

УДК 620.17

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РІЗАЛЬНИХ НОЖІВ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

І.П. Гладкий, проф., к.т.н., В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., Н.О. Лалазарова, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Проаналізовано умови роботи різальних елементів дорожньо-будівельних машин. Установлено зв'язок між складом наплавлення та її твердістю і зносостійкістю. Досліджено вплив бору на структуру та властивості наплавлення.

*Ключові слова:* твердість, зносостійкість, структура, наплавлення, різальні елементи, бор.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЖУЩИХ НОЖЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

И.П. Гладкий, проф., к.т.н., В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., Н.А. Лалазарова, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Проанализированы условия работы режущих элементов дорожно-строительных машин. Установлена взаимосвязь между составом наплавки, её твердостью и износостойкостью. Исследовано влияние бора на структуру и свойства наплавки.

*Ключевые слова:* твердость, износостойкость, структура, наплавка, режущие элементы, бор.

## INVESTIGATION OF MATERIALS FOR CUTTING BLADES OF DIGGING-TRANSPORT MACHINES

I. Hladkyi, Prof., Ph. D. (Eng.), V. Tarabanova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
N. Lalazarova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The operational conditions of cutting blades of digging-transport machines are analysed. The relationship between the composition of surfacing, its hardness and wear-resistance is determined. The influence of boron on the structure and properties of surfacing is investigated.

*Key words:* hardness, wear-resistance, structure, surfacing, cutting elements, boron.

### Вступ

Підвищення якості й ефективності дорожньо-будівельних машин забезпечується підвищенням зносостійкості їх робочих органів, що взаємодіють із середовищем – ґрунтами [1]. Для дорожньо-будівельних машин однією з головних причин втрати працездатності робочих органів є абразивне зношування, яке дуже часто супроводжується ударними навантаженнями. Забезпечення високої зносостійкості деталей є важливою умовою надійної роботи машин і отримання максимального економічного ефекту від їх використання.

### Аналіз публікацій

Різальні елементи бульдозера – це середні та бічні ножі, що кріпляться до відвалу. Ножі, які використовують у процесі розробки ґрунтів і насипних матеріалів, працюють в умовах абразивного й ударно-абразивного зносу. Найбільше поширення набула точка зору, що пояснює абразивне зношування дряпальною дією абразивних частинок по поверхні металу. І.В. Крагельський відзначає, що абразивне зношування відбувається в трьох випадках: під час мікрорізання, пластичної деформації, пружного контакту [2]. У процесі взаємодії робочого органа з ґрунтовою масою відбува-

ється абразивне зношування з багатократною пластичною деформацією поверхні металу, внаслідок якого спостерігається втомне руйнування його поверхневого шару.

Довговічність робочого органа під час роботи з ґрунтовою масою за П.Н. Львовом визначається зносостійкістю металу [3]. Установлена пряма залежність зносостійкості металу від його твердості. Із збільшенням легування сталі карбідоутворювальними елементами ефективність її опору абразивному зношуванню підвищується. За умови пружного контакту зносостійкість металу залежить від модуля його пружності, у випадку пластичної деформації – від відносного подовження та твердості, у разі мікрорізання – від твердості. Абразивне зношування пояснюється зрізанням мікрооб'ємів металу з поверхонь деталей [4].

У дослідженні [5] визначається процес абразивного зношування як сума великого числа елементарних процесів дряпання. У роботі [6] підкреслюється прямий зв'язок між зносостійкістю та твердістю.

Основними факторами, що визначають характер абразивного зношування в умовах ударних навантажень робочих органів, є абразивні властивості ґрунтів і ступінь динамічності робочого процесу робочих органів [4]. Ґрунт є неоднорідною масою, частинки якої, як правило, округлої форми, мають різну міцність. Найбільшу міцність мають зерна кварцового піску – 8000–10000 МПа.

З аналізу публікацій можна зробити висновок, що для таких різальних елементів, як ножі бульдозерів треба використовувати матеріали, що повинні мати високу твердість поверхні й разом з тим достатньо високу ударну в'язкість, що забезпечує можливість приймати динамічні навантаження.

Можна вважати, що оптимальним варіантом у цих умовах може бути використання наплавлення зносостійкими сплавами, які вміщують карбідоутворювальні елементи, необхідні для зміцнення робочої частини середніх ножів, які виготовляються з прокату сталі звичайної якості. Це дозволяє поєднати в'язку основу, яка приймає ударне навантаження, і високу твердість поверхні, що забезпечує високу зносостійкість.

