

В. В. Остапович, Н. А. Бондаревская, Ю. А. Гарасим  
Тепловое расширение железуглеродистых сплавов

### Резюме

Исследовано влияние содержания углерода (0,87 – 2,65 %) в железуглеродистых сплавах на изменение коэффициента теплового расширения в интервале температур 100 – 950 °С. Установлено, что минимальные значения коэффициента теплового расширения наблюдаются в сплавах с содержанием углерода более 1,5 % в области температуры магнитного перехода цементита (210 °С). В интервале температур 350 – 650 °С значения коэффициента теплового расширения сплавов с разным содержанием углерода остаются практически неизменными.

V. V. Ostapovich, N. A. Bondarevskaya, Yu. A. Garasym

The thermal expansion of iron – carbon alloys

### Summary

The effect of carbon content (0,87– 2,65 %) in iron-carbon alloys to the variation of the modified coefficient of thermal expansion in the temperature range of 100 – 950 °C. It is established that the minimum values of coefficient of thermal expansion are observed at the alloys with carbon content more than 1,5 % at the magnetic transition temperature of cementite (210 °C). In the temperature range of 350 – 650 °C coefficient of thermal expansion values of the alloys with different carbon contents remain almost unchanged.

УДК 669.017:621.774:621.746

## *Особливості формування структури трубних заготовок, виготовлених зі зливка та безперервнолитого металу*

Г. В. Левченко, доктор технічних наук  
Т. В. Грицай, кандидат технічних наук  
О. Є. Нефедьєва

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, Дніпропетровськ

*Розглянуті особливості формування структури трубних заготовок, виготовлених зі зливка й безперервнолитого металу. Показано, що трубна заготовка з безперервнолитого металу характеризується більш дисперсною будовою дендритної та зеренної структури в порівнянні із заготовкою зі зливка, і ця залежність зберігається після наступної деформаційної та термічної обробки.*

**Р**озливка сталі в зливки, особливо у великі, характеризується значною хімічною неоднорідністю литого металу, яка мало змінюється при наступній гарячій пластичній деформації [1]. Також широко освоюється технологія виробництва прокату

## Структура і фізико-механічні властивості

із безперервнолитої заготовки (БЛЗ). Численними дослідженнями показано, що крім значної економії металу, застосування безперервної розливки сталі дозволяє забезпечити високу якість металопродукції. Технологічні властивості безперервнолитого металу такі або навіть кращі, ніж катаного зі звичайних зливків [2, 3].

Метою даної роботи було порівняльне дослідження формування зеренної структури трубних заготовок, виготовлених зі зливка та з безперервнолитого металу.

Матеріалом дослідження були зразки безперервнолитої заготовки й блюму, отриманого зі зливка, відлитого в виливницю, виробництва Дніпровського металургійного комбінату (ДМК). Для дослідження впливу гарячої деформації на формування кінцевої структури металу, безперервнолиту заготовку й блюм прокатували на трубну заготовку діаметром 250 мм. Хімічний склад сталі, розміри вихідних заготовок та отриманого з них прокату, наведені в таблиці.

Хімічний склад досліджуваної сталі

Вид продукції	Ступінь укову ( $\mu$ ) *	Вміст елементів, % (мас. частка)								
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
БЛЗ 350×500 мм	3,5	0,48	0,78	0,27	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,031
трубна заготовка Ø 250 мм										
блюм 290×290 мм	9,9	0,48	0,90	0,19	0,02	0,01	0,01	0,027	0,027	0,027
трубна заготовка Ø 250 мм										

\* – відношення площі поперечного перерізу зливка й заготовки

Зразки для металографічного аналізу відбирали в поверхневих шарах, на відстані  $j$  ( $S R$ ) товщини заготовки й у центральних ділянках. Металографічні дослідження виконані на мікроскопі "Axiovert 200 M MAT" виробництва фірми "Carl Zeiss".

Встановлено, що суттєвої різниці в забрудненні неметалічними включеннями між блюмом і БЛЗ не спостерігається. У структурі металу переважними включеннями є сульфідні. На поверхні металу включення в основному 3 бала, ближче до центру порядку 4 бала (відповідно до ГОСТ 1778-70).

