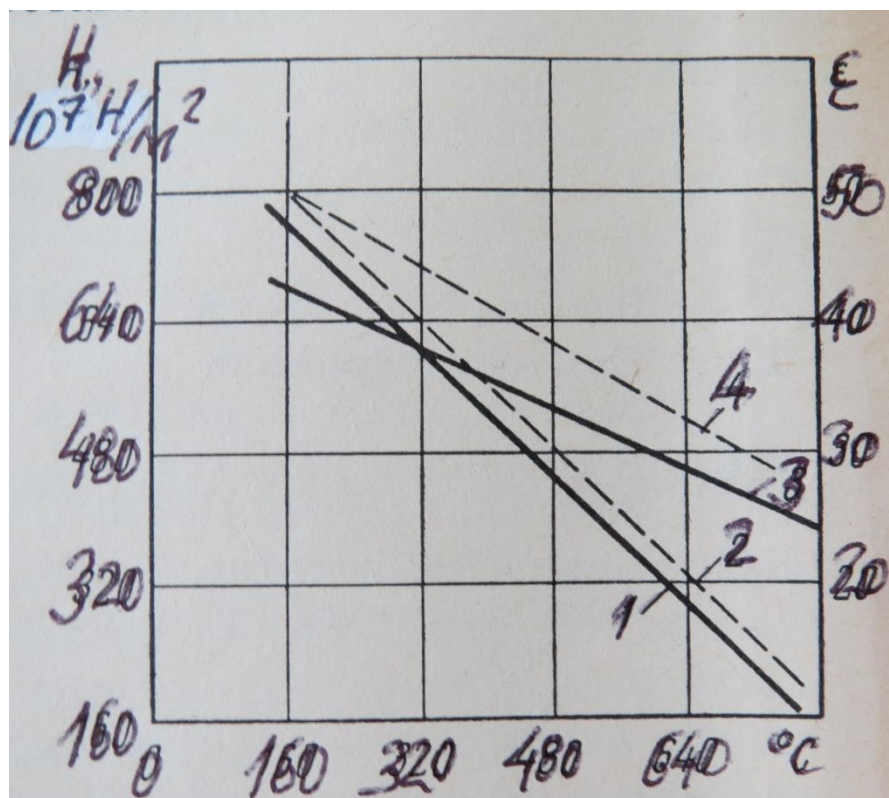


Рисунок 3.3 – Залежність відносної зносостійкості сталей від твердості при різних температурах:

- 1 – сталь У8 після гартування; 2 – те саме, після відпуску;
- 3 – сталь У12 після гартування; 4 – те саме, після відпуску

Таблиця 3.2 – Відносна зносостійкість різних марок металів
в залежності від їхньої твердості

Матеріал	Мікроструктура, %			Форма графіту	Твердість HB	Коефіцієнт відносної зносостійкості
	ферит	перліт	інші			
Білий чавун	-	80	цементит 20	-	364	1,71
Загартований магнієвий чавун	-	-	мартенсит 100	сфероподібний	585	1,63
Загартований литий чавун	-	100	-	те саме	217	1,12
Ковкий чавун	-	95	цементит 5	вуглеці відпалу	421	1,05
Модифікований чавун СЧ 38-60	3	97	-	пластинчастий	242	1,05
Сталь 50	50	50	-	-	200	1,00
Сірий чавун СЧ 21-40	5	95	-	пластинчастий	194	0,95
Магнієвий чавун з феритною основою	100	-	-	сфероподібний	156	0,75

В умовах абразивного зносу найбільш зносостійким матеріалом є білий чавун, незважаючи на його меншу твердість у порівнянні із загартованим магнієвим чавуном [14].

3.4 Дослідження зносостійкості футерівок конусних дробарок криворізьких ГЗК

Експлуатація дробильного обладнання, що використовується для руйнування міцної рудної сировини, наприклад залізних руд Кривбасу, є хорошою ілюстрацією процесу руйнівного абразивного зносу міцних матеріалів, з яких виготовляються конструктивні елементи дробарок.

В якості прикладу можна розглянути дробарки конусного типу, в яких дроблення матеріалу відбувається під час ексцентричного обертання дробильного конусу в нерухомій чаші. При цьому кільцева щілина між ними у кожній своїй точці постійно змінює розміри, завдяки чому шматки руди, що потрапляють до неї зверху, сприймають численні руйнівні стискальні зусилля в процесі руху донизу. У вертикальних перетинах дробарки щілина звужується зверху-вниз і шматок, руйнуючись цими зусиллями, поступово опускається і виходить знизу.

Від абразивного зносу рудою потерпають такі вузли дробарки, як траверса і захисний ковпак, через які вона завантажується матеріалом, але найбільше ушкодження мають дробильний конус та нерухома чаша. Для захисту цих елементів вони вкриваються спеціальними футерівками зі зносостійких матеріалів. На рис. 3.4 показаний фрагмент щілини між нерухомою чашею (*а*) та дробильним конусом (*б*) конусної дробарки дрібного дроблення типу КМД з позначеними римськими цифрами відмітками на футерівках цих вузлів.

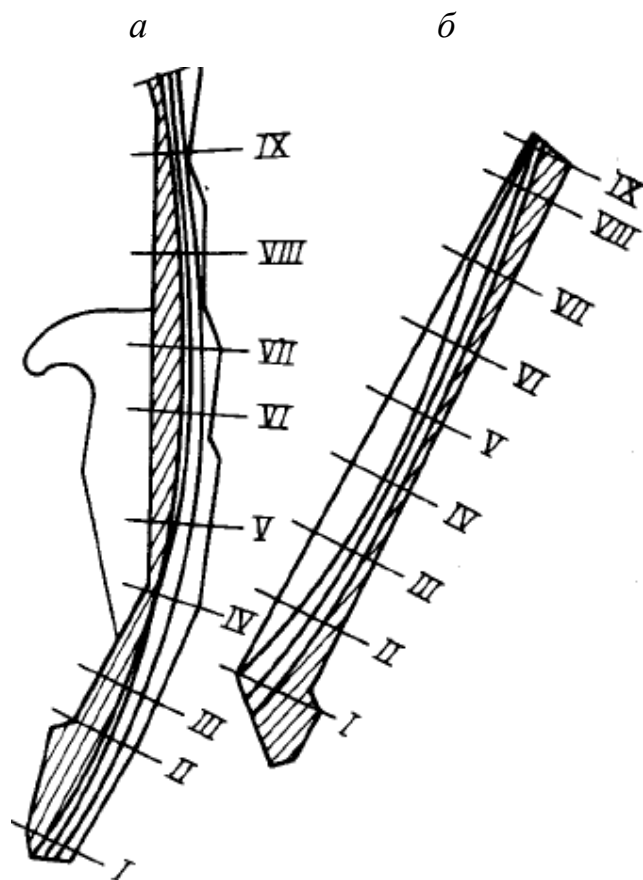


Рисунок 3.4 – Схема до аналізу зносу футерівок дробарки дрібного дроблення:
а – нерухомої чаші; *б* – дробильного конусу

Найбільш інтенсивному зносу піддаються нижні зони футерувального простору таких дробарок (дещо вище нижньої підстави установки). На рис. 3.5 показані графіки залежності зносу S по довжині L утворюючої футерівок у місцях відміток, приведених на рис. 3.4 (дробарка КМД-2200) [13].

Швидкість зносу футерівок суттєво залежить від міцності перероблюваних корисних копалин. В табл. 3.3 приведені середньорічні величини абсолютних та питомих витрат зносостійкої високомарганцевистої сталі на ГЗК Кривбасу [13].

Таблиця 3.3 – Витрати сталі на футерівки конусних дробарок ГЗК Кривбасу

Комбінат	Кількість переробленої руди, тис. т	Кількість витраченої футерувальної сталі, т	Коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. М.М. Протодіяконова	Питома витрата сталі	
				на 1 т переробленого продукту, г/т	на 1 кВт·год електроенергії
Північний ГЗК	248195,0	7073,6	12-14	28,5	34,6
Центральний ГЗК	293160,0	13426,7	14-17	45,8	47,1
Південний ГЗК	136389,6	14342,9	16-18	86,2	73,1
Південно-східний ГЗК	428729,6	37386,4	16-20	87,0	70,0
Інший ГЗК	74960,0	67988,8	18-20	90,7	73,0

Аналогічні результати абразивного зносу робочих елементів можна побачити для дробарок щоківового та ударного типів, а також млинів. Наприклад, питомі витрати футерівок дробарок щоківового типу для під час дроблення руд різної міцності (табл. 3.4) показують, що принципової різниці в механізмах дроблення мінеральної сировини установками щоківового та конусного типів не існує. Теоретичні питомі витрати q розраховані за наступною формулою:

$$q = 0,0065 \left(\frac{f}{10} \right)^5,$$

де f – коефіцієнт міцності руди.

Таблиця 3.4 – Питомі витрати футерівок дробарок щоківового типу

Коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. М.М. Протод'яконова	Питомі витрати футерівок щоківових дробарок, г/т	
	теоретичні	фактичні
8	2,11	2,4
9	3,8	-
9,5	4,7	4,7-5,5
10	6,5	-
10,5	8,2	7,2-8,2
11	10,5	9,3
11,5	13	-
12	16	-
13	24	-
14	35	-
15	49	-
16	62	50
17	92	96

3.5 Існуючі заходи боротьби з абразивним зносом гірничого обладнання

Для підвищення абразивної зносостійкості деталей та вузлів гірничих машин використовуються різноманітні прийоми конструкційного, технологічного та експлуатаційного плану, тобто такі, до яких вдаються на етапах проектування техніки, виготовлення її в металі на машинобудівному підприємстві та застосування за призначенням в гірничодобувному або гірничозбагачувальному виробництві. До них можна віднести наступні [16]:

- *правильний підбір матеріалів тертьових пар.* Мова йде про вибір раціонального співвідношення твердості контактуючих поверхонь, яке б забезпечувало або мінімальну інтенсивність процесу абразивного зношення, або протікання його в найбільш вигідному з економічної точки зору варіанті. Чим вище твердість матеріалу поверхні, тим менше вона зношується, але при цьому потрібно враховува-

ти вартість такого зносостійкого матеріалу або витрати на його зміцнення тим чи іншим технологічним способом. Дуже дієвим способом у цьому плані є конструювання такої пари контактних поверхонь, в якій зношуватися буде лише одна з них, причому та, яку легше відновити або дешевше виготовити. Наприклад, у тертьовій парі циліндр-поршень пневматичного або гідравлічного обладнання набагато легше і дешевше робити та відновлювати зовнішню поверхню поршня, ніж внутрішню циліндра, не говорячи вже про те, що конструкція циліндру у будь-якому випадку буде складнішою і на неї витрачатиметься більше металу. З огляду на це, вигідніше робити поршень суттєво більш м'яким за циліндр і примушувати зношуватися лише його;

- *зменшення рівня контактних тисків поверхонь тертьових з'єднань*. Величини тисків між поверхнями будуть залежати від зусиль та площ контакту, на яких вони діятимуть. Для зменшення тисків корисно більш рівномірно розподіляти навантаження (не зосереджено), знижувати за можливості рівні їхньої циклічності та ударності, збільшувати площу контакту;

- *компенсація зносу*. В процесі зносу контактних поверхонь зазори між ними будуть збільшуватися і поступово виходити за допустимі режимом роботи механізму межі. Надмірні зазори можуть ставати причиною ударів під час їхнього змикання і швидкого виходу з ладу внаслідок аварійного наклепу та подальшого руйнування. Тому потрібно час від часу регулювати зазори, компенсуючи ці змінення, або передбачати в конструкції вузла спеціальні пристрої, які будуть робити це в автоматичному режимі (наприклад, пружинні);

- *забезпечення оптимального режиму змащення*. Змащення тертьових поверхонь – один з головних способів боротьби з абразивним зносом. Чим якісніше режим змащення, тим краще. Тому потрібно віддавати перевагу рідинному способу змащення, при якому між поверхнями немає металевого контакту за рахунок наявності там суцільної масляної плівки. Найкращий варіант при цьому – повністю герметичний вузол з безупинною подачею до усіх точок змащення мастила під тиском. З іншого боку, слід уникати механізмів відкритого типу, які працюють в умовах сухого або напівсухого тертя у присутності абразивного пилу. Хороші

результати дають різноманітні спеціальні мастильні присадки, додавання яких вибірково покращує ті чи інші їхні властивості (маслянистість, опірність процесам окислення у повітрі і воді, запобігання виникненню задирок металу тощо);

- *повне усунення металевого контакту між деталями.* У найбільш відповідальних випадках виправдано використання опор електромагнітного типу або гідростатичних чи гідродинамічних підшипників;

- *підвищення якості обробки контактуючих поверхонь.* Про це вже говорилося вище, в п. 3.2 даної роботи;

- *термічна обробка поверхонь контакту.* Це дуже дійовий спосіб, адже під час термообробки змінюються фізико-механічні властивості як поверхневого шару деталей, так і металу в усьому її об'ємі. Наприклад, гартування нелегованих або малолегованих сталей створює в поверхневому шарі твердий розчин вуглецю, який добре захищає його від абразивного зносу. Існують численні способи поверхневої та об'ємної термічної обробки. На рис. 3.6 показані деякі способи поверхневого гартування деталей за допомогою зовнішніх джерел тепла [16];

