

УДК 621.746.6:542.65

## Керування процесами кристалізації та структурування сталевих виливків

І.М. Стась\*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ



*На основі системних досліджень впливу різних умов тепловідбору на процеси кристалізації, структурування та властивості виливків сталей 20Л, 45Л та У7Л встановлено основні механізми і кінетичні закономірності фазово-структурних перетворень, а також технологічні параметри швидкісного регламентованого охолодження для забезпечення прогнозованих високих властивостей сталевих виливків.*

Важливою задачею ливарного виробництва є прогнозування і оптимізація структури та властивостей сталей у виливках та одержання литих виробів з наперед заданими властивостями. Контроль та управління процесами кристалізації сплавів може бути успішно реалізовано шляхом регламентованої зміни температурно-часових умов кристалізації та наступного охолодження виливків.

Виходячи з цього, на основі системних досліджень встановлено кількісні закономірності впливу умов тепловідбору на процеси кристалізації, структурування та властивості литих вуглецевих сталей з різним інтервалом кристалізації (20Л, 45Л, У7Л) [1].

При проведенні експериментів у прямокутних виливках (115x130x200 мм) створювали умови переважаючого одностороннього тепловідбору у ливарних формах з різною тепловідірною здатністю від торця виливків із застосуванням мідного водоохолоджуваного кристалізатора або плоскої піщаної стрижневої вставки. Використання ливарних форм з різною тепловідірною здатністю забезпечувало охолодження торця виливків з різною інтенсивністю (нормальне і швидкісне).

Металографічно встановлено [2], що макроструктура у центральних ділянках по осі виливків сталей в напрямку одностороннього тепловідбору складається з чотирьох основних структурних зон: коркової поверхневої (I); зони стовпчастих кристалів (II), що складається з ділянок короткоосних дендритів ( $a_1$ ) і довгоосних дендритів ( $a_2$ ); зони розорієнтованих (розгалужених) дендритів (III); зони великих рівноосних (IV) дендритів. Протяжність структурних зон, морфологія і довжина осей дендритів

\* Перша премія ім. М.П. Брауна

Науковий керівник роботи доктор технічних наук, професор Кондратюк С.Є.

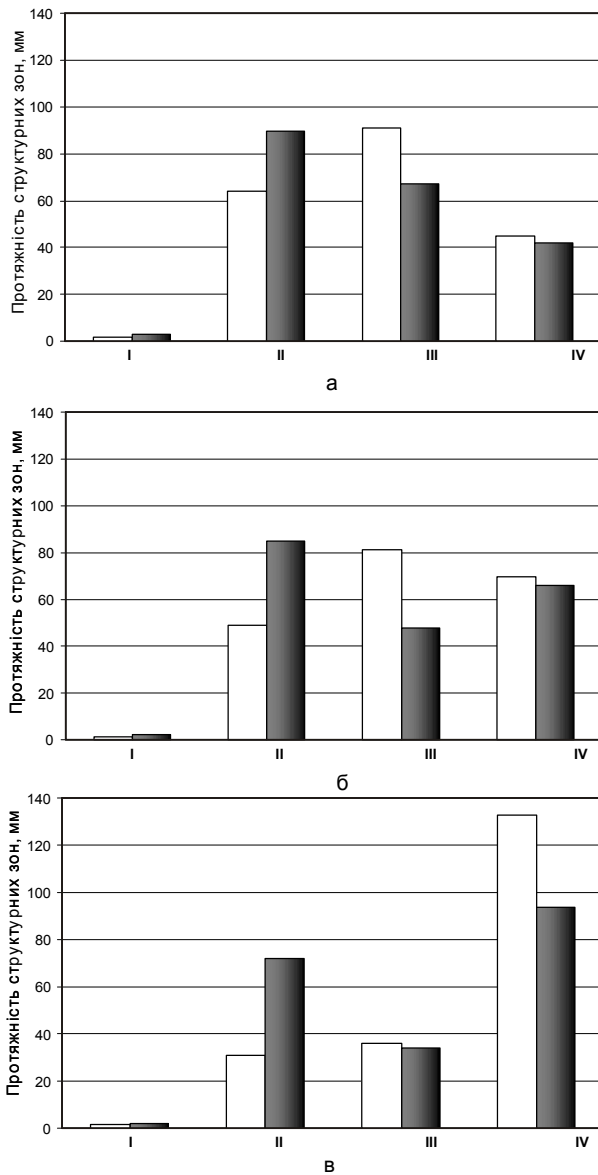


Рис. 2. Протяжність структурних зон у виливках сталей залежно від умов тепловідбору. а – сталь 20Л; б – сталь 45Л; в – сталь У7Л. □ – нормальний тепловідбір, ■ – швидкісний тепловідбір.