Під час кристалізації в центрі безперервнолитих заготовок можуть утворюватися внутрішні тріщини, супроводжувані місцевою ліквідацією. Наступна деформація, в значній мірі, приводить до усунення цих дефектів у трубній заготовці.

Результати металографічного аналізу зразків безперервнолитої заготовки й блюма свідчать про те, що утворювана первинна дендритна структура, за своєю морфологією схожа. Дендритна структура у поверхневих шарах у зразках обох заготовок характеризується наявністю ділянок дрібних рівноосних кристалів. У міру наближення до центру заготовки, їх розміри збільшуються (рис. 1).

Вплив деформаційної обробки на формування зеренної структури, призводить до утворення більш вигідної, з погляду зменшення поверхневої енергії, форми зерен (рис. 2). Спостерігається значне подрібнення ферито-перлітної структури. У прокаті, отриманому з безперервнолитої заготовки, утворилась значна розмірна неоднорідність

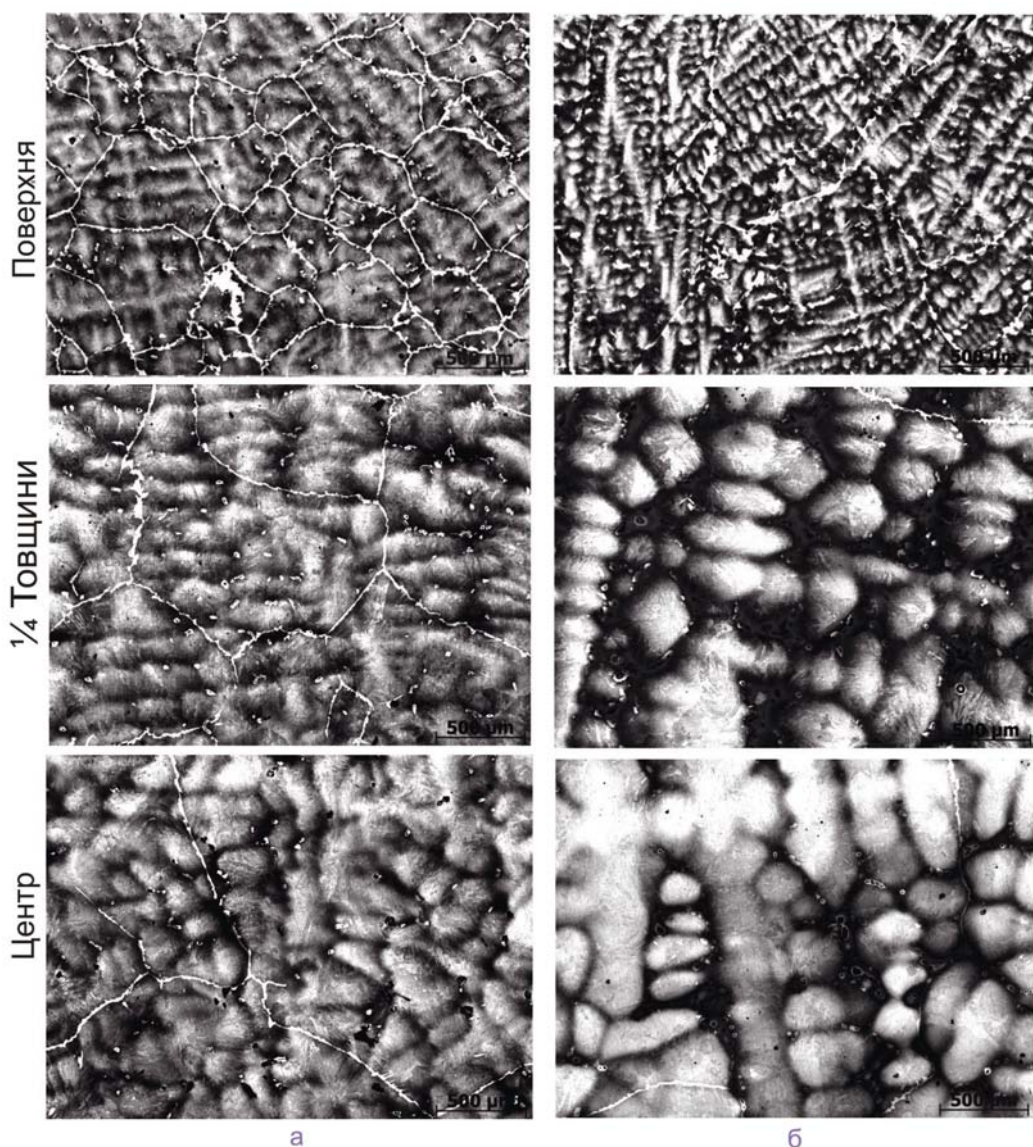


Рис. 1. Зміна дендритної структури за перерізом блюму (а) і БЛЗ (б).  $\times 30$ .

зеренної структури. У ділянках, що відповідають колишнім міждендритним просторам, утворюється більш дрібнозерниста структура. Чітко простежується залежність розміщення нерівномірної зеренної структури не тільки від розташування колишніх дендритних і міждендритних ділянок, але й дендритних осей різного порядку. Така структурна неоднорідність успадковується деформованою безперервнолітою заготовкою в більшій мірі в ділянках з розвинутою зоною стовпчастих кристалів і значною дендритною ліквациєю.

Утворення нерівномірної зеренної структури в зразках отриманих з безперервнолітої заготовки можна пояснити з наступних позицій.

За винятком вуглецю, різні елементи, що присутні в сталі, мають низький ступінь дифузії у твердому стані і неоднорідність, яка існує наприкінці твердіння,

