УДК 621.891

В. І. ДВОРУК

Національний авіаційний університет, Україна

АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З МАКРОСКОПІЧНИМИ ДЕФЕКТАМИ (Повідомлення 2)

Представлено результати експериментальних досліджень, спрямованих на доповнення та розвиток реолого-кінетичної концепції підвищення абразивної зносостійкості стосовно до чавунів. Підтверджено доцільність вказаного підходу для металів даної групи.

Ключові слова: *абразивна зносостійкість, реолого-кінетична концепція, реологічний параметр, чавун, твердість.*

Завдання дослідження. Реальні метали характеризуються неоднорідною структурою, маючи велику кількість макро– та мікроскопічних дефектів будови, які проявляють себе у різних структурно-чутливих властивостях, зокрема, абразивній зносостійкості. Тому науково обґрунтованою можна вважати лише таку теорію підвищення зносостійкості, яка дозволяє вести відповідні інженерні розрахунки на підґрунті фізичних уявлень про структурний стан металів. Спробу побудувати відповідну теорію зроблено в роботі [1]. Як її базова закономірність розглядається правило адитивності, згідно якого зносостійкість структурно-неоднорідного матеріалу дорівнює сумі добутків зносостійкості кожного зі структурних елементів на його відносну об'ємну кількість. Однак результати експериментальної перевірки показали, що у тих випадках коли відбуваються структурні зміни в процесі самого тертя, нагрівання, шаржування абразивом тощо правило адитивності зносостійкості не може бути застосоване. Оскільки критерієм зносостійкості в теорії, що розглядається є твердість, заслуговує на увагу факт неадекватності правила адитивності твердості металів. Тому точне завчасне формулювання порядку побудови діаграми «абразивна зносостійкість (ε) – твердість (HV)» практично неможливе, а твердість не завжди може бути критерієм зносостійкості. Ураховуючи обмежені можливості та суперечливий характер запропонованої теорії, можна констатувати таке: проблема створення універсальної теорії підвищення абразивної зносостійкості не лише зберігає свою актуальність, але й гостро потребує нових підходів до свого розв'язання. У зв'язку з цим запропоновано [2] реолого-кінетичну концепцію підвищення зносостійкості, сутність якої викладено у повідомленні 1 [3] даної статті.

Для побудови відповідної теорії на підґрунті вказаної концепції необхідно вивчити особливості впливу всіх різновидів дефектів у будові реальних металів на їх триботехнічні властивості. Перші кроки у цьому напрямі зроблено в роботах [2-4]. Отримані в них результати є вагомим аргументом на користь доцільності обраного підходу, однак їх не можна вважати достатніми для узагальнюючих висновків щодо нього. Тому метою даної роботи є подальше вивчення впливу дефектів у металах на їх абразивну зносостійкість.

Методичне забезпечення дослідження. Об'єктом дослідження обрано чавун – матеріал з яскраво вираженою неоднорідною структурою, що складається зі сталевої матриці та різної форми структурно вільних або структурно зв'язаних

кристалів високовуглецевих фаз: графіту, а також карбідів, або лише карбідів – у випадку білого чавун

Рис. 1. Залежність абразивної зносостійкості ε, реологічного параметру *R* та твердості *HV* чавунів від форми та виду високовуглецевої фази: ПГ – пластинчастий графіт; ВГ – вермикулярний графіт; КГ – кулястий графіт; Ц – цементит

Рис. 2. Залежність абразивної зносостійкості ε, реологічного параметру *R* та твердості *HV* нелегованого білого чавуну від його структурного стану: ПФ – перліто – ферит; Ф – ферит; М – мартенсит

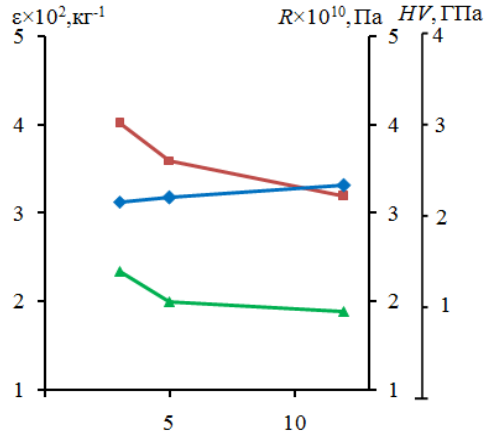

Рис. 3. Залежність абразивної зносостійкості ε, реологічного параметру *R* та твердості *HV* чавуну ВЧ 60 – *2* від діаметру *d* його заготовки

