

*Представлені результати досліджень газодинамічного впливу на структуроутворення та фізико-механічні властивості металу виливків із вуглецевої, інструментальної штампової, швидкорізальної сталей та алюмінієвого сплаву. Виливки різної конфігурації виготовляли в кокілях та в оболонкових багат шарових формах лиття по витоплюваним моделям. Показана доцільність використання газодинамічного впливу для поліпшення якості литого металу*

*Ключові слова: газодинамічний вплив, мікроструктура, металографічні дослідження, механічні властивості*

*Представлены результаты исследований газодинамического воздействия на структурообразование и физико-механические свойства металла отливок из углеродистой, инструментальной штамповой, быстрорежущей сталей и алюминиевого сплава. Отливки различной конфигурации изготавливали в кокилях и в оболочковых многослойных формах литья по выплавляемым моделям. Показана целесообразность использования газодинамического воздействия для улучшения качества литого металла*

*Ключевые слова: газодинамическое воздействие, микроструктура, металлографические исследования, механические свойства*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ ПРИ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ УМОВ ЗАТВЕРДІННЯ

**В.Ю. Селівьорстов**

Доктор технічних наук, професор  
Кафедра ливарного виробництва  
Національна металургійна академія України  
пр. Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, 49600  
Контактний тел.: (056) 374-83-67  
E-mail: s-v-y@mail.ru

### Вступ

По мірі загострення проблем, пов'язаних з необхідністю глобального енергозбереження, на тлі поступового вичерпування первинних ресурсів, а також зростаючої номенклатури і об'єму товарної продукції машинобудування, все більшу важливість набувають питання підвищення якості литих заготовок при одночасному зниженні метало- і енергоспоживання на їх виробництво. Одним із шляхів підвищення якості литого металу є використання тиску в процесі кристалізації. Відомо, що найбільш ефективною є передача наростаючого тиску в двофазну зону, особливо наприкінці періоду твердіння [1, 2]. Цим вимогам відповідає розроблена на кафедрі ливарного виробництва НМетАУ технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

### Аналіз попередніх публікацій та постановка задачі

Технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі реалізується при використанні газо-

вого тиску в діапазоні, переважно, 0,1 - 20 МПа без застосування складного спеціального устаткування, і може бути легко вбудована в діючий технологічний процес [3 - 7]. Окрім того, розроблена технологія може бути реалізованою для всіх найбільш вживаних способів лиття, таких як: лиття в об'ємну піщану форму, лиття в кокіль, лиття по витоплюваним моделям та при виробництві злитків [3, 8 - 10]. Проте, для визначення ефективності газодинамічного впливу на розплав, що твердіє, потрібне дослідження значної кількості фізико-технологічних параметрів литого металу, до числа найбільш значущих з яких можна віднести структуру і фазовий склад. Тому проведення експериментальних досліджень структуроутворення та фізико - механічних властивостей металу виливків, отриманих безпосередньо в промислових умовах із застосуванням традиційної та розробленої технологій, є актуальним завданням.

Метою досліджень є порівняльний аналіз структури та фізико – механічних властивостей металу виливків із вуглецевої, інструментальної штампової сталей та алюмінієвого сплаву, що виготовлені в кокілях, а

також швидкорізальної сталі, що виготовлені в формах лиття по витоплюваним моделям (ЛВМ), за традиційною технологією та з використанням газодинамічного впливу (ГДВ).

**Результати досліджень**

Металографічні дослідження зразків сталі 35Л виливків циліндричної форми діаметром 250 мм, одержаної з використанням ГДВ до 3 МПа показали, що ферито-перлітна структура сталі стає більш наближеною до рівноважної (рис. 1), відповідає 3 – 4 балам в порівнянні з металом, одержаним за традиційною технологією лиття в кокіль (5 – 6 бал).

