

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ЗНОШУВАННЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КРИТЕРІЇВ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СКРЕБКІВ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ

Мета роботи. Дослідити механізм руйнування поверхні робочих скребків бетонозмішувачів, виявити критерії для оцінки їх стану і запропонувати найбільш доцільний спосіб підвищення їх працездатності.

Методи дослідження. Багатокритеріальний підхід [4], який, крім властивостей матеріалу деталі, що зношується, містить аналіз зовнішнього абразивного середовища, експлуатаційних і економічних параметрів зношування.

Отримані результати. Зношування скребків проходить в абразивній масі, найбільше зношування спричиняють частинки піску, гравію та граніту. Встановлено характер впливу властивостей щебеню на зносостійкість робочих органів бетонозмішувача. Фактор опору K (кПа) не є постійною величиною впродовж експлуатації. Необхідно враховувати залежності коефіцієнту опору від швидкості обертання ротору та від водо-цементного фактору при натурних іспитах і порівнянні зносостійкості випробуваних матеріалів в різних сумішах і робочих режимах.

Наукова новизна. Враховуючи склад бетонної суміші, геометричні характеристики її складових, кут атаки і відношення H_a/H_m , необхідно відзначити переважне пряме руйнування мікрорізнанням внаслідок багатоциклового полідеформаційного зношування.

Практичне значення. На виробництві, враховуючи подальше відновлення, необхідно слідкувати за лінійним зносом. Розміщення робочих органів бетонозмішувачів під кутом до потоку абразивної маси, дає змогу використати ефект тінювих зон для збільшення строку служби.

Ключові слова: абразивні зерна, зношування, скребки, механізм, критерії, геометричні розміри, зносостійкість, наплавлення.

Вступ

В будівельній галузі для приготування бетону використовують циклічні бетонозмішувачі примушувальної дії, які забезпечують високу якість і швидкість приготування суміші [1, 2]. Працездатність робочих органів змішувачів характеризується зазором між ними і футеровкою (технічно встановлений зазор 2–4 мм), ефективною робочою поверхнею і кутом між скребком і радіус-вектором змішувача.

До складу бетонної суміші входить багато абразивних часток з високими фізико-механічними властивостями [3], тому при їх замішуванні робочі органи зношуються, що призводить до зменшення їх конструктивно і технологічно необхідних розмірів. Для ефективної роботи ці розміри мають знаходитись в певних допусках, вихід за межі яких збільшує час приготування суміші, зменшує якість бетону через незмішані залишки на стінках чаші. Все це затримує технологічний цикл в будівництві, збільшує кількість ремонтних періодів, сприяючи додатковим грошовим витратам і збільшенню собівартості виробництва. Тому необхідно дослідити механізм руйнування поверхні робочих органів (скребків), виявити критерії для оцінки їх стану і запропонувати найбільш доцільний спосіб їх зміцнення.

Дослідження механізму зношування

Скребки бетонозмішувачів СБ-138Б, СБ-146А (рис. 1) в ході планетарного руху навколо футерованої чаші зношуються об напівзакріпленій абразив в головних, робочих, площинах, матеріал скребків – сталь 50Л ГОСТ 977-88 має твердість 42–58 HRC.

В бетонозмішувачах встановлюється переважно два скребка – один біля внутрішньої стінки футерованої чаші, інший біля зовнішньої. Зовнішній скребок зно-

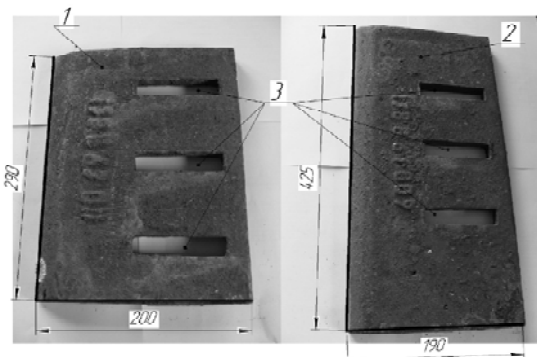


Рис. 1. Фотографії скребків бетонозмішувача СБ-138Б з зазначенням габаритних розмірів: 1 – роторний скребок; 2 – зовнішній скребок; 3 – місця для болтового кріплення з рамою

шується інтенсивніше тому, що знаходиться на більшій відстані від центру обертання і проходить більший шлях у суміші бетону.

Для аналізу впливу параметрів зношування на зносостійкість деталей ефективним є багатокритеріальний підхід [4], який, крім властивостей матеріалу деталі, що зношується, містить аналіз зовнішнього абразивного середовища, експлуатаційних і економічних параметрів

зношування. Економічні параметри будуть розглянуті при визначенні оптимальних строків ремонтного періоду бетонозмішувачів для відновлення скребків.

