

Прояви ліквіації у зв'язку з умовами кристалізації сталей

І. М. Стась

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

На прикладі сталі 45Л досліджено вплив інтенсивності охолодження при кристалізації на процеси ліквіації та литу структуру виливків. Встановлено закономірність змін ліквіаційних характеристик литого металу залежно від умов тепловідбору та показано їх взаємозв'язок з формуванням макроструктурних зон виливків.

Вимоги до якості виливків, що застосовуються в різних областях техніки, таких, як суднобудування, автомобільна промисловість, енергетичне машинобудування визначають необхідність забезпечення однорідного хімічного складу та рівномірного розподілу властивостей по всьому перерізу сталевого виливка. Особливостями реальних сталей є те, що вони завжди в більшій чи меншій мірі забруднені домішками, які знижують температуру плавлення. Відповідно до діаграми стану Fe – C з розплаву спочатку випадають кристали, збіднені другим компонентом та домішковими елементами. Зі збільшенням кількості твердої фази рідка фаза, яка залишилась, все більше збагачується іншими елементами. Через обмежену дифузію в твердій фазі її склад не встигає вирівнюватися в усьому об'ємі та відстає за середньою концентрацією від рівноважного значення. Нерівноважність солідусу при цьому в процесі кристалізації постійно зростає. При цьому виникає концентраційне переохолодження розплаву [1], ступінь якого визначає тип кристалічної структури, величину зерна і, в кінцевому результаті, – фізико-механічні властивості металовиробів. З аналізу коефіцієнта розподілу хімічних елементів у сталях (K) та коефіцієнта $(1 - K)$ [2] найбільшу схильність до ліквіації серед домішок в сталі мають сірка, кисень, фосфор, вуглець і, в меншій мірі, марганець та кремній. Одним із методів впливу на розвиток ліквіаційних явищ є швидкість кристалізації сталевих розплавів. Так, в роботах [1, 3 – 8] вказується на те, що температурно-часові умови кристалізації сталей суттєво впливають на проходження ліквіаційних процесів у зв'язку з різною розчинністю хімічних елементів у розплаві і твердому металі. Після тверднення в литому металі розрізняють мікроліквіацію – ліквіацію в об'ємі дендритів чи інших структурних складових та макроліквіацію – ліквіацію в об'ємі виливка [9]. Неоднорідність хімічного складу і, внаслідок цього, литої структури викликає зниження механічних властивостей литого металу та неоднорідність їх розподілу в різних частинах виливків [1, 7]. Тому підвищення хімічної та структурної однорідності виливків є однією з актуальних проблем ливарного металознавства.

Виходячи з цього, на прикладі сталі 45Л досліджено вплив різної інтенсивності тепловідбору на характеристики ліквіації та литу структуру виливків. При проведенні експериментів у прямокутних виливках (115x130x200 мм) створювали умови переважаючого одностороннього тепловідбору у ливарних формах з різною тепловідбірною здатністю від торця виливків із застосуванням мідного водоохолоджуваного кристалізатора або плоскої піщаної стрижневої вставки.

Плавлення і кристалізація

Використання ливарних форм з різною тепловідбіркою здатністю забезпечувало охолодження торця виливків з різною інтенсивністю (повільне і швидкісне). Якісно ліквация домішок (сірки, фосфору) визначалась за сірчаними відбитками за методом Баумана. Кількісно – на основі хімічного аналізу стружки металу (сірка, фосфор, вуглець) та за допомогою електронного зонду (марганець, кремній).

Оцінку проявів ліквации здійснювали за допомогою скануючого електронного мікроскопу JSM-840 (фірми JEOL), обладнаного платою сканування MicroCapture з наступною реєстрацією зображень на екрані комп'ютера у цифровому вигляді. Для математичної комп'ютерної обробки результатів дослідження структурних ділянок і визначення чисельних характеристик розподілу легуючих елементів побудовою карт із мінімальним, середнім і максимальним вмістом елемента в литій структурі сталі використовували програму аналізу зображень Image-Pro Plus 4.5.

Відомо [10], що з підвищенням швидкості та температурного градієнта на фронті тверднення звужується зона концентраційного переохолодження і зменшується дендритна і, особливо, зональна ліквация виливків. Утворення зональної ліквации не може визначатися лише дифузійними процесами, оскільки швидкість дифузії, наприклад, вуглецю в γ -залізі (розплав) складає лише $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ [11]. В цьому випадку головним чинником, що визначає масоперенесення ліквуючих домішок та утворення певних зон ліквации, є перенос домішок за рахунок різних типів конвекції.

Встановлено, що при кристалізації досліджуваних горизонтальних виливків інтенсивний торцевий тепловідбір призводить до переміщення осьових ліквацийних смуг в глибинні об'єми виливків та до зниження в них вмісту ліквуючих домішок (вуглецю, сірки, фосфору). Також показано, що дендритна структура центральних зон виливків в значній мірі складається з глобулярних дендритів, а поверхневі зони виливків, незалежно від інтенсивності торцевого тепловідбору, представлені довгоосними дендритами. Це пов'язано з різною інтенсивністю тепловідбору з віддаленням від охолоджуваного торця.

