

Kozechko V.A.
National Mining University

INTENSIFICATION OF CHEMICAL AND THERMAL PROCESSING OF STRUCTURAL STEELS WITH SHOCK WAVES

Summary

The article is focused on the research of the impact of shock waves on the processes for intensification of chemical and thermal treatment, determination of correlation between the depth of alloyed layer and intensity of preparatory chemical and thermal treatment, as well as for enhancing the resource term of construction steel components. For the first time, the regularities of change of parameters of the saturation zone in the process of chemical and thermal treatment of steel under the influence of the intensity of plastic deformation were established experimentally.

Keywords: shock-wave load, boriding, nitriding, diffusion, alloyed layer thickness, microhardness, durability, mechanical properties.

УДК 620.18:621.746

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ З ШИРОКИМ ІНТЕРВАЛОМ ЗАТВЕРДІННЯ

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Збінець А.В.
Національна металургійна академія України

Представлені результати досліджень структури металу виливка циліндричної форми із сталі Х12Ф1Л, що твердне в кокілі з використанням різних режимів газодинамічного впливу. Проведений аналіз кількісного співвідношення структурних складових досліджених зразків. Досліджені мікротвердість та хімічний склад складових сплавів при реалізації різних режимів впливу. Приведені результати механічних випробувань досліджуваних зразків сталі. Встановлений позитивний вплив вказаної активної дії на якість литого металу.

Ключові слова: газодинамічний вплив, вилівок, технологія, зразок, структура, фазовий склад, властивості.

Постановка проблеми. 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.

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 облямуванні гілок дендритів, їх переміщуванні (мікропереміщування рідко-твердого сплаву) та недопущенні локалізації значних об'ємів рідини, що призводить у звичайному випадку до утворення шпаристості у виливку.

Отже, необхідний розвиток теоретичних основ впливу газодинамічної дії на процеси твердіння і структуроутворення, 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.

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 необхідно 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.

Ціль досліджень – визначення фазового складу та механічних властивостей металу циліндричного виливка із сталі Х12Ф1Л, що тверднув у неохолоджуваному кокілі при застосуванні різних режимів газодинамічного впливу в порівнянні з литим металом, отриманим за традиційною технологією.

Основний матеріал. Промислові випробування розробленої технології проводили в умовах ливарних цехів АТ «Дніпропетровський агрегатний завод» та ЗАТ «Горизонт» (м. Дніпропетровськ). Плавку сталі марки Х12Ф1Л 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°C, покривали ливарною фарбою на основі дистен-силманіту. Температура випуску – 1520 ± 5°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.

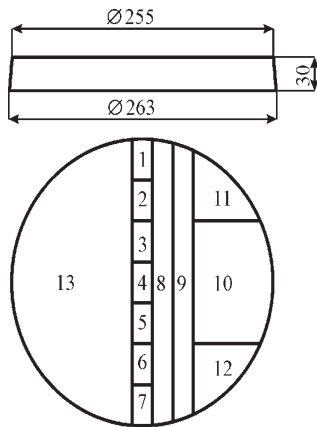


Рис. 1. Схема розподілу зразків: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – металографічні дослідження; 8, 9, 10 – дослідження механічних властивостей; 11, 12 – загальний хімічний аналіз сплаву; 13 – макроскопічний аналіз (виявлення неоднорідності розподілу сірки)