Зношування скребків проходить в абразивній масі, за дослідженнями [5] це специфічний вид зношування, при якому абразивні часточки мають відносно значну долю в масі сипкої або пластичної суміші. Абразивним середовищем є суміш піску, щебеню, води і цементу в

Таблиця 1 – Склад і властивості абразивних матеріалів бетонної суміші

Матеріал	Мікро-твердість H_{50} , ГПа	Границя міцності при стисканні, ГПа	Склад компонентів		
			Польовий шпат	Слюда	Залізо-магнезійні силікати
1. Граніт сірого кольору	13,9	10–30	$Ca[Al_2Si_2O_8]$ темно-сірий		$Ca(Mg,Fe,Al)[(SiAl)_2O_6]$ темно-зелений
2. Граніт червоно-бурого кольору	14,45	10–30	$K[AlSi_3O_8]$ рожево-червоний	$K(MgFe_3)[Si_3AlO_{10}][OH,Fe]_2$ чорна	
3. Граніт рожевого кольору	15,9	10–30	$Na[AlSi_3O_8]$ білий	$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ прозора	$Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe)[(SiAl)_4OH]_2[OH]_2$ чорний
4. Граніт з прошарком окислів заліза	16,8	10–30	$K[AlSi_3O_8]$ рожево-червоний		
5. Пісок кварцевий	13,5–16,0	4–8			

Таблиця 2 – Характер впливу властивостей щебеню на зносостійкість робочих органів бетонозмішувача

Параметр щебеню		Використовується на виробництві	Вплив на зносостійкість робочих органів
Фізико-механічні властивості	δ_{cm}	10–30 ГПа	Високе значення границі міцності на стиск впливає на робочі органи лише при заклинюванні, враховуючи конструктивні запобіжні заходи бетонозмішувачів, параметр не має значного впливу на зносостійкість
	Мікротвердість H_{50} ГПа	13,9–17 ГПа	Висока мікротвердість абразиву зменшує зносостійкість інструменту, також відношення мікротвердості абразиву та деталі визначає характер руйнування робочого органу. Руйнування відбувається мікрорізанням, дертям та викришуванням при полідеформаційному циклі
	Стан абразиву у просторі (закріпленість)	напівзакріплений	Чим жорсткіше закріплені абразив, тим більше він контактує з робочою поверхнею деталі. Цей параметр необхідно враховувати в комплексі з іншими фізико-механічними показниками абразивного граніту (δ_{cm} , H_{50} ГПа)
	Абразивність	VII–IX клас	Зменшує зносостійкість
	Крихкість	Крихкі і дуже крихкі	Параметр необхідно розглядати в комплексі з іншими фізико-механічними властивостями (δ_{cm} , H_{50} ГПа)
Геометричні власт-ті	Фракція	5–20; 10–20	Більша фракція призводить до частішого заклинювання і більшої енергії контактування абразив-деталь через більшу масу. В іншому випадку збільшується кількість точкових поверхневих контактів, що призводить до полідеформаційного процесу руйнування матеріалу [7]
	Лещадність	I (кубовидна); II (покращена)	Наявність в щебені зерен пластинчастої та голчатої форми через незначну товщину зменшує ймовірність заклинювання, також такі зерна мають меншу міцність порівняно з кубовими, тому зі зниженням класу лещадності зносостійкість робочих органів збільшується

різних пропорціях, найбільше зношування спричиняють частинки піску, гравію та граніту (табл. 1).

В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев [6] класифікують властивості абразивних матеріалів, що впливають на зносостійкість, але не чітко зазначають їхній вплив на робочі органи бетонозмішувачів, тому необхідно визначити, як впливають параметри щебеню на зносостійкість скребків (табл. 2).

Здатність абразивного зерна вдавлюватись в поверхню залежить не тільки від його фізико-механічних властивостей, але й від його форми. Зерно з меншою твердістю, ніж матеріал, що зношується, може бути вдавлене в його поверхню за рахунок своїх гострих граней, що спричиняють високий тиск, маючи малу площу контакту [8]. Форма щебеню характеризується лещадністю і залежить від способу його отримання. Природний щебінь має округлу форму через довгий час переносу вітром і потоками води, зерна щебеню, отримані шляхом подрібнення великого каміння, мають полідричну форму з виступами і гострими кутами. Враховуючи значну частину піску в зношувальному середовищі, необхідно дослідити його геометричні характеристики. Результати досліджень з виявлення наявності в піщаній суміші зерен різної форми [9] (табл. 3) показують приблизно однакову кількість округлих, напівкоатаних і кутоватих (зі значною кількістю кромок з гострим кутом) зерен у фракціях від 0,1 до 5 мм.

Таблиця 3 – Вміст зерен різної форми в піску для бетонних сумішей

Розмір фракцій піску, мм	Вміст зерен різної форми, %		
	округлих	напівкоатаних	кутоватих
0,01–0,05	0	9	91
0,05–0,1	6	26	68
0,1–0,25	18	36	26
0,25–0,5	26	37	37
0,5–1	30	38	32
1–2	14	45	41
2–5	6	58	36

Параметри роботи бетонозмішувачів (швидкість обертання ротора V_p , кут розміщення лопатей і скребків) і склад суміші (відношення вода-цемент) визначають опір руху робочим органам. Дослідження К. М. Королева [6] визначають вплив швидкості обертання ротору з робочими органами і складу бетонної суміші на опір руху (рис. 2, рис. 3).

Схожі результати отримали автори [1], говорячи про існування оптимальної швидкості обертання скребків і лопатей.

