

**В. З. КУЦОВА**, докт. техн. наук, професор НМетАУ, м. Дніпропетровськ,  
**В. Ю. СЕЛІВЬОРСТОВ**, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м.

Дніпропетровськ,

**О. А. НОСКО**, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м. Дніпропетровськ,

**В. Є. ХРИЧИКОВ**, докт. техн. наук, професор, НМетАУ, м.

Дніпропетровськ,

**Ю. В. ДОЦЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, м. Дніпропетровськ

## **ОСОБЛИВОСТІ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЛИТОЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ**

Представлены результаты исследований структуры металла отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л, затвердевающей в кокиле с применением различных режимов газодинамического воздействия. Установлено позитивное влияние указанного активного воздействия на качество литого металла.

Представлені результати досліджень структури металу виливка циліндричної форми із сталі X18Ф1Л, що твердне в кокілі з використанням різних режимів газодинамічного впливу. Встановлений позитивний вплив вказаної активної дії на якість литого металу.

The results of researches of structure of metal of cast of cylindricity are represented from steel of X18Ф1Л, solidifiable in kokyl' with the use of the different modes of gaz-dynamyc influence. Positive influence of the indicated active influence is set on quality of the poured metal.

**Вступ.** Регулювання в широких межах структури та властивостей литих металів за рахунок зміни режиму кристалізації можливе при використанні певних технологічних прийомів, які, в тому числі, реалізуються за допомогою активних фізичних методів впливу на процес кристалізації з метою поліпшення якості виливків, до яких, в свою чергу, можна віднести газодинамічний вплив.

**Аналіз попередніх публікацій.** Литво, отримане за традиційними технологіями гравітаційної заливки та твердіння під силовим впливом гравітації, має цілий ряд дефектів: крупний розмір зерен; різні неупорядковані структурні зони з направленим і дезорієнтованим розташуванням кристалів; хімічний склад, що змінюється по перетину і висоті злитка або виливка; наявність фізичної неоднорідності у вигляді усадкових раковин, шпаристості та інших дефектів.

Результати попередніх теоретичних та експериментальних досліджень показали, що розроблена на кафедрі ливарного виробництва НМетАУ технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі [1, 2] дозволяє поліпшувати якість литого металу при різних способах лиття без застосування складного спеціального обладнання, і може бути з легкістю вбудованою в діючий технологічний процес [3, 4]. Проте, для визначення ефективності газодинамічного впливу на твердіючий розплав необхідне не тільки теоретичне

обґрунтування можливості та механізму здійснення газодинамічного впливу на процес кристалізації металу в ливарній формі, але й дослідження впливу регульованого газового тиску на структуроутворення та фізико – механічні властивості литого металу при виробництві виливків із сплавів з різним інтервалом кристалізації, температурою плавлення, теплофізичними властивостями та ін. Зокрема результати експериментальних досліджень газодинамічного впливу на кристалізацію вуглецевої сталі [5, 6] показали перспективність проведення подальшої роботи в цьому напрямку.

Відомо, що для сплавів з широким інтервалом кристалізації характерна найбільш широка зона затвердіння. Під впливом тиску створюються умови для ущільнення металу в двофазній зоні, що на мікрорівні проявляється також в частковому обламуванні гілок дендритів, їх переміщенні (мікроперемішування рідко-твердого сплаву) та недопущенні локалізації значних об'ємів рідини, що призводить у звичайному випадку до утворення шпаристості у виливку.

Отже, необхідний розвиток (а багато в чому і створення) теоретичних основ впливу газодинамічної дії на процеси твердіння і структуроутворення та розробка достовірного механізму для реалізації такого впливу, а так само й отримання науково обґрунтованих експериментальних результатів, що забезпечують розробку відповідних технологічних режимів. Рішення цієї проблеми має не тільки практичний, але й великий науковий інтерес.