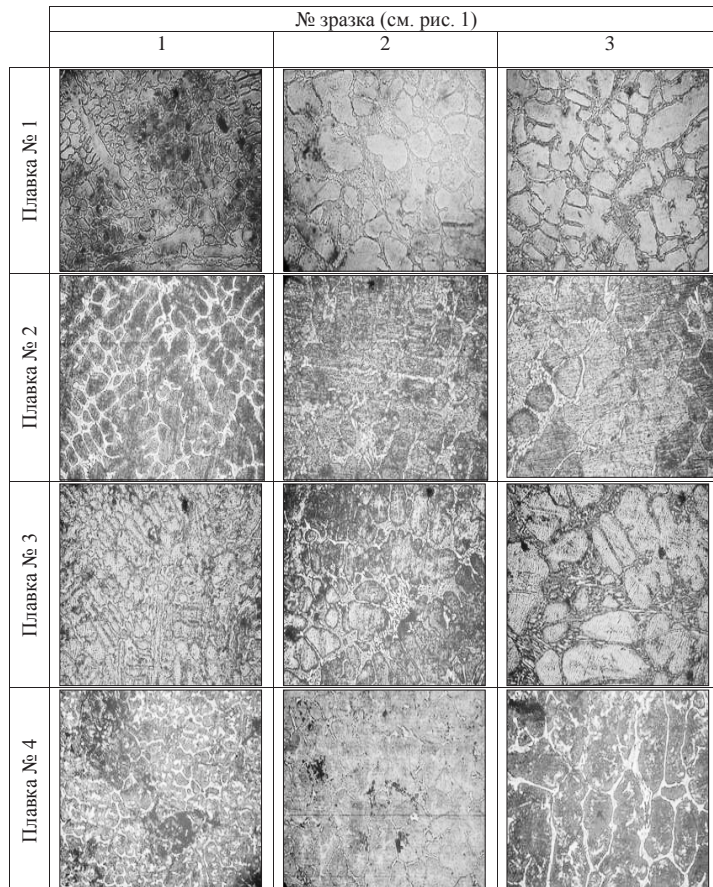


Рис. 2. Мікроструктура зразків сталі X12Ф1Л різних плавки, x 100

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 ± 5 мм на відстані 180 мм від нижнього торця вирізали відповідні темплети [6] (рис. 1).

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

На рисунку 2 представлена мікроструктура зразків сталі X12Ф1Л

Аналіз рисунку 2 свідчить про те, що основними структурними складовими дослідної сталі X12Ф1Л 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 виливка у відповідності до кінетики затвердіння, тобто, приграничні частини та серцевина охолоджуються швидше (зразки 1, 3), а проміжна частина (зразок 2) – повільно. Фазовий склад сплаву досліджених зразків сталі X12Ф1Л (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.

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 ≈ 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 4 МПа і складає ≈ 20%. Подальше підвищення тиску до 6 МПа призводить до збільшення розбігу значень% фериту та% карбідної евтектики.

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 HRC. 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 газо-

Таблиця 1

Хімічний склад сталі, %

Вміст елементів, %										
Плавка № 1										
C	Fe	Si	Mn	V	Cr	S	P	Ni	Mo	Ti
1,42	81,16	0,35	0,84	0,90	13,60	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	81,43	0,38	0,75	0,85	12,16	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	81,21	0,38	0,78	0,97	12,25	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	81,60	0,38	0,76	0,98	11,91	0,015	0,020	0,71	0,15	0,04

динамічного 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.

Таблиця 2

Кількісне співвідношення структурних складових, перетин дендритних вісей фериту, твердість та щільність зразків сталі X12Ф1 у вихідному стані та після газодинамічного впливу

Зразок	Структурні складові, %		Перетин дендритних вісей фериту (max-min), мкм	HRC	Щільність, кг/м ³
	Ф	К			
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

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. 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 Cr₂₃C₆ та легованого (Fe, Cr)₇C₃.

Дані про ступінь ліквідації легуючих елементів по перетину дендритних вісей фериту (Δ 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 3

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

№ плавки	Cr в карбідній евтектиці, %	Σ 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

Таблиця 4

Ступінь ліквідації легуючих елементів (Δ Сф) по перетину дендритних вісей фериту сталі X12Ф1Л у вихідному стані та після застосування газодинамічного впливу

№ п/п	Легуючий елемент	Δ 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 аналізу підтверджені рентгеноструктурним аналізом. На рисунку 3 наведені дифрактограми плавки № 1 та плавки № 4 сталі X12Ф1, які свідчать про формування карбідної евтектики на базі карбіду Cr₂₃C₆ та легованого залізом карбіду (Fe, Cr)₇C₃ при підвищенні тиску до 6 МПа. На дифрактограмі сталі X12Ф1 у вихідному стані крім інтерференцій фериту та чистого карбіду Cr₇C₃ присутні максимуми, що відповідають оксидним фазам Fe₂O₃. Після впровадження газодинамічної дії на розплав оксидні фази в структурі відсутні.