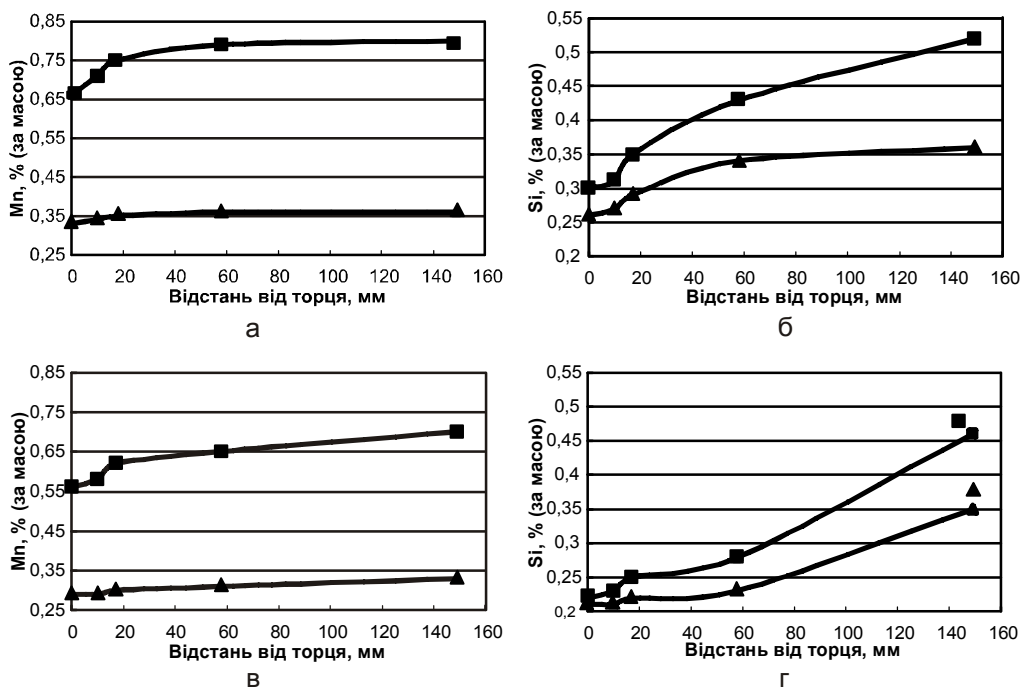


Рис. 1. Зміна вмісту марганцю (а, в) та кремнію (б, г) в осях дендритів (▲) та міждендритних ділянках (■) по перерізу виливка сталі 45Л. а, б – повільне охолодження, в, г – швидкісне охолодження.

Плавлення і кристалізація

Встановлено, що за умов повільного охолодження розплаву при кристалізації в піщано-глинистій формі спостерігається більш значний градієнт концентрацій марганцю і кремнію в осях дендритів і міждендритних ділянках литого металу порівняно з металом швидкісного охолодження (рис. 1). Так, вміст марганцю в осях дендритів при нормальному охолодженні змінюється від поверхні до центральної зони виливка від 0,33 % до 0,36 % (за масою), а при швидкісному – від 0,29 % до 0,33 %, відповідно. В міждендритних ділянках вміст марганцю закономірно зростає за глибиною виливків більш суттєво для умов повільного охолодження і змінюється від 0,66 % до 0,80 % (повільне охолодження) та від 0,56 до 0,70 % (швидкісне охолодження).

Подібним чином змінюється також і вміст кремнію залежно від умов тепловідбору при кристалізації (рис. 1).

Також закономірно змінюється і співвідношення площ у структурі сталі з мінімальним, середнім та максимальним вмістом домішок залежно від швидкості охолодження розплаву (рис. 2). Таку кількісну оцінку ліквідації елементів (марганцю і кремнію) у структурі сталі залежно від умов кристалізації здійснювали за допомогою карт розподілу цих елементів з визначенням мінімального, середнього та максимального їх вмісту в структурі сталі. Визначали частку площі у відсотках, що відповідає певному діапазону вмісту кожного елемента.