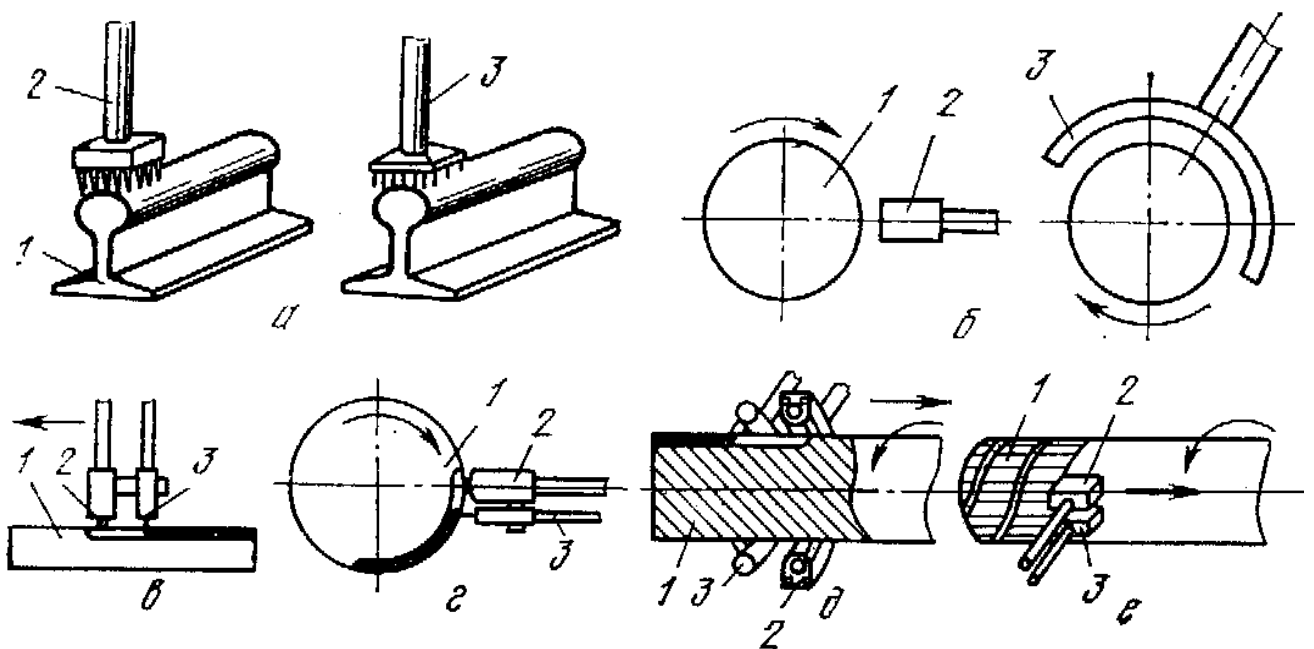


Рисунок 3.6 – Способи поверхневого гартування деталей за допомогою зовнішніх джерел тепла:

а – стаціонарний; *б* – обертально-циклічний; *в* – комбінований; *г* – обертально-поступальний; *д* – прямолінійно-паралельний; *е* – спірально-поступальний;
1 – деталь; 2 – пальник; 3 – охолоджувальний пристрій

- *хіміко-термічна обробка поверхонь*. Це велика група способів поверхневого зміцнення деталей машин шляхом насичення при високій температурі їхнього поверхневого шару хімічними сполуками (карбідами, сульфідами, нітридами, хлоридами), які добре протистоять абразивному зносу, покращують протизадирні властивості металу та суттєво підвищують загальну довговічність виробів. До найбільш відомих процесів хіміко-термічної зміцнювальної обробки відносяться борування, сульфоціанування, газове ціанування (нітроцементация);

- *підбір найбільш зносостійких матеріалів для деталей, що працюють в умовах безпосереднього контакту з абразивним середовищем*.

Звісно, усі перераховані вище способи зміцнення вимагають значних додаткових витрат на підвищення опірності деталей машин дії абразивного зносу, але кошти і праця, вкладені в надійність механічного обладнання завжди будуть набагато меншими, ніж втрати від недостатньої якості продукції. Ці витрати обов'язково окупляться, причому у значному ступені.

Висновки:

- мірою зносу є сумарна величина руйнування поверхонь, що визначається зменшенням лінійних розмірів деталі, її об'єму або ваги. Знос є функцією часу, тому для його кількісної оцінки використовують такі показники, як швидкість та інтенсивність зносу. Конструкційна зносостійкість деталі змінюється на різних етапах її експлуатації;

- зносостійкість деталей машин залежить від якості виготовлення їхнього поверхневого шару, яка характеризується сукупністю геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей, обумовлених процесом її утворення під час обробки. Вибір та забезпечення оптимальних характеристик тертьових деталей машин є надзвичайно важливою комплексною задачею, під час вирішення якої потрібно враховувати якість вихідних характеристик, забезпечених технологічною обробкою виробу, припрацювання, а також процеси вторинного експлуатаційного формування геометрії поверхні та її властивостей;

- дослідження показують, що зносостійкість поверхонь деталей машин зро-

стає із збільшенням їхньої твердості та підвищенням вмісту вуглецю і карбідоутворюючих легуючих елементів у сталі. В умовах абразивного зносу найбільш зносостійким матеріалом є білий чавун;

- практичний багаторічний досвід дробильного обладнання на вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатах, зокрема Кривбасу, свідчить, що абразивний знос таких установок найбільш інтенсивний в нижніх зонах футерувального простору, а швидкість зносу футерівок стрімко зростає з підвищенням міцності перероблюваних корисних копалин;

- для підвищення абразивної зносостійкості деталей та вузлів гірничих машин використовуються різноманітні прийоми конструкційного, технологічного та експлуатаційного плану, що здійснюються на етапах проектування техніки, виготовлення її в металі на машинобудівному підприємстві та застосування за призначенням в гірничодобувному або гірничозбагачувальному виробництві. До них можна віднести наступні: правильний підбір матеріалів тертьових пар; зменшення рівня контактних тисків поверхонь тертьових з'єднань; компенсація зносу; забезпечення оптимального режиму змащення; повне усунення металевого контакту між деталями; підвищення якості обробки контактуючих поверхонь; термічна обробка поверхонь контакту; хіміко-термічна обробка поверхонь; підбір найбільш зносостійких матеріалів для деталей, що працюють в умовах безпосереднього контакту з абразивним середовищем тощо.

4 РОЗРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ПРОВІДНИМИ СВІТОВИМИ ВИРОБНИКАМИ ГІРНИЧОГО ТА ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Зносостійкі сталі міжнародної мережі HARDOX WEARPARTS[®], HARDOX IN MY BODY[®]

4.1.1 Основні відомості про виробника

Міжнародна мережа компаній HARDOX WEARPARTS[®], HARDOX IN MY BODY[®] (в тому числі шведська фірма SSAB) є провідним розробником та виробником різноманітної зносостійкої продукції, що характеризується високими рівнями твердості і міцності. Клієнтами мережі є гірничодобувні, гірничозбагачувальні, переробні, машинобудівні та будівельні підприємства, де існують проблеми зі значним зносом механічного обладнання. В Україні її представляє компанія Ferro Max Protect (м. Вишневе, Київська обл.) [17,18].

Як було переконливо з'ясовано вище, знос представляє собою надзвичайно важливу проблему у багатьох галузях промисловості і може значно впливати на ефективність роботи будь-якого підприємства. Фірма Ferro Max Protect від імені HARDOX WEARPARTS[®], HARDOX IN MY BODY[®] пропонує рішення цієї проблеми у вигляді використання продукції зі спеціалізованих зносостійких низьколегованих листових сталей з відмінними характеристиками твердості та міцності. Значний досвід експлуатації таких матеріалів під час роботи з гірничими породами, переробки металевого лома та при транспортуванні різноманітних сипких абразивних речовин засвідчив високий технічний рівень пропонованих матеріалів.

Основною продукцією фірми є :

- зносостійкі ріжучі кромки для ковшів екскаваторів;
- труби для транспортування абразивної гірничої маси;
- труби для транспортування абразивної зернової продукції;
- футерівки для бункерів та конвеєрів;
- деталі дробильного обладнання;

- промислові ножі;
- конвеєри;
- ковші.

Спеціалісти HARDOX[®] вважають, що основними видами зносу, кожен з яких по різному впливає термін служби обладнання, є наступні:

- знос від ковзання. Він відбувається в результаті ковзання та перекошування шматків різномірної породи (рис. 4.1а);
- знос від удару. Цей вид характеризується ударами шматків породи по поверхні зносу під різними кутами (рис. 4.1б);
- посилений абразивний знос – найбільш важкий випадок, при якому складніше гарантувати збільшення терміну служби зношуваних компонентів у порівнянні з іншими видами зносу (рис. 4.1в).

Кожна порода складається з унікального набору мінералів, тому її абразивні властивості також є унікальними. У менеджерів з технічних питань можна отримати програмне забезпечення WearCalc, яке враховує різницю між матеріалами та виконує розрахунки з огляду на них. Це дає можливість прогнозування відносного терміну служби та порівняння різних рішень стосовно боротьби проти зносу. За будь-яких експлуатаційних умов при будь-якому виді та режиму зносу HARDOX[®] забезпечить неперевершений захист механічного обладнання.

Спеціальні зносостійкі сталі розроблені виключно для машин і обладнання, що працюють в умовах підвищеного абразивного зносу. В основі їхнього виробництва лежить принцип використання лише чистої сировини без додавання лома, а також високоточного промислового обладнання, в якому основний упор робиться не на хімічний склад, а на термомеханічну обробку. При цьому твердість сталей по усьому перетину товщини листів складає не менше 450 НВ. Низький вміст вуглецю (до 0,3%) гарантує відмінну придатність сталей до зварювання. Вони добре справляються з усіма видами зносу, включно з ударним та ковзним. Разом з високими механічними властивостями (межа текучості різних гатунків сталі має в середньому 1200 МПа, а коефіцієнт ударної в'язкості складає 40-45 Дж) такі якості роблять ці матеріали дуже перспективними для промисловості.

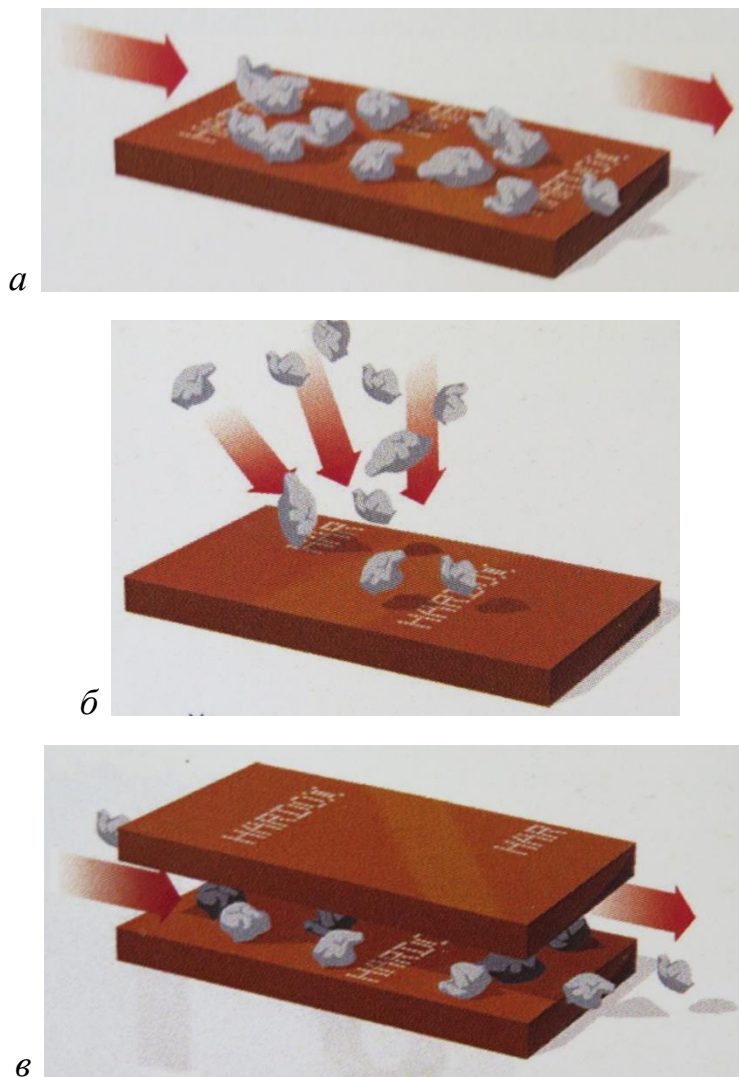


Рисунок 4.1 – Види зносу матеріалів на погляд спеціалістів HARDOX[®]:
а – знос від ковзання; *б* – ударний знос; *в* – посилений абразивний знос

Під час виробництва сталей HARDOX[®] використовується новітній спосіб металургійного очищення продукції, а також унікальна технологія її зміцнення. В результаті сталеві листи набувають надзвичайних рівнів твердості і міцності при збереженні хорошою оброблюваності.