Для визначення межі міцності зразків дослідженої сталі в термообробленому стані після гартування в інтервалі 1030°C – 1050°C та відпуску при 180°C – 200°C їх піддавали розтягуванню під впливом плавко зростаючого навантаження до руйнування. Результати проведених механічних випробувань представлені в таблиці 5.

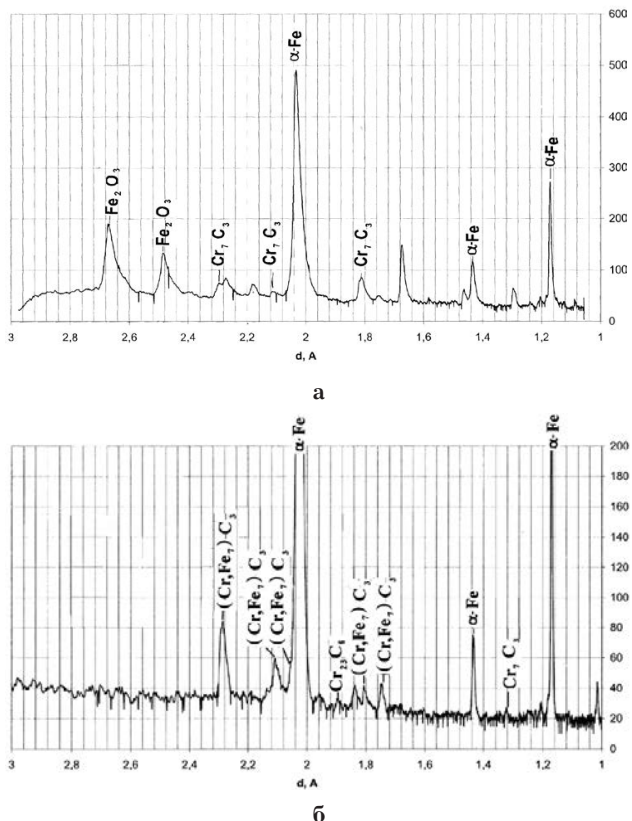


Рис. 3. Дифрактограми зразків сталі X12Ф1Л у вихідному стані (а) та після застосування газодинамічного впливу під тиском 6 МПа (б)

Таблиця 5

Результати механічних випробувань досліджуваних зразків сталі X12Ф1Л

№ зразка	σВ, МПа	Твердість після гартування та відпуску, НРС	КСУ, Дж/см ² 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

Список літератури:

- Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричков В.С., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.
- Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричков В.С., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.
- 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.
- Селівьорстов В.Ю., Куц 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.
- Селівьорстов В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі // Теорія і практика металургії. – 2007. – № 4-5. – С. 22-25.
- Селівьорстов В.Ю., Хричков В.С., Куцова В.З., Носко О.А., Доценко Ю.В., Куц П.Д. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі // Теорія і практика металургії. – 2009. – № 5-6. – С. 80-85.

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 X12Ф1Л при застосуванні газодинамічного впливу на розплав, що твердне в кокіль. 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 ліквідації (Δ Сф) легуючих елементів: хрому, алюмінію, марганцю та міді по перетину дендритних вісей фериту зменшується, в той час як ліквідація 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 Cr₂₃C₆ та легованого (Cr, Fe)₇C₃. У вихідному стані в структурі сталі X12Ф1Л присутні оксидні фази Fe₂O₃. Після застосування газодинамічного впливу на розплав оксидні фази в структурі відсутні.