**Ціль досліджень** – визначення фазового складу та механічних властивостей металу циліндричного виливка із сталі Х18Ф1Л, що тверднув у неохолоджуваному кокілї при застосуванні різних режимів газодинамічного впливу в порівнянні з литим металом, отриманим за традиційною технологією.

**Результати досліджень.** Промислові випробування розробленої технології проводили в умовах ливарних цехів АТ «Дніпропетровський агрегатний завод» та ЗАТ «Горизонт» (м. Дніпропетровськ). Плавку сталі марки Х18Ф1Л проводили в індукційній печі ІСТ – 016 з основною футеровкою. Заливку здійснювали безпосередньо із печі в сталевий витряхний кокіль з середньою товщиною стінки 100 мм та висотою робочої порожнини 550 мм. Внутрішню поверхню кокіля, підігріту до температури 380 – 400 °С, покривали ливарною фарбою на основі дистен-силіманіту. Температура випуску -  $1520 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Газодинамічний вплив проводили з різною швидкістю підвищення тиску аргону в системі виливок-пристрій для введення газу ( $V_p$ ) та показниками максимального тиску ( $P$ ) за наступними режимами: плавка № 2 –  $V_p = 0,002$  МПа/с,  $P = 2$  МПа; плавка № 3 –  $V_p = 0,0045$  МПа/с,  $P = 4$  МПа; плавка № 4 –  $V_p = 0,007$  МПа/с,  $P = 6$  МПа.

Дослідження литого металу (плавки №№ 2 – 4) проводили в порівнянні з металом тієї ж марки, отриманим згідно традиційної технології (плавка №1). Із отриманих циліндричних виливків висотою  $370 \pm 5$  мм на відстані 180 мм від нижнього торця вирізали відповідні темплети [6] (рис 1).

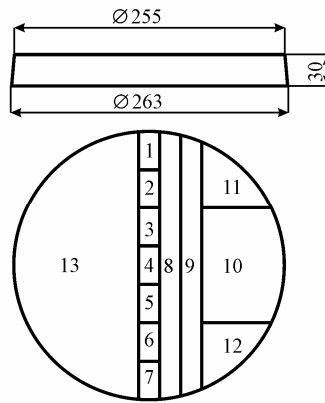


Рис. 1. Схема розподілу зразків: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 - металографічні дослідження; 8, 9, 10 - дослідження механічних властивостей; 11, 12 – загальний хімічний аналіз сплаву; 13 - макроскопічний аналіз (виявлення неоднорідності розподілу сірки)

В табл. 1 представлений хімічний склад сплаву плавки № № 1 - 4.

Таблиця 1 - Хімічний склад сталі, %

Вміст елементів, %										
Плавка № 1										
C	Fe	Si	Mn	V	Cr	S	P	Ni	Mo	Ti
1,42	76,16	0,35	0,84	0,90	19,60	0,014	0,015	0,71	0,19	0,06
Плавка № 2										
C	Fe	Si	Mn	V	Cr	S	P	Ni	Mo	Ti
1,51	76,43	0,38	0,75	0,85	18,16	0,014	0,023	0,71	0,15	0,04
Плавка № 3										
C	Fe	Si	Mn	V	Cr	S	P	Ni	Mo	Ti
1,46	76,21	0,38	0,78	0,97	18,25	0,014	0,023	0,72	0,15	0,03
Плавка № 4										
C	Fe	Si	Mn	V	Cr	S	P	Ni	Mo	Ti
1,42	76,60	0,38	0,76	0,98	17,91	0,015	0,020	0,71	0,15	0,04

Попередньо, на основі даних експериментальних досліджень затвердіння даного вилівка термоелектричним методом, визначена кінетика процесу (рис. 2).

