

УДК 621.745.55

Радченко К. С., Ямшинський М. М., Федоров Г. Є., Платонов Є. О.

**ІЗОТЕРМІЧНИЙ СТУПІНЧАСТИЙ ВІДПАЛ ХРОМОМАНГАНЦЕВИХ ЧАВУНІВ**

Високохромисті чавуни широко використовуються в промисловості для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, високих температур та корозійного впливу середовища. Найрозповсюдженіші марки високохромистих чавунів вміщують у своєму складі дорогі для вітчизняної промисловості елементи, такі як нікель (марки ИЧХ28Н2, 250Х25НТ) та молібден (ЧХ16М2, ИЧ300Х16МТ, ИЧ290Х12М). Зносостійкі високохромисті чавуни, що використовуються в США та Англії вміщують ще більше цих дорогих елементів. Державні стандарти США (ASTM-A532/A532M-93a) та Англії (BSEEN 12513:2000) [1] обов'язково передбачають у зносостійких сплавах вміст молібдену до 3 %, нікелю – до 2–2,5, а в деяких марках до 6–7 % та міді до 1,2 %.

Перспективними зносостійкими високохромистими чавунами, що не вміщують дорогих Мо та Ni, є хромоманганцеві чавуни. Проте вони обмежено застосовуються у виробництві через ряд труднощів, які виникають у процесі виготовлення з них виливків або термічного та механічного оброблення.

Більшість виливків, виготовлених із зносостійких чавунів, для одержання готових деталей піддають механічному обробленню. Твердість високохромистих і, зокрема хромоманганцевих чавунів, в литому стані коливається в межах 40–55 HRC. За такої твердості механічне оброблення традиційними методами утруднене. Крім того твердість поверхні хромоманганцевого чавуну може зростати внаслідок перетворення легованого аустеніту в мартенсит деформації під час механічного оброблення.

Для успішного проведення механічного оброблення необхідно правильно підбирати хімічний склад хромоманганцевого чавуну, а також оптимальний для цього складу режим термічного оброблення. За нашими даними, а також за даними літератури [1, 2], відпал хромоманганцевих чавунів в діапазоні температур 800–1050 °С не завжди дає зменшення твердості чавуну, а інколи вона навіть стає вищою ніж у литому стані. У таких випадках перспективним може бути ізотермічний ступінчастий відпал. За даними [2, 3] він менш чутливий до температури аустенізації, легше контролювати зміну температури, а охолодження та нагрівання практично не регламентуються.

Метою роботи було дослідження впливу ступінчастого ізотермічного відпалу на мікроструктуру та твердість хромоманганцевого чавуну з різними базовими складами (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад та твердість хромоманганцевого чавуну

Інд. плавки	Хімічний склад, %						Твердість, HRC		Різниця твердості ΔH, HRC
	C	Si	Cr	Mn	Ti	P3M*	литий	після т.о.	
2.1	3,0	0,6	19,6	2,5			56,0	41,0	-15
4.1	3,2	0,8	19,1	3,0			53,0	43,0	-10
5.1	3,2	0,7	19,8	3,2			51,5	46,5	-5
9.1	2,8	1,0	20,0	4,4	0,1		49,0	55,0	+6
10.1	2,9	0,9	19,2	3,9	0,1		50,0	50,0	0
10.2	2,9	1,0	19,1	2,7	0,2	0,2	54,0	41,0	-13

\*– за присадкою

Враховуючи дані [2–4], відпал здійснювали за наступним режимом: нагрівання до 870 °С, витримування протягом 1 год, охолодження з піччю до 610 °С, витримування протягом 3 год, нагрівання до 690 °С, витримування протягом 2 год, та охолодження з піччю (рис. 1). Для дослідження використовували литі зразки розмірами 100×30×20 мм. Такий переріз зразка повною мірою відповідає середньому перерізу стінок литих зносостійких деталей, що працюють в умовах гідроабразивного зношування.



Рис. 1. Режим ступінчастого відпалу хромомарганцевого чавуну

Твердість литих зразків різних плавок коливалась у межах 49–56 HRC, причому вона мало залежала від вмісту вуглецю (в межах 2,8–3,2 %), кремнію (0,6–1,0 %), хрому (19,1–20,0 %) та модифікувальних добавок (0,1–0,2 % титану та 0,2 % РЗМ). Основним елементом, що впливає на твердість зразків у литому стані, є марганець (рис. 2).