## Мета і постановка завдання

Метою дослідження є підвищення зносостійкості середніх ножів, які працюють в умовах абразивного зношування та ударних навантажень. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання: 1) порівняти властивості стандартних наплавлень і вибрати ту, що має найбільшу твердість і зносостійкість; 2) обґрунтувати вибір хімічного складу і структури наплавлення.

## Матеріал та методики досліджень

Дослідження проводилися на сталі Ст3, яка вміщує невелику кількість вуглецю і має добру зварюваність. Використання сталі Ст3 порівняно з іншими сталями, з яких виготовляються різальні елементи для дорожніх машин, дає переваги, пов'язані з собівартістю матеріалу та здатністю до пластичної деформації.

Для надання ножем високої зносостійкості на сталь Ст3 наносили наплавлення ОЗИ-1, ЕТН-4, КБХ-45, до складу яких входять такі легуючі елементи, як марганець, хром, вольфрам, ванадій, що забезпечують утворення стійких карбідів та інших надлишкових фаз з високою зносостійкістю (табл. 1).

Таблиця 1 Склад матеріалів для наплавлення робочих органів

	C, %	Mn, %	Cr, %	Ti, %	W, %	V, %	B, %	Fe,
ОЗИ-1	0,9	1	4,0			14		інше
ЕТН-4	2				27			інше
КБХ-45	3,6		23				2,8	інше

Твердість вимірювали на стаціонарному твердомірі Віккерса UIT HV-10/30/50. Дослідження зносостійкості проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик-колодочка». Розраховували відносну зносостійкість – за одиницю брали зносостійкість сталі Ст3. Навантаження становило 10 кгс, час випробування – 25 год. Середовище – піщаний ґрунт та вода. Кількість обертів – 120 об./хв. Метод вимірювання зносу – вісовий.

### Результати досліджень та їх обговорення

Були проведені дослідження твердості та зносостійкості наплавлень (табл. 1) на Ст3. Гістограми твердості та зносостійкості наведені на рис. 1 і 2.

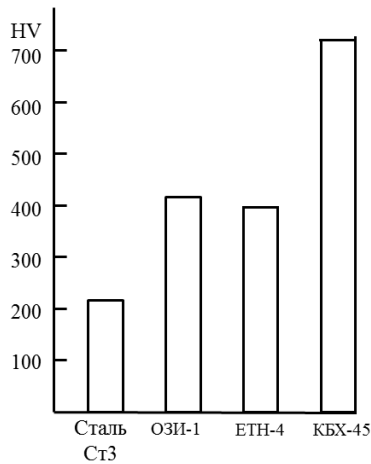


Рис. 1. Твердість наплавлень (порівняно із Ст3)

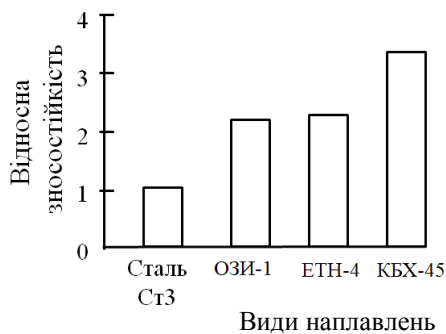


Рис. 2. Відносна зносостійкість наплавлень (порівняно із Ст3)

З рисунків видно, що найбільшу твердість і відносну зносостійкість має наплавлення КБХ-45. Легування сплаву хромом (23 %) і велика кількість вуглецю (3,6 %) сприяє утворенню надлишкових карбідів хрому типу  $M_7C_3$ , що рівномірно розташовані в структурі ледебуриту [6, 7], карбоборидів. До 50 % хрому від загальної кількості в сплаві знаходиться у твердому розчині, що змінює властивості основи сплаву.

Додаткове підвищення твердості та зносостійкості досягається введенням бору. Зазвичай конструкційні сталі легують бором у дуже невеликих кількостях для подрібнення зерна і збільшення прогартовуваності. У наплавленнях бор може утворювати дуже тверді карбіди, борида і карбоборида. Бор призводить до підвищення твердості, головним чином, за рахунок інтерметалідів [7].

Однак збільшення кількості бору і вуглецю суттєво зменшує ударну в'язкість, що негативно впливає на роботу ножів бульдозерів, які працюють в умовах динамічних навантажень [7]. У зв'язку з цим проводили дослідження структури і властивостей наплавлень на основі КБХ-45, що містять бор в десятих частках відсотка, на сталі Ст3. Наплавлення № 1 вміщує 0,35 %, № 2 – 0,60 %, № 3 – 0,75 % бору.