закономірно змінюються залежно від умов кристалізації виливків і хімічного складу сталей (рис. 1). Встановлено, що підвищення інтенсивності тепловідбору, незалежно від вмісту вуглецю у сталях, викликає зростання протяжності коркової зони (I) і зони стовпчастих кристалів (II), сприяє переміщенню зони розгалуження дендритів (III) у більш глибокі об'єми виливків. Зміна вмісту вуглецю від 0,21 до 0,69 % супроводжується незначним зростанням протяжності коркової зони виливків (I) за умов нормального охолодження. За умов же швидкісного охолодження, при загальному зростанні ширини коркової зони, підвищення вмісту вуглецю зумовлює скорочення протяжності коркової зони від 1 мм до 0,5 мм. Зони стовпчастих дендритів (II) і розорієнтованого росту (розгалуження) дендритів (III) з підвищенням вмісту вуглецю у сталях закономірно скорочуються як при нормальному, так і при швидкісному тепловідборі, що пов'язано із зміною теплопровідності сталей залежно від вмісту вуглецю. З огляду на це, відповідно скорочується центральна зона (IV) великих рівноосних дендритів, найбільш розвинена при кристалізації розплаву за нормальних умов у піщаній формі. Багатофакторний регресійний аналіз експериментальних даних дозволив отримати інтерполяційні лінійні рівняння, що описують залежність протяжності зон від вмісту вуглецю,

швидкості охолодження ( $V_{ок}$ ) та швидкості кристалізації ( $V_{кр}$ ).

Утворення первинної литої структури виливків залежно від умов тепловідбору супроводжується формуванням дендритних кристалів різної дисперсності та морфології. Показано, що при застосуванні інтенсивного тепловідбору характеристики щільності та дисперсності дендритної структури за глибиною виливка закономірно підвищуються. Так, безпосередньо біля торцевої поверхні виливка, щільність дендритної структури зростає приблизно в 1,75 (сталь 20Л та 45Л) та 1,3 (сталь У7Л) рази і становить: для сталі 20Л – 4,6, сталі 45Л – 4,2 та сталі У7Л – 2,3. За умов нормального тепловідбору щільність дендритної структури дорівнює 2,65 (сталь 20Л), 2,4 (сталь 45Л) та 1,75

(сталь У7Л). Вплив тепловідбору, як нормального, так і інтенсивного, найбільш проявляється на відстані приблизно до 20 – 30 мм від торця виливків. Далі за глибиною виливків зміна щільності дендритної структури є незначною.

Дисперсність дендритної структури, визначена для виливків, одержаних за умов нормального тепловідбору, помітно змінюється до глибини 20 – 30 мм від поверхні виливка. На більшій відстані від торця зміна цього параметру є незначною. У випадку інтенсивного тепловідбору значення дисперсності дендритної структури, визначені біля поверхні тепловідбору, перевищують у 2,1 (сталь 20Л), 2,0 (сталь 45Л) та 1,8 (сталь У7Л) рази відповідні значення цього параметру, одержані для умов нормального тепловідбору. Вплив інтенсивного тепловідбору розповсюджується на глибину до 50 – 60 мм від торця виливка.

Зміну дендритної структури характеризують також геометричні параметри дендритів – середня ширина (рис. 2) та довжина (табл. 1). Аналізуючи наведені результати, можна зробити висновок про значне зменшення характеристик розмірів дендритів при твердненні за умов інтенсивного тепловідбору.

Таблиця 1

Довжина осей дендритів у різних структурних зонах виливків сталей

		Довжина осей, мм					
Сталь		20Л		45Л		У7Л	
Умови охолодження		земля	кокіль	земля	кокіль	земля	кокіль
Коркова зона (I)		0,2	0,3	0,2	0,25	0,16	0,22
Зона стовпчастих дендритів (II)	короткоосні (a <sub>1</sub> )	2	2,5-3,0	2	2,7	1,7	2,5
	довгоосні (a <sub>2</sub> )	13	17	7	10	6	9
Зона розорієнтованого росту дендритів (III)		6,0-11,0	3,0-6,0	6,0-9,0	6,5-7,5	6,0-7,0	5,5-6,0
Зона рівноосних дендритів (IV)		3,0-6,0	3,0-5,0	3,0-4,0	3,0-4,5	3,0-3,8	2,8-4,2

