

Підвищення якості безперервнолитих заготовок низьковуглецевих перитектичних сталей

Т. В. Горяїнова

Донецький електрометалургійний завод, Донецьк

Досліджено вплив умов тепловідбору в зоні вторинного охолодження на дефектність слябів з низьковуглецевих сталей перитектичного класу. Запропонований режим «м'якого» охолодження забезпечує на 37 % скорочення браку при виробництві слябів перерізом 220-250x1500-1800 мм зі сталей з вмістом вуглецю 0,08 – 0,15 %.

Підвищення ефективності процесів безперервної розливки сталей пов'язано із необхідністю забезпечення оптимальних технологічних режимів при виготовленні заготовок (слябів) заданого перерізу з різних марок сталей [1 – 4]. При цьому суттєвого значення набувають температурно-часові умови кристалізації, які визначають якість і рівень властивостей слябів.

Насьогодні продукція машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) з перитектичних сталей із вмістом вуглецю в межах 0,10 – 0,15 % С широко використовується для виготовлення відповідальних виробів. Проте при кристалізації таких сталей утворюється значна кількість поверхневих і внутрішніх дефектів, зумовлених специфікою багатозафазної перитектичної кристалізації і термодинамічними параметрами тверднення розплаву. В зв'язку з цим розробка технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості безперервнолитих заготовок із низьковуглецевих сталей перитектичного класу є актуальною.

Порівняльний аналіз дефектності слябів (220-250x1500-1800 мм) з низьковуглецевих перитектичних, середньовуглецевих і високовуглецевих сталей проведений нами на Алчевському металургійному комбінаті на 5000 темплетах показав, що перитектичні сталі найбільш схильні до утворення повздовжніх і поперечних тріщин відповідно до 50 і 55 % (табл. 1). Кутові тріщини в таких сталях складають 60% загальної дефектності слябів, ужимини – до 70 %. Внутрішні тріщини розташовані в основному на глибині 20 – 40 мм, а у ряді випадків досягають центра сляба. Досить інтенсивне охолодження розплаву у кристалізаторі і зонах вторинного охолодження зумовлює значне переохолодження крайових ділянок сляба, що і призводить до утворення в ньому чисельних поверхневих і внутрішніх дефектів. Для їх усунення слід зберігати відповідність температурно-часових умов перитектичної реакції і об'ємних змін у слябі з його реальними умовами кристалізації і структуроутворення [3 – 5]. Тому менш інтенсивне (м'яке) вторинне охолодження є одним з основних факторів одержання якісних безперервнолитих заготовок без формування в них значно переохолоджених зон і тріщиноподібних дефектів.

Оскільки утворення тріщиноподібних дефектів і розвиток ліквідаційних процесів визначається інтенсивністю охолодження розплаву по всьому перерізу сляба і

Таблиця 1

Дефектність слябів різних груп сталей

Групи сталей	Поздовжні тріщини, %	Кутові тріщини, %	Поперечні тріщини, %	Ужимини, %
Низьковуглецеві 0,03 – 0,06 % С	5	10	10	10
Перитектичні 0,08 – 0,15 % С	55	60	50	70
Середньовуглецеві 0,16 – 0,24 % С	25	20	30	10
Високовуглецеві більше 0,24 % С	15	10	10	10

величиною температурного градієнту на фронті тверднення сталі [6], попередньо проведено математичне моделювання процесу кристалізації сляба з використанням моделей DYNAS і SPEEDTAB виробничої системи програмного забезпечення ПАО «АМК». При цьому визначали: зміну температури металу на поверхні і в центрі сляба; параметри кінетики тверднення сляба – ширину і глибину рідкої лунки; розташування температур ліквідус (1523 °С) і солідус (1352 °С); протяжність двофазної зони, кількість рідкої і твердої фаз; витрати води в зонах охолодження сляба. Вказані параметри визначали для трьох температурних режимів охолодження сталі перитектичної групи в слябах перерізом 220x1500 мм при швидкості витягування 1,3 м/хв. Оцінювали існуючий режим охолодження сляба ($V_{ст}$) із 100 % витратою води і два експериментальних – (V_{min} і V_{max}), за яких зменшували або збільшували витрати води на 25 % відповідно.