Аналіз мікроструктури наплавлень (рис. 3) показав, що зі збільшенням вмісту бору структура стає більш дисперсною, карбіди дрібнішими. Із збільшенням вмісту бору твердість підвищується (рис. 4) за рахунок утворення твердих карбоборидів та інтерметалідів, а також подрібнення структури та підвищення її однорідності [7, 8].

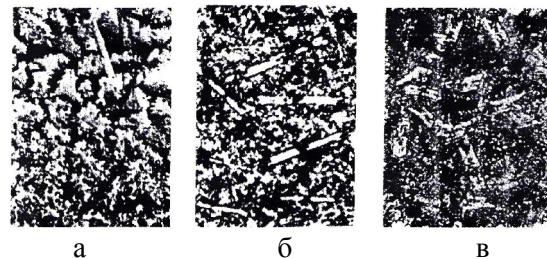


Рис. 3. Мікроструктура наплавлень: а – № 1; б – № 2; в – № 3,  $\times 250$

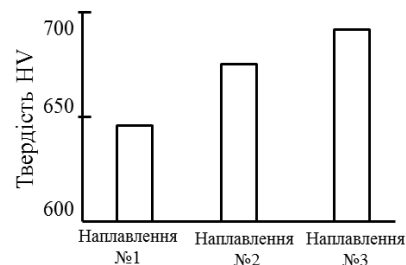


Рис. 4. Твердість наплавлень № 1, № 2 і № 3

Зі збільшенням вмісту бору зменшується кількість в'язкого аустеніту (рис. 5), що також сприяє підвищенню твердості наплавлення.

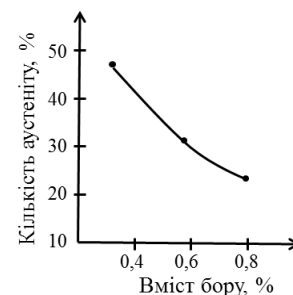


Рис. 5. Залежність кількості аустеніту від вмісту бору

Твердість наплавлення із вмістом бору 0,8 % менша, ніж із вмістом бору 2,8 %, але не суттєво (рис. 1 і 4). Таким чином, можна рекомендувати для наплавлення з метою підвищення зносостійкості сплави, які містять хром, залізо, вуглець і близько 1 % бору, що сприяє отриманню високої твердості за рахунок дії різних чинників – зміцнення основи, отримання надлишкових фаз у вигляді карбоборидів, інтерметалідів, подрібнення структури та зменшення кількості аустеніту замість наплавлення KBX-45, що вміщує велику кількість бору і має значну крихкість. Зменшення кількості бору призведе до збільшення ударної в'язкості.

### Висновки

Порівняльні випробування стандартних наплавлень, що наносили на сталь Ст3, показали, що найбільшу твердість і зносостійкість має наплавлення KBX-45.

Високий рівень експлуатаційних властивостей наплавлення KBX-45 забезпечується вмістом великої кількості вуглецю та хрому, а також додаванням бору.

Дослідження впливу кількості бору на властивості наплавлень показали, що із збільшенням його вмісту твердість зростає.

Легування наплавлення бором у кількості до 1 % сприяє зміцненню основи сплаву, утворенню твердих надлишкових фаз – карбідів, боридів та інтерметалідів, подрібненню структури, зменшенню кількості аустеніту і може бути рекомендовано замість матеріалу для наплавлення KBX-45.

Зменшення вмісту бору дозволяє зберегти на достатньому рівні ударну в'язкість напла-

влення, що є важливим в умовах ударних навантажень.

### Література

1. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
2. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Львов П. Н. Основы абразивной износостойкости деталей строительных машин / П.Н. Львов. – М.: Стройиздат, 1970. – 72 с.
4. Икрамов И.В. Износ основных деталей дорожных машин / И.В. Икрамов. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
5. Виноградов Г.В. Механизм сухого и граничного трения / Г.В. Виноградов. – М.: Машиностроение, 1969. – 357 с.
6. Технология конструкционных материалов и материаловедение / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова и др. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 528 с.
7. Петров И.В. Повышение долговечности рабочих органов дорожных машин / И.В. Петров, И.К. Домбровская. – М.: Транспорт, 1970. – 104 с.
8. Попов С.Н. Микрорентгеноспектральные и структурно-фазовые исследования Fe–C–Ti–B износостойких наплавочных сплавов / С.Н. Попов, Д.А. Антонюк, Н.А. Редька // Вісник ДДМА. – 2010. – №2(19). – С. 229–234.

Рецензент: М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ.