

## **КОМПОЗИЦІЙНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КАРБІДОСТАЛЕЙ З ДОМІШКАМИ КАРБІДІВ ХРОМУ І ТИТАНУ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

***В.А. Маслюк, доктор технічних наук  
Р.В. Яковенко, кандидат технічних наук  
Інститут проблем матеріалознавства  
імені І.М. Францевича НАН України  
М.І. Денисенко, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України***

*В статті встановлено закономірності отримання зносостійких порошкових матеріалів типу карбідосталей на основі системи «хромиста сталь-карбід хрому» і розробка на їх основі деталей робочих органів сільськогосподарських машин.*

***Робочі органи, абразивне зношування, хромиста сталь, композиційні матеріали, довговічність, карбід хрому.***

**Постановка проблеми.** Переважна більшість сучасних машин і механізмів має рухомі сполучення, що забезпечує можливість виконання ними робочих функцій, тому створення та освоєння промисловістю нових ефективних матеріалів, які можуть надійно працювати в різноманітних умовах, представляють собою важливу задачу в області машинобудування і транспорту. Від матеріалів вимагають низькі значення втрат енергії на тертя, високу зносостійкість, а також в ряді випадків високу корозійну стійкість для експлуатації в агресивних середовищах. До таких матеріалів належать порошкові матеріали з нерівноваженою структурою, без вольфраміві тверді сплави та карбідосталі. Порошкові тверді сплави є композиційними гетерогенними матеріалами, які складаються з твердих тугоплавких сполук розподілених в пластичній матриці з металів тріади заліза.

Безвольфраміві тверді сплави-це сплави на основі карбиду і карбонітриду титана, зцементованих нікель-молібденовим зв'язуючим. Вони характеризуються меншим модулем пружності і вищим коефіцієнтом термічного розширення, тобто є чутливими до ударних і теплових навантажень, ніж вольфрамо-кобальтові тверді сплави, та у деяких випадках містять дорогі та дефіцитні нікель і молібден. Відмінною особливістю порошкових конструкційних матеріалів є їх поруватість, регулюванням якої можливо в широких межах

керувати фізико-механічними властивостями виготовлених деталей. Існує ряд методів одержання конструкційних деталей високої щільності. Це багаторазове пресування і спікання, гідростатичне, ізостатичне і гаряче пресування, прокатування металевих порошків, пресування скошеним пуансоном і в металевих оболонках, гаряче штампування пористих заготовок, вибухове пресування, екструдкування, просочення рідкими металами, спікання з утворенням рідкої фази. Карбідосталі за своїми властивостями є проміжними між твердими сплавами і інструментальними сталями. Висока твердість, зносостійкість і можливість зберігати ці властивості при високих температурах визначають можливість їх широкого застосування.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі нині карбідосталі отримують переважно рідко фазним спіканням. Їх основою найчастіше є леговані сталі, у тому числі нержавіючі, а в якості твердої складової в них використовуються карбід або карбонітрид титану. До недоліків відомих карбідосталей належить збільшення зерен карбіду та схильність до окиснення в процесі спікання, недостатня корозійна стійкість. При застосуванні ряду методів необхідні дуже високі тиски, а це викликає велике спрацювання пресформ. Тому найперспективнішими є методи формування металокерамічних несучих деталей, які дають можливість одержувати деталі складної геометрії при низьких тисках або без застосування спеціальних пресформ. Технологія виготовлення несучих деталей забезпечує одержання виробів або заготовок з достатньою міцністю, пластичністю, твердістю, незначною залишковою пористістю, а також іншими специфічними властивостями.

Відомі роботи зі створення карбідосталей на основі системи залізо-карбід хрому. Недоліком їх є недостатня стійкість до корозії. Розроблені раніше композити «нержавіюча сталь аустенітного класу-карбід хрому-дисиліцид молібдену» належать до класу трибо технічних матеріалів і мають крупнозернисту структуру (зі середнім розміром 50-100 мкм), що негативно позначається на фізико-механічних характеристиках. Міцнісні характеристики металокерамічних конструкційних матеріалів підвищуються при легуванні залізної основи сплаву. Однією з найпоширеніших легуючих домішок є хром.

Сплави на основі карбіду хрому з нікелевою (КХН) і нікель фосфорною (КХНФ) зв'язками відрізняються комплексом важливих властивостей, що дає можливість ефективно використовувати їх для виготовлення деталей, працюючих в умовах тертя, абразивного зношування, агресивного хімічного середовища і високих температур. Перші спроби створити тверді сплави на основі карбіду хрому з залізо вуглецевою зв'язкою було здійснено в роботі [1]. Сплави утримували 20% зв'язки, що являла собою вибілений чавун з 3,8%

C, відрізнялися високою твердістю (88 HRA), але мали низькі характеристики міцності ( $\sigma_{згин} = 190$  МПа). Взаємодію титану з карбідом хрому при спіканні досліджено в роботі [2, 3], автори якої встановили, що у спеченому матеріалі з'являється нова фаза-TiC. Розчинення карбіду хрому відбувається в інтервалі температур від 950 до 1250°C. Оскільки TiC має інший тип і параметри решітки, ніж карбід хрому, треба очікувати, що його утворення буде супроводжуватися зміною розмірів зразка. При використанні у суміші з титаном частинок карбіду хрому, які мають малий вуглецевий потенціал (частинки менше 20 мкм). В цих межах температур відбувається дисоціація карбіду хрому і утворення карбіду титану в місцях концентрації вуглецю. Деталі з карбідо хромових сплавів одержують із суміші порошків карбіду хрому  $Cr_3C_2$  і нікелю пресуванням і спіканням в захисному середовищі при температурі вище 1200°C. Вміст нікелю може становити 5–40%.

**Метою досліджень** є встановлення закономірностей отримання зносостійких та корозійностійких порошкових матеріалів типу карбідосталей на основі систем «хромиста сталь-карбід хрому» методами рідко фазного спікання, гарячого штампування та імпульсного гарячого пресування і розробка на їх основі деталей робочих органів сільськогосподарських машин.