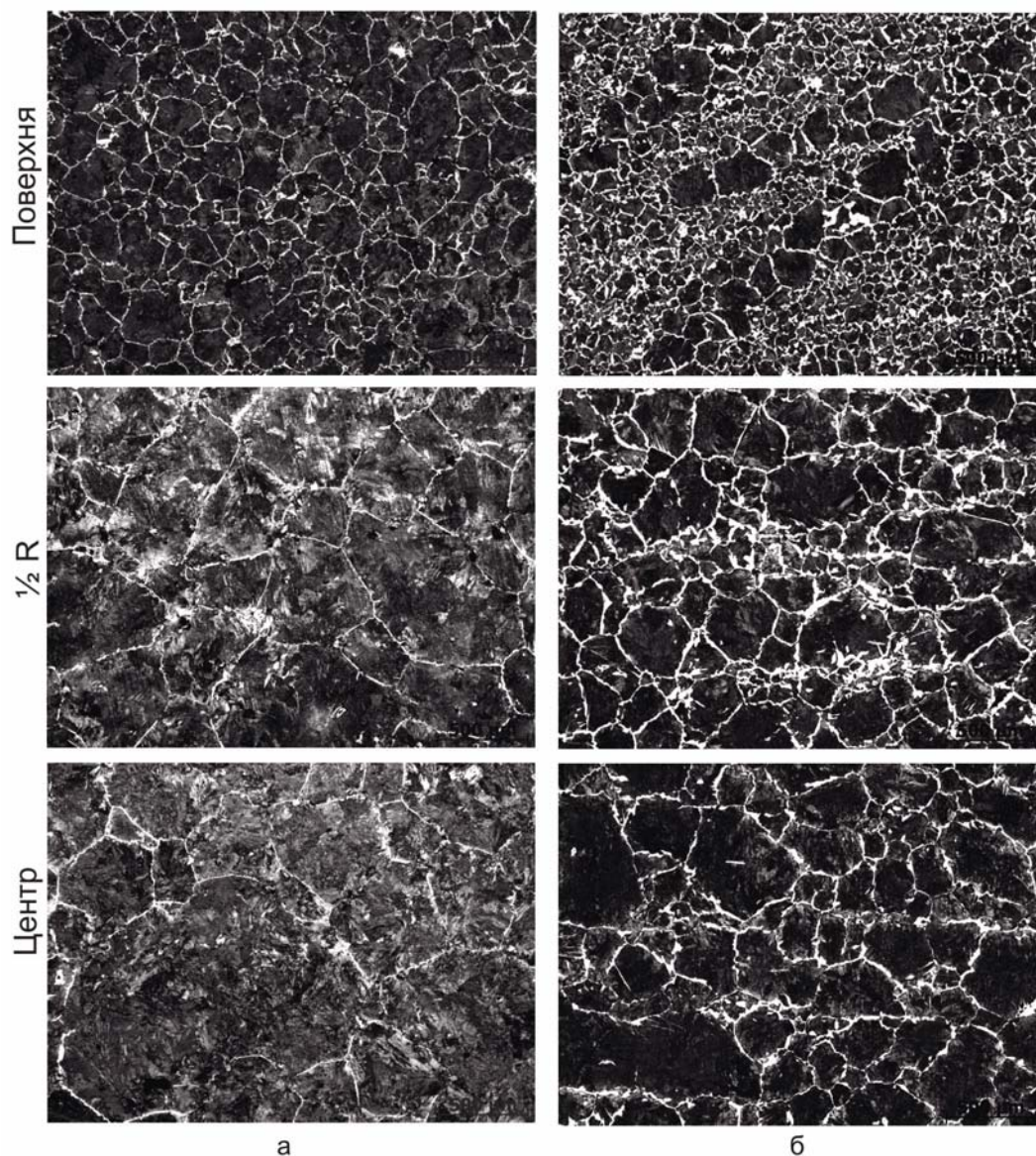


Рис. 2. Зміна зеренної структури за перерізом гарячекатаних заготовок  $\varnothing$  250 мм, виготовлених з блюму (а) та безперервнолитого металу (б).  $\times 30$ .

суттєво не змінюється в процесі кристалізації заготовки [2]. Нагрів до температур порядку 1200 °С, який використовується перед прокаткою, може тільки злегка зменшити первісний ступінь ліквації, не змінюючи значно весь комплекс. Тому можна стверджувати, що на формування зеренної структури при початковій деформаційно-термічній обробці безперервнолитих заготовок безпосередньо впливає дендритна ліквація.

Деякі дослідники [4] вказують, що утворення нерівномірної смугастої ферито-перлітної зеренної структури обумовлює в основному марганець, тому що будучи аустенітостабілізуючим елементом, він гальмує утворення зародків фериту і їх наступне зростання. Доевтектоїдний ферит утворюється у волокнах, що відповідають

## Структура і фізико-механічні властивості

колишнім дендритним осям з низьким вмістом марганцю. Перліт утворюється в основному у волокнах, що відповідають колишнім міждендритним просторам.

Формування нерівномірної смугастої зеренної структури суттєво залежить не тільки від ліквацийного фону, але й від швидкості охолодження. При уповільненому охолодженні вуглець встигає дифундувати й відбувається деяке вирівнювання його вмісту в колишніх дендритних і міждендритних ділянках. Даний факт пояснює утворення більш рівномірної зеренної структури в центрі заготовок, у порівнянні з поверхнею.