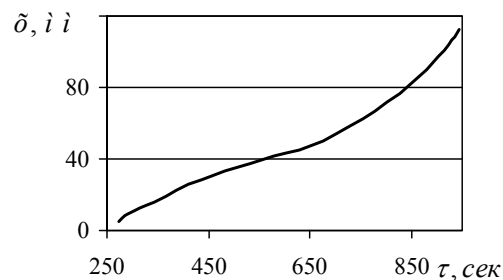


Рис. 2. Крива затвердіння вилівка із сталі X18Φ1Л (кокіля,  $T_{\text{кокіля}} = 380 - 400^{\circ}\text{C}$ )

На рисунку 3 представлена мікроструктура зразків сталі X18Φ1Л

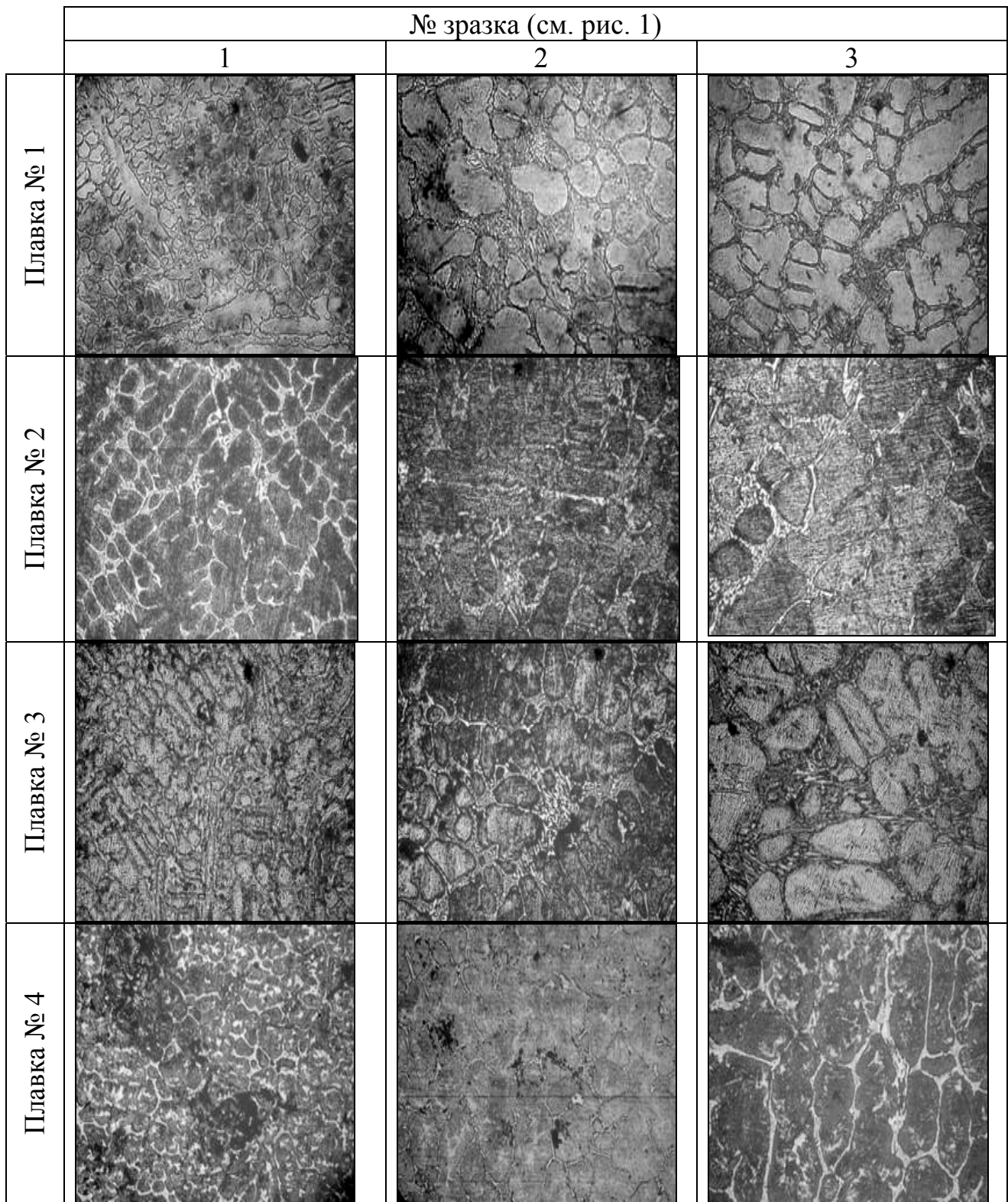


Рис. 3. Мікроструктура зразків сталі X18Ф1Л різних плавок, х 100

Аналіз рисунку 3 свідчить про те, що основними структурними складовими дослідної сталі X18Ф1Л у вихідному стані є ферит та карбіди. Причому, враховуючи той факт, що сталь плавки № 1 не піддавалась газодинамічному впливу, розмір дендритних вісей фериту змінюється по перетину вилівка у відповідності до кінетики затвердіння (див. рис. 2). Таку картину можна спостерігати в результаті нерівномірного охолодження, тобто, приграничні частини та серцевина охолоджуються швидше (зразки 1, 3), а

проміжна частина (зразок 2) - повільно. Фазовий склад сплаву досліджених зразків сталі X18Ф1Л (плавки 2, 3, 4), які піддавали газодинамічному впливу з величиною тиску 2 – 6 МПа, не змінюється. В структурі присутні ферит та карбіди. При порівнянні мікроструктур можна зробити висновок, що після газодинамічного впливу структура сталі стає більш мікрокристалічною: дендрити первинного фериту більш розгалужуються та збільшується диференціювання евтектики  $\Phi + (Fe,Cr)_7C_3$ . Причому, мінімальна величина перетину дендритних вісей фериту спостерігається на зразках, які вирізані як з периферійної частини темплету, так і з середньої частини.