На виробництві виготовляють різні бетони з різним відношенням вода-цемент залежно від об'єкту будівництва, тому фактор опору K (кПа) не є постійною величиною впродовж експлуатації. Ці залежності необхідно враховувати при натурних іспитах і порівнянні зносостійкості випробуваних матеріалів в різних сумішах

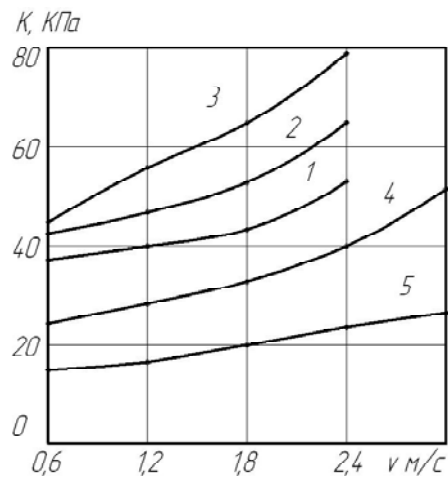


Рис. 2. Залежність коефіцієнту опору від швидкості обертання ротору:
1 – 5 бетони відповідно з відношенням вода-цемент 0,2; 0,3; 0,4; 0,7; 0,8

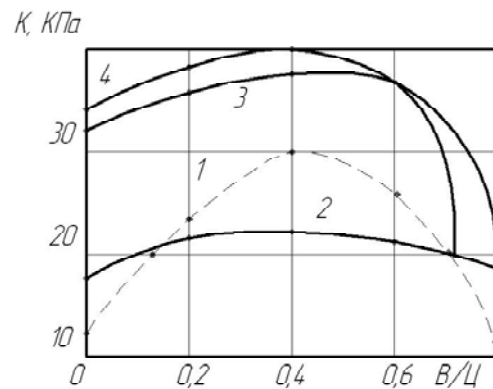


Рис. 3. Залежність коефіцієнту опору від водоцементного фактору:
1 – розчини; 2 – керамзитбетони; 3 – бетон з вапняним наповненням; 4 – бетон з гранітним наповненням

і робочих режимах, тому що отримані результати порівняння можуть розходитись з істинними через різний коефіцієнт опору, збільшення якого зменшує зносостійкість.

Між кромкою скребка і чашею може заклинювати щебінь, з високими фізико-механічними властивостями, частина цього навантаження компенсується конструктивними запобіжниками бетонозмішувачів (пружинні, ресорні і гумові амортизатори розташовані в місці кріплення скребків з основою), але при великих фракціях щебеню це призводить до дряпання і викидання часток металу з робочої поверхні скребка. Важливим є використання потрібної швидкості обертання ротора, на якому кріпляться робочі органи (скребки і лопаті), занадто висока швидкість призводить до виникнення ефекту відцентрової сепарації великих часток суміші і відкидання їх до зовнішньої стінки, спричиняючи виготовлення неоднорідної суміші і підвищене зношування крайніх скребків і лопатей.

При оцінці ролі зношування твердими абразивними частинками, що знаходяться в рідині, або в пластичній масі важливе значення має кут атаки $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, під яким вони взаємодіють зі зношеною поверхнею. Результати досліджень [10] свідчать про збільшення швидкості зношування поверхні деталі абразивом, який знаходиться в несучому середовищі (рідині) з зменшенням кута атаки б. Скребки бетонозмішувачів кріпляться до валу, що обертається, під кутом 47° і 58° до радіус-вектору установки (рис. 4). Гострий кут атаки $\alpha = 43^\circ$ і $\alpha = 32^\circ$, створює тангенціальні напруження на поверхні деталі, що сприяє руйнуванню мікрорізнанням і подряпанням.

Враховуючи точку зору, що зносостійкість є не властивістю матеріалу, а параметром трибологічної системи «матеріал – умови зношування» [11, 12], при обґрунтуванні інтенсивності зношування скребка необхідно обговорити найголовніший з цих параметрів – відношення твердості абразиву до твердості матеріалу що зношується (На/Нм). Вважається, що при відношенні $Na/Hm > 1,3$ основний механізм руйнування – пряме різання, $Na/Hm < 0,7$ – механохімічне руйнування, а в проміжку $0,7 < Na/Hm < 1,3$ – полідеформаційне зношування [13]. В роботі [14] розглянуті деякі з причин невідповідності спрогнозованої інтенсивності зношування по відношенню На/Нм. В абразивній (бетонній) суміші знаходяться часточки з різними твердостями, і фракціями, також необхідно враховувати не закріпленість абразиву (контактування проходить не жорстко), тому зношення може протікати з різною інтенсивністю і реалізовуватись як полідеформуванням, так і мікрорізнанням.

Раніше проведені автором [15] практичні спостереження за зношуванням робочих органів ґрунтообробних машин вказують на різке зростання зношування при збільшенні складу в ґрунті каменистих включень. Це відповідає результатам досліджень Тененбаума М. М. [16], Виноградова В. Н. і Сорокіна Г. М. [17], згідно з якими перехід від змішаного процесу зношення до зношування переважно мікрорізнанням відбувається при невеликій кількості ріжучих часток. Змішаність деформуючих і ріжучих зерен абразиву характеризує величина (K) [16]:

$$K = Np/Nd, \quad (1)$$

де K – ступінь змішаності деформуючих і ріжучих зерен; Np – кількість ріжучих зерен; Nd – кількість деформуючих зерен.

При відношенні (K) більшому за критичне, зношування проходить переважно прямим руйнуванням. Критичне значення (K) залежить від об'ємів одиничних пошкоджень ріжучими і деформуючими зернами, при їх рівності $K_{крит} = 0...7\%$. Ріжучі зерна мають високу твердість ($Na/Hm \gg 1,3$) і форму з гострими гранями, створюючи таким чином високі напруження при контакті вони руйнують деталь. Найчастіше зустрічаються три форми взаємодії абразивних часток з поверхнею деталі:

- бороздіння, в процесі якого в матеріалі утворюється борозна без продукту зношування;

- подряпування полягає в частковому зрізання матеріалу та одночасному бороздінні;
- мікрорізнання, під час якого домінуючим процесом є різання матеріалу, що зношується.

