

УДК 669.017.03

В.З. КУЦОВА<sup>1</sup>, М.В. КИНДРАЧУК<sup>2</sup>, М.А. КОВЗЕЛЬ<sup>1</sup>, О.В. ТІСОВ<sup>2</sup>,  
А.В. ГРЕБЕНЄВА<sup>1</sup>, П.Ю. ШВЕЦЬ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Київ

## ВПЛИВ СТРУКТУРИ, ФАЗОВОГО СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ НА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ХРОМОМАРГАНЦЕВИХ ЧАВУНІВ У ЛИТОМУ СТАНІ

*Досліджено вплив структури, фазового складу та властивостей на абразивну зносостійкість хромомарганцевих чавунів у литому стані. Показано, що абразивна зносостійкість хромомарганцевих чавунів зумовлена мікротвердістю матриці та аустеніто-карбідної евтектики на базі карбиду  $Me_7C_3$ , визначається ступенем легованості та параметром форми евтектичного карбиду, а також залежить від деформаційно-фазових перетворень, що відбуваються в процесі випробувань на абразивний знос.*

**Ключові слова:** *хромомарганцевий чавун, твердість, ступінь легованості, параметр форми евтектичного карбиду, абразивна зносостійкість*

**Вступ.** В наш час проблема підвищення зносостійкості виробів, що працюють в умовах абразивного та ударно-абразивного зносу як і раніше залишається однією з найбільш актуальних. Знос деталі в результаті тертя, що призводить до втрати її працездатності, є причиною передчасного виходу з ладу більшості деталей машин та устаткування гірничорудної, металургійної, вугільної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, енергетики – скрізь, де переробляється мінеральна сировина і де є контакт робочої поверхні деталі з абразивними частками. Втрати від зносу обчислюються сотнями тисяч тонн металу в рік; ще більшого збитку завдається погіршенням технологічних параметрів роботи машин і механізмів із-за зносу їх робочих органів.

Слід зазначити, що знос в абразивних середовищах та в умовах знакозмінних і ударних навантажень є складною і неоднозначною функцією умов взаємодії металу деталі з абразивними частками, середовищем і рівнем ударних навантажень. Він залежить від багатьох чинників: тривалості експлуатації, концентрації абразиву, розміру, форми і твердості абразивних часток, їх швидкості у момент удару об поверхню деталі, кута атаки частками зношуваної поверхні, рівня ударних навантажень, зниження механічних властивостей матеріалу унаслідок знемцнюючої дії на нього середовища та ін. [1].

Одним з самих розповсюджених видів руйнування поверхні матеріалів в умовах гідродобичі, гідротранспортування та збагачення вугілля, роботи обладнання гірничорудної, цементної, енергетичної промисловості є абразивне зношування. Тривалий час основним критерієм абразивної зносостійкості вважалась твердість матеріалу. Разом з тим, багаточисельні експериментальні

роботи переконливо показали неоднозначність залежності абразивного та ударно-абразивного зношування металів від твердості. Абразивностійкий матеріал повинен мати певні механічні та технологічні властивості, а в ряді випадків ще ерозійну та корозійну стійкість. Здатність матеріалу протистояти зносу є структурно - чутливою характеристикою, яка залежить від структури, та визначається хімічним складом і термічною обробкою. До структурних особливостей матеріалів, стійких в абразивних середовищах, слід віднести, в першу чергу, необхідність отримання гетерогенної структури, яка складається з твердих включень, розташованих у пластичній основі (матриці) з достатніми демпфуючими та міцностними характеристиками. Важливим фактором, визначаючим опір матеріалів зносу, є характер зв'язку окремих структурних складових. Тверді включення міцно утримуються основою тільки у тому випадку, коли тип та розмір їх кристалічних ґраток близькі.

Сучасні дослідження свідчать про те, що перспективними матеріалами для роботи в таких умовах, що мають високий рівень комплексу властивостей при низькій собівартості, є економнолеговані хромомарганцеві чавуни [2-4].