В таблиці 2 представлені результати виміру перетину дендритних вісей фериту досліджених зразків як у вихідному стані, так і після газодинамічного впливу, а також результати кількісної металографії та вимірювання твердості досліджених зразків

Таблиця 2 - Кількісне співвідношення структурних складових, перетин дендритних вісей фериту, твердість та щільність зразків сталі X18Ф1 у вихідному стані та після газодинамічного впливу

Зразок	Структурні складові, %		Перетин дендритних вісей фериту (max-min), мкм	HRC	Щільність, кг/м <sup>3</sup>
	Φ	К			
1	2	3	4	5	6
Плавка № 1					
1.1	85	15	88-41	40,5	7437,6
1.2	82	18	60-41	43,7	7380,5
1.3	84	16	125-41	31,5	7200,4
Плавка № 2					
2.1	83	17	60-31	45,5	7615,8
2.2	82	18	88-60	37,9	7548,5
2.3	87	13	88-60	43	7545,2
Плавка № 3					
3.1	83	17	41-31	39	7627,6
3.2	84	16	60-41	44,7	7619,3
3.3	70	30	88-60	43	7623,2
Плавка № 4					
4.1	92	8	41-31	43,7	7711,1
4.2	91	9	88-60	35	7702,8
4.3	91	9	88-60	37,3	7698,3

Дані таблиці 2 свідчать про зміну кількісного співвідношення структурних складових (фериту та карбідної евтектики) досліджених зразків, що, у свою чергу, може свідчити про перерозподіл легуючих елементів між фазами та структурними складовими.

Кількість фериту з підвищенням тиску змінюється незначно: від 82,4% до 90 %. Мінімальна кількість фериту  $\approx 80\%$  спостерігається при тиску 4 МПа. В

той же час кількість карбіду також змінюється незначно (від 17,6 до 9,9 %). Максимальна кількість карбідної евтектики спостерігається при тиску 4МПа і складає  $\approx 20\%$  (рис. 4). Подальше підвищення тиску до 6 МПа призводить до збільшення розбігу значень % фериту та % карбідної евтектики.