**Результати досліджень.** Велику кількість експериментів присвячено дослідженню впливу умов виготовлення на фазовий склад порошкових зносостійких матеріалів типу карбідосталей, отриманих спіканням, імпульсним гарячим пресуванням (ІГП) та гарячим штампуванням (ГШ). Встановлено, що, незалежно від методу отримання карбідосталей, карбід хрому активно взаємодіє зі сталеною основою, що полягає у дифузії вуглецю і хрому із карбіду у матрицю, а заліза – із матриці в карбід і супроводжується утворенням складних гетерофазних структур і збільшенням загальної кількості карбідної фази в матеріалі. Збільшення твердої фази в матеріалі приводить до підвищення твердості та зносостійкості.

У результаті аналізу впливу вмісту компонентів на структуру спеченої карбідосталі, виявлено ефект подрібнення мікроструктури при збільшенні кількості карбіду хрому від 7,5 до 30% об., що дозволяє керувати структуроутворенням для досягнення необхідних властивостей карбідосталей (рис. 1). Встановлено, що гарячештампована карбідосталь має анізотропію зерен металу-основи в напрямку, перпендикулярному зусиллю штампування. Особливістю структури гарячештампованої карбідосталі є відсутність перехідної зони в місці контакту карбідного зерна з металом основи. Це в деяких випадках сприяє підвищенню міцності карбідосталі, що загалом забезпечує зростання механічних властивостей матеріалу.

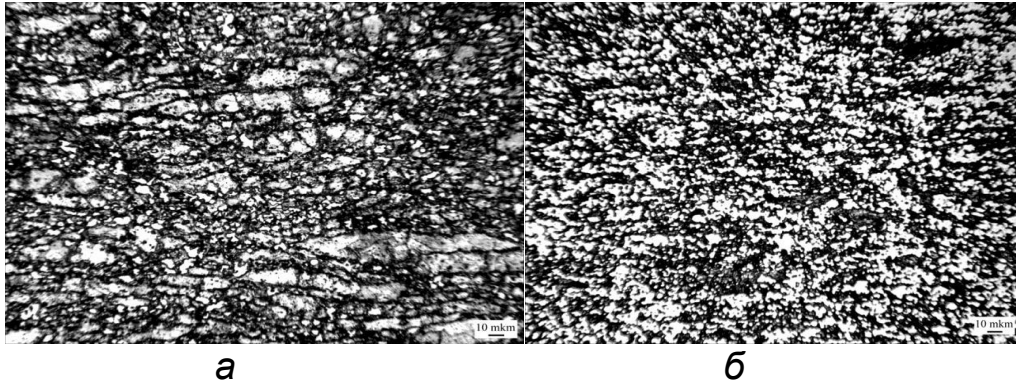


Рис. 1. Мікроструктура гарячештапованих при 1200°C карбідосталей X17H2–7,5% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (а), 30% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (б), відпалених при 1150°C.

Досліджено закономірності процесів фазо- і структуроутворення методом локального рентгенівського мікроаналізу на мікрозонді MS–46 фірми Самеса, в об'ємі консолідованих зразків зносостійких карбідосталей – «хромиста сталь – карбід хрому» за умов їх попереднього розмелу-змішування. Результати аналізу і середній склад фаз у карбідосталі приведено на рис. 2.

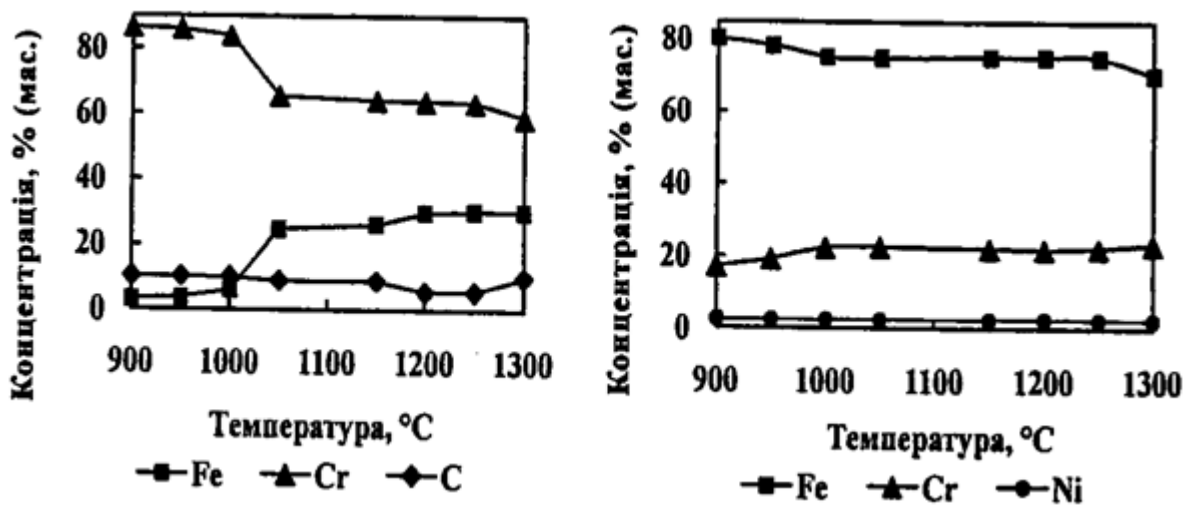


Рис. 2. Середній склад карбідів (а) і зерен матриці (б) в спеченому при різних температурах зразку карбідосталі X17H2-15% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

Механізм розчинення карбіду хрому в сталевій матриці подібний до механізму розчинення Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> у залізній матриці і його можна уявити в такій послідовності: одностороння дифузія хрому і вуглецю в сталеву матрицю і заліза в карбід, збіднення карбіду Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> по вуглецю і у зв'язку з цим перекристалізація спочатку в карбід Me<sub>2</sub>C (900 °C), потім, при підвищенні температури спікання до

1050 °C – в гексагональний карбід  $Me_7C_3$ . При подальшому підвищенні температури до 1200 °C – в  $Me_{23}C_6$ . При розплавленні зразку при 1300 °C з рідкої фази викристалізовується карбід  $Me_2C$ . Помітною відмінністю від систем  $Fe-Cr_3C_2$ , є те, що вказана серія фазових перетворень проходить в усіх частинках карбіду хрому одночасно і повністю, а не по межі, що викликано попередньою механоактивацією і підвищеною дисперсністю карбідної фази [4, 5].