Зеренна структура як блюма, так і отриманої з нього трубної заготовки має деякий зв'язок з дендритною ліквациєю, незалежно від ділянок її утворення. Порівняння середнього розміру зерен перліту в однакових ділянках за перерізом заготовок показало, що середній розмір зерен перліту в заготовці, отриманої зі зливка, трохи більше розміру найбільших зерен заготовки з безперервнолитого металу (рис. 2 б).

Отримані дані металографічного аналізу свідчать ймовірно про високий ступінь впливу хімічної неоднорідності, що утворюється в процесі кристалізації, на формування зеренної структури. Дія цього впливу спостерігається й при наступній обробці безперервнолитих заготовок.

У зв'язку з цим стало актуальним питання оцінки впливу деформації на пророблюваність дендритної структури трубних заготовок з вуглецевої сталі, отриманих зі зливка, відлитого у виливницю, та безперервнолитої заготовки.

При дослідженнях трансформації дендритної структури, виконаних у роботі [5] показано, що найбільш вагомий вплив на проробку дендритної структури проявляє високий ступінь деформації зливка на блюмінгу. На цьому етапі виробництва у структурі сталі остаточно формується фон концентраційної неоднорідності, наслідуюваної від дендритної ліквациї, насамперед кремнію й марганцю, на який не впливають подальші деформаційно-термічні обробки.

