

Кристалізація і структура сталевих зливків за умов ендогенної вібраційної обробки

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор

В. М. Щеглов, кандидат технічних наук

В. І. Вейс

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Досліджено закономірності впливу ендогенної вібраційної обробки розплаву під час тверднення 16,3 т зливка сталі X18H10T на кінетичні показники його кристалізації і структуру. Показано суттєве підвищення якості зливка однорідності і дисперсності литої структури, зміни протяжності основних структурних зон по висоті і перерізу зливка, кількості і розподілу неметалевих включень. Встановлено підвищення показників ударної в'язкості на 25 – 30 % у прокаті, виготовленому з металу зливка підданого ендогенній вібраційній обробці.

Важливою і складною задачею при виробництві ковальських сталевих зливків є підвищення їх якості, структурної і хімічної однорідності для забезпечення зростаючих вимог до механічних та експлуатаційних характеристик виробів сучасного машинобудування. Для зменшення негативного впливу основних дефектів (А-подібна зональна, V-подібна осьова сегрегація, донний конус від'ємної ліквачії, скупчення неметалевих краплень) застосовують такі засоби зовнішнього впливу на розплав під час його кристалізації як електромагнітне перемішування, обробка ультразвуком, продувка інертним газом тощо.

Окрім вказаних технологічних впливів на метал під час кристалізації перспективним є метод вібраційної обробки [1]. Проте оброблення великих зливків за традиційною схемою зовнішньої віброобробки розплаву у виливниці є складною технологічною операцією, пов'язаною з великими енергетичними і фінансовими витратами. Найбільш перспективним для підвищення якості великих зливків може бути введення низькочастотних коливань безпосередньо у розплав зливка, що кристалізується, засобами ендогенної вібраційної обробки (ЕВО) [2].

Виходячи з цього досліджено закономірності процесів тверднення, формування структури і властивостей зливків сталі X18H10T масою 16,3 т за звичайних умов і при застосуванні ендогенної віброобробки, яку здійснювали за допомогою вібраційної пневматичної установки (рис. 1). Вібрація передавалась до розплаву за допомогою активатора, зануреного під надливною частиною зливка на глибину 30 – 50 мм. Параметри вібрації: частота коливань – 50 Гц, амплітуда коливань 1 – 3 мм, час обробки – 15 хв.



Рис. 1. Загальний вигляд установки для вібраційної ендогенної обробки розплаву.

Вивчення макро- та мікроструктури, фізико-механічних характеристик, хімічної та фізичної неоднорідностей, а також розподіл неметалевих включень здійснювали на металі трьох рівнів (верх, середина та низ).

Дослідження макроструктури зливоків сталі (контрольного та після вібраційної обробки) показали суттєве зменшення V-подібної неоднорідності, підвищення щільності металу на ділянках біля надливної частини зливка, зниження глибини порожнини усадки і покращення її конфігурації (рис. 2) в разі застосування ЕВО.

Встановлено також наявність п'яти макроструктурних зон, характерних для великих зливоків [3], які формувались внаслідок різної інтенсивності тепло відбору в об'ємі розплаву по мірі віддалення від стінок