В даний час хромомарганцеві чавуни знайшли широке використання, як в литому, так і в термообробленому стані як високозносостійкі трибологічні матеріали. З них виготовляють лопатки дробеметних апаратів, плити бронезахисту млинів і тіла, що мелють, для помелу твердих матеріалів, а також прокатні валки і прокатний інструмент.

Змінюючи структуру шляхом раціонального легування та використання термічної обробки, можна цілеспрямовано впливати на формування заданих властивостей хромомарганцевих чавунів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження впливу структури, фазового складу та властивостей на абразивну зносостійкість хромомарганцевих чавунів у литому стані.

**Матеріал та методика досліджень.** Об'єктом дослідження в даній роботі служили зразки дослідно-промислових плавок хромомарганцевих чавунів, хімічний склад яких наведено в таблиці 1.

*Таблиця 1*

Хімічний склад дослідних хромомарганцевих чавунів

№ п/п	Вміст легуючих елементів, %									
	C	Cr	Ni	V	Mn	Si	Cu	S	P	Fe
1	2,2	12,63	0,83	0,25	5,7	1,0	0,10	0,009	0,013	77,3
2	2,7	15,91	0,95	0,25	10,5	0,9	0,9	0,009	0,027	67,9
3	3,1	13,1	1,15	0,25	15,75	0,9	0,15	0,003	0,025	65,57

Мікроструктуру зразків виявляли в 10% спиртовому розчині азотної кислоти. Дослідження мікроструктури здійснювали за допомогою оптичного мікроскопу "Neophot-21". Мікротвердість фаз та структурних складових визначали за допомогою мікротвердомеру ПМТ-3 за стандартною методикою, фазовий склад вивчали на дифрактометрі ДРОН-3М в  $FeK_{\alpha}$  - випромінюванні. Твердість хромомарганцевих чавунів у литому стані визначали методом Роквела.

Для проведення трибологічних досліджень використовували установку для тертя в умовах абразивного зношування [5]. Схема установки показана на рис 1. Зразок, що досліджується, (пластина 30x20 мм і товщиною до 6 мм)

встановлюється у тримач. Фіксація зразка виконується буртами у тримачі, а також – прижимою силою від диска. Диск виготовляється з гуми, його діаметр становить 50 мм, а ширина – 15 мм.

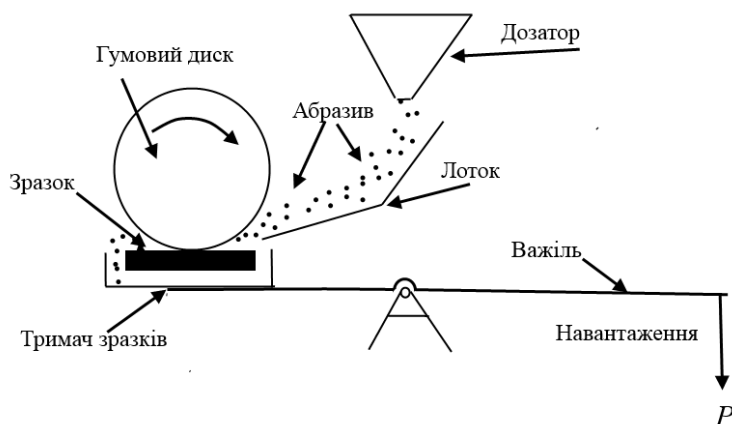


Рис.1 Принципова схема установки для досліджень в умовах абразивного зношування з незакріпленим абразивом

Абразив знаходиться у резервуарі над диском, і через дозатор потрапляє на лоток. Зміна поперечного перерізу дозатора дозволяє забезпечувати рівномірну подачу абразиву різної зернистості. З лотка абразив потрапляє під диск, який притискує його до зразка, що досліджується, із силою 44,1 Н. Навантаження регулюється набором тягарців і довжиною важеля.