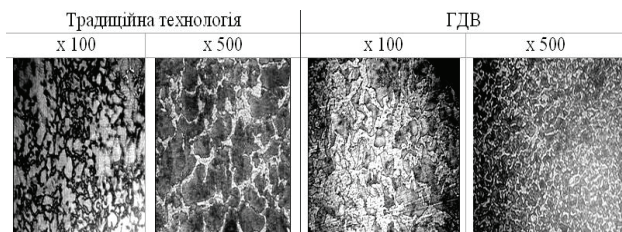


Рис. 1. Мікроструктура сталі 35Л x 0,13

Мікротвердість структурних складових зразків сталі майже не змінюється після ГДВ для феритної складової, і дещо збільшується для перлітної складової: з 1400 – 2000 МПа для перліту і 1500 – 1600 МПа для фериту, до 1500 – 2000 МПа для перліту та 1500 – 1800 МПа для фериту.

Після ГДВ тимчасовий опір сталі підвищується з 600 – 700 МПа до 710 – 750 МПа, твердість підвищується з 207 – 217 НВ до 219 – 247 НВ, відносно подовження литого металу збільшується з 8,5 – 11 % до 13 – 15 %, щільність з 7778 – 7780 кг/м<sup>3</sup> до 7820 – 7826 кг/м<sup>3</sup>.

При проведенні статистичного аналізу цифрових зображень сірчаних відбитків темплетів виливків із сталі 35Л, одержаної за традиційною технологією лиття в кокіль і при різних режимах ГДВ (середній швидкості нарощування тиску в системі виливок-пристрій для введення газу (Vp) та максимальному тиску (P) аргону), зображення умовно розділили на зони відповідно до кінетики твердіння виливка (рис. 2) та обробляли за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми «ASImprints» [11]. Аналіз показав, що зі збільшенням тиску до 3 МПа кількість сульфідних включень зростає, а середній розмір включення зменшується: у вісьовій зоні виливка в ~ 6,5 разів, в радіальній – в ~ 20,6 разів, в периферійній – в ~ 1,2 рази (рис. 3).

Основними структурними складовими інструментальної штампової сталі Х18Ф1Л після газодинамічного впливу є ферит і карбіди (рис. 4).

Після ГДВ дендрити первинного фериту більш розгалужуються і збільшується диференціювання евтектики Ф + (Fe,Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Мінімальна величина перетину дендритних вісей фериту спостерігається на зразках, що вирізані як із периферійної частини темплету, так і з середньої частини.

Зменшується міжпластинчаста відстань. З підвищенням тиску до 4 МПа кількість хрому і легуючих елементів в карбідній евтектиці росте, а

ступінь ліквідації зменшується, за винятком ванадію і кремнію. 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<sub>23</sub>C<sub>6</sub> і легованого (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

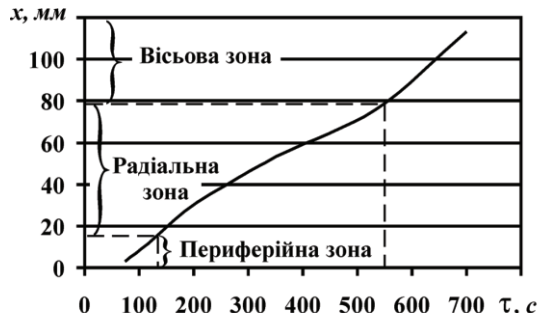


Рис. 2. Кінетика твердіння виливка із сталі 35Л та схема розташування досліджуваних зон

В сталі у вихідному стані окрім фериту і карбіду Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> присутні оксидні фази (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), що відсутні після ГДВ. Твердість сплаву з підвищенням тиску при ГДВ до 4 МПа росте, а при подальшому підвищенні тиску до 6 МПа – повертається до початкових значень. Після ГДВ і термообробки тимчасовий опір сталі збільшується з 120 – 125 МПа до 151 – 158 МПа, ударна в'язкість – з 20 – 22 Дж/см<sup>2</sup> до 31 – 36 Дж/см<sup>2</sup>. Щільність сталі після ГДВ підвищується з 7216 – 7360 кг/м<sup>3</sup> до 7698 – 7711 кг/м<sup>3</sup>.