Вибірковий мікрорентгеноспектральний аналіз карбідосталей X13M2–(15, 30)% об.  $Cr_3C_2$  показав, що в карбідосталях на основі X13M2 механізм взаємодії проходить подібно карбідосталям на основі сталі X17H2. Деякою особливістю мікроструктури карбідосталі X13M2–15% об.  $Cr_3C_2$  є утворення карбіду  $Me_3C$  після розплавлення зразка при 1300 °C. Карбідосталь X13M2–30% об.  $Cr_3C_2$  після спікання при температурі 1300 °C відрізняється збереженням карбіду  $Me_{23}C_6$  поряд з новоутвореним карбідом  $Me_3C$ . Що можна пояснити наявністю молібдену, який є активним карбідоутворюючим елементом.

Дані рентгенофазових досліджень на дифрактометрі «Дрон-3» в  $Co-K_{\alpha}$ -випромінюванні показали, що вихідні порошки сумішей X17H2, X13M2 з 15% об.  $Cr_3C_2$  мають дефектність кристалічної ґратки, що в подальшому впливає на структуроутворення і на механічні властивості карбідосталей.

Проведене дослідження дозволило встановити методом рентгенівського аналізу фазовий склад карбідосталей, спечених при температурах 1150, 1200, 1250, 1300 °C. При температурі спікання 1150 °C зразки мають у своєму складі карбіди  $Cr_7C_3$  і  $Me_7C_3$ , з підвищенням температури спікання до 1200 °C та до 1250 °C (рис. 3) – в структурі наявні залишки  $Me_7C_3$  та з'являється складний карбід  $Me_{23}C_6$ .

При температурі спікання 1300 °C утворюється фаза  $Me_2C$  в карбідосталі X17H2– $Cr_3C_2$ , а в карбідосталі X13M2– $Cr_3C_2$  викристалізовується фаза  $Me_3C$ , також спостерігаються сліди  $Me_{23}C_6$ . Отримані результати співпадають з результатами мікрорентгеноспектрального аналізу і свідчать про активну взаємодію карбідів хрому зі сталєвою матрицею.

Результати рентгенофазових досліджень зразків X17H2 з  $Cr_2C_3$ , отриманих імпульсним гарячим пресуванням свідчать про успадкований вплив розмелу на формування тонкої структури в цих зразках. Нагромадження напруження в зразках збільшує інтенсивність протікання дифузійних процесів при формуванні карбідосталей, такий вплив викликає також накопичення мікродефектів в зразках, що проявляється в підвищеному рівні твердості (81–82 HRA).

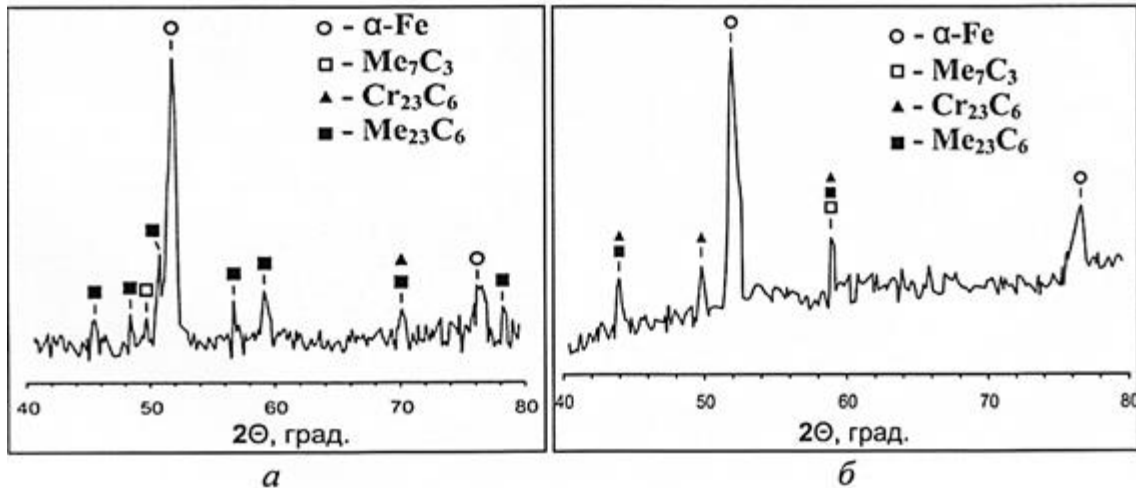


Рис. 3. Дифрактограма карбідосталей X17H2 об. 15%  $\text{Cr}_3\text{C}_3$ , (а) та X13M2 – 15% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (б), спечених при температурі 1250 °С.

Автори здійснили дослідження механічних властивості, зноса- та корозійної стійкості карбідосталей «хромиста сталь- $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ». Дослідження залежності міцності на вигин спечених карбідосталей від вмісту  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  показали, що при його введенні міцність збільшується, порівняно з вихідними сталями (X17H2, X13M2), в усьому температурному інтервалі спікання, досягаючи своїх максимальних значень 1450–1470 МПа при температурах спікання 1200 і 1250 °С (рис. 4). Твердість карбідосталі на основі X17H2 з підвищенням вмісту  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  і температури спікання зростає і досягає максимуму (74 HRA) після спікання при 1300 °С (рис. 5). Карбідосталі на основі X13M2 з 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  мають найвищу твердість (80 HRA) після спікання при 1250 °С, що обумовлено близьким розташуванням складу до мартенситної області, що характеризує структурна діаграма Шефлера [6].