Як абразив було обрано кварцевий пісок ( $\text{SiO}_2$ ) зернистістю 500 мкм, карбід бору зернистістю 70 мкм. та карбід кремнію зернистістю 180 мкм. Перед випробуванням зразки шліфували до шорсткості  $R_z=0,63$  мкм. Шорсткість поверхонь визначали на профілометрі моделі 201. Зношування вимірювали ваговим методом на електронних терезах з точністю до 0,0001 г. Перед кожним зважуванням зразки промивали у етиловому спирті і висушували в умовах лабораторного повітря.

**Результати досліджень.** У роботі вивчена структура, фазовий склад, твердість, мікротвердість структурних складових зразків хромомарганцевого чавуну у литому стані.

Мікроструктури дослідних плавок хромомарганцевих чавунів у вихідному литому стані представлені на рисунку 2. Аналіз мікроструктури дослідних зразків чавунів у литому стані (рис. 2) свідчить про те, що кристалізація починається з виділенням дендритів первинного аустеніту та завершується формуванням евтектичних колоній  $A+Cr_7C_3$ . У мікроструктурі спостерігаються карбіди  $Me_7C_3$  як в подовжньому, так і в поперечному перетині і тонкодиференційована аустеніто-карбідна евтектика на базі карбіду  $Me_7C_3$  (рис. 2).

Методами кількісної металографії та рентгеноструктурного аналізу визначено кількісне співвідношення первинного аустеніту (AI) і карбідної евтектики (KE).

У литому стані для сплаву 1 це співвідношення складає:  $A_1 = 65\%$ ,  $KE = 35\%$ , для сплаву 2:  $A_1 = 48\%$ ,  $KE = 62\%$ , для сплаву 3:  $A_1 = 22\%$ ,  $KE = 78\%$ .