Результати механічних випробувань зразків сталі Р18Л виливків циліндричної форми діаметром 25 мм та висотою 200 мм, що твердіє в формі ЛВМ при ГДВ і диверсифікації режимів здійснення технології, показали підвищення механічних властивостей металу при використанні діапазону тиску від низького (0,1 – 0,3 МПа) до більш високого (0,1 – 3 МПа): тимчасовий опір збільшується з 1697 – 1750 МПа до 1926 – 2040 МПа, твердість після гартування та відпуску – з 52 – 54 HRC до 57 – 61 HRC, відносно подовження – з 2,47 – 2,49% до 3,13 – 3,15%, а також збільшується щільність з 8743 – 8750 кг/м<sup>3</sup> до 8777 – 8901 кг/м<sup>3</sup>. У мікроструктурі литої швидкорізальної сталі в результаті газодинамічного впливу структурна неоднорідність має вид тоншої сітки евтектики по границях зерен, на відміну від грубої сітки евтектичних і вторинних карбідів по границях зерен металевої основи зразків литого сплаву, одержаного за традиційною технологією.

**Таблиця 1**

Механічні властивості виливків із сплаву АК5М

№ зразка	σ <sub>в</sub> , МПа		НВ		δ, %	
	ТТ	ГДВ	ТТ	ГДВ	ТТ	ГДВ
1	162,2	185,2	70	73	1,0	1,27
2	161,8	184,8	68	72	0,9	1,26
3	162,1	185,3	68	73	0,9	1,27

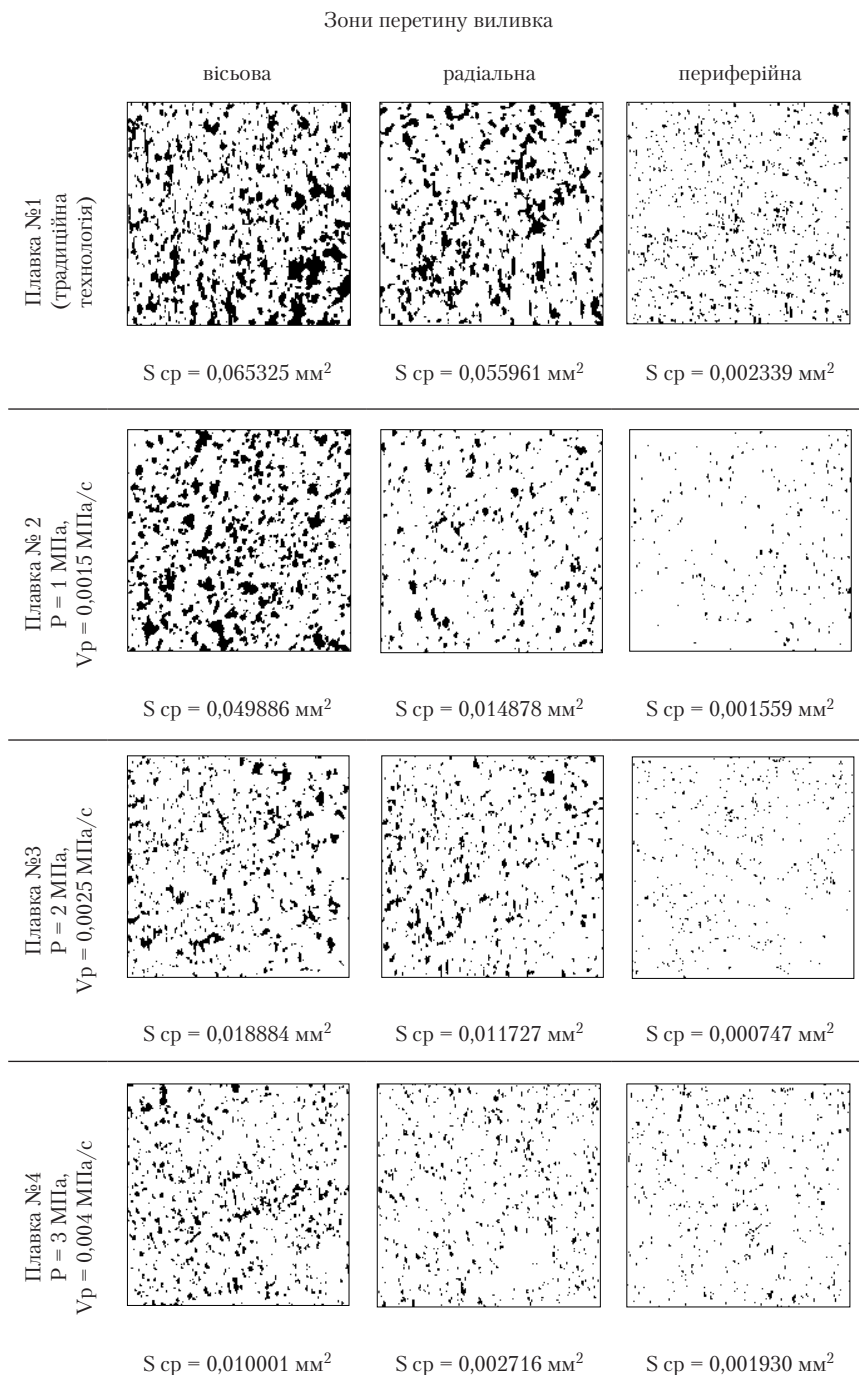
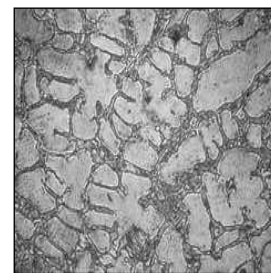