Встановлено, що за мінімального охолодження сляба температура його поверхні підвищується на 5 – 10 °С, а при підвищенні інтенсивності охолодження – знижується на 5 – 10 °С (рис. 1). Температура центральної зони сляба при м'якому охолодженні підвищується на 30 – 40 °С, що пов'язано, вірогідно, з активним виділенням тепла кристалізації на заключній стадії тверднення сталі. Розташування двофазної зони (рис. 2) у слябі при інтенсивному охолодженні зміщується вверх по ручаю на 0,5 м порівняно із стандартним режимом і вниз – при мінімальному тепловідборі.

З врахуванням результатів математичного моделювання було проведено промислові експерименти в умовах ПАО «АМК» щодо впливу зміни умов тепловідбору в зонах вторинного охолодження на якість слябів із сталі 1Р12 (0,10 – 0,13 % С; 0,40 – 0,60 % Мп; до 0,03 % Si; до 0,015 % S; 0,008 – 0,020 % Р). Виплавку сталі здійснювали в 300-т конверторі з наступною розливкою при температурі 1550 °С на слябовій машині з двома ручаями, радіусом згину 10 м і металургійною довжиною 32 м. Переріз сляба 220x1500 м.

Порівняльну оцінку якості слябів проводили за кількістю поверхневих і внутрішніх дефектів – тріщин, осьової несучільності, ліквацийними зонами і протяжністю структурних зон.

Встановлено, що максимальна кількість поверхневих дефектів спостерігається в слябах, що сформувались за умов найбільш інтенсивного охолодження (табл. 2). З них 45 % складала кутові тріщини, 30 % – поздовжні і 25 % – поперечні. Тобто при переході від стандартного режиму охолодження до більш інтенсивного протяжність поперечних тріщин зростає від 100 – 150 мм до 150 – 200 мм; поздовжніх від 40 – 50 мм до 50 – 70 мм і кутових від 10 – 15 мм до 15 – 20 мм при розкритті їх в середньому 1,5 – 2,5 мм.