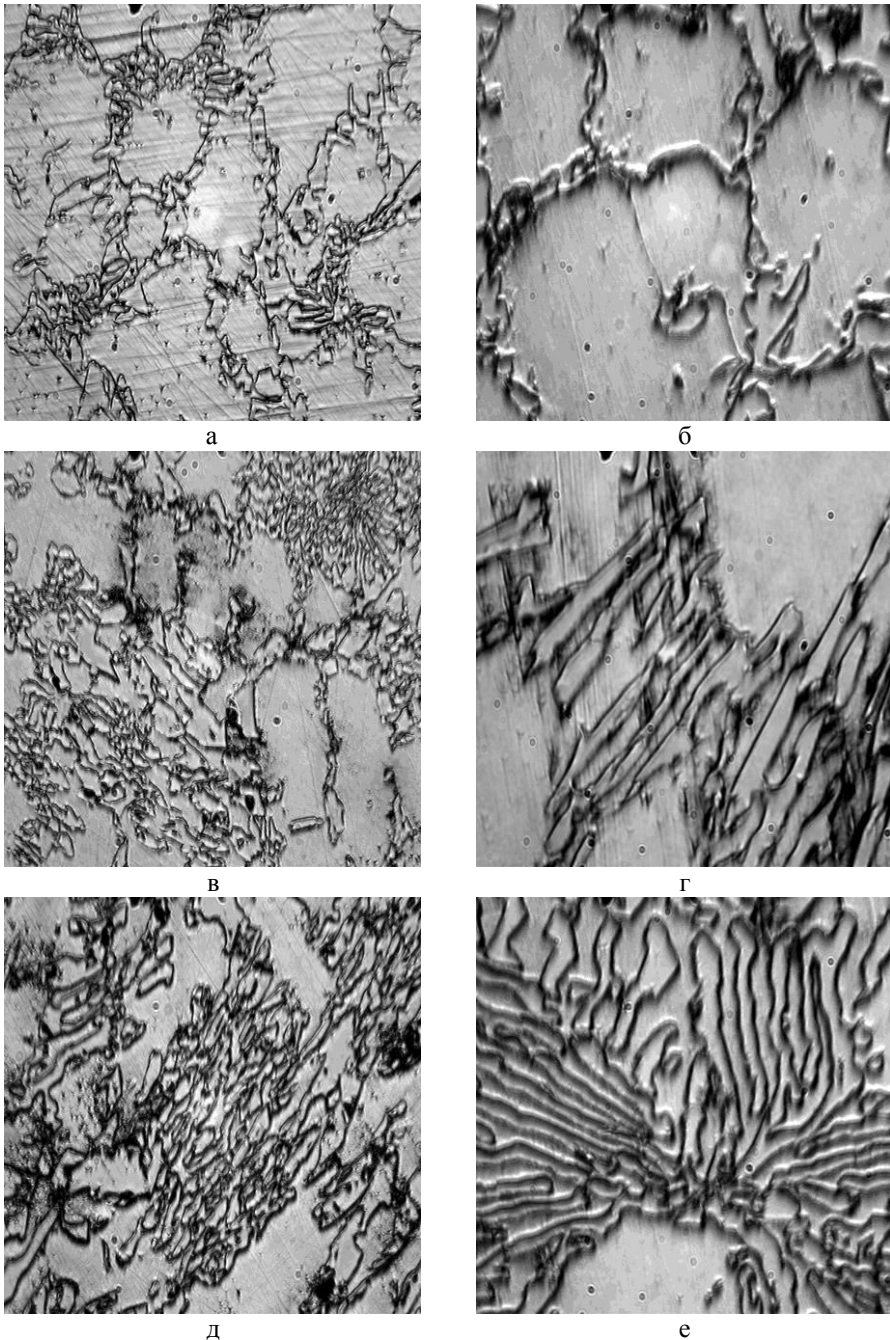


Рис.2 Мікроструктура хромомарганцевих чавунів у литому стані:  
а, б - сплав 1; в, г - сплав 2; д, е - сплав 3 (а, в, д -  $\times 500$ ; б, г, е -  $\times 1000$ )

Визначена довжина перетинів пластин евтектичних карбідів ( $Me_7C_3$ ) у всіх дослідних сплавах у литому стані. У сплаві 1 вона складає  $36,5 \mu m$ , для

сплаву 2 вона рівна 42,5 мкм, а в сплаві 3 карбід характеризується найбільшою довжиною, яка складає 55,65 мкм.

Параметр форми (ПФ) пластин евтектичних карбідів (ЕК)  $Me_7C_3$  в дослідних сплавах у литому стані складає: у сплаві 1 - 3,95, в сплаві 2 – 3,85, в сплаві 3 – 2,68. Параметр форми ЕК характеризує диференціювання евтектики, чим менше ПФ, тим вище диференціювання евтектики, яка вносить вклад в міцнісні та пластичні властивості сплаву.

Кількісне співвідношення первинного дендриту аустеніту та евтектичної складової визначається вмістом вуглецю і співвідношенням основних легуючих елементів – хрому та марганцю. У зв'язку, з чим в сплаві 3, де кількість вуглецю і марганцю максимальна, число карбідів збільшується в порівнянні із сплавами 1 та 2, відповідно, в 2,2 і 1,7 рази.

Фазовий склад дослідних хромомарганцевих сплавів вивчали за допомогою рентгеноструктурного аналізу. Рентгеноструктурний аналіз в дослідних сплавах виявив карбід  $Me_7C_3$  - (Cr, Mn, Fe) $_7C_3$  [6-10], цементит, аустеніт та ферит.

Кількісні дані рентгеноструктурного аналізу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Кількісні дані рентгеноструктурного аналізу хромомарганцевих чавунів у литому стані

№п/п	аа по (011) $\alpha$	ау по (022) $\gamma$	Ступінь недосконалості $\alpha$ – фази ( $\beta_{0,5}$ )	% $\gamma$ , у матриці	% $\alpha$ , у матриці
1	2,87	3,60	0,59	76	24
2	2,88	3,62	0,59	87	13
3	2,87	3,62	0,57	91	9

Кількість аустеніту в матриці дослідних чавунів підвищується з 76% до 91% із збільшенням вмісту вуглецю та легуючих елементів (хрому і марганцю), а фериту – зменшується, відповідно, з 24% до 9% (таблиця 2). Присутність фериту пов'язана, ймовірно, з недостатньою стабільністю аустеніту, що зазнає розпад на ферит та карбід в процесі охолодження.