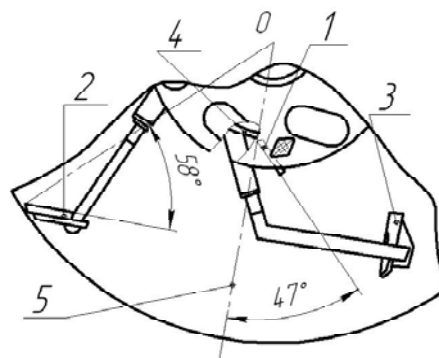


Рис. 4. Розташування скребок відносно радіус вектору центру бетонозмішувача:

- 1 – роторний скребок; 2 – зовнішній скребок; 3 – лопать;
- 4 – футеровка чаші; 5 – радіус-вектор

Дослідження Хокірічава і Като [18] та інших авторів [19] зауважують про залежність характеру переходу руйнування (бороздіння – мікрорізнання) від заглиблення індентора в матеріал зразка. Враховуючи склад бетонної суміші, геометричні характеристики її складових, кут атаки і відношення На/Нм необхідно зазначити про переважне пряме руйнування мікрорізнанням при зношуванні скребок і лопастей. Це підтверджують результати візуального огляду зношених скребок, які експлуатувалися з щебелем фракції 5–20, 10–20 мм ЙЙ-ї групи лещадності, маркою морозостійкості F300, співвідношенням вода-цемент 0,5 в бетонозмішувачах типу СБ-138Б і СБ-146А, на яких видно місця руйнування внаслідок багаторічного полідеформаційного зношування і переважно місця подряпування гравієм.

Сучасні бетонні суміші містять різні хімічні добавки і модифікатори, з якими можна ознайомитися [20]. Тому деталі бетонозмішувачів можуть піддаватися корозійному зношуванню. Дослідження М. М. Хрущова і М. А. Бабичева [21] та інших дослідників показують, що в умовах мікрорізнання і інтенсивного зношування хімічна дія середовища помітно не виявляється.

Зношування відбувається на різних поверхнях деталі, зміна геометричної форми і розмірів кожної з них по різному впливає на робочі характеристики. Виходячи з цього, необхідно визначити найбільш важливі для роботи кромки скребка і поле допусків їх зносу, керуючись цим, ми зможемо проаналізувати стан скребка, визначивши необхідність його заміни або відновлення і ресурс часу, який він ще може відробити. При автоматизації виробництва і контролю системи якості наявність таких критеріїв є необхідністю, це дає кількісні показники для прийняття рішення роботизованими комплексами. Тому розрахунок критерію має проводитись чис-

ловим методом з певною послідовністю обчислювальних і логічних операцій, які необхідно провести.

В процесі приготування бетонної суміші фронтальна поверхня скребка контактує з бетонною сумішшю, перемішуючи її. Також головним її завданням є згрібання суміші з бокової радіальної поверхні чаші і днища, це можливо лише при дотриманні конструктивного зазору між футеровкою і кромками. На початку роботи цей зазор складає $\Delta_1, \Delta_3 = 2...4$ мм (рис. 5). Абразивна маса зношує всю поверхню деталей бетонозмішувачів, але найбільше діє на робочі кромки АВ і ВС.

В ході експлуатації робоча кромка ABC зношується до лінії $A_1B_1C_1$, після збільшення зазорів на дні і поверхні стакану залишаються шари суміші, що застигають, зменшуючи робочий об'єм, також значна частина компонентів не перемішується, що призводить до зниження якості готової бетонної суміші. Візуальний огляд і статистичний аналіз зношених деталей показав, що робочі кромки АВ і ВС найбільш інтенсивно зношуються в місці їх перетину, це пояснюється тим, що щербини в процесі перемішування опускається вниз для зменшення своєї потенційної енергії, і нижня частина суміші має більші зношувальні властивості. Але основною причиною такого зносу є кут установки скребків. Роторні скребки, що обертаються навколо внутрішньої чаші, мають кут установки 47° , зовнішні, що обертаються по зовнішньому контуру, - 58° , на робочих кромках АВ і ВС виникає концентрація контактних напружень, таким чином вони розрізають в'язке абразивне середовище і найбільше зношуються.

Конструктори і виробники розглядають зношування кромки h_1 і h_2 в нижній частині комплексно. Величина Z вимірюється по лінії зносу (a), що розташована під кутом 45° до перпендикулярної кромки.

Максимальний знос Z лежить в межах від 20 мм до 30 мм і заданий конструктором

$$0 < Z < 30. \quad (2)$$

Конструкція скребка передбачає переміщення його кріплення по осі X (рис. 6) для регулювання зазору між футеровкою стакану і кромкою.