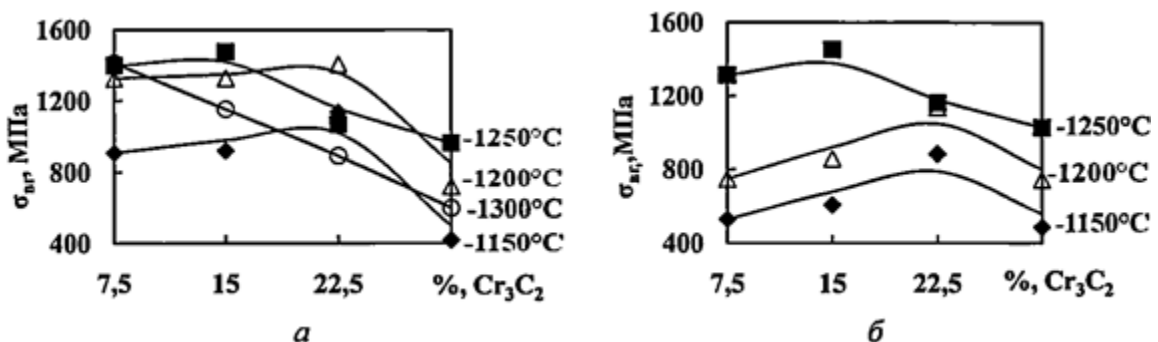


Рис. 4. Залежність міцності на вигин карбідосталі від вмісту карбиду хрому при різних температурах спікання: а) сталь X17H2; б) сталь X13M2.

Деяке падіння механічних властивостей карбідосталей з 15% об. карбиду хрому в інтервалі температур отримання 1150–1200 °С

можна пояснити тим, що така кількість твердої фази при вказаних температурах знеміцнює сталевий каркас. При кількості карбідосталі  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  22,5% об. її склад наближається до евтектичного і у якого, при даних температурах, утворюється значна кількість рідкої фази, інтенсифікуються процеси масоперенесення, що приводить до зростання механічних властивостей. При 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , за рахунок зростання кількості карбідної фази спостерігається підвищення твердості при зниженні міцності на вигин.

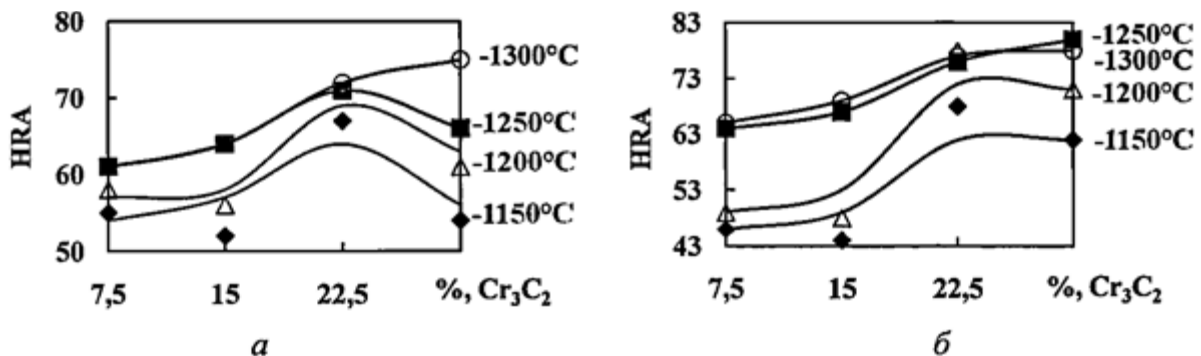


Рис. 5. Залежність твердості карбідосталі від вмісту карбиду хрому при різних температурах спікання: а) сталь X17H2; б) сталь X13M2.

Карбідосталь X17H2–44% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , отримана ІГП має твердість 80–82 HRA але характеризується невисокою міцністю на вигин (400 МПа). Це обумовлено підвищеним вмістом  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  і значною крихкістю матеріалу. Зменшення кількості карбиду хрому в карбідосталях, отриманих ІГП, підвищує міцність на вигин до 1350 МПа при збереженні твердості на рівні 79–80 HRA. Це можливо викликано також використанням розпиленого, а не отриманого гідридно-кальцієвим відновленням, порошку сталі X17H2.

Найбільший вплив на міцність і твердість карбідосталей на основі сталі X17H2 отриманих ГШ, спричиняє наступне відпалювання при 1150°C (рис. 6). Це можна пояснити посиленням адгезії між частинками металевої і карбідної фаз, а також зняттям напруг і дифузійною взаємодією між карбідами і матрицею.

Зіставлення результатів дослідження механічних властивостей карбідосталей, отриманих різними методами дозволяє зробити висновок, що застосування ГШ приводить до підвищення твердості карбідосталей в 1,2 рази порівняно зі спеченими карбідосталями на основі X17H2, що обумовлено інтенсивною термомеханічною дією ГШ і призводить до проявлення ефекту термомеханічної обробки. Міцність на вигин карбідосталей, отриманих ІГП знаходиться на нижчому рівні і складає 400 МПа. У карбідосталей, отриманих спіканням і гарячим штампуванням міцність одного рівня (1410–

1470 МПа), хоча ГШ карбідосталі отримані при нижчих температурах попереднього нагрівання ніж спечені.

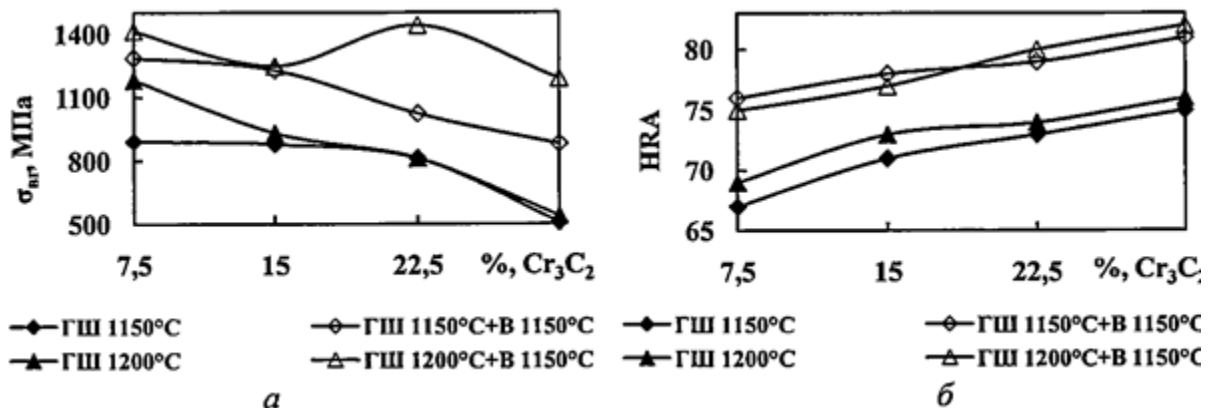


Рис. 6. Залежність міцності на вигин (а) та твердості (б) карбідосталі від вмісту карбиду хрому, отриманих гарячим штампуванням (ГШ) і ГШ з наступним відпалюванням (В).