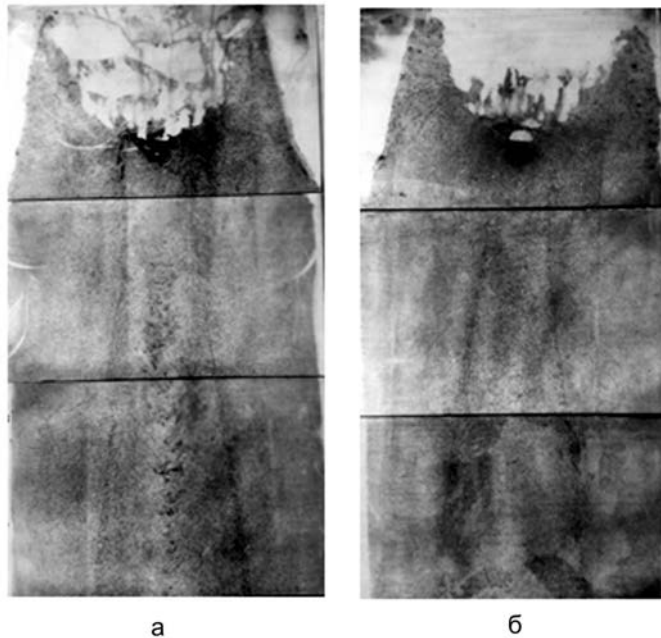


Рис. 2. Сірчані відбитки контрольного (а) та віброобробленого 16,3 т зливоків сталі 08X18N10T.

виливниці. Так в радіальному напрямі від поверхні зливка на всіх трьох рівнях спостерігаються такі зони різної протяжності: I – зона дрібних рівноосних кристалів (коркова зона), II – зона транскристалізації із стовпчастих кристалів, III – перехідна, IV – зона розорієнтованого росту кристалів, V – зона великих глобулярних кристалів у центральній частині зливка (таблиця).

Протяжність коркової та зони стовпчастих кристалів зливоків, що кристалізувались за звичайних умов (контрольний зливков) та за умов

Плавлення і кристалізація

Протяжність структурних зон 16,3т. контрольного (К) та віброобробленого (В) зливоків сталі 08Х18Н10Т по трьом горизонталам, мм

Структурні зони	Верх		Середина		Низ	
	К	В	К	В	К	В
I. Коркова	2	2	3	3	3	4
II. Стівбчата	42	45	40	43	20	20
III. Перехідна	25	110	30	120	41	20
IV. Розорієтована	403	388	187	239	152	301
V. Глобулярна	128	55	280	145	264	135

вібраційної обробки відрізняється незначно. Основні відмінності щодо протяжності макроструктурних зон зливоків спостерігаються в зонах III, IV і V. За умов ендогенної вібраційної обробки розплаву під час кристалізації зливка відзначимо збільшення протяжності перехідної зони (III) і зони розорієтованих кристалів (IV) при відповідному скороченні центральної зони великих рівноосних кристалів (V). При розгляді змін макроструктурних зон по висоті зливка слід відзначити суттєве скорочення у 2 рази протяжності зони великих рівноосних кристалів, збільшення зон з перехідною структурою (III) і розорієтованих невеликих кристалів (IV) в разі застосування ендогенної віброобробки розплаву. При цьому закономірно