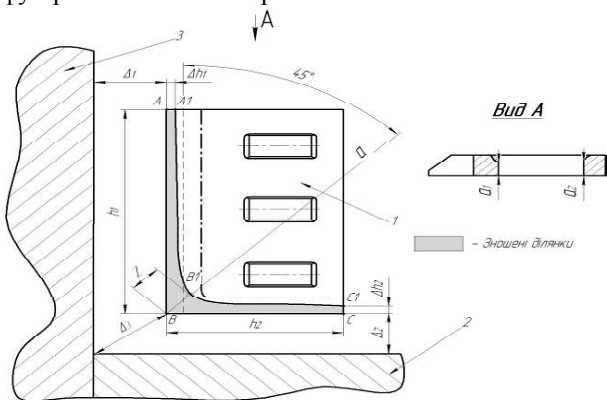


Рис. 5. Положення скребка бетонозмішувача СБ-138Б (СБ-146А) при експлуатації:

1 – скребок бетонозмішувача; 2 – броня дна; 3 – броня стакану

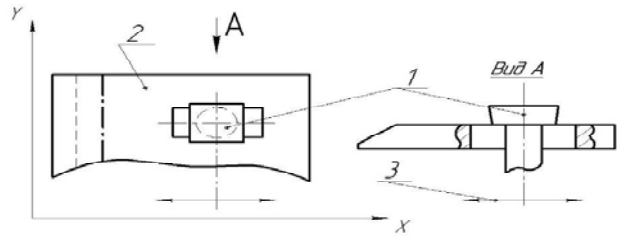


Рис. 6. Можливі установки скребків бетонозмішувачів:

1 – спеціальний болт кріплення скребка до ротору; 2 – скребок; 3 – напрями зміщення скребків при перевстановленні

Переміщення по осі Y не передбачене, тому при утворенні між кромкою h_2 (рис. 5) та дном недопустимого зазору Δ_1 експлуатація скребка буде не оптимальною, незважаючи на допустимий зазор Δ_2 .

Розміщення скребків під необхідним кутом до радіус-вектору бетонозмішувача забезпечує швидкий рух бетонної маси в поперечному напрямку і повільний уздовж корпусу змішувача на вивантаження. В процесі експлуатації скребок може зношуватись в місці його кріплення до основної рами, це призводить до перекосу болтового з'єднання, нежорсткого кріплення і, як наслідок, до зміни конструкційно встановленого кута. Тому необхідно стежити за станом посадочного місця болтового з'єднання скребка з основою.

Лінійні розміри, що контролюються, можна звести до табл. 4.

Для підвищення ефективності контролю лінійних розмірів деталей розробляють багатовимірні контрольні прилади, які дозволяють одночасно контролювати декілька розмірів. Але використання таких приладів можливе лише, якщо одна з поверхонь деталі є установочою і вимірювальною базою. Скребок зношується з усіх сторін, тому кромки не мають постійного розміру, але отвори для болтів мають статичне положення і відносно них можна вимірювати зміну необхідних параметрів зношування. Це дає можливість для проектування спеціального стенду для контролю зміни розмірів необхідних робочих кромки (рис. 7).

На основі (1) розмічений геометричний профіль нового скребка для візуальної оцінки зношування, і проградуировані шкали (2, 5) для визначення лінійного зношування кромки h_1, h_2, Z . Зношений скребок (3) кріпиться до основи в пази, призначені для болтових з'єднань, за допомогою фіксаторів (4). За рахунок того, що внутрішній профіль отворів для болтового кріплення має мале зношування в повздовжньому поперековому перерізі, через розташування в місцях тяжко доступних для проточного проходження суміші, їх можна прийняти за установочі бази.

Зовнішні скребки бетонозмішувачів при постійному завантаженні виробництва служать в межах допустимого зношування 160–190 годин, роторні – 210–240, залежно від особливостей суміші бетону. Графічно залежність параметру Z від часу роботи в умовах, зазна-

чених раніше, показана у вигляді функційної залежності на рис. 8, кут нахилу графіка до осі (T) характеризує інтенсивність лінійного зношування I_L (мм/год). На початковому етапі роботи T1 інтенсивність зношування максимальна, доки кромка ABC не прийме найбільш оптимального значення для обтікання бетоною сумі-

шню (етап притирки), на ділянці T2 інтенсивність зношування стабілізується. За допомогою залежності параметру зношування Z (мм) від часу експлуатації T (год) – $Z(t)$ можна визначити приблизний час заміни скребків для відновлення.

Таблиця 4 – Розміри скребка бетонозмішувача, що контролюються при визначенні лінійного зношування

Геометричний розмір робочої кромки, що замірюється	Поле допуску зношування, що застосовується в виробництві (мм)	Наслідки, до яких призводить вихід зношування кромки за поле допуску
h_1	15–25	На початку роботи призводить до залишку на стінці чаші незмішаної суміші, під дією сили тяжіння значна її частина доходить до дна, але значний шар застигає на стінці, зменшуючи технологічний зазор між скребком і стаканом бетонозмішувача
h_2	15–25	На початку роботи призводить до залишку на дні незмішаної суміші, в подальшому ці залишки можуть застигати, зменшуючи технологічний зазор між броньовою футеровкою і скребком, що може призвести до заклинювання щєбню
$Z = \sqrt{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2}$	20–30	Комплексний показник використаний конструктором, що інформує про стан кромки АВ, ВС і кутовий зазор Δ_3
a_1	3–7	Розміри, що знаходяться на посадочному місці болта і відповідають за зусилля і жорсткість закріплення скребка, технологічний кут між робочою поверхнею скребка і радіус-вектором центру бетонозмішувача (чаші)
a_2		