На рис. 1 – 3 показано залежності абразивної зносостійкості ε, твердості за Вікерсом *HV* та реологічного параметру *R* від характеристик структурних неоднорідностей: форми високовуглецевої фази, структури матриці, вмісту дефектів будови. Звідки видно що закономірність впливу типу структурної неоднорідності на зносостійкість чавунів можуть мати різний характер. Так зміна форми високовуглецевої фази чинить немонотонний вплив (рис.1), структурного стану - монотоннозростаючий (рис.2), а вмісту дефектів будови - монотонноспадаючий (рис.3) вплив на зносостійкість чавунів. Співставлення вказаних закономірностей з відповідними закономірностями твердості та реологічного параметру

(рис. 1-3) дає підстави констатувати таке: для усіх досліджених типів структурних неоднорідностей у чавунах спостерігається пряма кореляція зносостійкості з реологічними параметрами, в той час як між зносостійкістю та твердістю однозначного зв'язку не встановлено. Наприклад, якщо при зміні структурного стану чавуну його зносостійкість корелює з твердістю (рис.2), то при зміні форми високовуглецевої фази така кореляція спостерігається не завжди, зокрема, при переході від вермикулярного графіту (ВГ) до кулястого (КГ) вона порушується (рис. 1). У випадку зміни вмісту дефектів будови (рис.3) кореляція взагалі відсутня. Отже, саме реологічний параметр, а не твердість, контролює абразивну зносостійкість чавуну.

Числові значення реологічного параметру та його складових можна спостерігати за даними табл. 4. Видно, що на відміну від сталей [3,4] між впливом типу структурної неоднорідності на величину реологічного параметру (R) чавунів та змінами їх реологічних властивостей (K_{IC}, h_{nq}) певних закономірностей не простежується. Однак, якщо отримані результати розділити на дві групи за ознакою виду високовуглецевої фази – вільний або зв'язаний (табл. 2) і проаналізувати кожну групу окремо, то можна відмітити таке:

1. Вплив форми вільного графіту на величину реологічного параметру R чавунів зумовлений паралелізмом змін в'язкості руйнування K_{IC} і товщини деформованого шару h_n у напрямку їх зменшення (табл. 4);

2. Вплив вмісту дефектів будови у чавунах з кулястим графітом на величину R зумовлений зростанням h_n при незмінному значенні K_{IC} (табл. 4);

3. Вплив структурного стану білого чавуну на величину R зумовлений антипаралелізмом змін K_{IC} (зростає) і h_n (зменшується) (табл. 4). Цей результат заслуговує на увагу, оскільки він принципово відрізняється від впливу структурного стану сталі на величину R [4], де він зумовлений паралелізмом змін K_{IC} і h_n у напрямку зменшення.

Для детальнішого аналізу закономірностей R визначали відносні показники в'язкості руйнування α і товщина деформованого шару β [3,4]. Результати розрахунку α і β наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Вплив структурної неоднорідності на відносні реологічні властивості чавунів

Чавун	Тип неоднорідності	α	β
Сірий чавун СЧ -25	Пластичний графіт	1,68	3,45
Ковкий чавун КЧ 45-7	Вертикулярний графіт	2,08	7,53
Високоміцний графіт ВЧ 60 - 2 (ø $3\cdot10^{-2}$ м)	Кулястий графіт	2,22	8,1
Високоміцний графіт ВЧ 60 – 2 (ø $5\cdot10^{-2}$ м)	Кулястий графіт	2,22	6,36
Високоміцний графіт ВЧ 60 – 2 (ø $15\cdot10^{-2}$ м)	Кулястий графіт	2,22	5,45
Нелегований білий чавун (литво)	Цементит	1,12	5,7
Нелегований білий чавун (закалювання)	Цементит	1,07	10,1

Звідки видно, що при зміні форми графіту закономірність реологічного параметру пояснюється випереджаючим зменшенням товщини деформованого

шару порівняно з в'язкістю руйнування $\alpha < \beta$. Закономірність реологічного параметру при зміні вмісту дефектів будови у високоміцному чавуні пояснюється зростанням товщини деформованого шару, яке відбувається за степеневим законом, на що вказує зменшення β по мірі збільшення діаметру заготовки.