Практичні випробування продемонстрували, що термін служби даних сталей у багато разів перевищує термін служби звичайних видів сталей типу 09Г2С, 10ХСНД, 110Г13Л які досі широко використовуються багатьма вітчизняними підприємствами для боротьби зі зносом механічного обладнання. З огляду на це, застосування пропонованих матеріалів дозволить значно подовжити терміни служби машин і обладнання, знизити витрати на ремонт, скоротити простої техніки.

Окрім самих футерувальних листів компанія Ferro Max Protect пропонує експертні консультації. Вона готова ділитися своїми знаннями та досвідом через менеджерів з технічних питань, групу спеціалістів з концептуального проектування (Conceptual Desing Group™) та групу спеціалістів з технологій захисту від зносу (Wear Technology Group™). Перша з них може допомогти в оптимізації продукції замовника в проектно-конструкторському плані, а друга – надає підтримку з прикладних питань науки про знос та постачає необхідну інформацію відносно критично важливих компонентів техніки, що піддаються зносу.

4.1.2 Номенклатура та основні властивості сталей HARDOX®

Спеціалісти HARDOX® стверджують, що для будь-яких умов експлуатації обладнання можна вибрати потрібні захисні листи фірми. Наявність широкого діапазону значень твердості дає можливість підібрати лист з параметрами, що відрізняються максимальними робочими характеристиками.

Сталі марки HARDOX пропонуються наступних видів:

- HARDOX 400 – універсальні листи твердістю 400 HB, що відрізняються високою в'язкістю, добре згинаються та відмінно зварюються. З цієї сталі виготовляються деталі дробильно-сортувального обладнання, самоскидів, вантажників, електрокарів, вантажних автомобілів, бульдозерів, екскаваторів, систем пульпопроводів, гвинтових конвеєрів, пресів;

- HARDOX 450 – листова сталь твердістю 450 HB для умов експлуатації, в яких особливі вимоги до зносостійкості. Також добре згинається та зварюється. Використовується для виготовлення кузовів самоскидів, контейнерів, дробарок, сит, завантажувальних пристроїв, мірних бункерів, скіпових підйомників, кромek ріжучих ножів, конвеєрів, ковшів, шестірень, коліс ланцюгових передач;

- HARDOX 500 – міцна сталь для роботи в умовах підвищеного абразивного зносу;

- HARDOX 550 – сталь підвищеної твердості (до 550 HB), що відрізняється стійкістю до утворення тріщин. Добре підходить для виготовлення втулок, ріжучих лез з болтовим кріпленням, змінних накладок, скіпових підйомників, заванта-

жувальних пристроїв, сит, ріжучих інструментів, дробарок, подрібнювачів, молотів, ножів;

- HARDOX 600 – найтвердіша листова сталь у світі (до 600 HB), призначена для застосування в найекстремальніших умовах експлуатації. Її можна порівняти з такими матеріалами як високохромисте мідно-кобальто-залізне литво або наплавні покриття з твердих сплавів. Сталь використовується для футерування обладнання, що безпосередньо контактує з абразивами та різноманітними агресивними матеріалами, а також для виготовлення молотків дробарок та шредерів;

- HARDOX HiTuf – зносостійка листова сталь з гранично високими вимогами щодо в'язкості, призначена для елементів конструкцій крупного профілю, які повинні ідеально опиратися зносу та бути стійкими до утворення тріщин. В основному застосовується для кромок ріжучих ножів, інструментів для демонтажу, розпушників;

- HARDOX Extreme – сталь для умов роботи, в яких потрібна екстремальна стійкість до абразивного стирання. Цей матеріал можна використовувати замість листів з твердим наплавленням та листів з білого чавуну з високим вмістом хрому.

Про абсолютно усі види сталі HARDOX можна сказати, що вони є продуктом ретельного підбору чистої сировини, добре збалансованого хімічного складу, унікальних процесів гартування та надзвичайної точності прокату, які добре обробляються, забезпечують дрібнозернисту структуру матеріалу, гладкі та рівні поверхні деталей, чудову ударну в'язкість виробів, прогнозовані терміни служби з рівномірним зносом.

Нижче в якості прикладу приводяться основні характеристики та властивості сталі HARDOX 450.

Розмірні характеристики:

- матеріал поставляється в листах товщиною від 3 до 80 мм (HARDOX 450 Tuf – від 3 до 40 мм). Допуски на товщину листів відповідають гарантії точності AccuRollTech компанії SSAB. AccuRollTech відповідає вимогам EN 10 029, клас А, але пропонує менші допуски;

- листи можуть мати ширину до 3350 мм і довжину до 14630 мм (згідно з номенклатурою розмірів SSAB). Допуски відповідають EN 10 029;

- форма листів – також за EN 10 029;

- листи відповідають допускам SSAB з точки зору вимог до площинності (клас N, тип сталі L). Ці допуски більш жорсткі, ніж EN 10 029.

Для усіх перерахованих вище розмірних характеристик по відношенню до листів завширшки ≤ 1600 мм та товщиною 3-6 мм діють норми EN 10 051 (більш жорсткі допуски у цих випадках можливі за спеціальним замовленням).

Якість поверхонь листів – згідно з EN 10 163-2, клас A, підклас 1.

Листи поставляють після гартування з обрізаними на ножицях або за допомогою одного з існуючих термічних способів різки кромками (за спеціальною домовленістю кромки можуть залишатися необробленими).

Механічні властивості та хімічний склад сталі приведені в табл. 4.1-4.4.

Механічні властивості сталі HARDOX 450 досягаються за допомогою гартування та відпуску. Сталь не призначена для гарячої обробки при температурі вище 250° C, адже в цьому випадку матеріал може втратити свої гарантовані властивості.

Окрім сталей марки HARDOX фірмою SSAB виготовляються сталі типу Toolox[®] марок 33 і 34 твердістю 300 HB. Наприклад, сталь Toolox 33 поставляється після гартування та відпуску з високою ударною в'язкістю та надзвичайно низькими залишковими напруженнями, що забезпечує хорошу стабільність розмірів деталей з неї. Сталь має невеликий вміст карбідів і завдяки цьому чудово обробляється. Одним з варіантів використання сталі є виготовлення з неї пресформ для пластмасових та гумових виробів.

Сталь Toolox[®] марки 33, наприклад, має наступні загальні властивості:

- твердість – 275-325 HB;

- ударна в'язкість – енергія удару 35 Дж для Шарпі-V-випробування для листа у поперечному напрямку для ≤ 130 мм та для кованої заготовки у напрямку за товщиною (температура випробування – 20 °C);

Для ультразвукової дефектоскопії листи товщиною 80 мм поставляються

Таблиця 4.1 – Механічні властивості сталі HARDOX 450

Товщина листа, мм	Твердість HB*	Типова (негарантована) межа текучості, МПа
3-40	425-475	1100-1300
(40)-80	400-475	1050-1300

*Твердість за Бринелем (HB згідно з EN ISO 6506-1) на фрезерувальній поверхні на 0,5-3 мм нижче поверхні листа. Як мінімум один зразок з кожного слябу та з кожних 40 т металу. Номінальна товщина металу не відхиляється більше ніж на ± 15 мм від товщини випробуваного зразка. Листи піддаються наскрізному гартуванню до, як мінімум, 90% гарантованої мінімальної поверхневої твердості.

Таблиця 4.2 – Ударні властивості сталі HARDOX 450

Показник	HARDOX 450	HARDOX 450 Tuf
Мінімальна ударна енергія для випробувань на поперечний удар. Зразки Шарпі 10 x 10 мм з V-подібним надрізом*	-	27 Дж / -20°C

*Для листів товщиною 6-11,9 мм використовуються зразки Шарпі нестандартного розміру з V-подібним надрізом. Вказане мінімальне значення пропорційно поперечному перетину зразка, подібного повно розмірному зразку (10 x 10 мм). Ударні випробування виконуються згідно з ISO EN 148 у відповідності з групами за температурою нагріву та товщині. Використовується середнє значення за результатами трьох випробувань. Одиничне значення: мінімум 70% від вказаного середнього. Ударні випробування виконуються при товщині від 6 мм.

Таблиця 4.3 – Хімічний склад (вміст легуючих елементів для отримання дрібнозернистої сталі ковшів екскаваторів та вантажників), %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0,26	0,70	1,60	0,020	0,010	1,40	1,00	0,60	0,005

Таблиця 4.4 – Максимальний вуглецевий еквівалент CET (CEV)

Товщина, мм	-(5)	5-(10)	10-(20)	20-(40)	40-(80)
CET (CEV)	0,37 (0,48)	0,38 (0,49)	0,39 (0,52)	0,41 (0,60)	0,43 (0,74)

$$\text{CET} = \text{C} + \frac{\text{Mn} + \text{Mo}}{10} + \frac{\text{Cr} + \text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{40}; \quad \text{CEV} = \text{C} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15}$$

згідно з класом E₂S₂ за EN 10 160.

- ультразвуковий контроль – виконується згідно з EN 10 160 для катаних листів та EN 10228-3 для кованих заготовок. Додаткові вимоги – згідно зі специфікацією SSAB V6;

- травлення – сталь Toolox 33 забезпечує виконання вимог за NADCA # 207-2006;

- розміри – Toolox 33 поставляється листами товщиною від 5 до 130 мм або кованими заготовками товщиною 150-300 мм;

- стан поставки – сталь загартована та відпущена при мінімальній температурі 590 °C;

- термообробка – сталь Toolox 33 не призначена для подальшої термообробки. Якщо нагріти її після поставки до температури вище 590 °C, то SSAB Plate не гарантує отримані властивості матеріалу;

- азотування або покриття – азотування або поверхнєве покриття може виконуватися при температурі нижче 590 °C;

- контроль – контроль якості сталі здійснюється згідно з EN 10 025 та EN ISO 6506-1. Твердість вимірюється на фрезерованій поверхні на 0,5-2 мм нижче початкової поверхні;

- допуски – допуски на товщину, довжину, ширину та площинність відповідають «Програмі розмірів та допусків для нових катаних листів інструментальної сталі SSAB Plate». Кованих заготовок – згідно з DIN 7527;

- якість поверхні – поставлені SSAB Plate листи повинні відповідати наступним вимогам: відсутність окалини; відсутність ремонтного зварювання; поверхнєві дефекти нижче номінальної поверхні не допускаються. Для кованих заготовок вимоги у відповідності з DIN 7527.

Механічні властивості та хімічний склад сталі приведені в табл. 4.5-4.8. На рис. 4.2 і 4.3 показані залежності відповідності ударної в'язкості сталей Toolox 33 і Toolox 44 від їхньої твердості та твердості від відстані до зовнішньої поверхні деталі.

Нарешті, слід згадати про сталь Armoх 500 T, призначену для захисту від

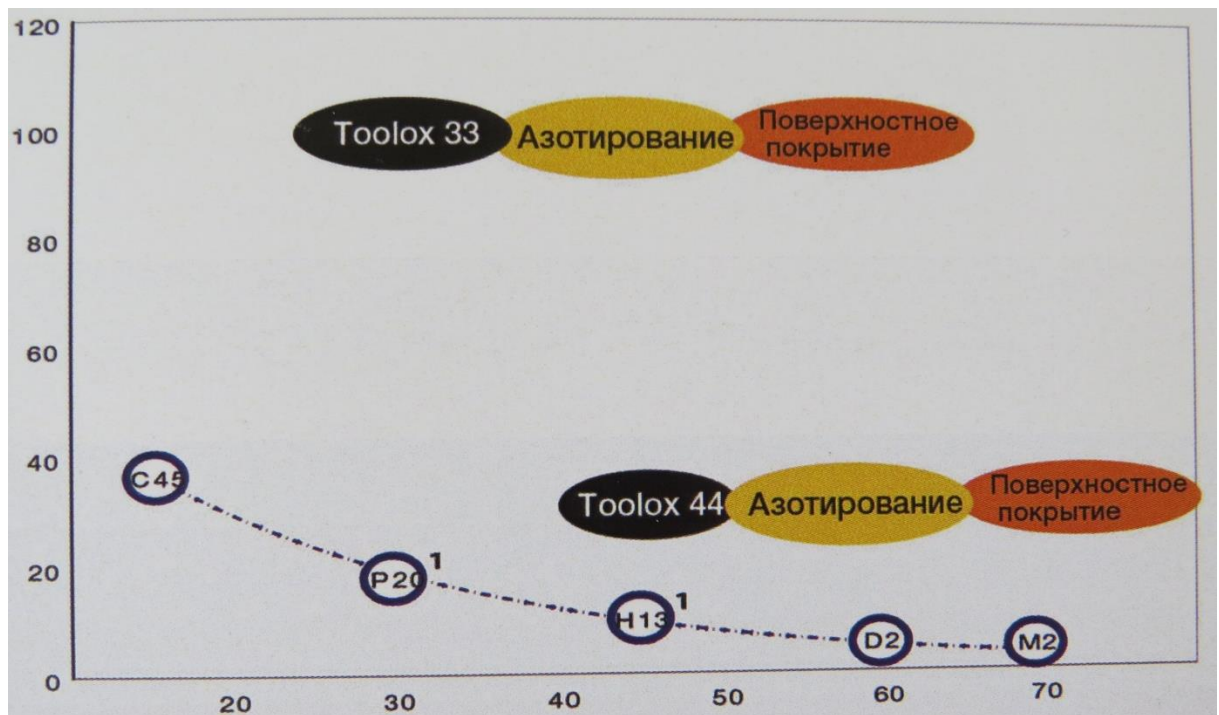


Рисунок 4.2 – Залежність ударної в'язкості сталі Toolox 33 (Дж, за Шарлі-V при +20° С, вісь ординат) від її твердості (HRC, вісь абсцис)

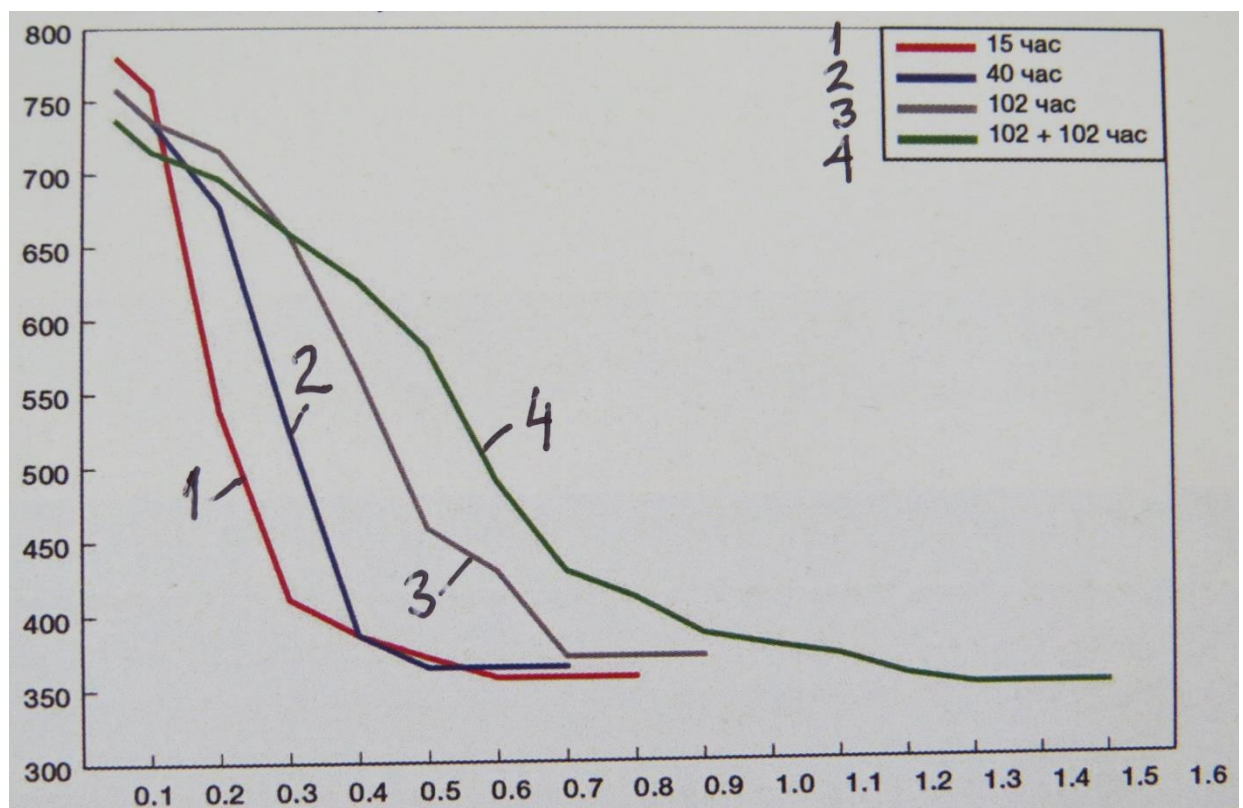


Рисунок 4.3 – Залежність твердості сталей Toolox, (H₅, вісь ординат) від відстані до зовнішньої поверхні деталі, (мм, вісь абсцис) у випадку газового азотування при 510° С

абразивного зносу ковшів виймально-навантажувальної та виймально-транспортної техніки.

Сталь має наступні загальні властивості:

- випробування – тест твердості за Бринелєм згідно з EN ISO 6506-1; випробування на удар за Шарпі згідно з EN 10 045-1; випробування на розрив згідно з EN 10 002-1; ультразвуковий контроль згідно з EN 10 160;

- умови поставки – після гартування та відпуску; загальні технічні вимоги до поставки викладені у брошурі «Загальні відомості про продукти Weldox, Hardox та Armoх»;

- розміри – сталь Arмох 500 Т поставляється у листах завтовшки від 3 до 70 мм. Листи товщиною більше 45 мм поставляються лише за спеціальним замовленням;

- допуски – відповідають вимогам EN 10 029 за виключенням товщини. Допуски для товщини приведені в табл. 4.9. Допуски на площинність – згідно з класом N або за спеціальною домовленістю;

- якість поверхонь – згідно з EN 10 163-2, вимоги згідно з класом B, умови ремонту згідно підкласу 3;

- термообробка та виготовлення – сталь Arмох 500 Т не призначена для гарячої обробки при температурі вище 200 °C. У цьому випадку матеріал може втратити свої гарантовані властивості.

В табл. 4.10-4.11 приведені відповідно хімічний склад та механічні властивості захисної листової сталі Arмох 500 Т.

Можливості верстатного парку підприємства Ferro Max Protect дозволяють виконати усі види обробки сталей марок HARDOX, Toolox та Arмох. Листи матеріалів легко піддаються механічній обробці, гарантовані результати якої передбачаються гомогенністю та стабільністю характеристик матеріалів. Наприклад, для листової сталі HARDOX передбачаються:

- операції свердлення (рис. 4.4а) за допомогою високошвидкісних сталевих або твердосплавних свердлів. Тип свердла, що використовується, залежить від типу верстату та його жорсткості. У будь-якому випадку дуже важливо забезпечити

мінімальний рівень вібрацій під час обробки;

- згинання листів (рис. 4.4б) можливо за дуже малим радіусом завдяки якості сталі та гладкої поверхні виробів. Стабільні властивості матеріалу гарантують надзвичайно високу точність згинання;

- вогневе різання (рис. 4.4в) виконується так само просто, як і різання звичайної м'якої сталі. Проте, різання товстих листів потребує особливої уваги. У випадку з твердими та товстими листами завжди існує небезпека появи розтріскування по кромці обрізу. Але їх можна запобігти, якщо дотримуватися рекомендацій та вказівок виготовлювача матеріалу;

- прекрасне зварювання сталі HARDOX (рис. 4.4г) дуже добре поєднується з її виключними зносостійкими характеристиками. Для зварювання сталі з будь-яким іншим типом сталі підходять усі відомі традиційні способи зварювання.

Під час механічної обробки згаданих типів сталей потрібно суворо дотримуватися відповідних правил безпеки. Наприклад, в процесі шліфування, особливо листів, вкритих ґрунтовкою, утворюється пил з високою концентрацією дрібних частинок, які слід вчасно уловлювати.

4.1.3 Приклади використання продукції HARDOX® в промисловості

4.1.3.1 Гірничорудна галузь

До механічного обладнання, що використовується під час видобутку руд, ставляться дуже високі вимоги. Особливо це відноситься до підприємств відкритої розробки родовищ. Стійкість до абразивного зносу – одна з найважливіших вимог. Неправильний вибір обладнання або матеріалів може призвести тут до значних непередбачених витрат. Застосування зносостійких листів HARDOX® в гірничодобувній промисловості дає неперевершені переваги на усіх без виключення етапах виробничого процесу. Одна з таких переваг – економічна вигода, яка може позитивно позначитися на економіці усіх гірничих робіт.

Зносостійкість листів HARDOX забезпечує значне зростання періодичності ремонтів обладнання. Тому ця продукція представляє собою просте і гнучке ріше-

ння проблеми, що реалізується безпосередньо на місці експлуатації. Чудові зварюваність та оброблюваність листів дають можливість ефективного використання цих виробів під час ремонтних робіт, що, у свою чергу, забезпечує безперебійність виробництва та виключає необхідність в наявності великих складських запасів запасних частин.

Під час проектування та конструювання техніки унікальні властивості зносостійких листів HARDOX надають нові можливості, дозволяють досягти більш високого рівня експлуатаційних якостей та економічних показників. Так, наприклад, висока міцність листів забезпечує можливість зменшення їхньої товщини, що призводить до зниження ваги та підвищення корисного навантаження обладнання, а, значить, і його продуктивності.

На рис. 4.5 показана схема застосування продукції HARDOX® на відкритих розробках твердих високоабразивних корисних копалин. Технологічний ланцюг видобутку руди містить цілу низку механічного обладнання, розташованого у порядку здійснення технологічних процесів виймання, навантаження та транспортування гірничої маси у межах кар'єру.

У виймально-навантажувальному та виймально-транспортному обладнанні (екскаваторах 1, вантажниках 12) найбільш зношуваними вузлами є ковші, особливо такі їхні деталі як ножі, бокорізи, днища, ріжучі кромки бічні стінки. Конструкції ковшів можуть бути виконані з використанням листів HARDOX 400/450. Для ріжучих кромок ковшів рекомендується застосування HARDOX HiTuf. Листи з HARDOX 500/550 ідеальні для бічних стінок ковшів.

Продукція HARDOX® дає можливість конструювання кузовів самоскидів 3, що відрізняються малою вагою, але мають рівень зносостійкості набагато більш важких конструкцій. На рис. 4.6 показані схема та розміри однієї з багатьох конструкцій таких кузовів. Усі вони відрізняються сучасним дизайном, низькою масою, довговічністю, універсальністю по відношенню до різноманітних впливів (ударних, ковзних, абразивних), гладкістю поверхонь використовуваних матеріалів, що запобігає виникненню задирок та подряпин, високою якістю. HARDOX має чудо-

ву ударну стійкість та захист від утворення вм'ятин, що робить його застосування абсолютно вдалим конструкційним рішенням.

Крім того, листи HARDOX можна використовувати для футерування кузовів самоскидів. Бічні стінки, днища та передні стінки ідеально захищаються футерівкою з HARDOX 400/450/500.

Для приймальних бункерів 4 та живильників 5 (див. рис. 4.5) в якості конструкційних матеріалів найкраще підходять листи HARDOX 500/550/600.

Під час руху гірничої маси вказаним ланцюгом обладнання її потік змушений багаторазово змінювати свій напрямок. Для цього потрібні численні перевантажувальні лотки 9, які рекомендується виготовляти з HARDOX 450/500/550/600.

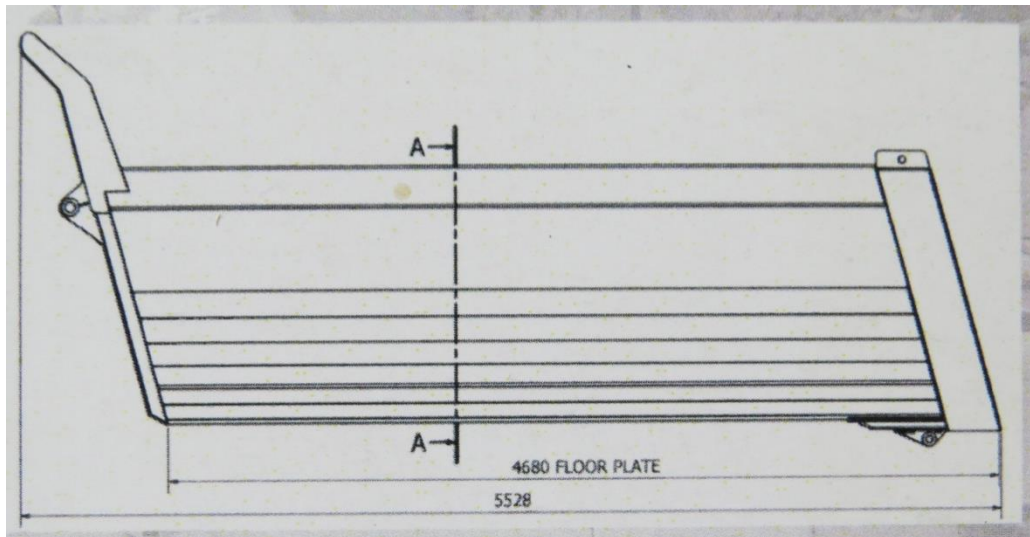
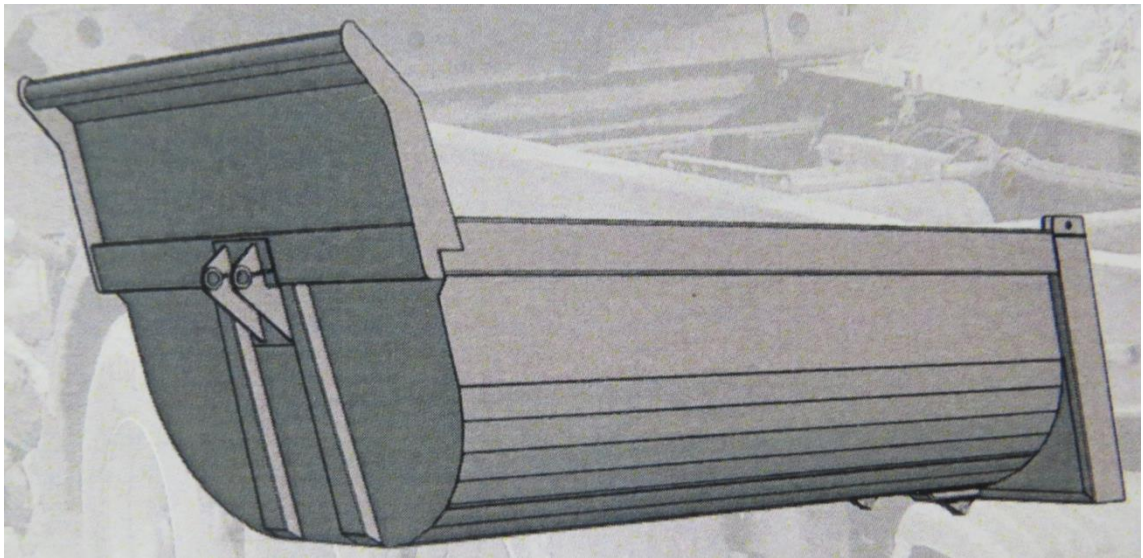
На такому виймально-транспортному обладнанні як бульдозери 2 (у першу чергу для виготовлення головних конструкційних елементів ковшів, відвалів та ножів) ідеальним буде застосування листів HARDOX 400/450/500. Для ріжучих кромок відвалів рекомендується використовувати HARDOX 500/550, а для розпушників – HARDOX HiTuf.

Для футерівок приймальних бункерів на постах розвантаження гірничої маси добре підійдуть листи HARDOX 400/450/500.

Усі марки зносостійких матеріалів HARDOX чудово придатні для застосування в дробарках різних типів (7, 10). Найбільшому абразивному зносу в них піддаються футерівки робочих органів (щік щоккових дробарок, нерухомих чаш та дробильних конусів конусних дробарок, молотків та бив дробарок ударних типів), завантажувальні пристрої, колосникові решітки. Конкретна марка матеріалу вибирається в залежності від характеру та інтенсивності зносу.

4.1.3.2 Процеси вторинної переробки матеріалів

В сучасній промисловості існує постійна необхідність в переробці різноманітних матеріалів, наприклад відходів тих чи інших виробництв. Яскравим прикладом такого виробництва є переробка металобрухту. Процеси переробки абразивної вторинної сировини ставлять надзвичайно високі вимоги до задіяного в них



A-A

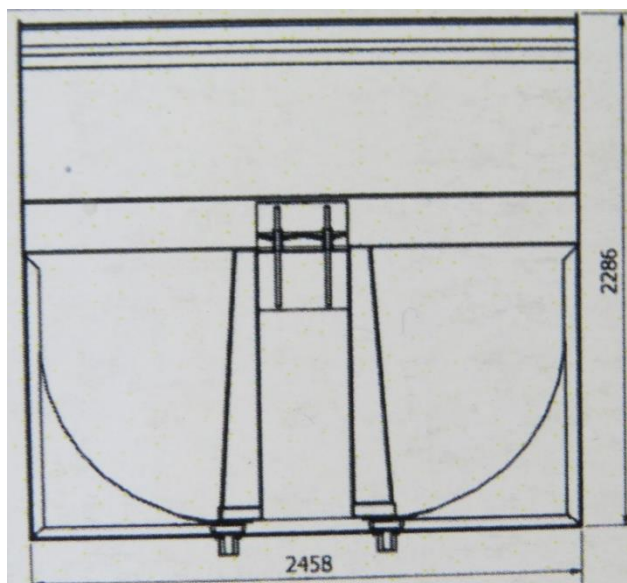


Рисунок 4.6 – Схема кузова самоскиду з використанням листів HARDOX

механічного обладнання. Для зберігання продуктивності та конкурентоспроможності устаткування дуже важливо використання матеріалів, стійких до зовнішнього абразивного впливу. Найкращим рішенням цього питання є застосування футерувальних листів HARDOX. Вони створені спеціально для таких умов роботи і допомагають скоротити експлуатаційні витрати за рахунок зменшення простоїв, збільшити ресурс обладнання та в цілому оптимізувати виробництво за рахунок створення раціональних графіків технічного обслуговування обладнання. Футерувальні листи HARDOX можуть протистояти сильному ударному зносу та зносу від ковзання, зберігаючи при цьому високі зварювальні якості та технологічність.

На рис. 4.7 показана схема застосування продукції HARDOX[®] для переробки абразивної вторинної сировини. Тут, як і в попередньому випадку, використовується багато механічного обладнання, яке сприймає значні навантаження зносу.

Для смітєвозів 1 рекомендується використання листів HARDOX 400 або 450. Завдяки їхній підвищеній зносостійкості з'являється можливість виготовлення більш легких машин, але значної вантажопідйомності. Для робочих органів пресування відходів всередині смітєвозів добре підійдуть матеріали HARDOX 450 або 500.

Для футерування сортувальних відсіків 2 можуть застосовуватися листи з HARDOX 500, 550 або 600.

Обладнання для захоплення, завантаження і розвантаження відходів (наприклад, грейфери 3) рекомендується зміцнювати матеріалами HARDOX марки 450 або 500, які здатні суттєво збільшити терміни служби особливо вразливих з точки зору абразивного зносу конструктивних елементів.

Для дробарок 4 різного роду (здебільшого ударних типів), які використовуються для дроблення відходів, добре підходять листи зі сталі HARDOX марок 500, 550 або 600. Конкретна марка матеріалу залежатиме від фізико-механічних властивостей вторинної сировини та частоти потрапляння в установки особливо твердих предметів.

Подальше подрібнення відходів (металу, пластиків, гуми, кабелів тощо) здійснюється в грануляторах. Ножі 5 цих установок виготовляються зі сталі HAR-

DOX 600 або HARDOX Extreme.

Грохоти і сита 6 для розділення продуктів дроблення та подрібнення на класи крупності рекомендується виготовляти з HARDOX 450 або 500.

Аналогічний матеріал у вигляді пластин добре підходить для футерування стрічок конвеєрів 7, а також рухомих ланцюгів конвеєрів інших типів.

Нарешті, HARDOX 450 або 500 добре підходять для використання в ролі футерівок бічних стінок і днищ контейнерів 8. Ці сталі поєднують високі рівні міцності і твердості.

4.1.3.3 Інші галузі

Окрім зазначених вище, HARDOX[®] пропонує рішення для інших галузей промисловості.

Наприклад, для дорожньої та будівельної техніки сталі HARDOX використовуються в якості матеріалу для конструкційних елементів і футерувальних накладок ковшів екскаваторів та вантажників, розпушників, гідравлічних ножиців, грейферних щелеп, шнеків для бурів, корпусів гідромолотів, плит асфальтоукладальників, пластин бетономішалок тощо.

Для сільськогосподарського та лісозаготівельного обладнання згадані матеріали йдуть на виготовлення захватів вантажників лісу, запасних частин лісозаготівельних машин, лемешів, доліт плужного устаткування, ножів віджимних пресів для цукрової тростини.

В багатьох галузях промисловості широко застосовуються конвеєри для транспортування сипких абразивних матеріалів. В цих конструкціях захисту потребують бічні стінки установок, живильники для завантаження робочих органів, ланцюги та шнеки.

Можна також згадати такі галузі перспективного використання сталевих листів HARDOX як виготовлення пресформ для цегли та бетонних блоків, захисних елементів кабін екскаваторів, кулеприймачів на полігонах та стрільбищах, решіток, укріплень для складів, спеціалізованих будівель, захисних елементів картерів двигунів спортивних та позашляхових автомобілів, бронежилетів, броньового за

хисту військової техніки тощо.

4.1.4 Виготовлення та ремонт зносостійких ковшів

Компанія HARDOX[®] пропонує послуги з виготовлення та ремонту зносостійких ковшів для виймально-навантажувального та виймально-транспортного обладнання гірничодобувних і будівельних підприємств з використанням сталей HARDOX. На рис. 4.8 показані основні типи використовуваних ковшів.

Загальногрунтовий ківш (рис. 4.8а) призначений для розробки ґрунтів I-IV категорій із вмістом кам'янистих матеріалів до 15%.

Посилений ківш (рис. 4.8б) виготовляється для роботи на ґрунтах I-IV категорій із вмістом кам'янистих матеріалів до 50%. Конструкція ковшу має великий запас міцності.

Для особливо важких умов роботи призначений скельний ківш (рис. 4.8в). Він використовується на сильно абразивних ґрунтах V-VI категорій. Ківш постачений наступними різноманітними додатковими захисними елементами:

- механічним бічним захистом 1 (бокорізами) які підвищують здатність ковшу впроваджуватися в ґрунт. Бокорізи закріплюються на бічних стінках конструкції і захищають їх від зносу;
- зносостійкими блоками 2 у вигляді плоских циліндрів. Такі елементи забезпечують максимальний рівень захисту бічних стінок ковшу від ударів та стирання;
- зносостійкими планками 3 для захисту днища ковшу від зносу під час роботи на ґрунтах з високою абразивністю;
- приварними кутовими п'ятами 4. Ці елементи додатково захищають не лише днище, але й зварні шви конструкції;
- двокомпонентними пластинами 5 для захисту торців ножів від ударів та зносу;
- приварними міжзубцьовими сегментами 6 для захисту передньої кромки ножа. Вони також знижують рівень небезпеки руйнування адаптера коронки.

Розпушник (рис. 4.8г) використовується для руйнування мерзлого ґрунту, а

також проведення робіт на важких ґрунтах V-VI категорій.

Решітчастий ківш (рис. 4.8д) застосовується для навантажувальних та сортувальних операцій, основними з яких є сортування будівельних відходів та гірничих порід.

Траншейний ківш (рис. 4.8е) служить для розробки траншей, а також копання каналів під час прокладення трубопроводів та кабелів в різноманітних ґрунтах.

Профільний ківш (рис. 4.8ж) має трапецієподібну форму і знаходить використання для копання траншей та кюветів в ґрунтах різної важкості. Бічні стінки ковшу виконані з нахилом для створення схилів з точними профілями.

Планувальний ківш (рис. 4.8з), як це зрозуміло з його назви, розроблений для виконання планувальних робіт на ухилах доріг, в кюветах та насипах.

Планувальний ківш з механізмом нахилу (рис. 4.8і) ще краще пристосований для експлуатації на поверхнях зі значними ухилами.

Навантажувальний ківш (рис. 4.8к) служить для навантаження сипких та розпушених ґрунтів густиною до $1,1 \text{ т/м}^3$. Ківш має підвищену ємність завдяки полегшеній конструкції.

Зачисний ківш (рис. 4.8л) знаходить використання на роботах із зачищення русел річок, водоймищ від мулу, рослинних, деревних та інших відкладень. Бічні стінки ковшу мають полегшену перфоровану конструкцію завдяки наявності отворів.

4.2 Зносостійкі матеріали фірми SANDVIK

Всесвітньо відома глобальна інжинірингова група компаній шведського походження SANDVIK також має свій вагомий внесок у вирішення проблеми боротьби з абразивним зносом промислового обладнання, у першу чергу гірничого. У минулому році в групі працювало біля 41 тисячі робітників, а загальний прибуток склав 123 млрд. шведський крон у більш ніж 150 країнах світу. Не в останню чергу це відбулося за рахунок використання новітніх технічних рішень.

За плечима SANDVIK 160-річний досвід розробки та впровадження техніки для видобутку та переробці корисних копалин, яка відрізняється високими рівнями продуктивності, якості та безпеки [19,20].

Спеціалісти фірми добре обізнані в теорії і практиці зносу промислового обладнання, що викликається постійним впливом абразивних та ударних сил з боку частинок матеріалів під час їхньої переробки та транспортування. Оскільки знос може суттєво погіршувати ефективність та надійність технологічного обладнання, розробка способів і засобів захисту від нього має вирішальне значення для постійної підтримки на належному рівні високих експлуатаційних характеристик техніки. Як стверджує SANDVIK, використання розробок щодо захисту обладнання для видобутку корисних копалин від зносу дозволяє скоротити економічні втрати на 15% у короткочасній перспективі (до 10 років) та на 30% – у більш тривалому терміні (до 20 років).

Розглянемо основні напрямки дослідницької діяльності науковців фірми у вирішенні проблеми боротьби з абразивним зносом гірничого обладнання.