Порівнявши характеристики зміни щільності дендритної структури по перерізу трубних заготовок Ш 250 мм, можна вивести, що трубна заготовка з безперервнолитого металу має більш щільну дендритну будову, ніж заготовка, виготовлена з блюму (рис. 3). Слід зазначити, що щільність дендритної будови особливо збільшується в поверхневих шарах БЛЗ.

На практиці для оцінки ступеню пророблюваності литої структури часто використовується ступінь укову –  $\mu$ , визначений як відношення площ поперечного

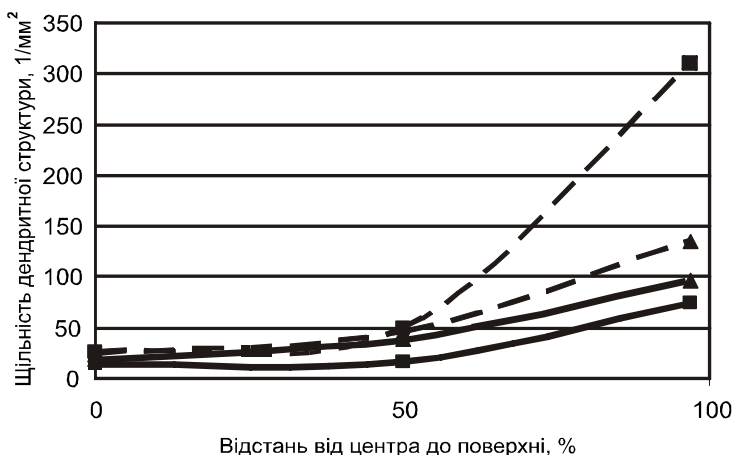


Рис. 3. Зміна щільності дендритної структури за перерізом заготовок.  
—▲— — блюм 290x290 мм, —▲— — заготовка Ø 250 мм, —■— — БЛЗ 350x500 мм, —■— — заготовка Ø 250 мм.

## Структура і фізико-механічні властивості

перерізу зливка й заготовки. Зокрема, у роботі [6] для одержання якісних труб рекомендується ступінь укову більше 4.

Очевидно, ступінь укову дозволяє прогнозувати зміну макроструктури металу в результаті деформації. Наші дослідження показали, що для оцінки можливості відповідати вимогам споживача за структурою та її однорідністю, механічними властивостями трубних заготовок з безперервнолитого металу, краще використовувати структурний критерій, наведений у роботі [7].

Так, якщо оцінювати пророблюваність дослідженого металу (таблиця) за ступенем укову, то заготовка з катаного зливка має  $\mu \sim 10$ , а отримана із БЛЗ усього близько 4, у той же час і характер дендритної (рис. 1) і зеренної структури (рис. 2) свідчить про те, що цей критерій не дозволяє в повній мірі оцінити характер структурних перетворень, які відбуваються у сталі.

Наступний вплив термічної обробки (нормалізації) приводить до формування більш дрібнозернистої та рівномірної структури за всім перерізом заготовки з безперервнолитого металу на відміну від заготовки отриманої із блюму (рис. 4).

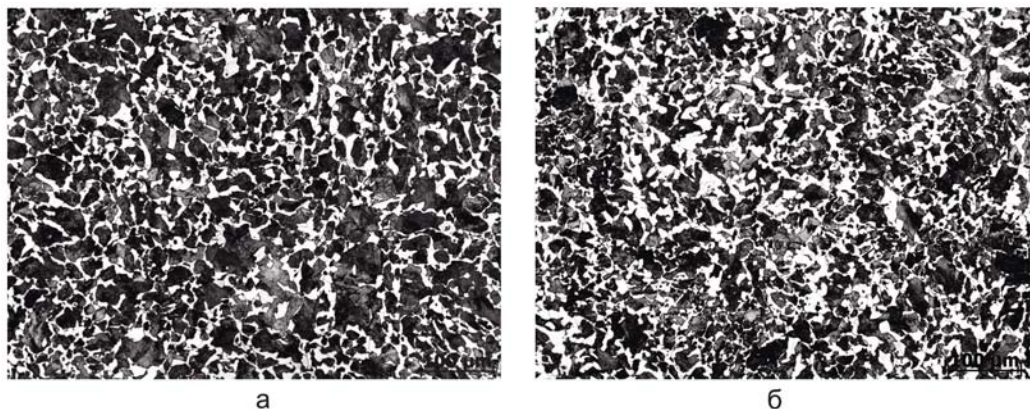


Рис. 4. Мікроструктура нормалізованих заготовок  $\varnothing 250$  мм, виготовлених із блюму (а) і безперервнолитого металу (б).  $\times 100$ .