Дослідження залежності тріщиностійкості карбідосталей отриманих за оптимальними режимами від вмісту карбиду хрому показало, що, як і передбачалось, збільшення кількості твердої складової, поряд зі зростанням твердості, приводить до зменшення тріщиностійкості карбідосталей (рис. 7).

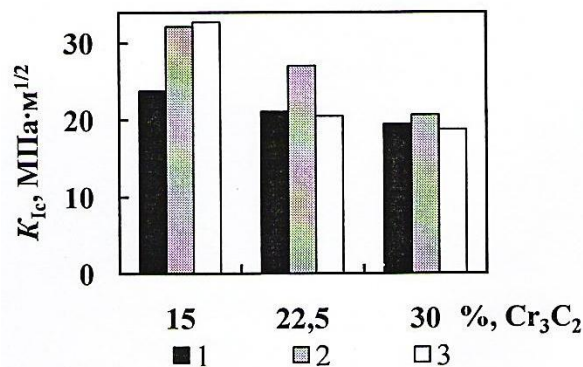


Рис. 7. Тріщиностійкість карбідосталей з різним вмістом Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> при оптимальних температурах отримання: 1 – X17H2-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (отримано ГШ при 1200 °C); 2 – X17H2-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (отримано спіканням при 1250 °C); 3 – X13M2-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (отримано спіканням при 1250 °C).

В'язкість руйнування спечених карбідосталей з різною основою знаходиться приблизно на одному рівні, а деяке її падіння в карбідосталі X13M2-22,5% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> можна пояснити підвищенням мікротвердості основи до ~4,5 ГПа і в цілому макротвердості карбідосталі до 78 HRA. Це відбувається у зв'язку з утворенням рідкої фази за рахунок близького до евтектичного складу, що інтенсифікує дифузію вуглецю і хрому в основу, а заліза в карбіді.



Карбідосталі, отримані гарячим штампуванням, мають дещо нижчий рівень в'язкості руйнування, ніж спечені карбідосталі аналогічного складу. Така закономірність спостерігається до вмісту карбіду хрому 22,5% об. включно, далі їх тріщиностійкість вирівнюється і знаходиться в межах 19–21 (МПа · м<sup>1/2</sup>).

Дещо нижчу в'язкість руйнування гарячештампованих карбідосталей можна пояснити нагартованістю структури. За рахунок цього ми маємо підвищенні значення твердості 79-82 HRA, що приводить до падіння величини в'язкості руйнування. Підсумовуючи, можна зазначити, що тріщиностійкість досліджених карбідосталей знаходиться на достатньо високому рівні, наприклад, тріщиностійкість твердого сплаву ВК21 – 11–13 (МПа · м<sup>1/2</sup>), сталі Р18 – 21 (МПа · м<sup>1/2</sup>).

Досліджено стійкість карбідосталей проти абразивного зношування по закріпленим частинкам в парі з алмазним кругом. Випробування показали, що зносостійкість спечених зразків з порошкових сталей Х17Н2 і Х13М2 низька і підвищення навантаження більше 0,6 МПа призводить до їх катастрофічного зношування [7]. Введення Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> підвищує стійкість до зношування спечених матеріалів в ~20 разів, порівняно з вихідними сталями. Коефіцієнт тертя карбідосталей на основі Х17Н2-(7,5–30% об.) Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> знижується при збільшенні навантаження (рис. 8, а). Найменш зносостійкою є карбідосталь з 7,5% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, а найбільш зносостійкими – карбідосталі з високим вмістом карбіду (рис. 8, б).

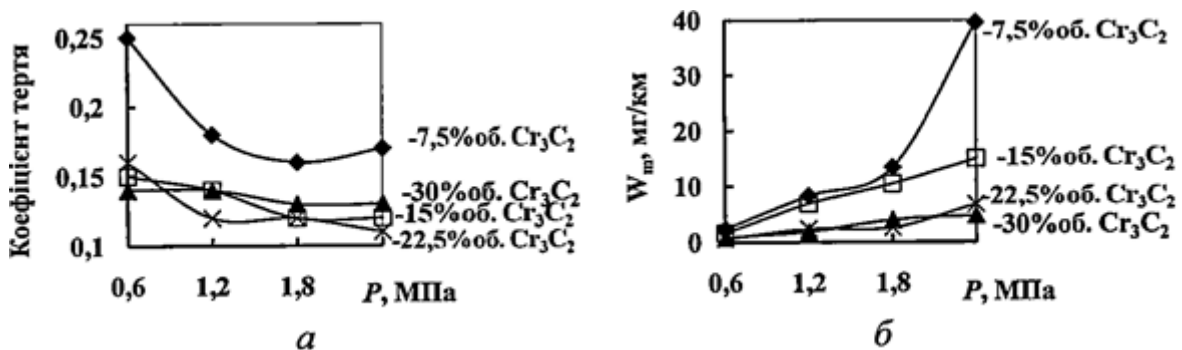


Рис. 8. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х17Н2 з різним вмістом Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, отриманих спіканням (1<sub>сп</sub> = 1250 °С).

Карбідосталі на основі Х13М2 мають зносостійкість в 1,5–3 рази вищу, порівняно з карбідосталлю Х17Н2-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Це можна пояснити наявністю 2% молібдену, що підвищує дифузійну рухливість хрому і приводить до збільшення його концентрації в приповерхневих шарах і що, як відомо, підвищує зносостійкість (рис. 9, а, б).