Аналіз даних таблиці 2 свідчить про те, що в структурі чавунів присутня практично рівноважна  $\alpha$  - фаза, ступінь недосконалості ( $\beta_{0,5}$ ) ґратки якої знаходиться в межах від 0,57 до 0,59, параметр ґратки  $\alpha$  - фази ( $a_\alpha$ ) коливається в межах 2,87-2,88.

Мікротвердість фаз та структурних складових дослідних сплавів у литому стані наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Мікротвердість фаз та структурних складових дослідних хромомарганцевих чавунів у литому стані

№ п/п	Мікротвердість структурних складових, МПа			Твердість, HRC
	А-К евтектика	Матриця	Евтектичний карбід	
1	7920	4137	6577	35
2	8934	4228	8244	42
3	9195	4663	8965	42

Мікротвердість матриці та евтектичних карбідів всіх дослідних сплавів зростає із збільшенням кількості вуглецю, хрому та марганцю (таблиця 3). Твердість сплавів 2 та 3 однакова і складає 42 одиниці HRC, а сплаву 1 значно нижче – 35 одиниць HRC (таблиця 3). Твердість дослідних сплавів, а також мікротвердість матриці і аустеніто-карбідної евтектики на базі карбіду  $Me_7C_3$  визначається ступеню легованості, а також ПФ евтектичного карбіду.

В роботі проведені випробування на абразивну зносостійкість дослідних хромомарганцевих чавнів у вихідному литому стані.

В таблиці 4 наведені результати випробувань хромомарганцевих чавнів на абразивну зносостійкість, а на рисунках 3-5 наведені діаграми зношування хромомарганцевих чавнів.

Таблиця 4

Результати випробування хромомарганцевих чавнів на абразивну зносостійкість

Абразив	Час, хв	Зношування сплавів, мг		
		Сплав 1	Сплав 2	Сплав 3
Пісок	15	2,7	3,5	1
	20	2,9	4,5	2,4
	25	3,4	6,7	3
Карбід бору	15	20,1	25,9	28,8
	20	31,5	32,6	29,5
	25	49	47,1	34,8
Карбід кремнію	15	33	35,4	30,5
	20	42,6	39,3	46,3
	25	51	53,2	50

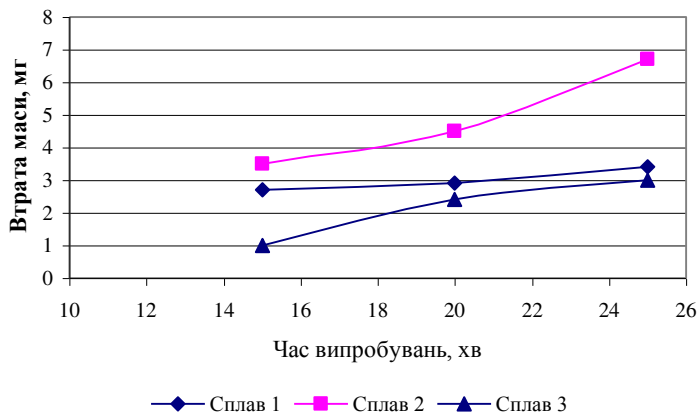


Рис.3 Втрата маси зразків хромомарганцевих чавнів у литому стані в процесі випробувань в умовах абразивного середовища – оксиду кремнію