Середня величина зерна відповідно до ГОСТ 5639 становить 7 номер у заготовці, отриманій зі зливка, й 8 номер у заготовці, отриманій з безперервнолитого металу.

Таким чином, проведені дослідження показали, що трубна заготовка з безперервнолитого металу характеризується більш дисперсною будовою дендритної та зеренної структури в порівнянні з катаною. Ця залежність зберігається після наступної деформаційної й термічної обробки. Отриманий результат пояснюється тим, що, як показано в роботі [8], в сталі відбувається збереження закладених при кристалізації спадкоємних особливостей структури металу й при наступних операціях деформаційної й термічної обробки.

**Висновки** Показано, що для трубної заготовки, виготовленої з безперервнолитого металу, характерна більш висока щільність елементів дендритної будови, особливо в поверхневих шарах, у порівнянні із заготовкою, отриманою зі зливка.

Встановлено, що хімічна мікронеоднорідність, яка утворюється під час кристалізації зливка, при гарячій деформації трансформується у волокнисту хімічну мікронеоднорідність, яка впливає на формування зеренної структури заготовки з вуглецевої сталі при подальшій деформаційно-термічній обробці.

### Література

1. Узлов И.Г. Формирование структурного состояния и комплекса свойств стального проката на различных стадиях его производства. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 2. – С. 39 – 42.
2. Колосов М.И., Строганов А.И., Смирнов Ю.Д. Качество слитка спокойной стали. – М.: *Металлургия*, 1973. – 408 с.
3. Шепель Г.Г., Буряк Т.Н., Ярошенко Н.В. Получение труб из непрерывнолитой заготовки высоколегированной стали. // *Сталь*. – 2010. – № 7. – С. 118 – 120.
4. Паршин В.М., Козачков Е.А., Корниенко А.И. Особенности литой структуры непрерывнолитых слитков крупного прямоугольного сечения. // *Известия вузов. Черн. металлургия*. – 1987. – № 11. – С. 43 – 47.
5. Левченко Г.В., Ершов С.В., Демина Е.Г. Трансформация дендритной структуры на всех этапах производства железнодорожных осей. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – № 2. – С. 74 – 76.
6. Дефекты стальных слитков и проката. Справ. / В.В. Правосудович, В.П. Сокуренок, В.Н. Данченко. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2006. – 382 с.
7. Левченко Г.В., Демина Е.Г., Воробей С.А. Оценка деформированного состояния металла по изменению параметров дендритной структуры. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 4. – С. 72 – 75.
8. Кондратюк С.Є. Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі. – Київ: *Наук. думка*, 2010. – С. 175.

Одержано 17.02.11

**Г. В. Левченко, Т. В. Грицай, Е. Е. Нефедьева**

### **Особенности формирования структуры трубных заготовок, изготовленных из слитка и непрерывнолитого металла**

#### **Резюме**

Рассмотрены особенности формирования структуры трубных заготовок, изготовленных из слитка и непрерывнолитого металла. Показано, что трубная заготовка из непрерывнолитого металла характеризуется более дисперсным строением дендритной и зеренной структуры по сравнению с заготовкой из слитка, и эта зависимость сохраняется после последующей деформационной и термической обработки.

**G. V. Levchenko, T. V. Gritsaj, E. E. Nefed'eva**

### **Features of structure formation of the tubular billets metal of the ingot and continuously casted metal**

#### **Summary**

The features of structure formation of the tubular billets manufactured of the ingot and continuously casted metal have been considered. It has been shown that the tubular billet of the continuously casted metal is characterised by more dispersed dendritic and grain structure in comparison with the billet made of the ingot. This regularity conserves after the subsequent deformation and heat treatment.