Плавлення і кристалізація

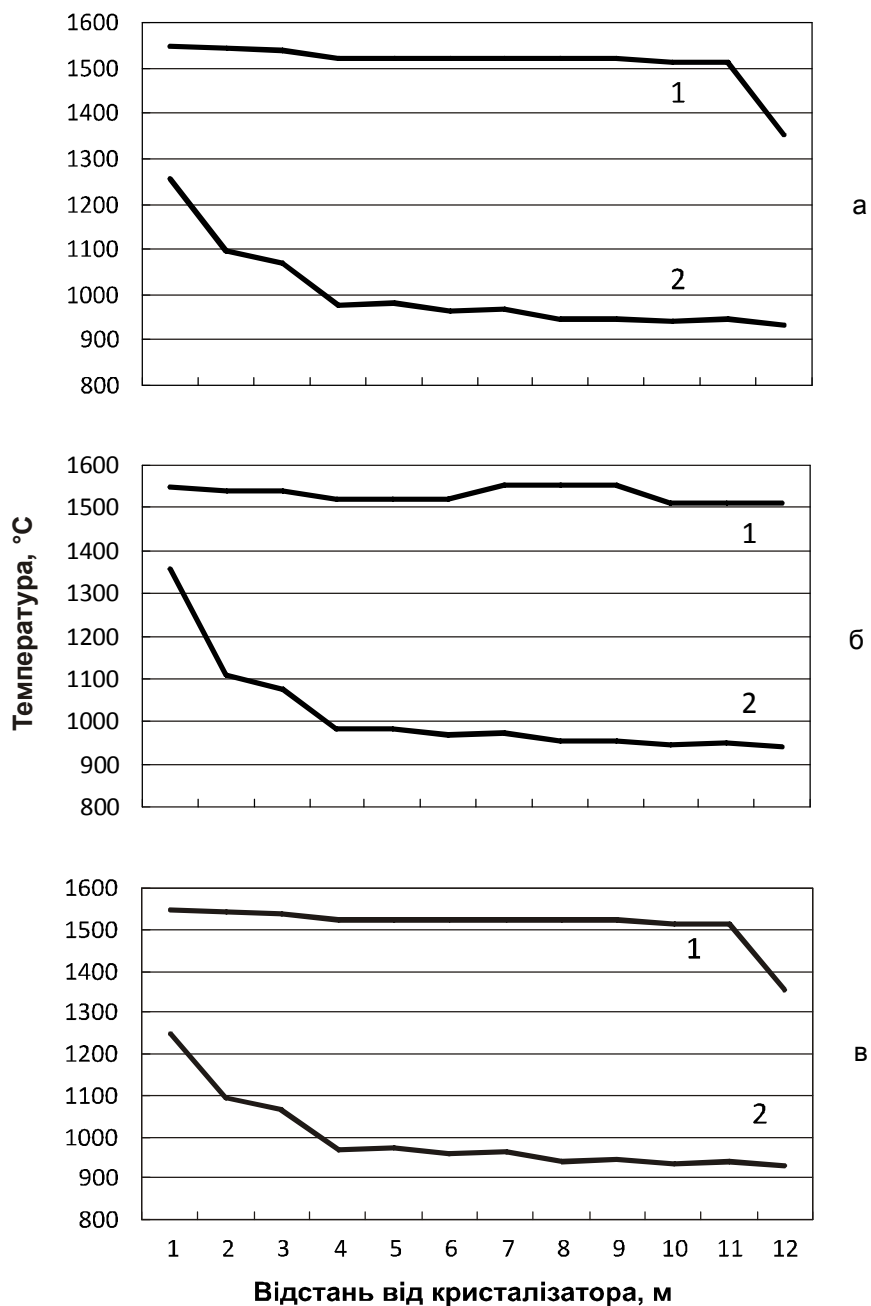


Рис. 1. Зміни температури центру (1) та поверхні (2) слябу в залежності від режимів його охолодження. а – стандартний режим ($V_{ст}$), б – мінімальний режим ($V_{мін}$), в – максимальний режим охолодження ($V_{мак}$).