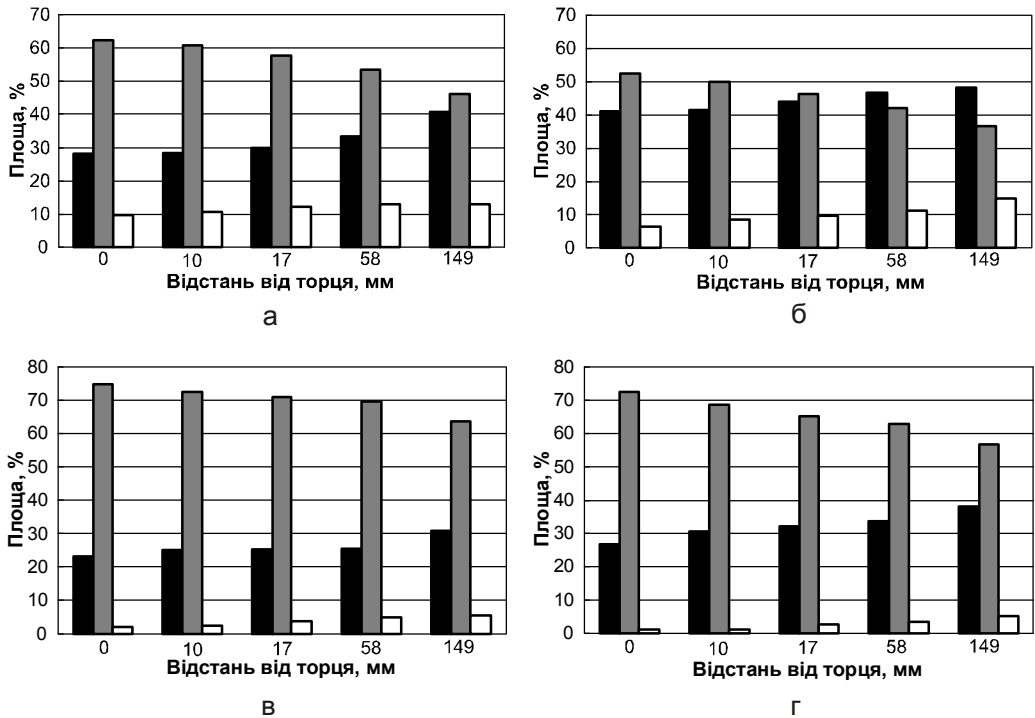


Рис. 2. Співвідношення площ у структурі сталі 45Л з мінімальним ■, середнім ▒ та максимальним □ вмістом марганцю (а, в) та кремнію (б, г) за умов кристалізації з повільним (а, б) і швидкісним (в, г) тепловідбором.

Аналіз отриманих даних показав, що у структурі швидкоохолодженої сталі ділянки з середнім вмістом марганцю і кремнію займають значно більшу площу за всім перерізом виливків порівняно із структурою сталі повільного охолодження. Так, для сталі повільного охолодження, площа областей із середнім вмістом марганцю змінюється за глибиною виливка в межах 62 – 46 %, а кремнію – в межах 53 – 37 % (рис. 2 а, б). Для швидкоохолодженої структури – в межах 75 – 64 % (Mn) і 72 –

57 % (Si). По мірі відділення від торця виливків для обох досліджуваних режимів тепловідбору закономірно зменшується площа з середнім вмістом марганцю і кремнію, більш суттєво при литті в піщано-глинисту форму. При цьому зростає частка площі з максимальним та мінімальним вмістом цих елементів. За умов швидкісного охолодження при кристалізації зменшення площі із середнім вмістом марганцю та кремнію незначне, що свідчить про суттєве зменшення проявів ліквациї і формування більш однорідної литої структури.

Таким чином, дослідженнями встановлено, що підвищення інтенсивності тепловідбору і швидкості кристалізації металевих розплавів є одним з ефективних методів зменшення ліквацийних явищ та покращення якості виливків, в тому числі фізико-механічних характеристик литого металу.

Література

1. Голиков И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. – М.: Металлургия, 1977. – 218 с.
2. Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. Виробництво виливків із спеціальних сталей. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2005. – 712 с.
3. Бочвар А.А. Металловедение. – М.: Металлургиздат, 1956. – 495 с.
4. Хворинов Н.И. Кристаллизация и неоднородность стали. – М.: Машгиз, 1968. – 391с.
5. Мовчан Б.А. Микроскопическая неоднородность в литых сплавах. – Киев: Гостехиздат УССР, 1962. – 340 с.
6. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 416 с.
7. Новиков И.И., Золотаревский В.С. Дендритная ликвация в сплавах. – М.: Наука, 1966. – 158 с.
8. Штреммель М.А., Лизунов В.И. Диффузионная релаксация напряжений при полиморфном превращении. // ФММ. – 1967. – № 3. – С. 18 – 32.
9. Жуков А.А., Ильинский В.А., Костылева Л.В. О содержании марганца и кремния в нелегированной и низколегированной стали // МТГОМ. – 2003. – № 12. – С. 63 - 69.
10. Чалмерс Б. Теория затвердевания. – М.: Металлургия, 1968. – 288 с.
11. Галь В. В., Борисов В. Т. Анализ закономерностей поверхностной диффузии. // ФММ. – 1971. – 31, № 5. – С. 973 – 981.

Одержано 24.07.12

И. М. Стась

Проявления ликвации в связи с условиями кристаллизации сталей

Резюме

На примере стали 45Л исследовано влияние интенсивности охлаждения при кристаллизации на процессы ликвации и литую структуру отливок. Установлено закономерное изменение ликвационных характеристик литого металла в зависимости от условий теплоотвода и показана их взаимосвязь с формированием макроструктурных зон в отливках.

I. M. Stas

Displays of segregation in connection with crystallization conditions of steels

Summary

On the example of 45L steel the influence of cooling intensity during crystallization on the processes of segregation and cast structure of castings were investigated. The regular changes of the segregation characteristics of the cast metal in according to hit sink conditions were established and their interconnection with macrostructure zones formation in the castings is shown.