Твердість зразків хромомарганцевого чавуну після ступінчастого відпалу коливалась у межах 41–55 HRC (табл. 1), причому найнижчу твердість мали зразки з найменшим вмістом марганцю (зразки 2.1 та 10.2), а найвищу – з максимальним вмістом марганцю (зразок 9.1). Твердість зразків чавуну різних плавок після термічного оброблення знаходиться практично в прямолінійній залежності від вмісту марганцю (рис. 2) і мало залежить від вмісту інших елементів у межах коливань хімічного складу (табл. 1). Зі збільшенням кількості марганцю від 2,5 до 4,4 % твердість термооброблених зразків зростає з 41 до 55 HRC. При вмісті марганцю 3,9 % і більше твердість зразків після відпалу не знижувалась, а навіть зростала.

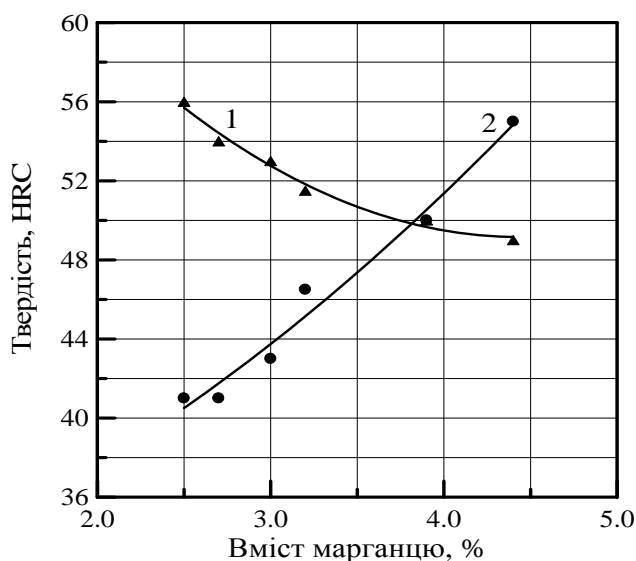
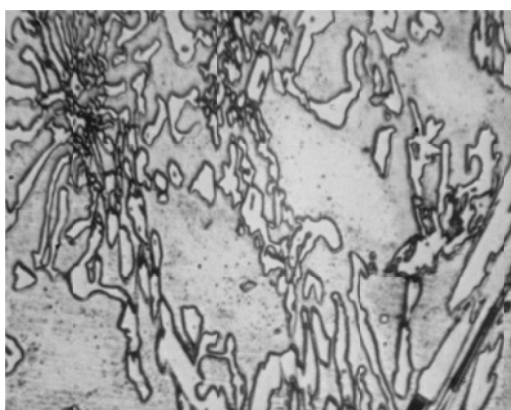


Рис. 2. Залежність твердості хромомарганцевого чавуну від вмісту марганцю: 1 – у литому стані; 2 – після термічного оброблення (ступінчастого відпалу)

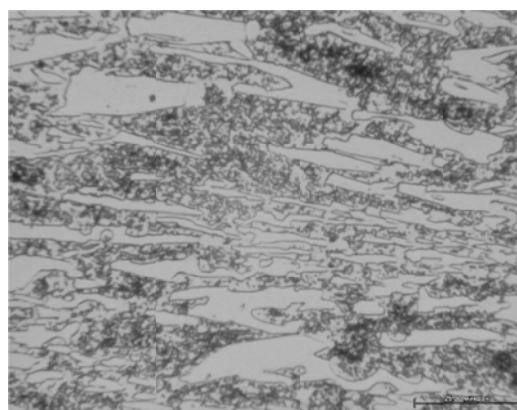
Це пояснюється наступним чином. Структура зразків у литому стані складається переважно з первинних дендритів аустеніту та евтектики  $\gamma + (\text{Cr, Fe, Mn})_7\text{C}_3$ . Отже різницю твердості литих зразків можна пояснити різною кількістю аустеніту, внаслідок різного вмісту марганцю, оскільки останній стабілізує аустеніт та підвищує розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі [4]. Це також дещо зменшує кількість хромистих карбідів у чавуні.