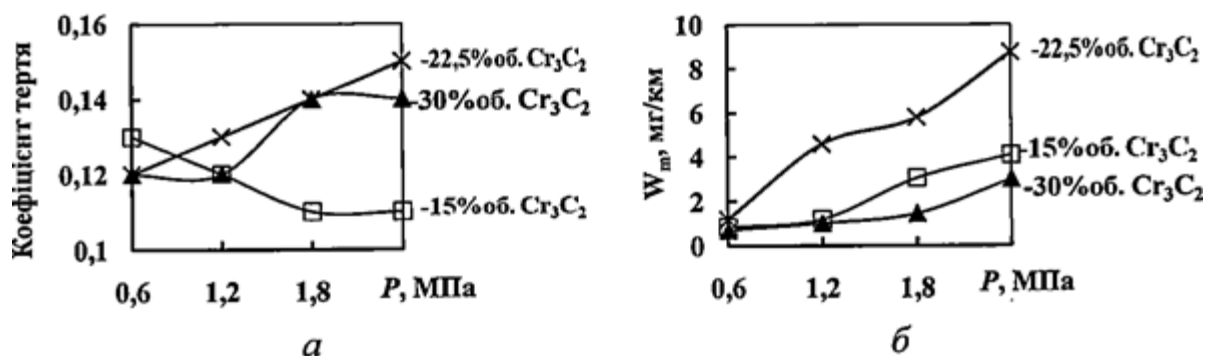


Рис. 9. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х13М2 з різним вмістом  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , отриманих спіканням ( $t_{\text{сп}} = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Результати досліджень абразивної зносостійкості зразків із сталі Х17Н2 (отриманих ІГП) показали, що в них спостерігається катастрофічне зношування вже при навантаженні 0,6 МПа. Введення в шихту карбідних домішок істотно змінює характер зносостійкості, підвищуючи її в ~50 разів. Порівняння зносостійкості карбідосталей показує, що інтенсивність зношування карбідосталі з  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  в 13,5 разів менше ніж карбідосталі з  $\text{TiC}$ . Це може бути пов'язано з вищою концентрацією Cr в металевій складовій карбідосталі з  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , також можливо, за рахунок малої інтенсивності взаємодії  $\text{TiC}$  зі сталеву основою та слабого адгезійного зв'язку між частинками карбиду титану і матрицею.

Дослідження зносостійкості зразків отриманих ГШ, показали, що введення карбиду хрому підвищує зносостійкість в 10 разів, порівняно з вихідною сталлю. Зі збільшенням вмісту  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  стійкість карбідосталі проти абразивного зношування росте (рис. 10,б). Коефіцієнт тертя для сталі Х17Н2 і карбідосталей з 7,5 і 15% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  дещо зростає зі збільшенням навантаження, а для карбідосталей з високим вмістом  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  він зменшується (рис. 10,а).

Зіставлення величини масового зношування сталей Х17Н2, Х13М2 і карбідосталей на їх основі показали, що зносостійкість карбідосталей, отриманих спіканням, ІГП і ГШ в десятки разів перевищує зносостійкість вихідних сталей, і підвищується зі збільшенням кількості карбідної складової. Коефіцієнт тертя карбідосталей, на відміну від сталей, зменшується при збільшенні навантаження при абразивному зношуванні. Зношування по закріпленім абразивним частинкам є дуже жорстким процесом, при якому проходить пряме руйнування поверхневого шару і в цьому випадку зносостійкість та коефіцієнт тертя визначається механічними властивостями матеріалу та його опором від прямого руйнування.

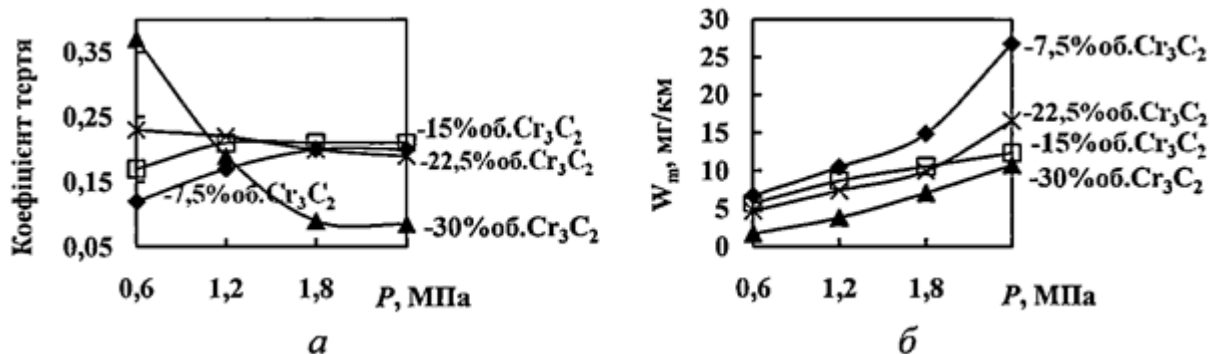


Рис. 10. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х17Н2 з різним вмістом  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , отриманих ГШ 1200 °С + В 1150 °С.

Карбідосталі з 7,5% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  мають низький рівень зносостійкості, порівняно з карбідосталями (15-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ), не залежно від методу отримання. Це скоріше за всього викликано особливістю мікроструктури, де спостерігаються значні розміри металевої фази (середній розмір 35 мкм) та наявність пористості до 12%. Збільшенні вмісту карбиду приводить до росту зносостійкості, що викликано збільшенням долі твердої складової за рахунок гетерофазної взаємодії з основою та подрібненням розміру металевої фази, що в умовах абразивного зношування по закріпленим частинкам приводить до підвищення зносостійкості.

Досліджували корозійну стійкість матеріалів в 3%-ному розчині  $\text{NaCl}$ , 30%-ному розчині  $\text{NaOH}$  та 20%-ному розчині  $\text{HNO}_3$  при кімнатній температурі. Корозійні середовища обирали виходячи з літературних даних по корозійній стійкості вихідних сталей та передбачуваних сферах застосування.

Дослідження показали, що корозійна стійкість спечених зразків карбідосталей Х17Н2 і Х13М2 з 15% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  в 30%-ному розчині  $\text{NaOH}$  досягає 10 балу (повністю стійкий). Мабуть, карбідні присадки, що активно взаємодіють при спіканні з сталеву основою, підвищують в ряді випадків корозійну стійкість матеріалів. При збільшенні вмісту  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  до 30% об. вона зменшується до 3-4 балу (понижено стійкий). У 3%-ному розчині  $\text{NaCl}$  тільки карбідосталі з 22,5% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  мають 10 бал, інші склади мають 2-3 бал (слабостійкий) (табл. 1).