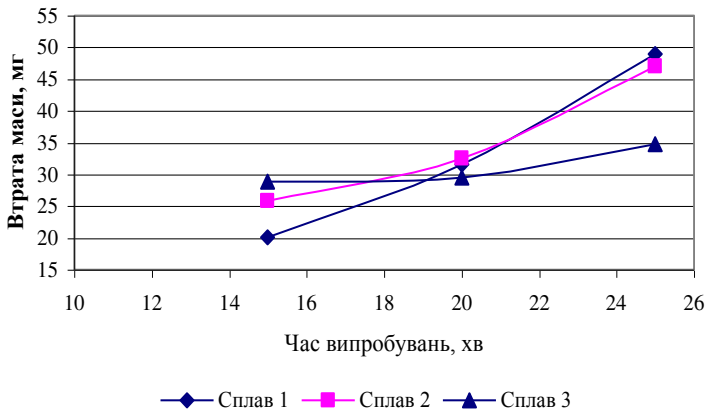


Рис.4 Втрати маси зразків хромомарганцевих чавнів у литому стані в процесі випробувань в умовах абразивного середовища – карбіду бору

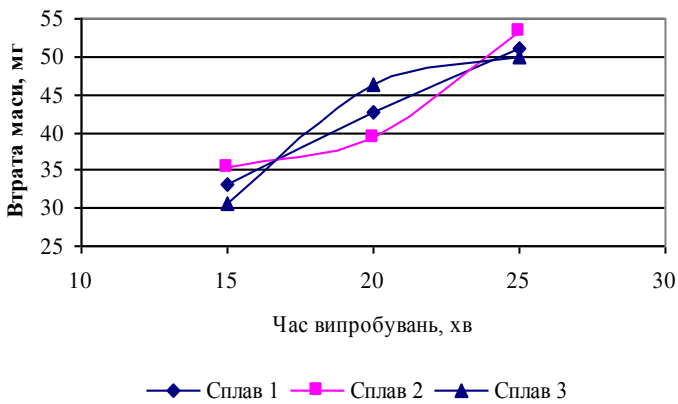


Рис.5 Втрати маси зразків хромомарганцевих чавнів у литому стані в процесі випробувань в умовах абразивного середовища – карбіду кремнію

Аналіз даних табл. 4 та рис. 3 - 5 свідчить про те, що на початковому етапі випробувань (час зносу 15 хвилин) втрата маси зразків для всіх дослідних сплавів мінімальна, а із збільшенням часу випробувань до 25 хвилин втрата маси у всіх випадках зростає. Максимальна втрата маси в процесі випробувань в умовах абразивного середовища – оксиду кремнію спостерігається в сплаві 2, мінімальна – в сплаві 3. В процесі випробувань в умовах абразивного середовища – карбіду бору максимальна втрата маси спостерігається в сплаві 1, мінімальна – в сплаві 3. При випробуваннях в умовах абразивного середовища – карбіду кремнію максимальна втрата маси спостерігається в сплаві 2, мінімальна – в сплаві 3.

Таким чином аналіз отриманих даних свідчить про те, що сплав 3 характеризується найбільшою абразивною зносостійкістю в умовах різних абразивних середовищ.

Висока абразивна зносостійкість сплаву пов'язана з високою мікротвердістю матриці, аустеніто-карбідної евтектики на базі карбіду  $Me_7C_3$  і визначається ступенем легованості і ПФ евтектичного карбіду, а також обумовлена деформаційно-фазовими перетвореннями, що відбуваються в дослідних сплавах в процесі абразивного зносу.

**Висновки.** Вивчено вплив структури, фазового складу, властивостей на абразивну зносостійкість хромомарганцевих чавунів у литому стані.

Показано, що:

- кількісне співвідношення первинних дендритів аустеніту та евтектичної складової у литому стані визначається вмістом вуглецю і співвідношенням основних легуючих елементів – хрому та марганцю;

- твердість дослідних чавунів визначається вмістом вуглецю, марганцю і кількістю карбідної складової;

- твердість хромомарганцевих чавунів у литому стані з підвищенням вмісту вуглецю і марганцю зростає на 25%;

- максимальною твердістю у литому стані характеризуються сплави 2, 3;

- найбільшою абразивною зносостійкістю в умовах різних абразивних середовищ характеризується сплав 3.

### Список літератури

1. Поддубный А.Н., Кульбовский И.К, Дюков А.В. Мелющие шары с высокой эксплуатационной стойкостью из белого легированного чугуна //Литейное производство. – 1997. – С.46.