Аустеніт з мінімальним вмістом марганцю в чавуні (зразки 2.1 та 10.2) під час ступінчастого відпалу розпадається повністю на зернистий перліт (м'які продукти розпаду) різної дисперсності (рис. 3, 4), що призводить до зниження твердості до 41 HRC (табл. 1). Високохромисті чавуни з такою твердістю уже можуть задовільно оброблятися на металорізальних верстатах традиційними методами, що підтверджено попередніми випробуваннями.

Для полегшення оброблення необхідно зменшувати кількість марганцю в чавуні (рис. 2), або ж зменшувати кількість вуглецю, який є основним регулятором кількості карбідів [1, 3, 4].

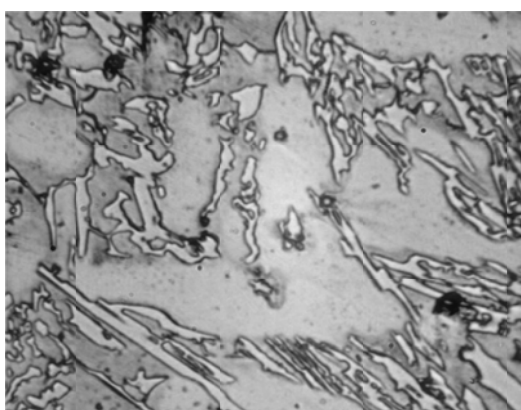


а

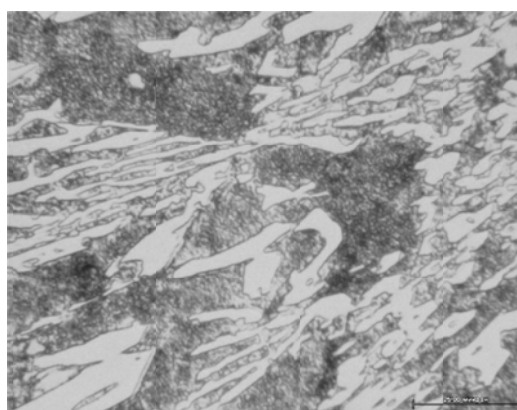


б

Рис. 3. Структура хромомарганцевого чавуну (2,5 % Mn, плавка 2.1)  $\times 500$ :  
а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу



а



б

Рис. 4. Структура хромомарганцевого чавуну (2,7 % Mn, плавка 10.2)  $\times 500$ :  
а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу

У сплавів з середнім вмістом марганцю (сплави 4.1 та 5.1) твердість знизилась всього на 5–10 од (табл. 1). Аустеніт цих сплавів розпався на ферито-карбідну суміш неоднорідного кольору (рис. 5, 6), що нагадує зернистий перліт. При великих збільшеннях спостерігаються більш світлі ділянки. Очевидно це ділянки аустеніту, що не розпався, в якому виділились вторинні карбіди, внаслідок чого твердість сплаву зменшилась недостатньо (для проведення механічного оброблення).

У зразках 10.1 та 9.1 після ступінчастого відпалу зниження твердості не відбулось, а в чавуні з максимальним вмістом марганцю (4,4 %) твердість навіть зросла (табл. 1). Насичений марганцем аустеніт таких чавунів розпадається лише частково (рис. 7, 8), натомість в ньому виокремлюється велика кількість вторинних карбідів, що додатково зміцнюють і підвищують твердість сплаву. Частковий розпад аустеніту, очевидно, починається в місцях з мінімальним вмістом марганцю, внаслідок його ліквідації в зернах дендритів.