4.2.1 Карбідне литво

Литво з карбіду HX900, вперше розроблене та впроваджене компанією SANDVIK, є новою унікальною категорією зносостійких матеріалів. Воно поєднує в собі особливі механічні властивості двох своїх компонентів: магнієвого чавуну з кулеподібним цементованим графітом в якості базового матеріалу та шаруватих твердих сплавів. Це робить його неперевершеним зносостійким матеріалом для захисту обладнання для переробки гірничих порід і транспортної техніки для переміщення вантажів.

Футерівку HX900 можна використовувати у широкому спектрі галузей застосування для захисту поверхонь деталей та вузлів, що піддаються сильному зносу. Вони мають стандартні розміри або можуть виготовлятися за спеціальним замовленням.

На рис. 4.9 показаний зовнішній вигляд листової футерівки з карбідного литва HX900.



Рисунок 4.9 – Листова футерівка з карбідного литва НХ900

4.2.2 Кераміка

Для захисту поверхонь робочих органів гірничої техніки, що потерпають від абразивного зносу в режимі стирання, знаходять використання композитні гумово-керамічні зношувані плити WT9200 та обшивка WG9200, які можуть кріпитися за допомогою болтів або приклеюватися до цих поверхонь (наприклад, перевантажувальних лотків). Вони випускаються товщиною від 5 до 100 мм і створюють пружну прокладку для керамічних плиток. Це знижує ризик ушкодження футерівок при ударних навантаженнях і суттєво збільшує термін служби захищених деталей.

На рис. 4.10 показаний зовнішній вигляд композитної гумово-керамічної плити WT9200.

4.2.3 Полімери

Спеціалістами компанії SANDVIK створені сучасні довговічні гумові футерівки WT6000/WT7000, які представляють собою універсальний захист від зносу в різних галузях промисловості з умовами експлуатації від легких до надважких.

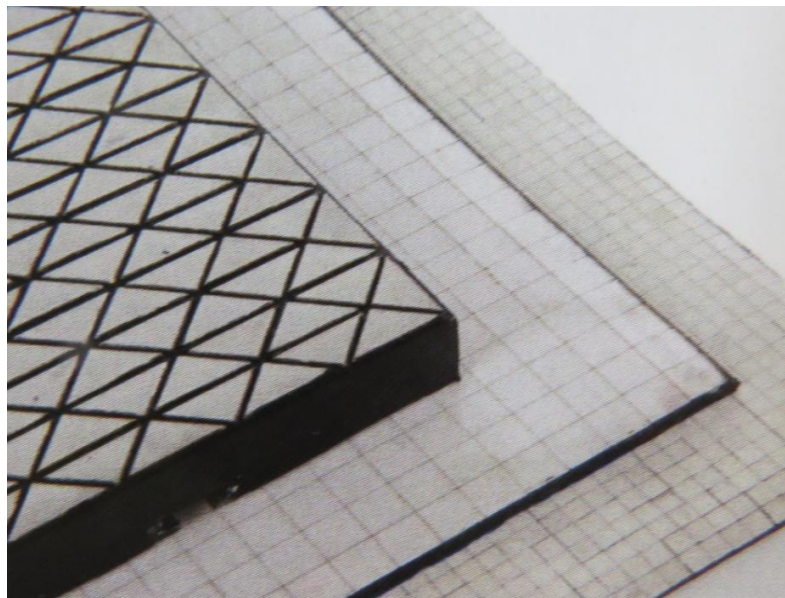


Рисунок 4.10 – Композитна гумово-керамічна плита WT9200

Поліуретанові зношувані пластини WT8000 та поліуретанова гумова обшивка WG8000 ідеально підходять для застосування в умовах підвищеної вологості.

Гумовий захист від зносу WG3500/WG4000/WG6000 може встановлюватися всередині лотків для підвищення терміну служби до повного зносу та зниження рівні шуму з метою створення комфортних та безпечних умов праці обслуговуючого персоналу.

На рис. 4.11 показаний зовнішній вигляд полімерних футерівок SANDVIK.

Висновки:

- в роботі розглянуто пропозиції деяких всесвітньовідомих розробників гірничої техніки щодо створення та впровадження новітніх матеріалів для захисту робочих органів механічного обладнання від усіх видів абразивного зносу, який представляє собою надзвичайно важливу проблему не лише в гірництві, але й в багатьох інших галузях промисловості;

- зокрема, міжнародна мережа компаній HARDOX WEARPARTS®, HARDOX IN MY BODY® (в тому числі шведська фірма SSAB) в особі свого українського представника – фірми Ferro Max Protect (м. Вишневе, Київська обл.) – про-



Рисунок 4.11 – Полімерні футерівки фірми SANDVIK

понує продукцію зі спеціалізованих зносостійких низьколегованих листових сталей HARDOX[®] з відмінними характеристиками твердості та міцності. Твердість сталей по усьому перетину товщини листів складає не менше 450 HB. Низький вміст вуглецю (до 0,3%) гарантує відмінну придатність сталей до зварювання. Вони добре справляються з усіма видами зносу, включно з ударним та ковзним. Практичні випробування продемонстрували, що термін служби даних сталей у багато разів перевищує термін служби звичайних видів сталей типу 09Г2С, 10ХСНД, 110Г13Л які досі широко використовуються багатьма вітчизняними підприємствами для боротьби зі зносом механічного обладнання. З огляду на це, застосування пропонованих матеріалів дозволить значно подовжити терміни служби машин і обладнання, знизити витрати на ремонт, скоротити простої техніки;

- в роботі проаналізовано номенклатуру та основні властивості сталей HARDOX[®], запропоновано конкретні варіанти використання цих матеріалів в різних технологічних процесах видобутку та переробки мінеральної сировини, наведено приклади посилення антифрикційних показників робочих органів механічного обладнання. Зокрема, приведена докладна інформація про виготовлення та застосування зносостійких ковшів для галузевої екскаваторної техніки;

- також здійснено огляд розробок високоефективних зносостійких матеріалів, виконаних спеціалістами шведської компанії SANDVIK, визнаного світового лідера зі створення гірничого обладнання. Розглянуто переваги перспективних футерівок робочих органів різноманітної техніки для видобутку та переробки корисних копалин, виготовлених з карбідного литва, кераміки та полімерів;

- використання розробок для захисту гірничого обладнання від зносу дозволяє скоротити економічні втрати на 15% у короткочасній перспективі (до 10 років) та на 30% – у більш тривалому терміні (до 20 років).

ВИСНОВКИ

Проведені під час виконання магістерської роботи дослідження дозволили зробити наступні висновки та сформулювати рекомендації щодо впровадження їх на практиці:

- важкі умови роботи сучасної динамічно навантаженої гірничої техніки є причиною швидкого зносу робочих органів машин, що контактують з високоміцною абразивною гірничою масою, та деталей численних вузлів тертя, які працюють в запиленій та корозійнонебезпечній атмосфері гірничодобувних і гірничопереробних підприємств. У таких обставинах важливість та актуальність досліджень та обґрунтування раціональних способів і заходів підвищення абразивної стійкості робочого обладнання гірничих машин не викликає жодних сумнівів;

- навантаження, що діють на машини, механізми, пристосування в процесі їхньої експлуатації, можна розділити на робочі і постійно діючі, зовнішні і внутрішні, механічні, електричні, теплові тощо. Усі вони можуть викликати відмови обладнання і тим самим впливають на працездатність техніки. Останній показник характеризується наступними критеріями: міцністю, жорсткістю, тепло-, зносо- та вібростійкістю. Належне забезпечення цих властивостей обов'язкове під час проектування, виготовлення та експлуатації будь-якого механічного та електричного обладнання, у тому числі гірничого;

- знос деталей машин і механізмів стає причиною величезних матеріальних втрат в усіх галузях промисловості, тому у більшості випадків він визначає не лише надійність та довговічність техніки, але й економічність машин. В роботі проаналізовано основні види зносу поверхонь деталей механічного обладнання та фактори, що їх викликають;

- абразивний знос відбувається за рахунок інтенсивного руйнування шляхом мікропластичних деформацій та зрізання металу частинками абразивного середовища. Останні можуть вражати деталі зовні (наприклад, під час контакту робочих органів гірничих машин з породою), а також проникати у неякісно ущільнені закриті вузли тертя (наприклад, підшипники, зубчасті пари тощо). Різновиди абра-

зивного зносу залежать від конкретної схеми взаємодії твердих частинок з поверхнями. Механізм абразивного зносу матеріалів можна представити у вигляді підсумку одиничних актів, що створюють в окремих мікрооб'ємах певний спектр напружень;

- мірою зносу є сумарна величина руйнування поверхонь, що визначається зменшенням лінійних розмірів деталі, її об'єму або ваги. Знос є функцією часу, тому для його кількісної оцінки використовують такі показники, як швидкість та інтенсивність зносу. Конструкційна зносостійкість деталі змінюється на різних етапах її експлуатації;

- зносостійкість деталей машин залежить від якості виготовлення їхнього поверхневого шару, яка характеризується сукупністю геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей, обумовлених процесом її утворення під час обробки. Вибір та забезпечення оптимальних характеристик тертьових деталей машин є надзвичайно важливою комплексною задачею, під час вирішення якої потрібно враховувати якість вихідних характеристик, забезпечених технологічною обробкою виробу, припрацювання, а також процеси вторинного експлуатаційного формування геометрії поверхні та її властивостей;

- дослідження показують, що зносостійкість поверхонь деталей машин зростає із збільшенням їхньої твердості та підвищенням вмісту вуглецю і карбідотворюючих легуючих елементів у сталі. В умовах абразивного зносу найбільш зносостійким матеріалом є білий чавун;

- практичний багаторічний досвід дробильного обладнання на вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатах, зокрема Кривбасу, свідчить, що абразивний знос таких установок найбільш інтенсивний в нижніх зонах футерувального простору, а швидкість зносу футерівок стрімко зростає з підвищенням міцності перероблюваних корисних копалин;

- для підвищення абразивної зносостійкості деталей та вузлів гірничих машин використовуються різноманітні прийоми конструкційного, технологічного та експлуатаційного плану, що здійснюються на етапах проектування техніки, виготовлення її в металі на машинобудівному підприємстві та застосування за призна-

ченням в гірничодобувному або гірничозбагачувальному виробництві. До них можна віднести наступні: правильний підбір матеріалів тертьових пар; зменшення рівня контактних тисків поверхонь тертьових з'єднань; компенсація зносу; забезпечення оптимального режиму змащення; повне усунення металевого контакту між деталями; підвищення якості обробки контактуючих поверхонь; термічна обробка поверхонь контакту; хіміко-термічна обробка поверхонь; підбір найбільш зносостійких матеріалів для деталей, що працюють в умовах безпосереднього контакту з абразивним середовищем тощо;

- в роботі розглянуто пропозиції деяких всесвітньовідомих розробників гірничої техніки щодо створення та впровадження новітніх матеріалів для захисту робочих органів механічного обладнання від усіх видів абразивного зносу, який представляє собою надзвичайно важливу проблему не лише в гірництві, але й в багатьох інших галузях промисловості;

- зокрема, міжнародна мережа компаній HARDOX WEARPARTS[®], HARDOX IN MY BODY[®] (в тому числі шведська фірма SSAB) в особі свого українського представника – фірми Ferro Max Protect (м. Вишневе, Київська обл.) – пропонує продукцію зі спеціалізованих зносостійких низьколегованих листових сталей HARDOX[®] з відмінними характеристиками твердості та міцності. Твердість сталей по усьому перетину товщини листів складає не менше 450 HB. Низький вміст вуглецю (до 0,3%) гарантує відмінну придатність сталей до зварювання. Вони добре справляються з усіма видами зносу, включно з ударним та ковзним. Практичні випробування продемонстрували, що термін служби даних сталей у багато разів перевищує термін служби звичайних видів сталей типу 09Г2С, 10ХСНД, 110Г13Л які досі широко використовуються багатьма вітчизняними підприємствами для боротьби зі зносом механічного обладнання. З огляду на це, застосування пропонованих матеріалів дозволить значно подовжити терміни служби машин і обладнання, знизити витрати на ремонт, скоротити простої техніки;

- в роботі проаналізовано номенклатуру та основні властивості сталей HARDOX[®], запропоновано конкретні варіанти використання цих матеріалів в різних технологічних процесах видобутку та переробки мінеральної сировини, наведено

приклади посилення антифрикційних показників робочих органів механічного обладнання. Зокрема, приведена докладна інформація про виготовлення та застосування зносостійких ковшів для галузевої екскаваторної техніки;

- також здійснено огляд розробок високоефективних зносостійких матеріалів, виконаних спеціалістами шведської компанії SANDVIK, визнаного світового лідера зі створення гірничого обладнання. Розглянуто переваги перспективних футерівок робочих органів різноманітної техніки для видобутку та переробки корисних копалин, виготовлених з карбідного литва, кераміки та полімерів;

- використання розробок для захисту гірничого обладнання від зносу дозволяє скоротити економічні втрати на 15% у короткочасній перспективі (до 10 років) та на 30% – у більш тривалому терміні (до 20 років).