За корозійною стійкістю в 20%-ному розчині  $\text{HNO}_3$  карбідосталі на основі Х17Н2 та Х13М2 відносяться до класу слабо та понижено стійких, це свідчить, що введення карбідів знижує корозійну стійкість матеріалу в даному корозійному середовищі. Карбідосталь з 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  є нестійкою в даному розчині і має 1 бал корозійної стійкості, це можна пояснити, з одного боку, достатньо високою пористістю (до

7%) та інтенсивною взаємодією твердої складової з основою, що приводить до дифузії вуглецю в сталь і утворення мартенситоподібних структур (мікротвердість основи складає 2,1–4,1 ГПа), що знижує корозійну стійкість матеріалу в цілому [8, 9].

### 1. Корозійна стійкість спечених карбідосталей.

Номер зразка	Склад, %		Відносна густина $\rho$ , %	Корозійні властивості					
				30%-ний NaOH		3%-ний NaCl		20%-ний HNO <sub>3</sub>	
	сталь	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>		П, мм/рік	Бал*	П, мм/рік	Бал	П, мм/рік	Бал
1	X17H2	7,5	0,95	0,06	4	0,48	3	0,54	2
2	X17H2	15	0,96	0,00	10	0,26	3	0,09	4
3	X17H2	22,5	0,95	0,28	3	0,00	10	0,03	4
4	X17H2	30	0,93	0,49	3	0,36	3	2,53	1
5	X13M2	15	0,93	0,00	10	0,33	3	0,11	4
6	X13M2	22,5	0,95	0,41	3	0,00	10	0,06	4
7	X13M2	30	0,97	0,03	4	0,59	2	0,31	2

\* за десятибальною шкалою.

Корозійна стійкість карбідосталей X17H2-44% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, отриманих ІГП у вакуумі знаходиться на рівні 3-го балу (слабостійкий) в досліджених розчинах. Це обумовлено значним нагартуванням структури.

Корозійна стійкість карбідосталей, отриманих ГШ, в 30%-ному розчині NaOH сягає 10 балу (повністю стійкий) до вмісту карбиду хрому 15% об. включно, але при подальшому підвищенні вмісту Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> корозійна стійкість падає до 4-го балу (понижено стійкий). У 3%-ному розчині NaCl спостерігається протилежна ситуація, відносно невисоку корозійну стійкість, на рівні 3-го балу (слабо стійкий), має карбідосталь з 7,5% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (табл. 2), а карбідосталі з (15–30% об.) Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> мають 10-й бал стійкості проти корозії. В 20%-ному розчині HNO<sub>3</sub> сталь X12H2 має 1 бал (нестійкий), а карбідосталь X12H2-15% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> – 2 бал (слабостійкий), інші склади карбідосталей мають 3-й (слабостійкий) бал корозійної стійкості.

### 2. Корозійна стійкість карбідосталей, отриманих гарячим штампуванням

Номер зразка	Склад, %		Відносна густина $\rho$ , %	Корозійні властивості					
				30%-ний NaOH		3%-ний NaCl		20%-ний HNO <sub>3</sub>	
	сталь	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>		П, мм/рік	Бал*	П, мм/рік	Бал	П, мм/рік	Бал
1	X17H2	7,5	0,99	0,00	10	0,14	3	0,81	2
2	X17H2	15	0,99	0,00	10	0,00	10	0,25	3
3	X17H2	22,5	0,99	0,09	4	0,00	10	0,16	3
4	X17H2	30	0,98	0,09	4	0,00	10	0,16	3

\* за десятибальною шкалою.

Таким чином, корозійна стійкість карбідосталей значною мірою визначається вибірковою здатністю зовнішньої дії на складові компоненти матеріалу. В умовах, коли стійкість фази карбиду перевищує стійкість сталевий зв'язки до дії реагентів, загальна стійкість сплавів карбід – сталь збільшуватиметься зі зниженням вмісту сталі. У протилежному випадку спостерігатиметься зворотна картина.

Нами приведено аспекти практичного використання результатів досліджень. На рис. 11 представлено запропоновану технологічну схему виготовлення зносокорозійних вставок для молотків кормодробарок.

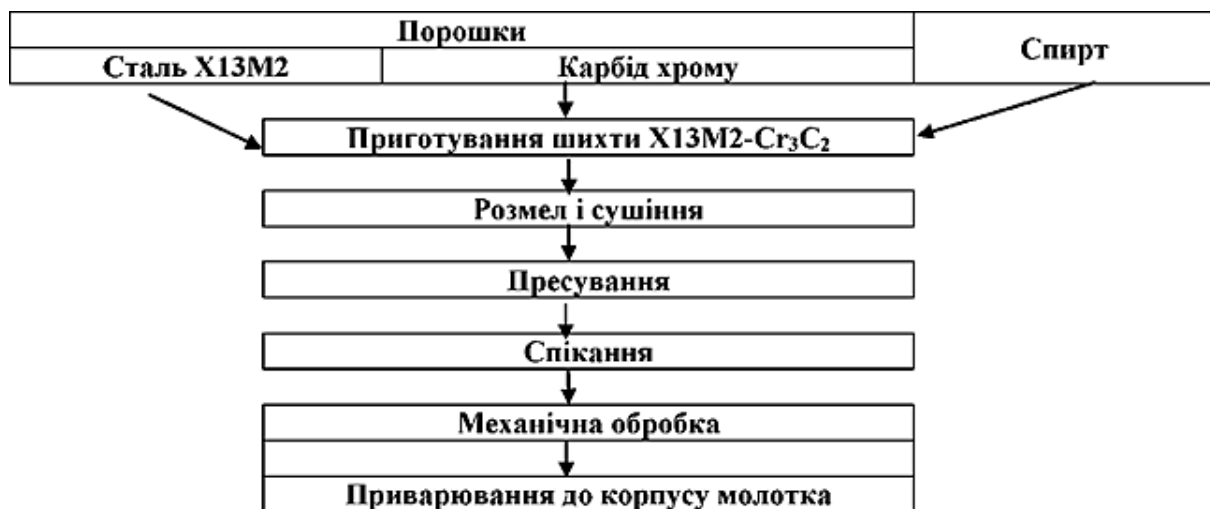


Рис. 11. Технологічна схема виготовлення «модульних вставок» до молотків кормодробарок.