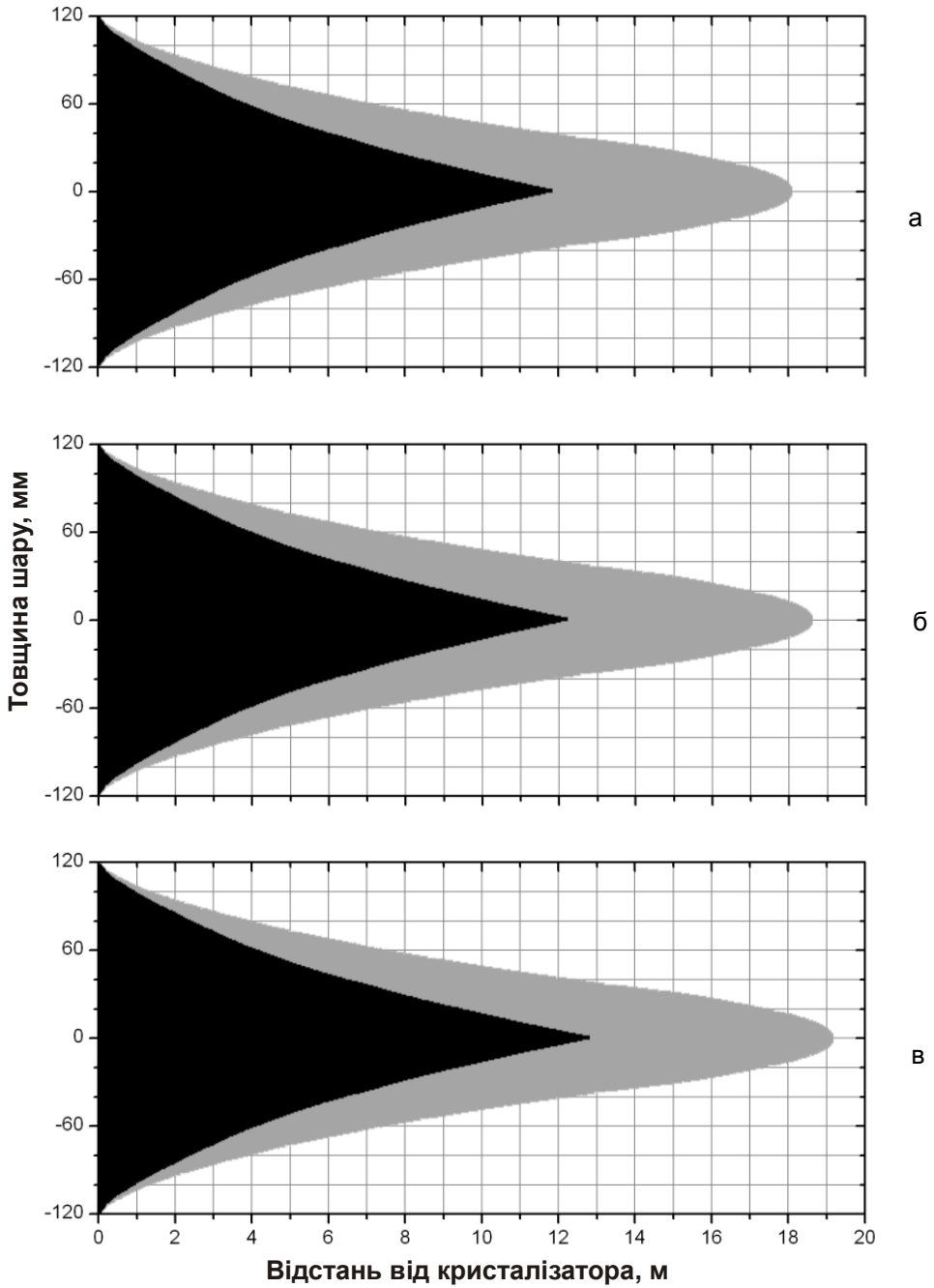


Рис. 2. Розподіл температур ліквідусу і солідусу у слябі за різних умов охолодження. ■ – рідка фаза, ■ – двофазна зона, □ – тверда фаза. а – V_{\min} , б – $V_{\text{ст}}$, в – V_{\max} .

Плавлення і кристалізація

Таблиця 2

Характеристики поверхневих та внутрішніх дефектів у слябах
в залежності від режимів охолодження

Режим охолодження	Тип дефекта	Характеристика дефекта, мм		
		Глибина	Протяжність	Розкриття
Стандартний $V_{ст}$	Поздовжні тріщини	$\frac{1,5 - 2,0}{}$	$\frac{40 - 50}{}$	$\frac{1,0 - 1,5}{}$
	Тріщини до вузької грані	$\frac{20 - 30}{}$	$\frac{15 - 20}{}$	$\frac{1,0 - 1,5}{}$
	Поперечні тріщини	$\frac{1,0 - 1,5}{45 - 50}$	$\frac{100 - 150}{10 - 15}$	$\frac{2,0 - 2,5}{0,5 - 1,0}$
	Кутові тріщини	$\frac{1,0 - 1,5}{10 - 12}$	$\frac{10 - 15}{5 - 10}$	$\frac{1,0 - 1,5}{1,5 - 2,0}$
Максимальний V_{max}	Поздовжні тріщини	$\frac{2,0 - 2,5}{}$	$\frac{50 - 70}{}$	$\frac{1,5 - 2,0}{}$
	Тріщини до вузької грані	$\frac{15 - 20}{}$	$\frac{20 - 25}{}$	$\frac{1,0 - 2,0}{}$
	Поперечні тріщини	$\frac{1,5 - 2,0}{40 - 45}$	$\frac{150 - 200}{25 - 30}$	$\frac{2,0 - 2,5}{2,0 - 2,5}$
	Кутові тріщини	$\frac{1,5 - 2,0}{10 - 12}$	$\frac{15 - 20}{5 - 10}$	$\frac{1,5 - 2,0}{1,5 - 2,0}$
Мінімальний V_{min}	Поздовжні тріщини	$\frac{-}{}$	$\frac{-}{}$	$\frac{-}{}$
	Тріщини до вузької грані	$\frac{30 - 35}{}$	$\frac{0,5}{}$	$\frac{0,2}{}$
	Поперечні тріщини	$\frac{2,0}{55 - 60}$	$\frac{-}{5}$	$\frac{0,5}{0,1}$
	Кутові тріщини	$\frac{-}{0}$	$\frac{-}{0}$	$\frac{-}{0}$
Примітка: чисельник – поверхневі дефекти; знаменник – внутрішні дефекти; наведені середні значення за вимірами 8 темплетів				

При мінімальному ж режимі охолодження поверхневі тріщини практично відсутні. Спостерігаються лише сліди качання глибиною до 0,2 мм з розкриттям до 0,5 мм у невеликій кількості.