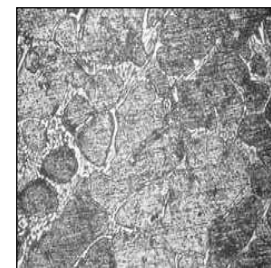
Рис. 3. Фрагменти сірчаних відбитків темплетів вилівок із сталі 35Л плавок №№ 1 – 4 x 1,8

Встановлено підвищення механічних властивостей фасонного вилівка «Опорний наконечник стійки конвеєра» масою 1,1 кг із сплаву АК5М, що твердіє в кокілі при газодинамічному впливі, у порівнянні з традиційною технологією (ТТ) (табл. 1).

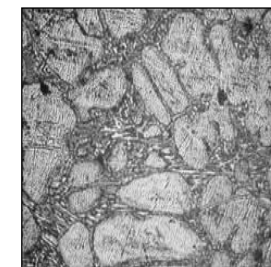
Впровадження розробленої технології в умовах ЗАТ «Горизонт» (м. Дніпропетровськ) дозволило скоротити кількість браку по шпаристості та газовим раковинам на 28 %.



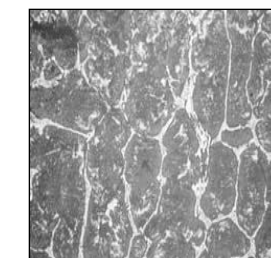
а



б



в



г

Рис. 4. Мікροструктура сталі X18Ф1Л, що тверділа в кокілі при атмосферному тиску (а) та при ГДВ за різними режимами: б –  $V_p = 0,002 \text{ МПа/с}$ ,  $P = 2 \text{ МПа}$ ; в –  $V_p = 0,0045 \text{ МПа/с}$ ,  $P = 4 \text{ МПа}$ ; г –  $V_p = 0,007 \text{ МПа/с}$ ,  $P = 6 \text{ МПа}$ ; x 100 x 0,13

### Висновки

Встановлено підвищення якості металу вилівок в результаті використання розробленої технології в порівнянні з традиційними.