2. Соколов О.Г. Железомарганцевые сплавы / О.Г. Соколов, К.Б. Кацов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 212с.

3. Материалы в машиностроении. Справочник. – М: Машиностроение, т.4, 1969. - 248 с.

4. Чейлях А.П. Разработка и исследования новых экономнолегированных износостойких чугунов с метастабильной структурой для быстроизнашивающихся деталей / Чейлях А.П., Клок Д.В., Прекрасный С.В.// Металл и литье Украины. – 2006. – №9–10. – С. 13–17.

5. Лабунец В.Ф. Зносостійкість сталі 65Г в умовах абразивного зношування / В.Ф. Лабунец, М.І. Денисенко, В.В. Загребельний // проблеми тертя та зношування. – 2015. – 1 (66). – с. 113-117

6. Влияние легирующих элементов на формирование структуры, фазового состава и свойств хромомарганцевого чугуна в литом состоянии / В.З. Куцова, М.А. Ковзель, А.В. Гребенева, И.В. Ратникова, О.О. Величко //Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. - № 3 (294). - С. 45 - 48.

7. STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES OF CHROMO-MANGANESE CAST IRON IN THE CAST STATE / V.Z. Kutsova, M.A. Kovzel, A.V. Grebeneva, O.O. Velichko, Z. Stradomski // New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. A collective monograph. - Czestochowa 2015. – №. 48. – P. 320 - 325.

8. Нестеренко А.М., Куцова В.З., Ковзель М.А. Исследование кристаллической структуры карбидов типа  $Me_7C_3$  // Металлофизика и новейшие технологии. – 2003. - №1, С. 99-106.

9. Формирование структуры, фазового состава и свойств хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии / В.З. Куцова, М.А. Ковзель, А.В. Гребенева, И.В. Ратникова, П.Ю. Швец // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов «Стародубовские чтения». Днепропетровск. – 2016.– Вып. № 89. – С.101–111 .

10. Структура и механические свойства хромомарганцевых чугунов в литом состоянии / В.З. Куцова, М.А. Ковзель, А.В. Гребенева, П.Ю. Швец, А. Zyska, В. Koczurkiewicz // New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. A collective monograph. - Czestochowa 2016. – №. 56. – P. 147 - 153.



V.Z. Kutsova<sup>1</sup>, M.V. Kindrachuk<sup>2</sup>, M.A. Kovzel<sup>1</sup>, A.V. Tisov<sup>2</sup>, A.V. Grebeneva<sup>1</sup>, P.Y. Shvets<sup>1</sup>

## **INFLUENCE OF THE STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES ON ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF CHROMO-MAGNETIC CAST IRONS IN THE CAST STAY**

Influence of the structure, phase composition and properties on abrasive wear resistance chromo-manganese cast irons in the cast stay were investigated. It is shown that the abrasive wear resistance of chromo-magnetic cast irons due to the microhardness of the matrix and austeno-carbide eutectic carbide on the basis of  $Me_7C_3$ , is determined by the degree of alloyed parameter and shape of the eutectic carbide and also depends of the deformation-phase transformations occurring at the process of testing for abrasive wear.

**Key words:** chromo- manganese cast iron, hardness, degree of alloyed, the parameter of the eutectic carbide form, abrasive wear resistance

**Кущова Валентина Зиновіївна** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України, [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua)

**Кіндрачук Мирослав Васильович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, [kindrachuk@ukr.net](mailto:kindrachuk@ukr.net)

**Ковзель Максим Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України, [kovzel.maxim@gmail.com](mailto:kovzel.maxim@gmail.com)

**Тісов Олександр Вікторович** - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри машинознавства Національного авіаційного університету.

**Гребенєва Анна Вікторівна** - кандидат технічних наук, асистент кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України, [torraann@yandex.ru](mailto:torraann@yandex.ru)

**Швець Павло Юрійович** - аспірант кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України, [pavel22shvets@yandex.com](mailto:pavel22shvets@yandex.com)