4. Визначені механічні властивості досліджених зразків сталі X12Ф1Л, отриманої згідно традиційної технології лиття в кокіль, при застосуванні різних режимів газодинамічного впливу та термічної обробки. Встановлено, що межа міцності зразків сталі X12Ф1 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 (КСУ_{вих} = 20-22 Дж/см²; КСУ_{з/д} = 31-35 Дж/см²), також при застосуванні газодинамічного впливу спостерігається збільшення щільності сталі.

Селиверстов В.Ю., Доценко Ю.В., Збинец А.В.
Национальная металлургическая академия Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА СТАЛИ С ШИРОКИМ ИНТЕРВАЛОМ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Аннотация

Представлены результаты исследований структуры металла отливки цилиндрической формы из стали X12Ф1Л, затвердевающей в кокиле с применением различных режимов газодинамического воздействия. Проведен анализ количественного соотношения структурных составляющих исследованных образцов. Исследованы микротвердость и химический состав составляющих сплава при реализации разных режимов воздействия. Приведены результаты механических испытаний исследуемых образцов стали. Установлено позитивное влияние указанного активного воздействия на качество литого металла.

Ключевые слова: газодинамическое воздействие, отливка, технология, образец, структура, фазовый состав, свойства.

Selivorstov V.Y., Dotsenko Y.V., Zbinets A.V.
National Metallurgical Academy of Ukraine

THE STUDY OF GAS-DYNAMIC INFLUENCE ON PROPERTIES OF STEEL WITH A WIDE INTERVAL OF SOLIDIFICATION

Summary

The article represents the results of researches of structure of metal of cast of cylindrical form from steel X12Ф1Л solidifying in block mold with the use of the different modes of gas-dynamic influence. The analysis of the quantitative relationships of the structural components of the studied samples is conducted. Microhardness and chemical composition of the alloy components in the implementation of the different modes of influence are investigated. The results of mechanical testing of steel samples are provided. Positive effect of the indicated active influence on quality of the poured metal is proved.

Keywords: gas-dynamic influence, cast, technology, sample, structure, phase composition, properties.

УДК 621.745.002.645:533

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЛЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Любич П.Г.
Національна металургійна академія України

Приведені результати промислових випробувань технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі при виробництві циліндричних заготовок для ріжучого інструменту із сталі P18 способом лиття по витоплюваним моделям. Приведена схема пристрою для здійснення газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі. Описані основні операції удосконаленого технологічного процесу. Приведені результати випробувань з визначення механічних властивостей литого металу, одержаного із застосуванням газодинамічного впливу в процесі твердіння, а також металу, одержаного за традиційною технологією, після термічної обробки. Отримані результати показали перспективність проведення подальших досліджень та використання зазначеного процесу.

Ключові слова: газодинамічний вплив, лиття по витоплюваним моделям, вилівок, технологія, зразок, механічні властивості.

Постановка проблеми. Однією з причин виникнення дефектів в литому металі є порушення нормального процесу живлення, часто пов'язаного з неможливістю підтримки в елементах живлення навіть атмосферного тиску із-за герметизації вилівка у формі. При цьому, до найбільш поширених видів дефектів виливків при литті по витоплюваним моделям (ЛВМ) можна віднести саме шпаристість. Аналіз теоретичних, експериментальних робіт, а також досвід впроваджених у виробництво технологій показує, що при використанні активних методів зовнішніх фізичних впливів та управління структуроутворенням вдається не тільки значно понизити брак виливків, у тому числі і по цьому виду дефектів, але й підвищити механічні властивості литого

металу. До таких активних методів можна віднести газодинамічний вплив на твердіючий в ливарній формі розплав. Тому однією з актуальних проблем є отримання науково обґрунтованих результатів, що дозволяють здійснити удосконалення існуючих, а також розробку нових ефективних технологічних процесів отримання якісних литих заготовок спеціальними способами лиття.

Аналіз попередніх публікацій. До методів активних фізичних впливів можна віднести вплив тиску на розплав, що кристалізується у ливарній формі: лиття під газовим, механічним або комбінованим тиском. При цьому, про можливості і перспективи застосування низького (до 0,5 МПа), середнього (0,6-20 МПа) і високого (понад 20 МПа) тиску при