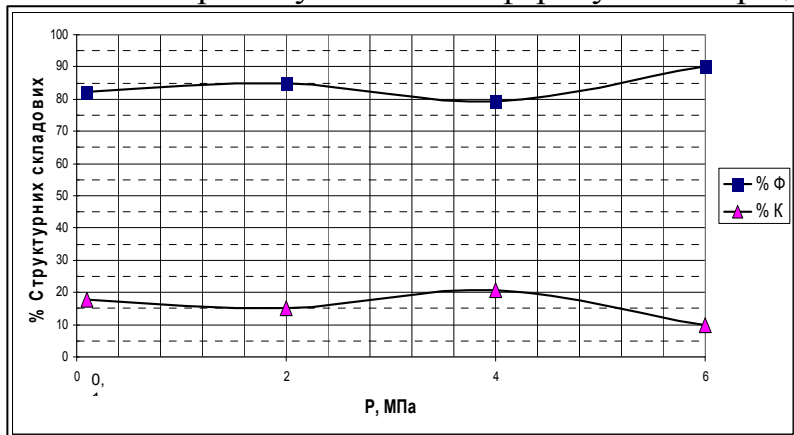


Рис 4 – Зміна складу структурних складових з підвищенням тиску

З підвищенням тиску до 4 МПа зменшуються середні значення розбігу перетину дендритних вісей фериту, що свідчить про формування більш щільної, мікрокристалічної та однорідної структури. При підвищенні тиску до 6 МПа перетин дендритних осей та розбіг їх значень не змінюється в порівнянні з вихідним станом. Твердість

сплаву з підвищенням тиску до 4 МПа змінюється незначно, збільшуючись на 2 НРС. При тиску 6 МПа – твердість повертається до вихідних значень. В той же час щільність з підвищенням тиску зростає.

Мікротвердість фериту сплаву плавки № 1 коливається від 3500 МПа до 5100 МПа, карбідів – від 5600 до 7500 МПа. Після газодинамічного впливу за різними режимами спостерігається зміна мікротвердості структурних складових сплаву плавки №№ 2 - 4:

- плавка № 2 – для фериту – 3500-4500 МПа, для карбідів – 4500-5600 МПа;
- плавка № 3 – для фериту – 2500-4500 МПа, для карбідів – 4800-7800 МПа;
- плавка № 4 – для фериту – 2500-3000 МПа, для карбідів – 3600-4300 МПа.

Отже, запровадження газодинамічного впливу призводить до зміни її мікротвердості у порівнянні з вихідним станом у зв'язку з перерозподілом легуючих елементів.

В таблиці 3 приведені дані про зміну вмісту хрому та легуючих елементів в карбідній евтектиці.

Таблиця 3 - Вплив газодинамічної дії на вміст хрому та легуючих елементів в карбідній евтектиці

№ плавки	Cr в карбідній евтектиці, %	$\Sigma$ л. е. в карбідній евтектиці, %
1	32,64	3,93
2	44,79	4,80
3	69,67	5,25
4	22,82	5,78

Наведені дані свідчать про те, що з підвищенням тиску до 4 МПа кількість хрому та легуючих елементів у карбідній евтектиці зростає.

При підвищенні тиску до 6 МПа вміст хрому в фериті та в карбідній евтектиці зменшується, що призводить до формування карбідної евтектики на базі карбідів  $Cr_{23}C_6$  та легованого  $(Fe, Cr)_7C_3$ .

Дані про ступінь ліквідації легуючих елементів по перетину дендритних вісей фериту ( $\Delta$  Сф) наведені в таблиці 4. Підвищення тиску до 4 МПа (плавка 3) зменшує ліквідацію хрому, алюмінію, марганцю та міді по перетину дендритних осей фериту, а ліквідацію ванадію та кремнію збільшує.