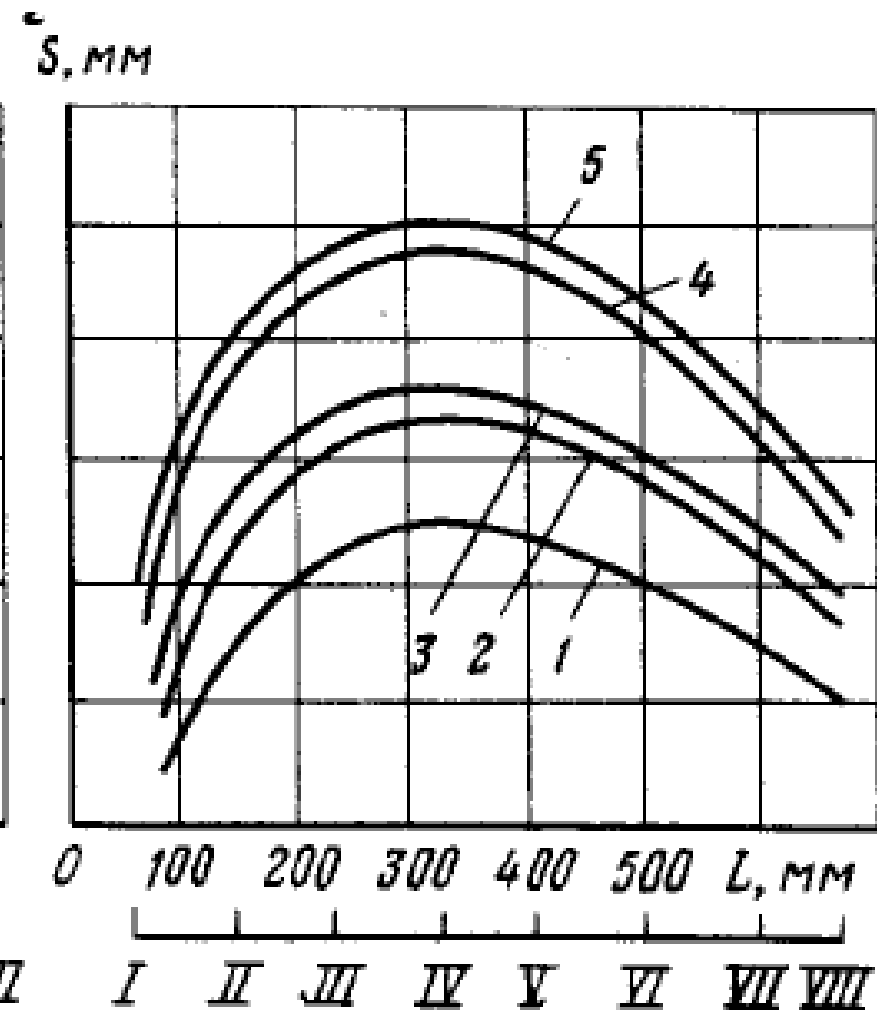
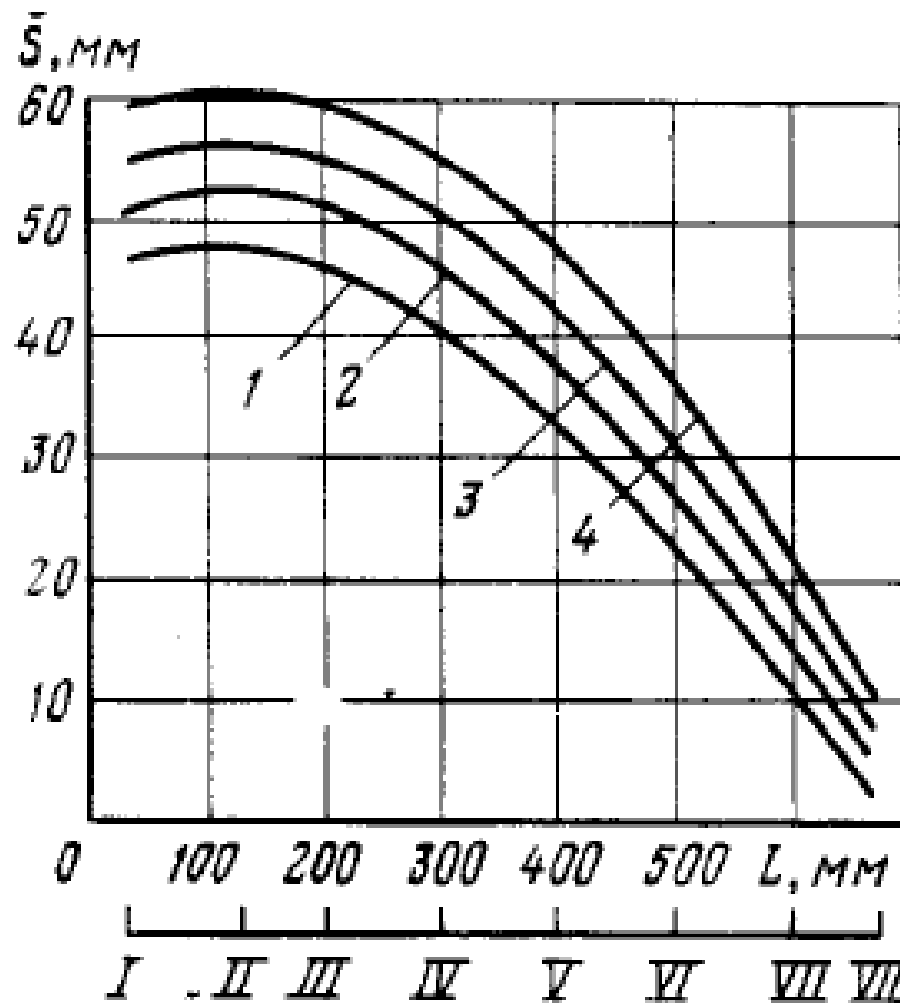


Рисунок 3.5 – Графіки залежності зносу S по довжині L утворюючої футерівок у місцях відміток, приведених на рис. 3.4 (дробарка КМД-2200):

- a – нерухомої чаші; b – дробильного конусу; I-IX – перетини згідно з рис. 3.4;
 1 – Оленегірський ГЗК; 2 – Новокриворізький ГЗК (НКГЗК); 3 – Михайлівський ГЗК;
 4 – Центральний ГЗК (ЦГЗК); 5 – Соколовсько-Сарбайський ГЗК

Таблиця 4.5 – Хімічний склад сталі Toolox 33

Склад	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	CEIW	CET
Вміст	0,22-0,24%	0,6-1,1%	0,8%	макс. 0,010%	макс. 0,003%	1,0-1,2%	0,30%	0,10-0,11%	макс. 1%	0,62-0,71	0,40-0,44

Таблиця 4.6 – Характеристики включень в сталі Toolox 33

Включення	Значення
Розмір включень (еквівалентний діаметр), мкм	6
Об'ємна частка, %	0,015
Коефіцієнт форми	1,2

Таблиця 4.7 – Механічні властивості сталі Toolox 33

Показники	Температура, °C				
	+20	+200	+300	+400	+500
Межа міцності R_m , МПа	980	900	-	-	-
Межа текучості $R_{p0,2}$, МПа	850	800	-	-	-
Відносне подовження A , %	16	12	-	-	-
Межа текучості $R_{c0,2}$, МПа	800	75	700	59	560
Ударна в'язкість, Дж	100	170	180	180	-
Твердість HB	300	-	-	-	-
Твердість HRC	29	-	-	-	-

Таблиця 4.8 – Фізичні властивості сталі Toolox 33

Показники	Температура, °C		
	+20	+200	+400
Теплопровідність, $W/m \cdot ^\circ K$	35	35	30
Коефіцієнт теплового розширення	13,1	13,1	-

Таблиця 4.9 – Допустимі відхилення сталі Armoх 500 Т по товщині

Товщина листа, мм	Допуски, мм
- 12,9	-0,0 – +0,8
13,0-19,9	-0,0 – +1,0
20,0-39,9	-0,0 – +1,2
40,0-59,9	-0,0 – +1,6
60,0-70,0	-0,0 – +2,0

Таблиця 4.10 – Хімічний склад сталі Armoх 500 Т

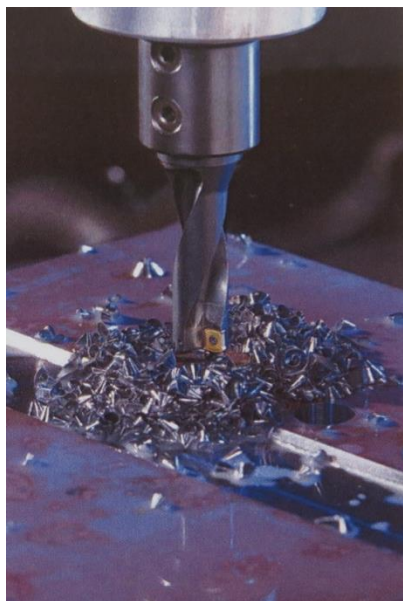
Хімічні елементи	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Максимальний вміст, %	0,32	0,4	1,2	0,015	0,010	1,0*	1,8*	0,7	0,005

*для товщин > 70 мм: Cr ≤ 1,5%; Ni ≤ 3,5%.

Таблиця 4.11 – Механічні властивості сталі Armoх 500 Т

Показники	Твердість	Ударна в'язкість за Шарпі-V (–40 °C)*, Дж	Межа текучості $R_{p\ 0,2}$, МПа	Межа міцності R_m , МПа	Відносне подовження	
					A_s , %	A_{so} , %
Значення	НВ 480-540	25	1250	1450-1750	8	10

*середнє значення за трьома тестами впоперек напрямку прокатки. Одиночне значення – мінімум 70% від середнього.



а



б



в



г

Рисунок 4.4 – Особливості механічної обробки листової сталі HARDOX:
а – свердлення; *б* – згинання; *в* – різання; *г* – зварювання

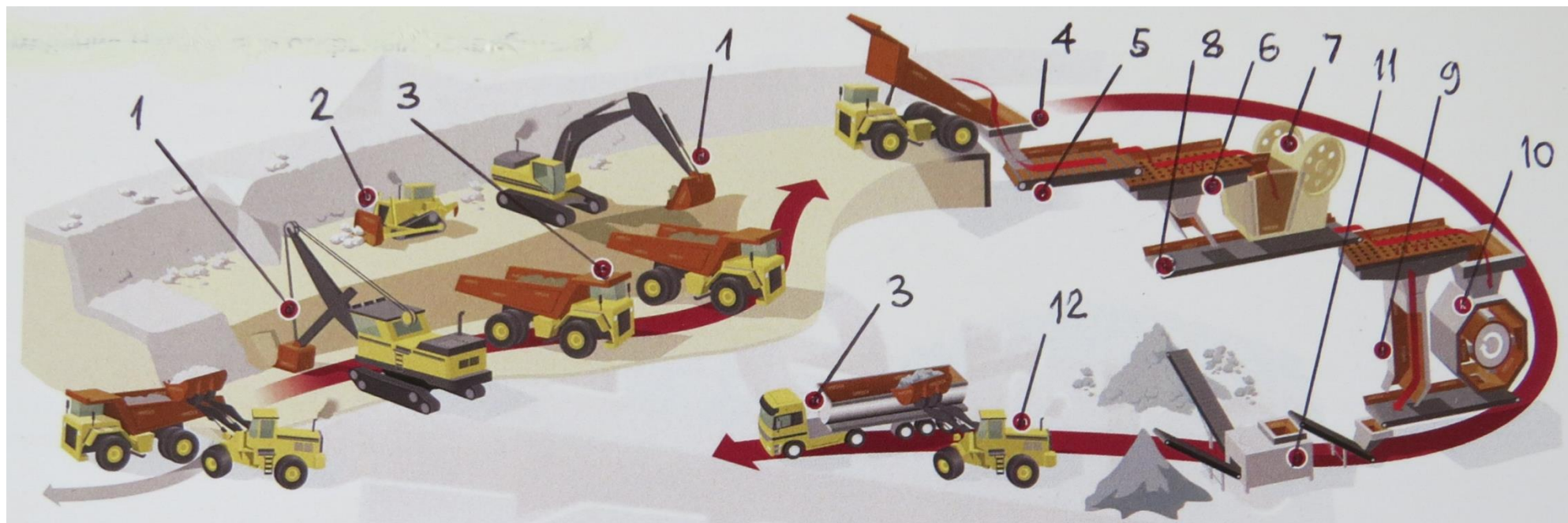


Рисунок 4.5 – Схема застосування продукції HARDOX®

на відкритих розробках твердих високоабразивних корисних копалин:

- 1 – екскаватори; 2 – бульдозери; 3 – самоскиди; 4 – приймальні бункери; 5 – живильники; 6 – грохоти;
 7 – щоківі дробарки; 8 – конвеєри; 9 – перевантажувальні лотки; 10 – молоткові дробарки; 11 – обладнання
 для остаточного просіювання; 12 – вантажники

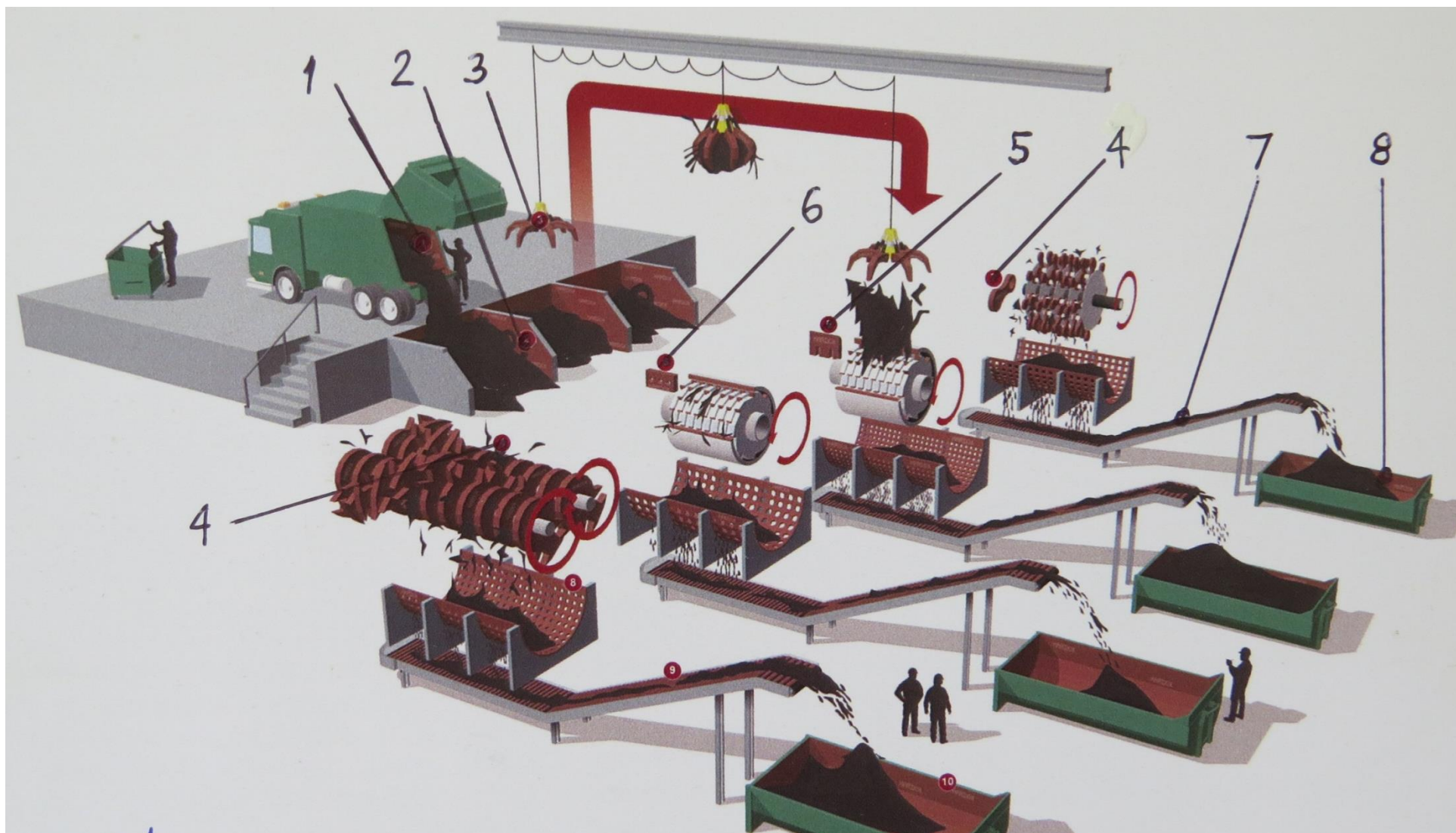
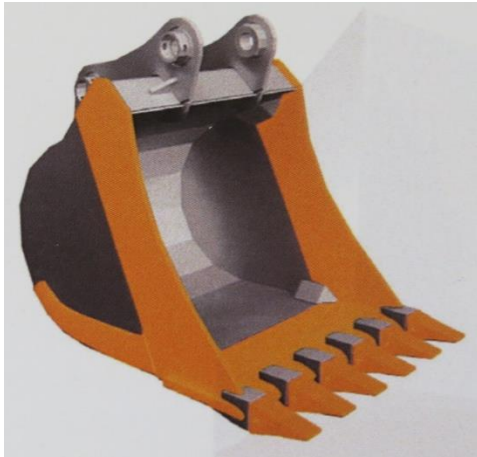
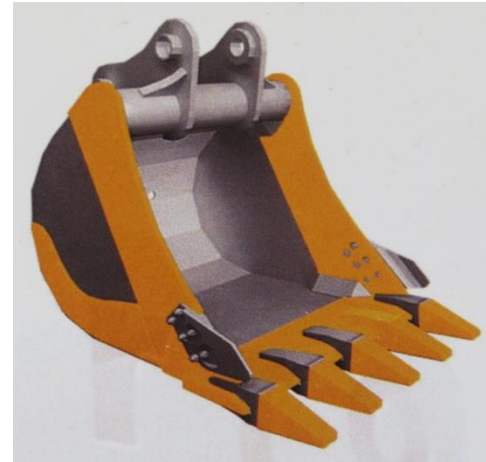


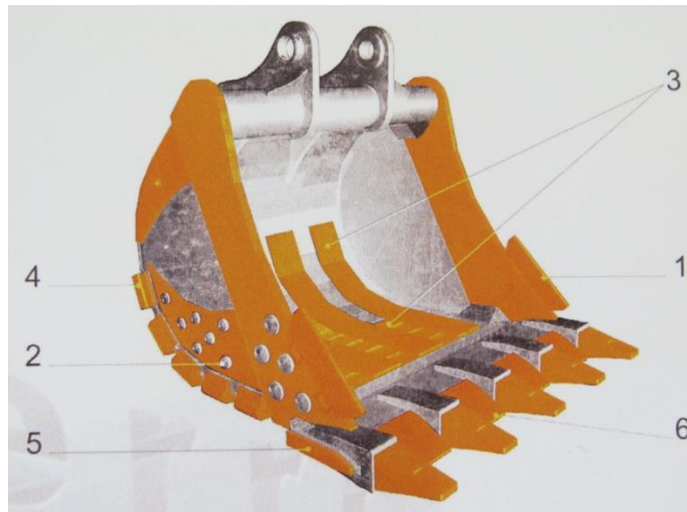
Рисунок 4.7 – Схема застосування продукції HARDOX® в процесах переробки вторинної абразивної сировини:
 1 – смітєвози; 2 – сортувальні відсіки; 3 – грейфери; 4 – дробарки; 5 – подрібнювальні ножі; 6 – грохоти (сита);
 7 – конвеєрні стрічки; 8 – контейнери



a



б

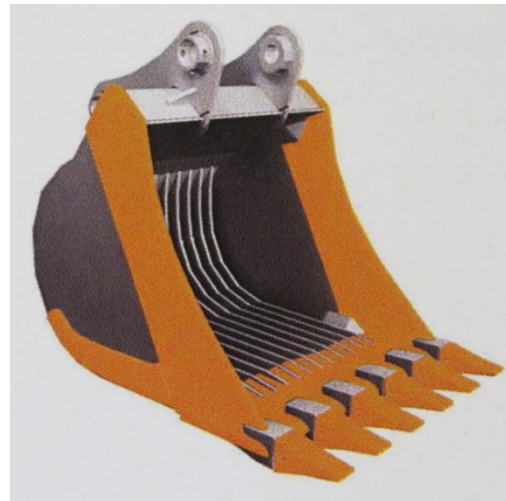


в

Рисунок 4.8 – Основні типи ковшів для виймально-навантажувального та виймально-транспортного обладнання:
a – загальногрунтовий; *б* – посилений; *в* – скельний (1 – механічний бічний захист; 2 – зносостійкі блоки; 3 – зносостійкі планки; 4 – приварні кутові п'яти; 5 – двокомпонентні пластини; 6 – приварні міжзубцові сегменти)



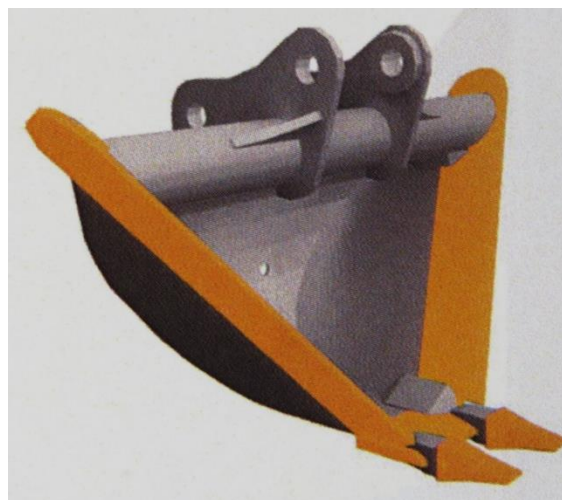
z



d

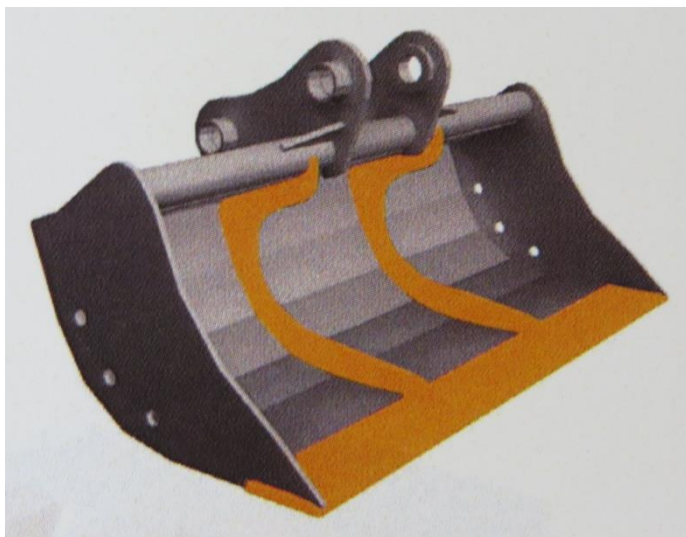


e

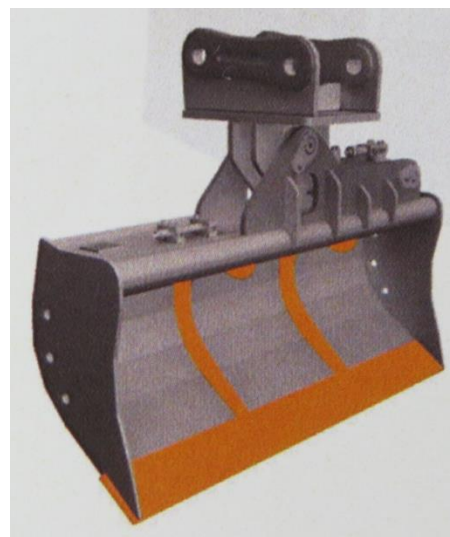


ж

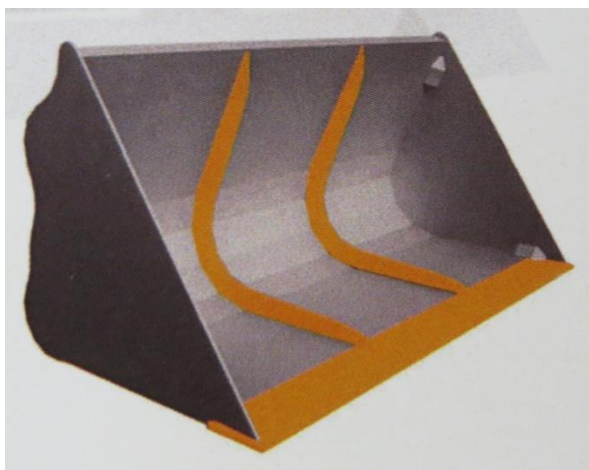
Рисунок 4.8 – Основні типи ковшів для виймально-навантажувального та виймально-транспортного обладнання.
Продовження: *z* – розпушник; *d* – решітчастий; *e* – траншейний; *ж* – профільний



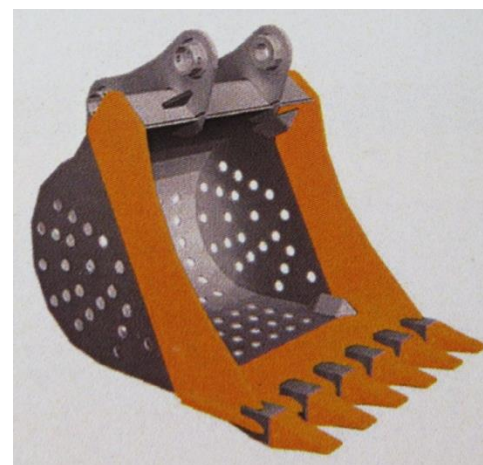
з



і



к



л

Рисунок 4.8 – Основні типи ковшів для виймально-навантажувального та виймально-транспортного обладнання.
Продовження: *з* – планувальний; *і* – планувальний з механізмом нахилу; *к* – навантажувальний; *л* – зачисний