

## Фізико-механічні та трибологічні властивості композиційних матеріалів на основі корозійно-стійких сталей

Р. В. Яковенко, кандидат технічних наук

В. А. Маслюк, доктор технічних наук

\*М. І. Денисенко, кандидат технічних наук

\*А. С. Опальчук, доктор технічних наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

\*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

*Застосовуючи дані діаграми стану системи Cr – Fe – C, результати досліджень фізико-механічних властивостей, зносостійкості розроблено порошкові зносо- та корозійностійкі карбідосталі X13M2 – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> та X17H2 – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> конструкційного призначення.*

Відомо [1 – 2], що введення твердих присадок в неіржавіючі сталі дозволяє створити нові матеріали з підвищеними триботехнічними властивостями. Але недоліком таких матеріалів є відносно невисокі фізико-механічні характеристики, обумовлені пористістю. Тому основною проблемою при створенні матеріалів типу неіржавіюча сталь–карбід є забезпечення їх високої щільності.

Мета роботи – дослідження умов отримання зносо- та корозійностійких карбідосталей, фізико-механічних і трибологічних властивостей залежно від методу їх виготовлення.

Зразки виготовляли рідкофазним спіканням і гарячим штампуванням. Спікання проводили у вакуумі при температурах 1150 – 1300 °С і витримці 1 година. Нагрівання під гаряче штампування проводили при температурах 1150 і 1200 °С в середовищі аргону, штампування проводили на повітрі. Частину зразків після штампування піддавали відпалу при температурі 1150 °С протягом години у вакуумі.

Вибір перспективних складів карбідохромових матеріалів вимагає залучення сучасних даних про будову діаграми стану системи Fe – Cr – C. Виходячи з політермічного перерізу (по розрізу Fe – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) діаграми стану системи Fe – Cr – C [3] оцінено залежність вмісту фаз від складу при 1270 °С в області вмісту карбиду Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> від 0 до 70 %.

Досліджено механічні властивостей, зносо- та корозійну стійкість карбідосталей «хромиста сталь – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>». Дослідження залежності міцності на вигин спечених карбідосталей від вмісту Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 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. 1).

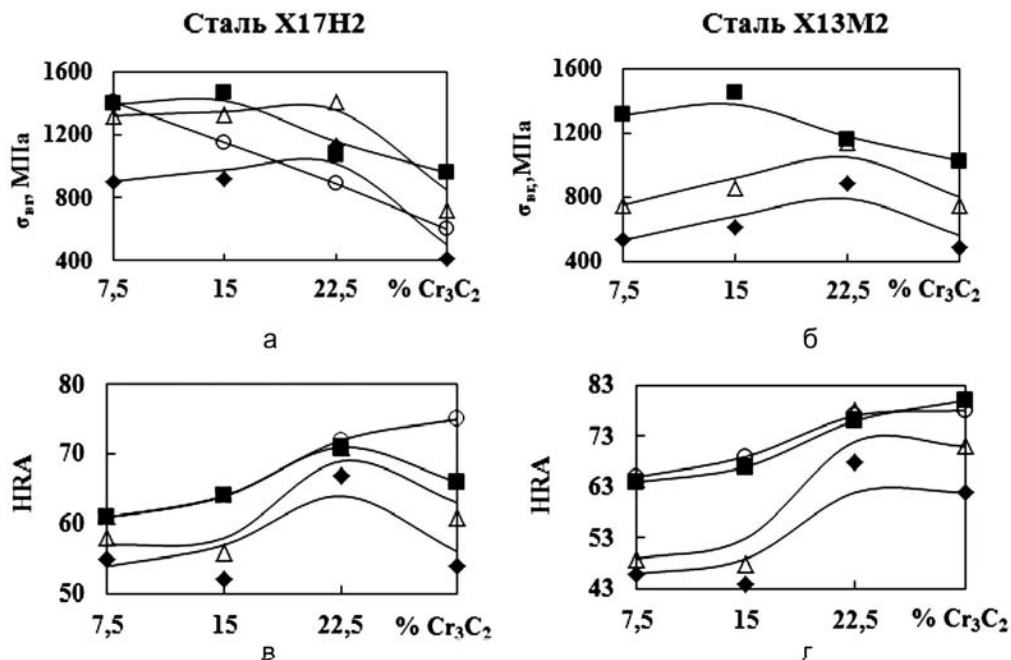


Рис. 1. Залежність міцності на вигин (а, б) та твердості (в, г) карбідосталей від вмісту карбіду хрому при різних температурах спікання.  $\blacklozenge$  – 1150 °С,  $\triangle$  – 1200 °С,  $\blacksquare$  – 1250 °С,  $\circ$  – 1300 °С.