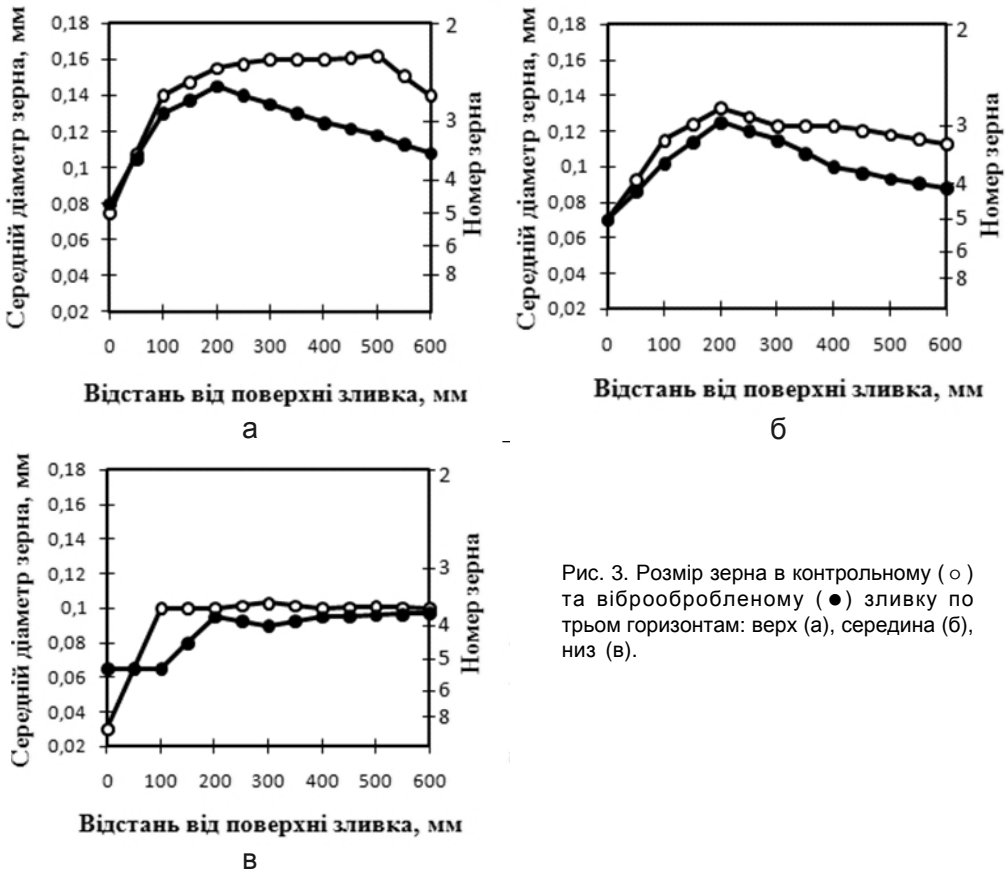


Рис. 3. Розмір зерна в контрольному (○) та віброобробленому (●) зливку по трьом горизонталам: верх (а), середина (б), низ (в).

Плавлення і кристалізація

зменшується середній розмір зерна (рис. 3 а, б) після ЕВО найбільш суттєво у верхній і середній частинах зливка.

Порівняльна оцінка забрудненості неметалевими включеннями (сульфідами, карбонітридами), які погіршують механічні властивості металу [4], підтвердила доцільність вібраційної обробки розплаву під час кристалізації зливка (рис. 4). Встановлено, що в зоні дрібних рівноосних кристалів (I) неметалевих включень порівняно небагато, в зоні стовпчастих кристалів (II) їх вміст зростає і максимальна їх кількість спостерігається на відстані 200 мм від поверхні зливка, що відповідає перехідній структурній зоні (III) та зоні розорієнтованих кристалів (IV). Встановлено, що ендогенне вібраційне оброблення зумовлює суттєве зменшення їх вмісту у структурі сталі та більш рівномірній їх розподіл в об'ємі зливка. При цьому вміст сульфідних включень порівняно з контрольним зливком зменшується у 1,2 – 1,5 разів, карбонітридів – 2 – 4 рази, загальна забрудненість по неметалевим включенням зменшилась в 1,3 – 1,9 разів.

Важливою характеристикою щодо оцінки якості нержавіючих сталей є також вміст в їх структурі δ-фериту, наявність якого знижує їх здатність