Оскільки кінцева структура і властивості литих сталевих виробів залежать не лише від температурно-часових параметрів кристалізації розплаву, але й від умов охолодження металу після тверднення, досліджено можливості прогнозування структури і властивостей литих сталей у зв'язку з кінетичними параметрами охолодження сталей в інтервалі твердофазного  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворення. Методика експериментів забезпечувала дослідження закономірностей формування кінцевих структур у відповідності з побудованими нами термокінетичними діаграмами охолодження виливків після кристалізації. Металографічно встановлено закономірні зміни кінцевої структури сталей залежно від вмісту вуглецю та температурних умов твердофазних перетворень зі зміною кількісного співвідношення основних структурних складових (фериту, перліту, бейніту) досліджуваних сталей. Експериментально встановлені закономірні зміни фазово-структурного стану сталей у виливках відповідно до умов охолодження металу відкривають додаткові резерви підвищення їх фізико-механічних властивостей, прогнозування структури і властивостей у різних перерізах виливків (табл. 2). З таблиці видно, що розподіл механічних властивостей металу по перерізу виливка добре узгоджується з аналогічними розподілами швидкостей охолодження та кристалізації металу, щільності та дисперсності його первинної структури, хімічної

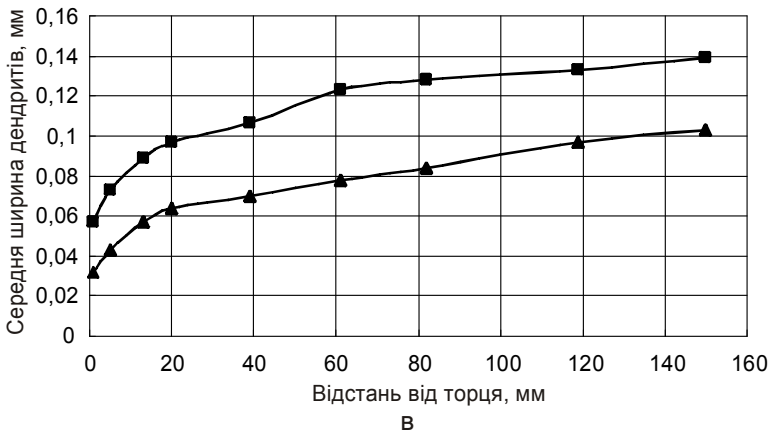
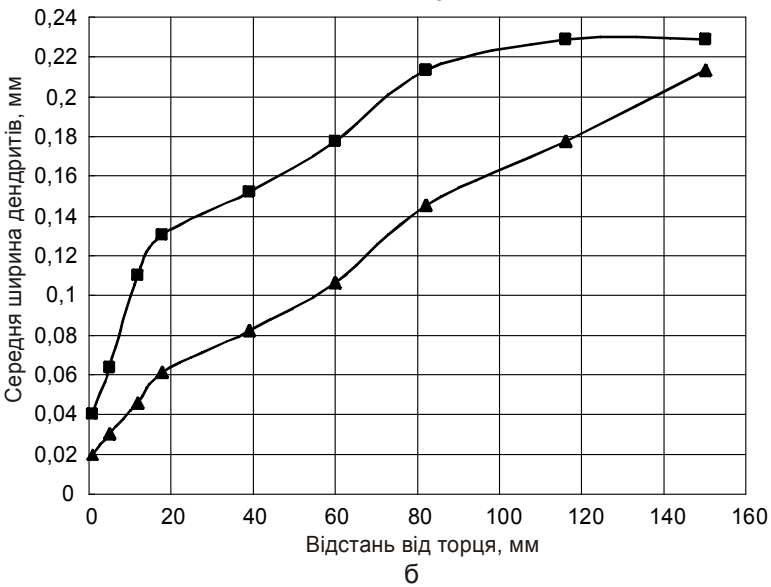
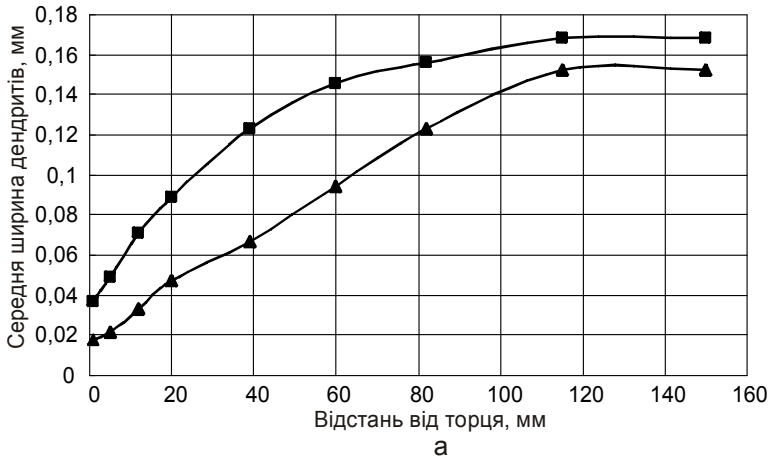


Рис. 2. Середня ширина дендритів. а – сталь 20Л, б – сталь 45Л, в – сталь У7Л.  
 ▲ – швидкісний тепловідбір, ■ – нормальний тепловідбір.