Твердість карбідосталі на основі X17H2 з підвищенням вмісту Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> і температури спікання зростає і досягає максимуму (74 HRA) після спікання при 1300 °С (рис. 1 в, г). Карбідосталі на основі X13M2 з 30 % об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> мають найвищу твердість (80 HRA) після спікання при 1250 °С, що зумовлено близьким розташуванням складу до мартенситної області.

Досліджено також вплив температури гарячого штампування та наступного відпалу і вмісту карбіду хрому на твердість і межу міцності при вигині карбідосталей. Найбільший вплив на міцність і твердість карбідосталей на основі сталі X17H2, отриманих гарячим штампуванням, спричиняє наступне відпалювання при 1150 °С (рис. 2). Це можна пояснити посиленням адгезії

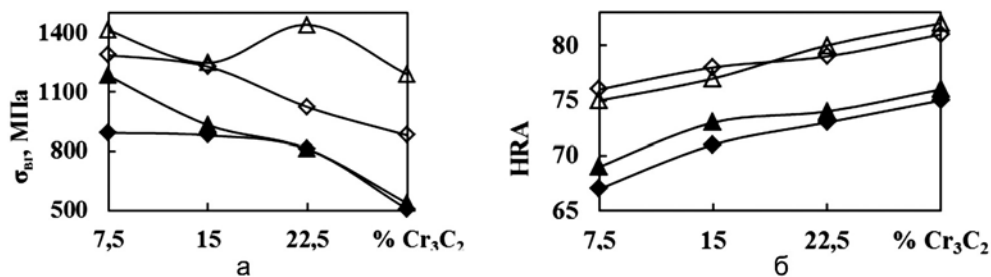


Рис. 2. Залежність міцності на вигин (а) та твердості (б) карбідосталі X17H2 від вмісту карбіду хрому, отриманої гарячим штампуванням ( $\blacklozenge$  – 1150 °С,  $\blacktriangle$  – 1200 °С) і гарячим штампуванням з наступним відпалюванням ( $\diamond$  – 1150 °С + відпалювання при 1150 °С,  $\triangle$  – 1200 °С + відпалювання при 1150 °С).

між частинками металевої і карбідної фаз, а також зняттям напружень і дифузійною взаємодією між карбідами і матрицею.

Зіставлення результатів дослідження механічних властивостей карбідосталей, отриманих різними методами, дозволяє зробити висновок, що застосування гарячого штампування призводить до підвищення твердості карбідосталей в 1,2 рази порівняно зі спеченими карбідосталями на основі X17H2, що зумовлено інтенсивною термомеханічною дією гарячого штампування і призводить до проявлення ефекту термомеханічної обробки. Спечені і гарячештамповані карбідосталі мають міцність одного рівня (1410 – 1470 МПа), хоча гарячештамповані карбідосталі отримано при нижчих температурах, ніж спечені.

Досліджено стійкість карбідосталей проти абразивного зношування по закріпленім частинкам в парі з алмазним кругом. Випробування показали, що зносостійкість спечених зразків з порошкових сталей X17H2 і X13M2 низька і підвищення навантаження більше 0,6 МПа призводить до їх катастрофічного зношування. Введення  $Cr_3C_2$  підвищує стійкість до зношування спечених матеріалів у ~ 20 разів, порівняно з вихідними сталями. Коефіцієнт тертя карбідосталей на основі X17H2 – (7,5 – 30,0 % об.)  $Cr_3C_2$  знижується при збільшенні навантаження (рис. 3 а). Найменш зносостійкою є карбідосталь з 7,5 % об.  $Cr_3C_2$ , а найбільш зносостійкими є карбідосталі з високим вмістом карбиду (рис. 3 б).