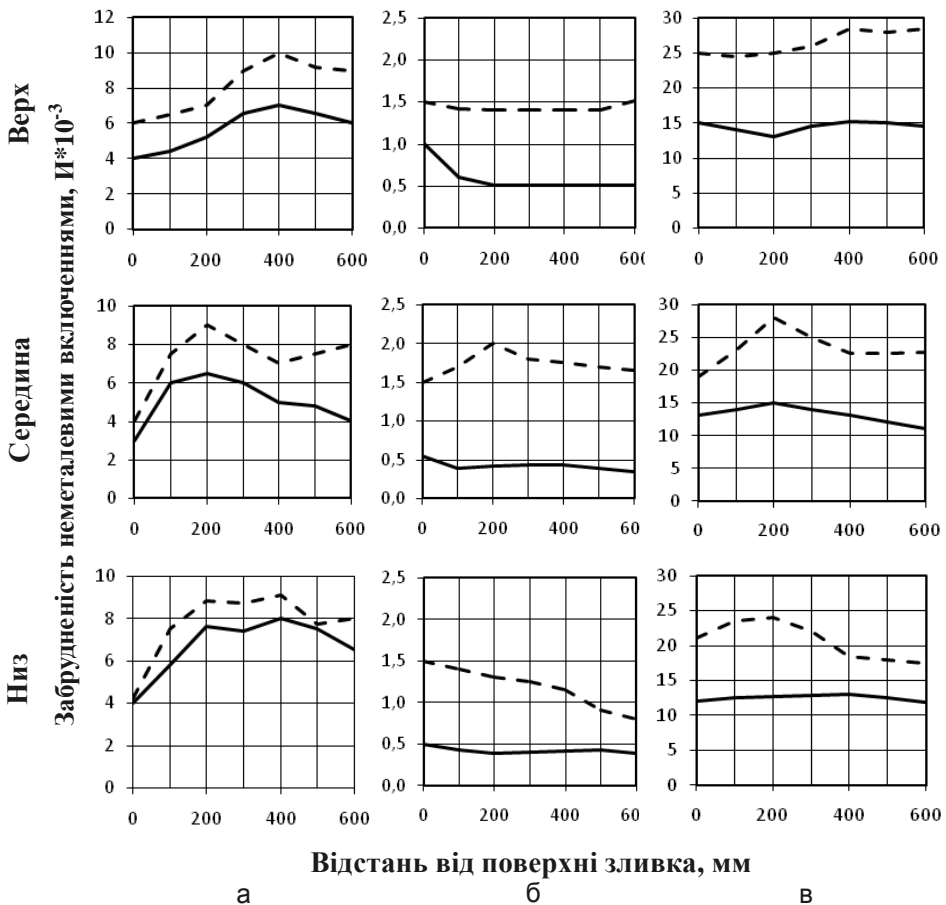
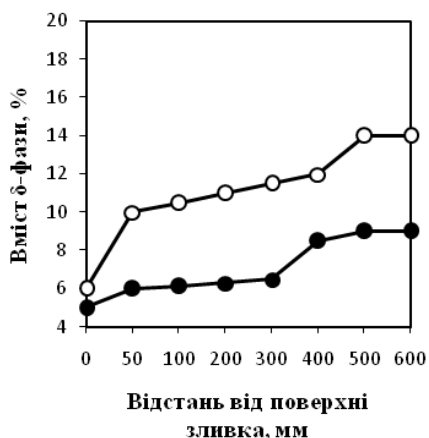


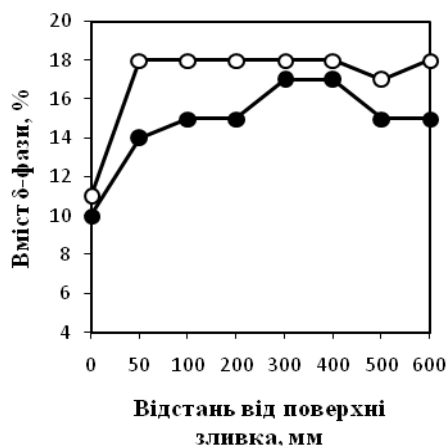
Рис. 4. Забрудненість неметалевими включеннями контрольного (пунктирна лінія) та віброобробленого (суцільна лінія) зливків: а – забруднення сульфідами, б – забруднення карбонітридами, в – забрудненість по всім видам включень.

Плавлення і кристалізація

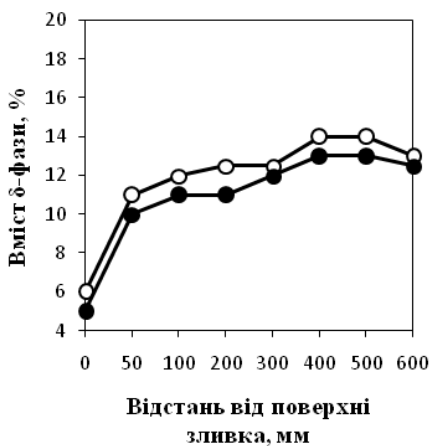
до пластичної деформації [5]. За рахунок в браційної обробки вміст δ -фериту у верхній частині зливку зменшується до 4 – 9 %, в середній частині – до 10 – 15 %, а в донній частині зливку зменшується на 10 – 12 % (рис. 5).