1. Ферито-перлітна структура сталі 35Л, одержаної з використанням газодинамічного впливу до 3 МПа стає одноріднішою, відповідає 3 – 4 балу, в порівнянні з традиційною технологією лиття в кокілі (5 – 6 бал), тимчасовий опір сталі збільшується на 10 – 12 %, твердість – на 5 – 12 %, відносне подовження – на 30 – 40 %.

2. В результаті газодинамічного впливу в діапазоні тиску 1 – 6 МПа при твердінні в кокілі сталі Х18Ф1Л, з підвищенням тиску до 4 МПа, перетин дендритних вісей фериту зменшується, в середньому, на 7%, що свідчить про формування щільнішої, мікрокристалічної та однорідної структури. Після газодинамічного впливу та термообробки тимчасовий опір сталі збільшується більш ніж на 20 %, на 30 – 36 % збільшується ударна в'язкість, на 3 – 5 % – твердість.

3. Результати механічних випробувань зразків сталі Р18Л, що твердіє в формі ЛВМ при різних режимах газодинамічного впливу, показали, що зі збільшенням тиску від 0,1 МПа до 3 МПа механічні властивості металу збільшуються: тимчасовий опір – на 11 – 14 %,

твердість – на 9 – 12 %, відносно подовження – на 19 – 21 %.

4. Механічні властивості алюмінієвого сплаву АК5М фасонного виливка, що твердіє в кокілі, також підвищуються в результаті газодинамічного впливу: тимчасовий опір – на 11 – 12 %, твердість – на 4 – 6 %, відносно подовження – на 26 – 27 %. Кількість браку виливків по шпаристості та газовим раковинам знизилася на 28 %.

5. Результати проведених досліджень дозволяють проводити оптимізацію режимів газодинамічного впливу в залежності від вимог до рівня властивостей металу виливків.

#### Література

1. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами /Г.П.Борисов. – Киев.: изд. Наук. Думка, 1988. – 272 с.
2. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов /В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия. – 1995. – 272 с.
3. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.
4. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
5. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
6. Спосіб отримання виливків [Текст]: Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. Заявник та патентовласник Національна металургійна академія України – № 200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
7. Пристрій для отримання виливків [Текст]: Деклараційний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. Заявник та патентовласник Національна металургійна академія України – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
8. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі [Текст]// Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 - 45.
9. Селівьорстов В.Ю. Використання технології газодинамічного впливу на розплав при литті по витоплюваним моделям [Текст]/В.Ю. Селівьорстов, П.Д. Куц. //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – № 4 – С. 89 – 94.
10. Пат. 55301 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб для отримання виливків [Текст]/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В., Куц П.Д., Савєга Д.О. № u201006702; заявл. 31.05.2010, опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
11. Комп'ютерна програма «ASImprints – Аналіз сірчаних відбитків» [Текст]/Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. – № 28879; дата реєстрації 25.05.2009.

#### Abstract

*The technology of the gas-dynamic influence on the melt in the mold, developed at the Department of foundry of the National metallurgical academy of Ukraine, can transmit the growing gas pressure inside of the cast through the two-phase zone to the solidification front up to the complete solidification of the metal. It is implemented without the complicated special equipment and can be easily integrated into the current technological process. However, the definition of effective impact on solidifying melt study suggests a research of significant amount of physical and technological parameters of cast metal, one of the most significant of which includes the structure and phase composition. This article provides a comparative quantitative analysis of the structural components and mechanical properties of metal castings from carbonaceous, die and fast-cutting steel, aluminum, which are made in metal molds, as well as in the forms of casting according to traditional techniques and using the gas-dynamic effects in different modes. An increase of the mechanical properties of cast metal in all cases and the reasonability of using gas-dynamic effects, in order to improve the quality of cast metal, was indicated. The research results concerning the distribution of sulfide inclusions in castings from carbonaceous steel, were obtained directly in an industrial environment with the use of traditional and developed technology. The possibility of optimization of the modes of gas-dynamic effects, depending on the requirements for the properties of the cast metal was indicated*

**Key words:** gas-dynamic effect, microstructure, metallographic research, mechanical properties