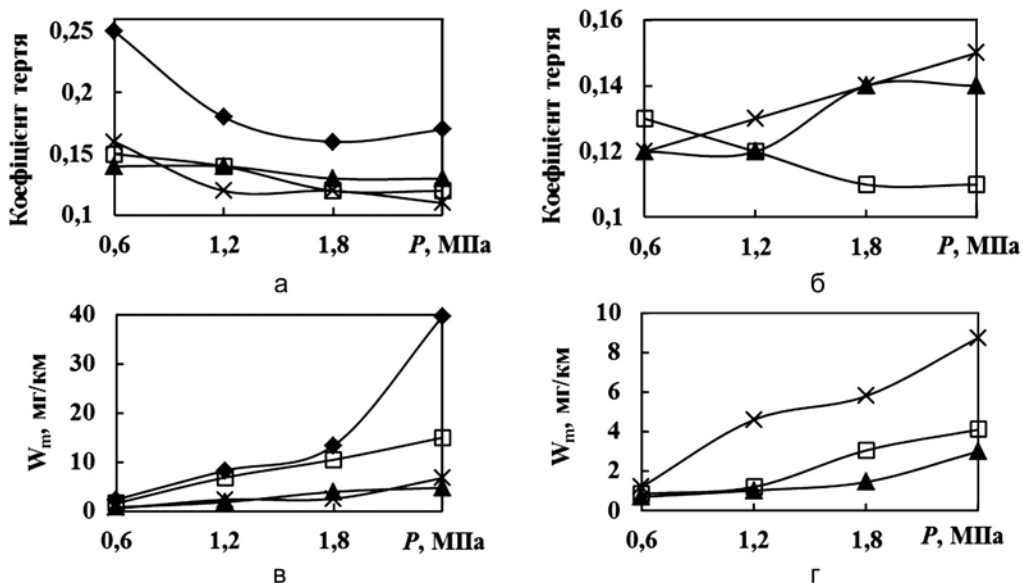


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя (а, б) і зношування (в, г) від навантаження зразків карбідосталей з різним вмістом  $Cr_3C_2$ , отриманих спіканням при температурі 1250 °С. ◆ – 7,5 % об.  $Cr_3C_2$ , □ – 15 % об.  $Cr_3C_2$ , × – 22,5 % об.  $Cr_3C_2$ , ▲ – 30 % об.  $Cr_3C_2$ .

Карбідосталі на основі X13M2 мають зносостійкість в 1,5 – 3,0 рази вищу, порівняно з карбідосталлю X17H2 –  $Cr_3C_2$ . Це можна пояснити наявністю 2 % молібдену, що підвищує дифузійну рухливість хрому і приводить до збільшення його концентрації в приповерхневих шарах і підвищення зносостійкості (рис. 3 в, г).

Дослідження зносостійкості зразків, отриманих гарячим штампуванням, показали, що введення карбіду хрому підвищує зносостійкість в 10 разів, порівняно з вихідною сталлю. Зі збільшенням вмісту  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  стійкість карбідосталі проти абразивного зношування зростає. Коефіцієнт тертя для сталі X17H2 і карбідосталей з 7,5 і 15,0 % об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  дещо зростає зі збільшенням навантаження, а для карбідосталей з високим вмістом  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  – зменшується.

Зіставлення величини масового зношування сталей X17H2, X13M2 і карбідосталей на їх основі показали, що зносостійкість карбідосталей, отриманих спіканням і гарячим штампуванням в десятки разів перевищує зносостійкість вихідних сталей і підвищується зі збільшенням кількості карбідної складової.

**Висновки** Розроблено зносо- та корозійностійкі карбідосталі X13M2 –  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  та X17H2 –  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  конструкційного призначення та досліджено їх фізико-механічні і трибологічні властивості залежно від методу отримання. Встановлено, що використання гарячого штампування забезпечує збільшення твердості карбідосталі X17H2 – 30 % об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  порівняно зі спеченою від 70 до 82 HRA і межі міцності на вигин з 960 до 1190 МПа.

## Література

1. Маслюк В.А., Напара-Волгина С.Г. Стойкие к износу и коррозии материалы типа карбидосталей с различными матрицами // Порошк. металлургия. – 1999. – № 9/10. – С. 108 – 114.
2. Каюк В.Г., Маслюк В.А., Костенко А.Д. Триботехнические свойства твердых сплавов на основе карбида хрома // Порошк. металлургия. – 2003. – № 5/6. – С. 46 – 51.
3. Bondar A., Ivanchenko V., Kozlov A. Carbon–chromium–iron // Landolt–Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Ed. by W. Martinsen. – New Series. Group IV: Physical Chemistry. – Ternary Alloy Systems, Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data Critically Evaluated by MSIT. Ed. by G. Effenberg, S. Ilyenko. – Berlin, Heidelberg: Springer–Verlag, 2007. – Vol. 11D2. – P. 1 – 55.

Одержано 15.02.13

**Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, М. И. Денисенко, А. С. Опальчук**

### **Физико-механические и трибологические свойства композиционных материалов на основе коррозионно-стойких сталей**

#### **Резюме**

Используя данные диаграммы состояния системы Cr – Fe – C, результаты исследований физико-механических свойств, износостойкости разработаны порошковые износо- и коррозионностойкие карбидостали X13M2 –  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  и X17H2 –  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  конструкционного назначения.

R .V. Yakovenko, V. A. Maslyk, N. I. Denysenko, A. S. Opalchuk

**Physical-mechanical and tribotechnical properties of composite materials on the basis of corrosion resistant steels**

**Summary**

Being based on the diagram of the Cr – Fe – C system, results of researche of physical and mechanical properties, wearproof powder carbide-steel Cr13Mo2 – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> and Cr17Ni2 – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> of the construction at application are developed.

***Шановні колеги!***

**Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2013 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн. Ціна архівних номерів 1995 – 2012 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:**

*банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31252272210215, код банку 820019.*

*Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,*

*з посиланням на журнал "ММ".*

Копію документа передплати та відомості про передплатника

**просимо надсилати до редакції,**

**вказавши номер і дату платіжного документа.**