а



б



в

Рис. 5. Вміст δ -фази контролюному (○) та вібробробленому (●) зливку по трьом горизонтал: верх (а), середина (б), низ (в).

В результаті підвищення однорідності литої структури після ЕВО, зменшення кількості неметалевих включень та більш рівномірного їх розподілу, а також зменшення частки δ -фериту змінюється рівень фізико-механічних властивостей сталевих зливків і прокату виготовленого з нього. Так, випробування на ударну в'язкість зразків (рис. 6) з металу прокату з різних об'ємів по висоті зливків (контрольного і після ЕВО), що пройшли нормалізацію за температури 1100 °С протягом 1 години, показали суттєве підвищення її значень на 25 – 30 % для верхньої і середньої частини та на 40 % для металу донньої частини зливка.

Таким чином встановлено, що застосування ендогенної вібраційної обробки розплаву при твердненні сталевих ковальських зливків забезпечує суттєве подрібнення і підвищення однорідності їх структури, зменшення кількості і розміру неметалевих включень та рівномірний розподіл їх в об'ємі металу. Це зумовлює суттєве підвищення якості і властивостей виробів

Плавлення і кристалізація

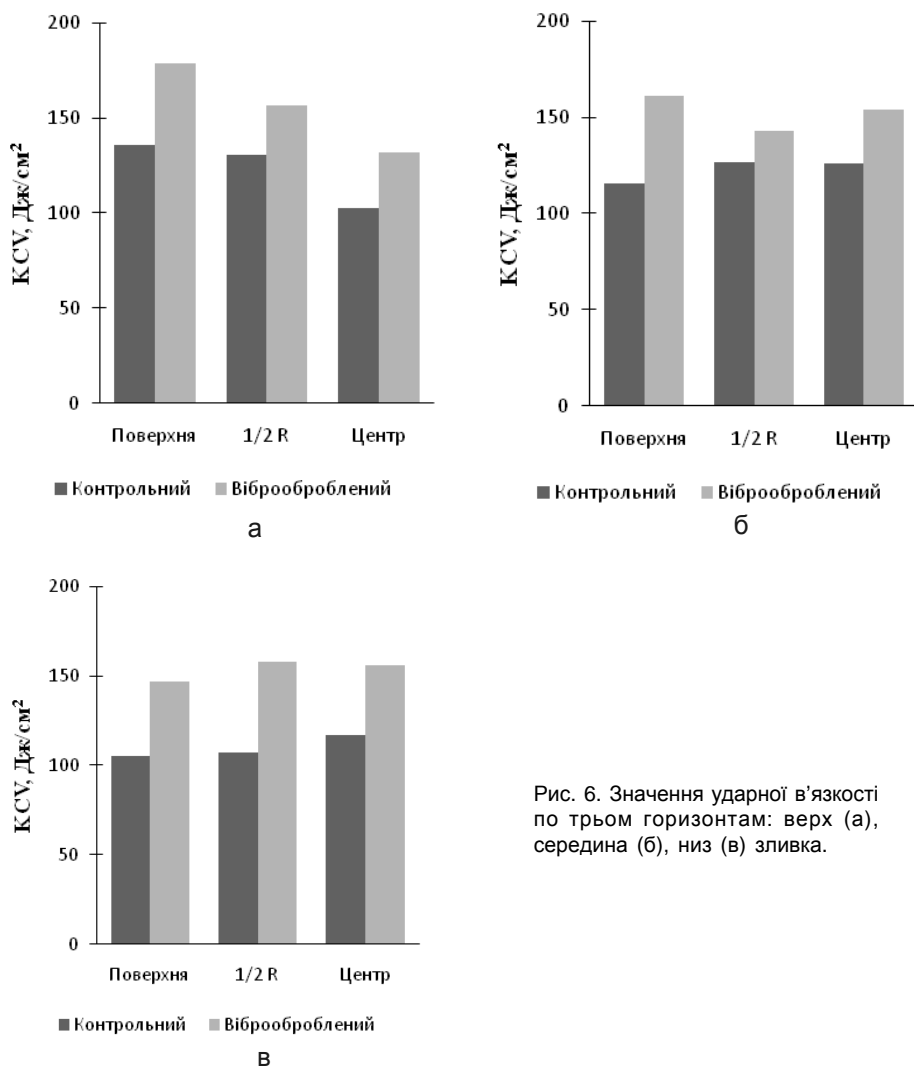


Рис. 6. Значення ударної в'язкості по трьом горизонтам: верх (а), середина (б), низ (в) зливка.

з них після гарячої деформаційної обробки. Виходячи з цього, застосування ендогенної вібраційної обробки є перспективним технологічним рішенням для підвищення якості великих ковальських зливок.

Література

1. Campbell J. Effects of vibration during solidification // International Metals Reviews. – 1981. – № 2. – P. 71 – 108.
2. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
3. Неймарк В.Е. Модифицированный стальной слиток – М.: Metallurgy, 1977. – 200 с.
4. Пилюшенко В.Л., Смирнов А.Н., Петтик Ю.В. и др. Влияние низкочастотной виброобработки на формирование и качество слитков // Сталь. – 1992. – №8. – С. 17 – 22.
5. Бородулин Г.М., Мошкевич Е.И. Нержавеющая сталь. – М.: Metallurgy, 1973. – 319 с.

References

1. Campbell J. (1981). Effects of vibration during solidification. *International Metals Review*, no 2, pp. 71 – 108 [in English].