Таблиця 2

Механічні властивості сталей по перерізу виливків

Марка сталі	Відстань від охолоджуваного торця, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
20Л	5	420/380	310/300	36/28	43/40	45/25
	20	410/370	310/300	30/25	37/35	40/20
	40	390/360	300/280	28/22	30/28	60/30
	60	380/360	300/280	24/20	27/25	50/28
	80	380/360	300/280	22/20	25/23	41/28
45Л	5	510/480	320/300	17/15	16/14	28/20
	20	490/470	310/300	15/12	8/7	24/19
	40	480/460	300/290	12/12	4/3,5	20/10
	60	480/460	300/290	10/10	3,5/3	12/8
	80	480/460	300/280	10/8	3/3	8/6
Примітка: чисельник – інтенсивний тепловідбір, знаменник – звичайний тепловідбір						

та фізичної неоднорідності. Характерно, що по всьому перерізу вилівка властивості металу вищі у випадку інтенсивного охолодження, але максимальна різниця відмічається в периферійній зоні, тобто там, де є максимальною різниця в параметрах охолодження, кристалізації та структури.

Таким чином, на основі системних досліджень впливу різних умов тепловідбору на процеси кристалізації, структуроутворення та властивості литих вуглецевих сталей з різним інтервалом кристалізації встановлено кількісні закономірні зміни характеристик структури і механічних властивостей залежно від температурно-часових параметрів тверднення і охолодження виливків. За результатами досліджень теплофізичних особливостей кристалізації сталей в умовах звичайного та інтенсивного тепловідбору розширено уявлення про механізм та кінетику тверднення виливків. Встановлено, що з підвищенням інтенсивності охолодження розплаву значно зростає швидкість кристалізації, суттєво зменшується (в 1,2 – 1,9 рази) ширина двофазної зони, що зумовлює зниження зональної хімічної неоднорідності виливків. Підвищення температурних градієнтів на границі тверднення викликає збільшення протяжності зони стовпчастої структури та відкриває можливість управління макроструктурою та властивостями виливків. Одержані експериментальні дані і наукові результати роботи відкривають можливості цілеспрямованого керування процесами кристалізації і структуроутворення сталей, ефективного впливу на кінцеву структуру і властивості литих виробів, дозволяють реалізувати можливості прогнозування і досягнення заданого комплексу властивостей литих сталей на рівні деформівних шляхом створення нових ливарних технологій.

## Література

1. Кондратюк С.Є., Щеглов В.М., Стась І.М. Вплив інтенсивності тепловідбору на параметри кристалізації вуглецевих сталей // Металознавство та обробка металів. – 2006. – № 2. – С. 18 – 21.
2. Кондратюк С.Є., Стоянова О.М., Стась І.М. Макроструктурні зони у виливках вуглецевих сталей // Металознавство та обробка металів. – 2008. – № 1. – С. 3 – 7.

И.М. Стась

**Управление процессами кристаллизации и структурообразования  
стальных отливок**

**Резюме**

На основании системных исследований влияния различных условий теплоотвода на процессы кристаллизации, структурообразования и свойства отливок сталей 20Л, 45Л и У7Л установлены основные механизмы и кинетические закономерности фазово-структурных превращений, а также технологические параметры ускоренного регламентированного охлаждения для обеспечения прогнозируемых высоких свойств стальных отливок.

I.M. Stas

**Control of the crystallization and structure formation of steel castings**

**Summary**

On the basis of the systematic investigations of the influence of different conditions of heat sink on the crystallization, structure formation and properties of the steels 20L, 45L, U7L the basic mechanisms and kinetic laws of the phase and structure transformations have been revealed. Manufacturing parameters of intensive regulated cooling to ensure predicted high properties of steel castings have been established.

***Шановні колеги!***

**Триває передплата на науково-технічний журнал  
«Металознавство та обробка металів» на 2009 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 15 грн., передплата на рік – 60 грн. з урахуванням ПДВ.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,  
спонсорів і рекламодавців:**

*банк УДК в м. Києві, р/р 35226004000379, МФО 820019.*

*Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,*

*з посиланням на журнал "МОМ".*

Копію документа передплати та відомості про передплатника

**просимо надсилати до редакції,  
вказавши номер і дату платіжного документа.**