При зміні структурного стану білого чавуну закономірність реологічного параметру пояснюється тим, що зменшення товщини деформованого шару відбувається набагато швидше ніж зростання в'язкості руйнування $\beta >> \alpha$. Відповідно до положень реолого – кінетичної концепції підвищення зносостійкості зі зростанням реологічного параметру у всіх випадках, що розглядаються пояснюється підвищенням опору зародженню та розвиненню бокових горизонтальних тріщин на межі деформованого шару. Таким чином, за результатами досліджень, що отримані в даній роботі можна констатувати таке:

1. Закономірності впливу типу структурної неоднорідності на зносостійкість чавунів можуть мати різний характер: немонотонний - при зміні форм високовуглецевої фази, монотонно зростаючий – структурного стану і монотоноспадаючий – вмісту дефектів будови.

2. Для всіх типів неоднорідностей структури абразивну зносостійкість чавунів контролює показних реологічного параметру, а не твердості.

3. На відміну від сталей, між впливом типу структурної неоднорідності на величину реологічного параметру чавунів та змінами реологічних властивостей (в'язкості руйнування, товщини деформованого шару) певних закономірностей не встановлено. Однак в окремих групах чавунів з вільним або зв'язаним видом високо вуглецевої фази такі закономірності простежуються.

4. Вплив типу структурної неоднорідності на закономірності реологічного параметру пояснюється зміною показників відносних реологічних властивостей чавунів.

5. Вплив дефектів будови на абразивну зносостійкість чавунів доцільно проводити на підґрунті реолого-кінетичної концепції підвищення зносостійкості.

Список літератури

1. Хрущов М.М. Исследование изнашивание металлов: (Монография) / М. М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: АН СССР, 1960. – 351с. или табл. – Библиограф.: С. 242 – 247.

2. Дворук В.І. Трибофізика: підручник. / В.І. Дворук, В.А. Войтов. - [б.в]. – 2014. – 374 с.

3. Дворук В. І. Абразивна зносостійкість металевих матеріалів з макроскопічними дефектами (повідомлення 1) / В. І. Дворук // Проблеми тертя та зношування. – 2015. - № 1. С. 27–36.

4. Дворук В.І. Вплив структурного стану на абразивне руйнування сталі / В.І. Дворук, О.В. Герасимова // Проблеми тертя та зношування: Зб. наук. праць. – К., 2007. – Вип. 47. – С.82 – 94.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2015

V. I. DVORUK

ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF METALIC MATERIALS WITH MACROSCOPIC DEFECTS (Message 2)

The experimental research aimed at deepening and development reology - kinetic concept of improving abrasive wear resistance with respect to iron. Established that the type of structural heterogeneity influence on the wear resistance of cast iron may have a different character: nonmonotonic - when changing form high-carbon phase monotonic increased - structural state and monotonic subside - content defect structure. It is shown that for all types of heterogeneity structure abrasive wear resistance of iron controls not figure hardness and rheological parameters. Unlike steel, between the effects of the type of structural heterogeneity in size and rheological parameters iron changes rheological properties (fracture toughness, thickness of the plastically deformed layer) certain patterns are not set. However, in some groups irons with free or bound type high-carbon phase such communication can be traced. The influence of the type of structural heterogeneity in patterns of rheological parameters explained change the relative rheological properties of iron. Confirmed feasibility reoloho - kinetic approach to improve the abrasive wear resistance of cast iron.

Keywords: abrasive wear resistance, reoloho-kinetic concept, rheological parameters, iron, hardness.

Дворук Володимир Іванович – д-р техн. наук, професор кафедри теоретичної та прикладної фізики, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 79 33, E-mail: vidvoruk@gmail.com.