2. Balandin G.F. (1979). Formirovanie kristallicheskogo stroeniya otlivok [Formation of the crystalline structure of castings]. M.: Mashinostroenie, 288 p. [in Russian].
3. Nejmark V.E. (1977). Modificirovannyj stalnoj slitok [Modified steel ingot]. – M.: Metallurgiya. – 200 p. [in Russian].
4. Pilyushenko V.L., Smirnov A.N., Pettik Yu.V. (1992). Vliyanie nizkochastotnoj vibroobrabotki na formirovanie i kachestvo slitkov [The influence of low-frequency vibration processing on the formation and quality of ingots]. *Stal*, no 8, pp.17-22 [in Russian].
5. Borodulin G.M., Moshkevich E.I. Nerzhavayushaya stal [Stainless steel]. – M.: Metallurgiya. – 319 p. [in Russian].

Одержано 04.06.18

С. Е. Кондратюк, В. М. Щеглов, В. И. Вейс

Кристаллизация и структура стальных слитков при условии эндогенной вибрационной обработки

Резюме

Исследовано влияние эндогенной вибрационной обработки затвердивающего расплава на кинетические показатели и характеристики структуры 16,3 т слитка стали X18H10T. Показано существенное улучшение качества слитка, однородности и дисперсности его литой структуры, изменение протяженности основных структурных зон по высоте и поперечному сечению слитка, распределения и количества неметаллических включений. Установлено повышение ударной вязкости на 25 – 30 % в прокате, изготовленном из металла слитка, повергнутого эндогенной вибрационной обработке при кристаллизации расплава.

S. Ye. Kondratyuk, V. M. Sheglov, V. I. Veis

Crystallization and structure of steel ingots under conditions of endogenous vibration treatment

Summary

The effect of endogenous vibration treatment on kinetic parameters and characteristics of structure of a solidifying melt was studied on 16,3 t ingot of steel grade X18H10T. Significant improvement in the quality of the ingot, homogeneity and dispersion of its cast structure, change in the extent of the main structural zones along the height and cross section of the ingot, the distribution and the number of nonmetallic inclusions are shown. An increase in impact strength by 25 – 30 % in rolled steel made from the ingot metal, which was subjected to endogenous vibration treatment during crystallization of the melt, was established.