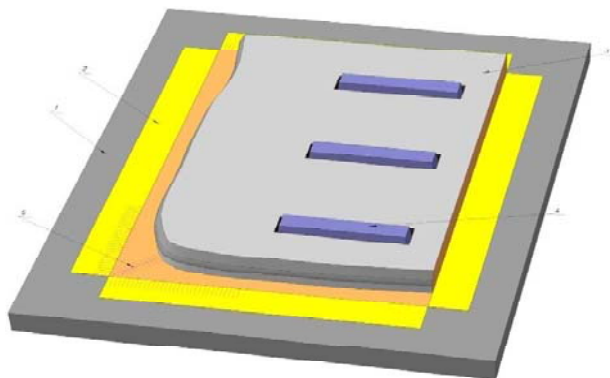


Рис. 7. Стенд для вимірювання лінійного зношування скребків бетонозмішувачів:

- 1 – основа;
- 2 – проградуйована шкала з поділкою 1 мм для визначення лінійного зносу кромки h_1, h_2 ;
- 3 – зношений скребок;
- 4 – фіксатори;
- 5 – проградуйована шкала з поділкою 1 мм для визначення лінійного зношування Z

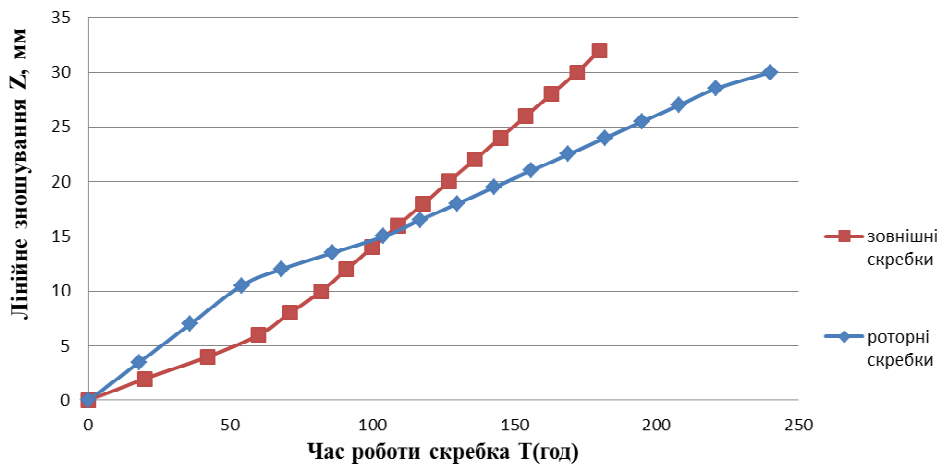


Рис. 8. Залежність лінійного зношування скребків від часу експлуатації

Визначення оптимального методу підвищення зносостійкості скребків

На виробництві скребки відновлюють в межах зношення 1/6 площі, це відповідає зносу до 30 мм на робочих кромках АВ і ВС. В технічній документації до бетонозмішувачів СБ-138Б, СБ-146А рекомендується два шляхи відновлення скребків – метод наплавлення кромок і метод накладок. Підвищити зносостійкість зміцненням можливо лише наплавленням. Після допустимого зношування відновлення наплавленням вважається не доцільним і робочі органи міняють на нові. Тому необхідно відстежувати технічний стан скребків для можливості їхнього подальшого зміцнення. Роторні і зовнішні скребки мають різний граничний час експлуатації до критичного зношування, але у виробничих умовах доцільніше проводити заміну за один ремонтний період, тому необхідно визначити оптимальний час заміни. Як видно з побудованої залежності (рис. 9), межа критичного зносу, що запобігає максимальнодопустимому зношуванню, після якого відновлення наплавленням недоцільне в роторному і зовнішньому скребках перетинаються в періоді 150–180 годин експлуатації, тому проводити ремонтні роботи доцільно в цей час.

При виборі матеріалу для зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, необхідно враховувати структурно-фазовий склад наплавленого металу. Цінні дослідження Р. Д. Хаурта [22], Виноградова В. Н. і Сорокіна Г. М [17] дозволяють оцінити вплив абразивних часток при терті (дослідження проводились без ударних навантажень) на мікроструктурні складові металу шва. Зміцнювальна фаза з високою мікротвердістю (до 20 ГПа) має високу зносостійкість при контакті з твердим абразивом. Велике значення має матриця, в якій розміщена тверда фаза. Метал з аустенітною матрицею, яка має невисоку твердість, при абразивному зношуванні без ударних навантажень призводить до викришування зміцнювальної фази, але при роботі з високими напруженнями і ударними навантаженнями має високу зносостійкість. Мартенситна матриця більш тверда (твердість може досягати рівня карбідів) і підвищує зносостійкість матеріалів при низьких граничних навантаженнях.

На виробництві для наплавлення робочих органів бетонозмішувачів практикують електроди – Т-590 і

Т-620 за ГОСТ 9466-87 – для підвищення зносостійкості наплавленої кромки. Фірми ESAB [23] і Lincoln Electric, що розробляють матеріали для зварювання і наплавлення, мають свої рекомендації для наплавлення скребків (табл. 5).

Скребки мають значні розміри, тому при їх наплавленні витрачається багато зносостійких матеріалів. Також, враховуючи подальше відновлення, необхідно стежити за лінійним зношуванням, тому що занадто велике зношення потребує великої кількості наплавлених матеріалів. Конструктивні особливості кріплення робочих органів бетонозмішувачів, а саме розміщення їх під кутом до потоку абразивної маси, дозволяють використати ефект тінювих зон для збільшення строку служби. Цей ефект полягає в зміні напрямку руху абразиву через наплавлення зміцнювальних валиків на поверхню деталі, збільшуючи зносостійкість і зменшуючи кількість використаного матеріалу для відновлення.

Висновки

Досліджено характер зношування і інтенсивність зношування скребків бетонозмішувачів.

Встановлені критерії визначення показників допустимого зношування, їхні допуски і вплив на працездатність. Спроекований стенд, що дозволяє легко робити візуальний і вимірювальний аналіз зносу робочих кромок.

Виявлений прийнятний час проведення ремонтного періоду для відновлення скребків.

На основі літературних даних і раніше проведених досліджень визначено, що оптимальний склад наплавленого металу для даних умов зношування повинен мати високу кількість зміцнюючої фази у вигляді карбідів, боридів, карбоборидів, розмішених в аустенітно-мартенситній матриці. Розглянуті стандартні наплавочні матеріали, що використовуються за кордоном і в країнах СНД для наплавлення зношених скребків. Переважна їх більшість має систему Fe-C-Cr, деякі містять в невеликій кількості домішки Ti, В, Мо, V, так у наплавленому металі виникає значна кількість карбідів і боридів хрому і титану.

Зважаючи на високу матеріаломісткість і затратність загальноприйнятого процесу відновлення запропоновано наплавляти валики зносостійкого матеріалу на поверхню деталі.

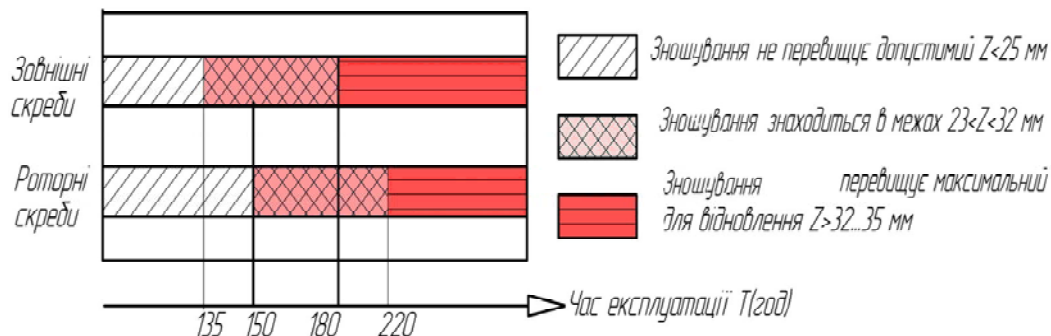


Рис. 9. Межі зношування скребків залежно від часу експлуатації

Таблиця 5 – Матеріали для наплавлення скребків, що використовуються в країнах СНД та за кордоном

№	Марка матеріалу для наплавлення	Тип покриття	Визначення за DIN 8555	Склад металу-шва	Характеристика металу-шва	Твердість
1	OK 84.84	основний	E10-60-GP	C – 3 % Si – 2 % Cr – 8 % Ti – 6 % V – 6 %	Виникають складні карбіди	50–60 HRC
2	OK 84.78	Рутиловий	E10-UM-60GZ	C – 4,5 % Cr – 33 %	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому	57–62 HRC
3	OK Tubrodur 15-80	основний	MF10-60-GP	C – 1,6 % Cr – 6,5 % Mo – 1,5 % Ti – 5 %	Виникають складні карбіди	56–60 HRC
4	OK Tubrodur 14-70	основний	MF10-55-GPTZ	C – 3,5 % Cr – 21 % Mo – 3,5 % V – 0,4 %	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому	50–69 HRC
5	T-590	Спеціальний	E10-UM60-G	C – 3,2 % Cr – 23 % Si – 2,2 % Mn – 1,3 % B – 1–1,5 % Э-320X25C2ГР	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому і бориди	58–64 HRC
6	T-620	Спеціальний	E10-UM60-GP	C – 3,2 % Cr – 23 % Si – 2,2 % Mn – 1,3 % Ti – 1,5 % B – 1–1,5 % Э-320X23C2ГТР	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому і бориди	58–64 HRC
7	Wearshield ME	Рутиловий	E10-UM-60-GRZ	C – 3 % Cr – 33 % Si – 1 %	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому	49–59 HRC
8	Wearshield 60 (e)	основний	E10-UM-60-GR	C – 5 % Cr – 35 % Si – 4 %	З високим вмістом C і високолеговані Cr, виникають карбіди хрому	57–62 HRC

Список літератури

- Хаютин Ю. Г. Монолитный бетон : технология производства работ / Ю. Г. Хаютин. – М. : Стройиздат, 1991. – 576 с.
- Барсов И. П. Строительные машины и оборудование / И. П. Барсов. – М. : Стройиздат, 1986. – 511 с.
- Баженов Ю. М. Современная технология бетона / Ю. М. Баженов // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2010. – № 36. – С. 10–17.
- Попов С. Н. Решение задач трибоматериаловедения на основе системных многокритериальных методов математического анализа износостойкости сталей и сплавов / С. Н. Попов, Д. А. Антонюк, Т. В. Попова // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2004. – №4. – С. 172–181.
- Лукасік К. М. Абразивна зносостійкість конструктивних матеріалів / К. М. Лукасік // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2001. – № 1. – С. 35–43.
- Бауман В. А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделия и конструкций / В. А. Бауман, В. А. Клущанцев, В. Д. Мартынов. – М. : Машиностроение, 1981. – 324 с.
- Тенебаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М. М. Тенебаум. – М. : Машиностроение, 1966. – 331 с.
- Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безизносность / Д. Н. Гаркунов. – М. : Издательство МСХА, 2001. – 616 с.
- Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
- Чернець М. До оцінки зносостійкості матеріалів мінеральними частинками / М. Чернець, К. Лукасік // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2001. – № 2. – С. 143–150.
- Mutton P. J. High stress abrasion testing of wear / P. J. Mutton // Resistant Materials Technical Bulletin. – 1980. – Vol. 24. – №1. – P. 38–34.
- Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, А. К. Караулов и др. – К. : Техника, 1976. – 292 с.
- Хрущев М. М. Абразивное изнашивание / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Наука, 1970. – 272 с.