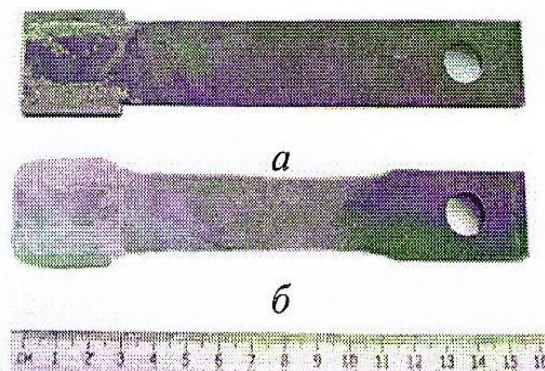


Рис. 12. Молоток дробарки БМК-1 зі вставками із карбідосталі X13M2-30% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, з'єднаних електрозварюванням (а-до випробовувань; б-після виробничих випробовувань).

Експлуатаційні випробування молотків проводили на кормодробарці БМК-1 при помелі фуражного зерна. Одночасно з молотками, армованими вставками зі X13M2-30% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (рис. 12),

випробовували молотки з базового матеріалу з термообробленої сталі 65Г. Зносостійкість молотків визначали за зміною їх маси. Виробничі випробування показали підвищення довговічності експериментальних молотків, армованих вставками із карбідосталі Х13М2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , в 2–2,5 рази та покращення технологічної операції подрібнення кормів в порівнянні з серійними молотками зі сталі 65Г [10].

За результатами випробувань, які проводили в навчально-дослідному господарстві при Національному університеті біоресурсів і природокористування України, молотки, армовані вставками із сплаву Х13М2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  рекомендовані до використання у складі дробарок кормів БМК-1.

### Висновки

1. На основі систем «хромисті сталі Х17Н2, Х13М2- $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , а також даних діаграм стану Cr-Fe-C, результатів мікроструктурного, мікрорентгеноспектрального і фазового аналізів та досліджень фізико-механічних властивостей, зносостійкості і корозійних характеристик розроблено порошкові зносостійкі матеріали: Х13М2-(15–30% об.)  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  і Х17Н2-(7,5–30% об.)  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  конструкційного призначення.

2. Проведено виробничі випробування молотків кормоподрібнювачів, армованих вставками із розроблених карбідосталей Х13М2–30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція». Випробування показали підвищення довговічності експериментальних молотків в 2–2,5 рази та покращення технологічної операції подрібнення кормів в порівнянні з серійними молотками зі сталі 65Г.

### Список літератури

1. Петрова А.М. Структурообразование при отжиге композиции Т- $\text{Cr}_3\text{C}_2$  / А.М. Петрова, И.Д. Радомысльский, С.В. Титаренко // Порошковая металлургия. – 1974. – №1. – С. 85–89.
2. Радомысльский И. Твердые сплавы из порошков карбида хрома и чугуна / И. Радомысльский, В. Клименко. – К.: Информационный листок, 1961. – №12.
3. Клименко В.Н. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / В.Н. Клименко, В.А. Маслюк, Ю.В. Самброс. / Порошковая металлургия. – 1986. – №8. – С. 39–43.
4. Маслюк В.А. Упрочнение быстрознашивающихся поверхностей безвольфрамовыми твердыми сплавами и карбидо-содержащими сталями / В.А. Маслюк, С.Г. Напара-Волгина, Р.В. Яковенко // Международный научно-технический семинар «Современные проблемы подготовки, производства, заготовительного производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении» (21–23 февраля 2006 года). – Свалява, Украина. – С. 103–105.
5. Маслюк В.А. Упрочнение быстрознашивающихся поверхностей безвольфрамовыми твердыми сплавами и карбидо-содержащими сталями /

В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, С.Г. Напара-Волгина, Р.В. Яковенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение, 2007. – №1. – С. 42–48.

6. Маслюк В.А. Износо-коррозионностойкие композиционные материалы на основе нержавеющей стали для узлов трения машин и механизмов / В.А. Маслюк, С.Г. Напара-Волгина, Л.Н. Орлова, В.К. Кудь, Р.В. Яковенко // Порошковая металлургия в автотракторном машиностроении. Сварка и резка материалов. Материалы, технологии и оборудование для нанесения функциональных защитных покрытий» (26–30 марта 2007 года). – Минск. – С. 85–86.

7. Яковенко Р.В. Механические и трибологические свойства износостойких карбидосталей системы сталь- $Cr_3C_2$  / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, В.Т. Варченко, Д.Н. Бродниковский // Тезисы доклада II-й международной самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений» (18-20 мая 2010 года). – К., Украина. – С. 91.

8. Яковенко Р.В. Трибологические и физико-механические свойства износостойких композитов на основе коррозионностойких сталей / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, В.Т. Варченко, Д.Н. Бродниковский // Международный специализированный научно-технический семинар «Композиционные фрикционные материалы: свойства, производство, применение (25–26 мая 2010 года). – Минск. – С. 122–130.

9. Яковенко Р.В. Влияние способа получения на структуру и свойства карбидо-стали с добавками карбида хрома / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, А.Е. Куцевский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – 2010. – №10 (152). – Ч. 1. – С. 281–284.

10. Патент №45567 Україна, МПК(2009), В22/F 7/02. Молоток для кормодробарок / В.Д. Войтюк, М.І. Денисенко, О.О. Котречко, В.А. Маслюк, Р.В. Яковенко, Т.В. Олійник ; заявлено 17.07.2009 ; опубл. 25.12.2009, Бюл. №24.

*В статье установлено закономерности получения износостойких порошковых материалов типа карбидосталей на основе систем «хромистая сталь-карбид хрома» и разработка деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин.*

**Рабочие органы, абразивное изнашивание, хромистая сталь, композиционные материалы, долговечность, карбид хрома.**

*In paper conformities to law of receipt of wearproof powder-like materials are set to type of karbidostaley on basis of systems «chromic steel-carbide of chrome» and development of details of workings organs of agricultural machines.*

**Workings organs, abrasive wear, chromic steel, composition materials, longevity, carbide of chrome.**