Таблиця 4 - Ступінь ліквідації легуючих елементів ( $\Delta$  Сф) по перетину дендритних вісей фериту сталі X18Ф1Л у вихідному стані та після застосування газодинамічного впливу

№ п/п	Легуючий елемент	$\Delta$ С фериту			
		Плавка № 1	Плавка № 2	Плавка №3	Плавка № 4
1	Cr	0,95	1,24	0,89	0,74
2	V	1,12	1,39	2,09	0,65
3	Ti	0	0	0	0,31
4	Al	1,56	1,4	0,29	0,83
5	Si	0,43	0,83	0,74	1,33
6	Mn	0,9	1,34	0,45	0,96
7	Cu	1,24	0	0	0

Результати мікроструктурного та локального рентгеноспектрального аналізів підтверджені рентгеноструктурним аналізом. На рисунку 5 наведені дифрактограми плавки № 1 та плавки № 4 сталі X18Ф1, які свідчать про формування карбідної евтектики на базі карбіду  $Cr_{23}C_6$  та легovanого залізом карбіду  $(Fe, Cr)_7C_3$  при підвищенні тиску до 6 МПа. На дифрактограмі сталі X18Ф1 у вихідному стані крім інтерференцій фериту та чистого карбіду  $Cr_7C_3$  присутні максимуми, що відповідають оксидним фазам  $Fe_2O_3$ . Після впровадження газодинамічної дії на розплав оксидні фази в структурі відсутні.

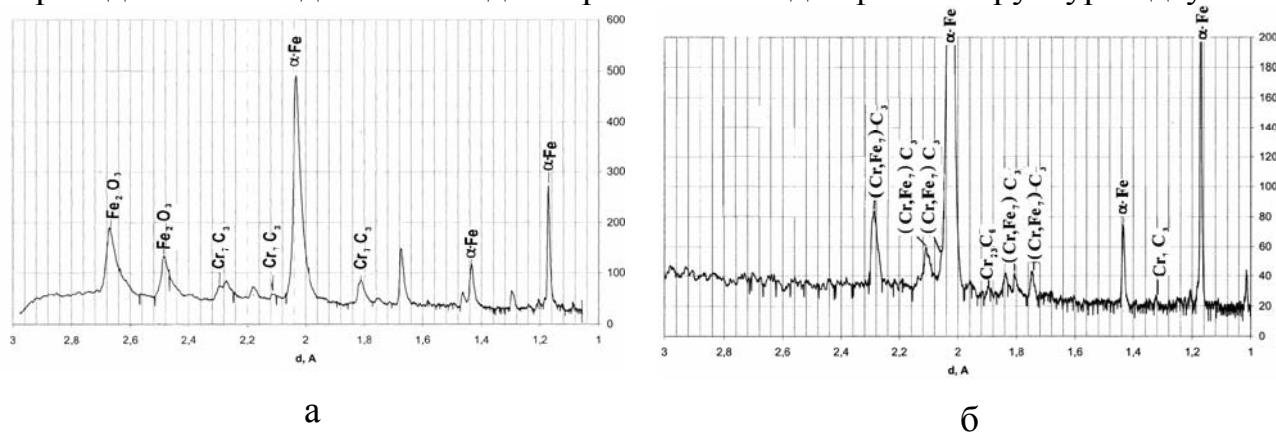


Рис. 5. Дифрактограми зразків сталі X18Ф1Л у вихідному стані (а) та після застосування газодинамічного впливу під тиском 6 МПа (б)

Для визначення межі міцності зразків дослідженої сталі в термообробленому стані після гартування в інтервалі  $1030^{\circ}C - 1050^{\circ}C$  та відпуску при  $180^{\circ}C - 200^{\circ}C$  їх піддавали розтягуванню під впливом плавно зростаючого навантаження до руйнування. Результати проведених механічних випробувань представлені в таблиці 5.