14. Прогнозирование механизма и интенсивности изнашивания на основе оценки соотношения твердости абразива и изнашиваемого материала / М. И. Андрущенко, Р. А. Куликовский, М. Н. Брыков, Д. М. Андрущенко // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2009. – № 1. – С. 6–12.
15. Richardson R. D. Wear in Agricultural machinery – the relevance of study of the wear of materials against bonded abrasive / R. D. Richardson // Journal and Proceedings of the Institution of Agricultural Engineers. – 1963. – Vol. 19, N 2. – P. 210–217.
16. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М. М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1976. – 271 с.
17. Виноградов В. Н. Износостойкость сталей и сплавов / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин. – М. : Нефть и Газ, 1994. – 417 с.
18. Kayaba T. Analysis of the abrasive wear mechanism by successive observations of wear processes in a scanning electron microscope / Т. Kayaba, К. Hokkirigawa, К. Kato // Wear 110, 1986.
19. Противозадирная стойкость трущихся тел / Ю. М. Дроздов, В. Г. Арчegov, В. И. Смирнов. – М. : Наука, 1981. – 137 с.
20. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные материалы / Л. И. Касторных.. – Ростов н/Д. : Феникс, 2007. – 211 с.
21. Хрущев М. М. Исследования изнашивания металлов / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 351 с.
22. Haworth R. D. The abrasion resistance of metals / R. D. Haworth // Transactions of American Society for Metals. – 1949. – Vol. 41. – P. 819–854.
23. Сварка и наплавка. Пособие по выбору наплавочных материалов ESAB 2009. – ESAB. – 123 с.

Одержано 21.01.2019

Попов С.Н., Шумикин С.А., Билоник И.М., Губарь Е.Я. Анализ характера изнашивания и определение основных критериев работоспособности скребков бетоносмесителей

Цель работы. Исследовать механизм разрушения поверхности рабочих скребков бетоносмесителей, выявить критерии для оценки их состояния и предложить наиболее целесообразный способ повышения их работоспособности.

Методы исследования. Многокритериальный подход [4], который, кроме свойств изнашиваемого материала детали, включает анализ внешней абразивной среды, эксплуатационных и экономических параметров износа.

Полученные результаты. Износ скребков происходит в абразивной массе, больше износ вызывают частицы песка, гравия и гранита. Установлен характер влияния свойств щебня на износостойкость рабочих органов бетоносмесителя. Фактор сопротивления K (кПа) не является постоянной величиной в течение эксплуатации. Необходимо учитывать зависимости коэффициента сопротивления от скорости вращения ротора и от водо-цементного фактора при натурных испытаниях и сравнении износостойкости испытанных материалов в различных смесях и рабочих режимах.

Научная новизна. Учитывая состав бетонной смеси, геометрические характеристики ее составляющих, угол атаки и отношение H_a/H_m , необходимо отметить преимущественное прямое разрушение микрорезания вследствие багаточисленного полидеформационного износа.

Практическое значение. На производстве, учитывая дальнейшее восстановление, необходимо следить за линейным износом. Размещение рабочих органов бетоносмесителей под углом к потоку абразивной массы позволяет использовать эффект теневых зон для увеличения срока службы.

Ключевые слова: абразивные зерна, износ, скребки, механизм, критерии, геометрические размеры, износостойкость, наплавки.

Popov S., Shumikin S., Bilonik I., Gubar E. Analysis of wear nature and determination of the basic criteria of performance of concrete mixer scrapers

Purpose. To investigate the mechanism of destruction of the surface of working scrapers of concrete mixers, to identify the criteria for assessing their condition and to offer the most expedient way to increase their efficiency.

Research methods. Multicriterion approach [4], which, in addition to the properties of the material of the wearing parts, includes analysis of the external abrasive medium, operational and economic parameters of wear.

Results. The wear of scrapers is carried out in the abrasive mass, the particles of sand, gravel and granite are the most worn out. The character of the influence of the properties of crushed stone on the wear resistance of the working bodies of the concrete mixer is established. The resistance factor K (kPa) is not a constant value during operation. It is necessary to take into account the dependence of the resistance coefficient on the speed of rotation of the rotor and on the water cement factor in field tests and the comparison of wear resistance of the tested materials in various mixtures and operating modes.

Scientific novelty. Taking into consideration the composition of the concrete mixture, the geometric characteristics of its components, the angle of attack and the H_a/H_m ratio, it should be noted that the predominant direct fracture is microscopic due to the multi-cycle polydeformation wear.

Practical meaning. In the production, taking into account further restoration, it is necessary to monitor the linear wear. The placement of working bodies of concrete mixers at an angle to the flow of abrasive mass, allows you to use the effect of shadow zones to increase the life of the service.

Key words: abrasive grains, wear, scrapers, mechanism, criteria, geometric sizes, wear resistance, surfacing.