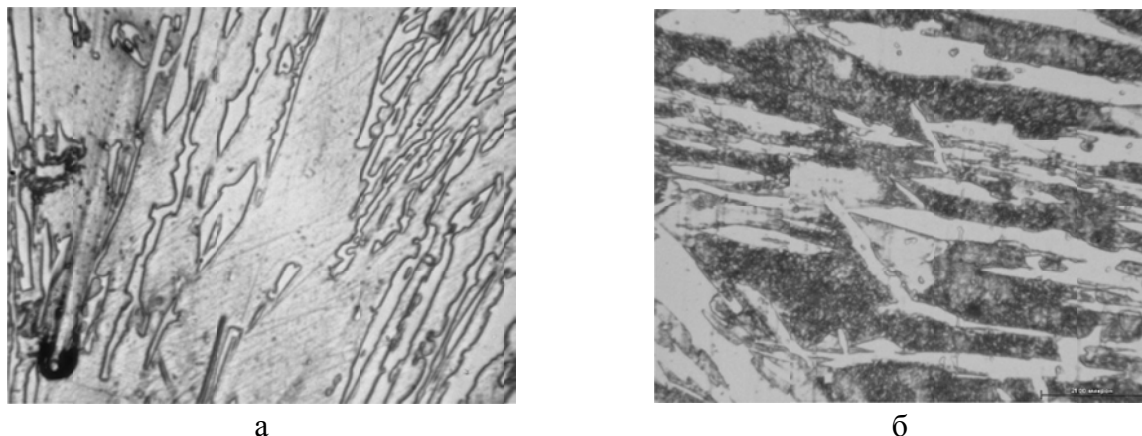


Рис. 5. Структура хромомарганцевого чавуну (3,0 % Mn, плавка 4.1)  $\times 500$ : а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу

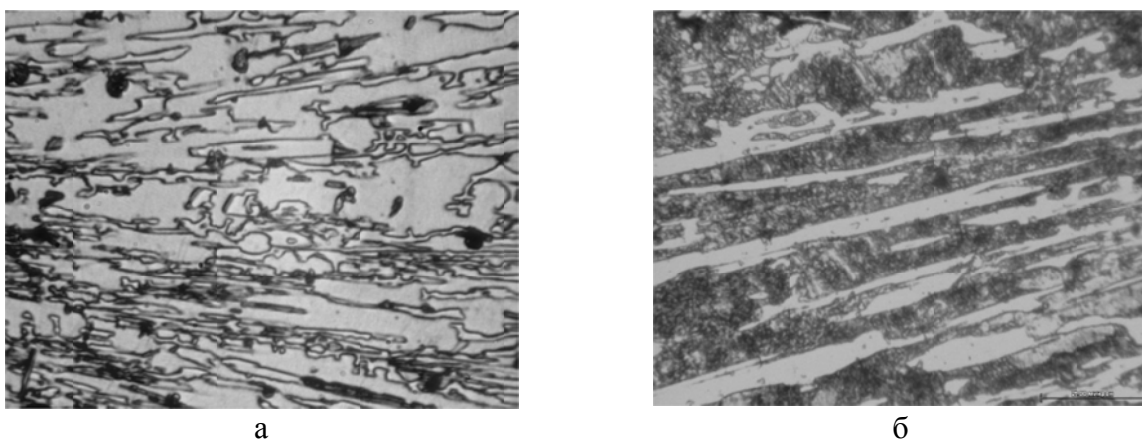


Рис. 6. Структура хромомарганцевого чавуну (3,2 % Mn, плавка 5.1)  $\times 500$ : а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу

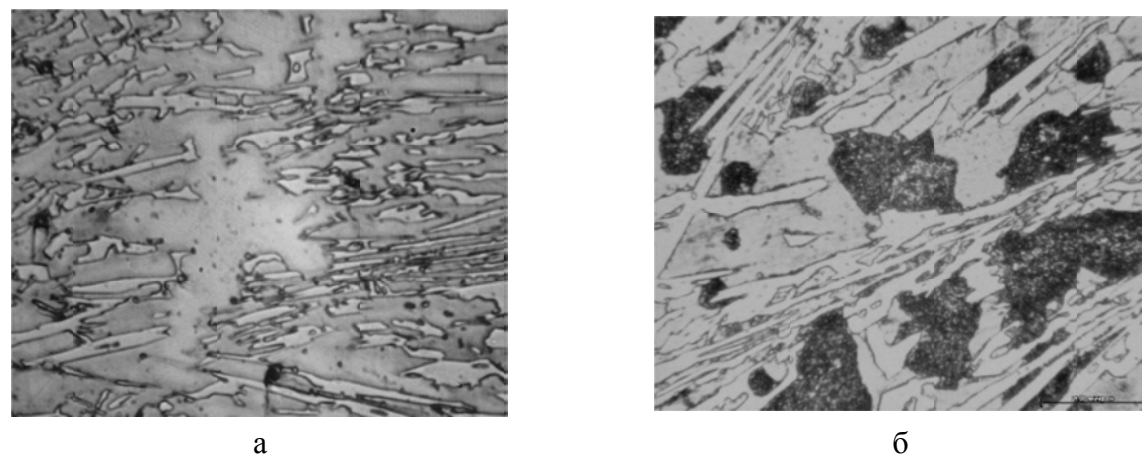


Рис. 7. Структура хромомарганцевого чавуну (3,9 % Mn, плавка 10.1)  $\times 500$ : а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу

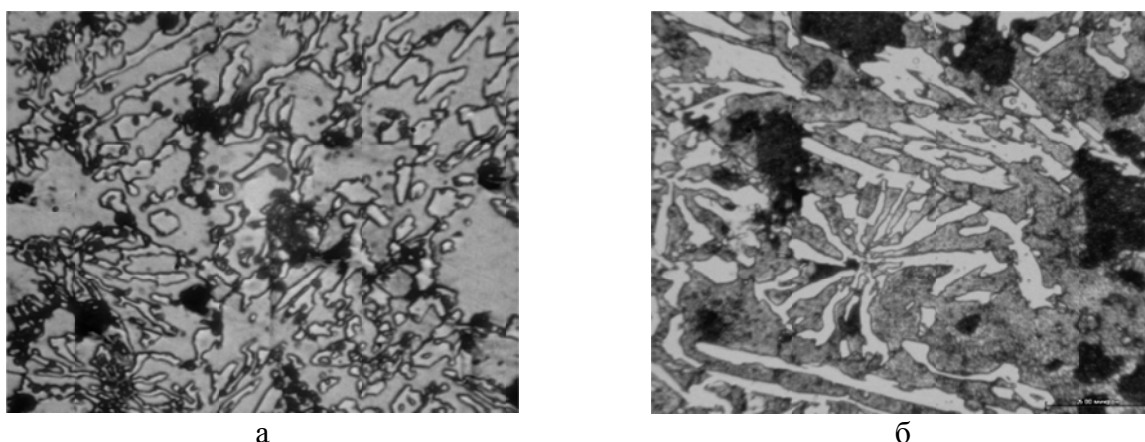


Рис. 8. Структура хромомарганцевого чавуну (4,4 % Mn, плавка 9.1)  $\times 500$ :  
а – в литому стані; б – після ступінчастого відпалу

### ВИСНОВКИ

Ступінчастий ізотермічний відпал – перспективний режим термічного оброблення хромомарганцевих чавунів (18–22 % Cr), особливо з низьким вмістом марганцю (2,7 % і менше), що дає можливість знизити твердість вихідного чавуну з 56 до 41 HRC.

Твердість чавуну після відпалу (як і в литому стані) залежить головним чином від вмісту марганцю та мало залежить від додаткових мікролегувальних та модифікувальних елементів.

Ізотермічний ступінчастий відпал не ефективний для чавунів з підвищеним вмістом марганцю (3–4 %). За вмісту марганцю понад 4 % твердість чавуну після відпалу стає вищою ніж в литому стані. Аустеніт таких чавунів розпадається лише частково, в той же час з нього виокремлюються вторинні карбіди, що підвищують мікротвердість матриці, а отже і твердість сплаву.

Використання ступінчастого відпалу може бути особливо ефективним для чавунів з вмістом вуглецю на нижній межі. При цьому слід обирати оптимальні температури аустенізації та ізотермічного витримування (з урахуванням вмісту Mn).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны : свойства, структура, технология, эксплуатация. / М. Е. Гарбер – М. : Машиностроение, 2010. – 280 с. : ил.
2. Повышение служебных свойств высоколегированных литых сталей и чугунов : материалы семинара / Московский дом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского. – М. : МДНТП, 1987. – 144 с.
3. Шерман А. Д. Чугун : справ. изд. / А. Д. Шерман, А. А. Жуков. – М. : Металлургия, 1991. – 576 с.
4. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И. И. Цыпин. – М. : Металлургия, 1983. – 176 с.