Таблиця 5 - Результати механічних випробувань досліджуваних зразків сталі Х18Ф1Л

№ зразка	$\sigma_B$ , МПа	Твердість після гартування та відпуску, HRC	KCU, Дж/см <sup>2</sup> після гартування в олії та відпуску
Плавка № 1			
1	125	45	22
2	120	40	20
3	127	41	21
Середнє	124	42	21
Плавка № 2			
1	148	43	22
2	143	42	24
3	140	43	20
Середнє	143,7	42,7	22
Плавка № 3			
1	151	51	31
2	155	53	33
3	158	55	35
Середнє	154,7	53	33
Плавка № 4			
1	138	40	21
2	132	41	20
3	133	41	20
Середнє	134,3	40,7	20,3

### Висновки

1. Експериментально досліджено структуру, фазовий склад, щільність та механічні властивості сталі Х18Ф1Л при застосуванні газодинамічного впливу на розплав, що твердне в кокілі. Показаний позитивний вплив застосування газодинамічного впливу на структуру та властивості інструментальної штампової сталі.

2. Встановлено, що мікроструктура металу вилівка після газодинамічного впливу стає більш мікрокристалічною. Перетин дендритних вісей фериту з підвищенням тиску зменшується в середньому на 7%: збільшується диференціювання евтектики та зменшується міжпластинчаста відстань.

3. Встановлено, що з підвищенням тиску до 4 МПа кількість хрому та легуючих елементів у карбідній евтектиці зростає, а ступінь ліквациї ( $\Delta C_f$ ) легуючих елементів: хрому, алюмінію, марганцю та міді по перетину дендритних вісей фериту зменшується, в той час як ліквация ванадію та кремнію збільшується. При підвищенні тиску до 6 МПа вміст хрому в фериті та в карбідній евтектиці зменшується, а заліза збільшується, що призводить до формування карбідної евтектики на базі карбідів  $Cr_{23}C_6$  та легованого  $(Cr, Fe)_7C_3$ . У вихідному стані в структурі сталі Х18Ф1Л присутні оксидні фази



Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Після застосування газодинамічного впливу на розплав оксидні фази в структурі відсутні.

4. Визначені механічні властивості досліджених зразків сталі Х18Ф1Л, отриманої згідно традиційній технології лиття в кокіль, при застосуванні різних режимів газодинамічного впливу та термічної обробки. Встановлено, що межа міцності зразків сталі Х18Ф1 у вихідному стані після термічної обробки складає 120-125 МПа, у той час, як кристалізація із застосуванням газодинамічного впливу дещо збільшує цей інтервал, а саме, 140-148 МПа для плавки № 2, 151-158 МПа для плавки № 3, 133-138 МПа для плавки № 4 (> на 20 %). Ударна в'язкість досліджених сплавів після запровадження газодинамічного впливу та термічної обробки збільшується на 30 - 36 % у порівнянні з вихідним станом ( $KCU_{вих} = 20 - 22 \text{ Дж} / \text{см}^2$ ;  $KCU_{від} = 31 - 35 \text{ Дж} / \text{см}^2$ ), також при застосуванні газодинамічного впливу спостерігається збільшення щільності сталі.

**Список літератури:** 1. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21. 2. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Пристрій для отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21. 3. Selivorstov V., Dotsenko Y., Borodianskiy K. Gas-dynamic influence on the structure of cast of A356 alloy // Herald of the Donbass State Engineering Academy. Collection of science papers - 2010. - № 3 (20). – P. 234 – 238. 4. Селівьорстов В.Ю., Куш П.Д. Використання технології газодинамічного впливу на розплав при литті по витоплюваним моделям // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 4 – С. 89 – 94. 5. Селівьорстов В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі // Теорія і практика металургії. – 2007. - № 4-5. – С. 22-25. 6. Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Носко О.А., Доценко Ю.В., Куш П.Д. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85.

*Поступила в редколлегию 03.12.2010*

**УДК 621:628:006.015.05**

**В.А. ГОДИК**, аспірант, асистент, КНУТД, г. Киев

**В.П. ИВАНОВ**, аспірант, КНУТД, г. Киев

**А.С. ЗЕНКИН**, докт.техн.наук, професор, КНУТД, г. Киев

## **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В статье приведена методика и основные этапы оценки качества машиностроительной продукции.

Ключевые слова: методы оценки качества, уровень качества, комплексный показатель, классификация методов оценки качества.

У статті наведена методика та основні етапи оцінки якості продукції машинобудування.