Характеризуючи внутрішні дефекти слябів (табл. 2) відзначимо, що із підвищенням інтенсивності їх охолодження розташування всіх видів тріщин переміщується ближче до поверхні. Так, при мінімальному охолодженні поперечні тріщини розташовані на відстані 55 – 60 мм від поверхні заготовки, при стандартному

Плавлення і кристалізація

– на відстані 45 – 50 мм і максимальному 40 – 45 мм. Тріщини біля вузької грані розташовуються відповідно на відстані 30 – 35 мм, 20 – 30 мм і 15 – 20 мм. Кутові тріщини при м'якому (V_{\min}) режимі охолодження відсутні, за інших режимів ці дефекти розташовуються на глибині 10 – 12 мм. При м'якому режимі охолодження сляба також відсутні повздовжні і поперечні тріщини. Застосування більш інтенсивних режимів у зоні вторинного охолодження супроводжується збільшенням протяжності і глибини розташування тріщин.

Контроль якості слябів здійснювали також за сірчаними відбитками (метод Баума) згідно ДСТУ 4061-2002 з використання розробленої нами і впровадженої на ПАО «АМК» шкали оцінки дефектів в слябах безперервної розливки. Шкала дозволяє оцінити по мірі зростання за п'ятибальною системою (0, 1, 2, 3, 4) осьову сегрегацію, точкові вклучення, поперечні тріщини, тріщини до вузької грані і кутові тріщини.

Встановлено (табл. 3), осьова сегрегація за умов м'якого охолодження (V_{\min}) відповідає першому балу, а для більш інтенсивного охолодження – другому і третьому. Інші види дефектів при використанні режиму м'якого охолодження в слябах відсутні.

Таблиця 3
Дефекти слябів в залежності від умов охолодження

Вид дефекта (бал)	Режими охолодження		
	V_{\min}	$V_{\text{ст}}$	V_{\max}
Осьова сегрегація	1	2	2
Точкові	0	2	3
Поперечні тріщини	0	3	4
Тріщини до вузької грані	0	2	3
Кутові тріщини	0	2	4
Примітка: оцінення проведено згідно шкали сірчаних відбитків у балах; наведені середні значення за результатами дослідження 5 темплетів			

Із зростанням інтенсивності охолодження кількість дефектів і їх розміри збільшуються. Так, точкові вклучення при стандартному і інтенсивному режимах охолодження оцінюються другим і третім балами відповідно, поперечні тріщини – третім і четвертим, тріщини до вузької грані – другим і третім, кутові тріщини – другим і четвертим балами.

Відзначимо також, що дефекти в осьовій зоні слябів – тріщини у вигляді лікватційних смуг при підвищенні інтенсивності охолодження займають по площі більш протяжну зону. При цьому ширина тріщин змінюється від 8 до 11 мм, а довжина зростає від 20 до 35 мм.

Деформаційні тріщини у вигляді лікватів, розташованих у міждендритних ділянках на глибині 20 – 25 мм перпендикулярно до широких граней сляба оцінювали за шкалою сірчаних відбитків 1, 2 і 3 балами відповідно підвищенню інтенсивності охолодження сталі. При мінімальному охолодженні довжина тріщин дорівнювала 10 мм, за інших умов – 15,0 – 15,5 мм. Кількість тріщин на 100 мм довжини заготовки при підвищенні інтенсивності її охолодження збільшується від 3 до 5 із відповідним зростанням величини їх розкриття від 0,5 до 1,0 мм.

Таким чином за результатами проведених досліджень встановлено, що основним фактором, що визначає якість слябів з перитектичних низьковуглецевих сталей ($C \leq 0,15\%$) є інтенсивність тепловідбору в зонах вторинного охолодження машини

безперервного лиття. Запропонований режим м'якого охолодження слябів забезпечує більш рівноважний стан сталі, зменшує рівень напружень, кількість ліквідаційних дефектів, знижує схильність сталі до тріщиноутворення. Впровадження нового режиму в зоні вторинного охолодження слябів в умовах ПАО «АМК» дозволило знизити їх дефектність на 37 %.

Література

1. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552с.
2. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. – М.: Мир, 1967. – 155 с.
3. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы. – Донецк: Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
4. Тарасевич Н.И., Мельник С.Г., Якобше Р.Я. Технология производства конвертерной стали с полиреагентным рафинированием. – Киев: Информлитъе, 2010. – 350 с.
5. Назаренко Н.В. Підвищення якості безперервнолитих заготовок за рахунок вдосконалення температурно-швидкісного режиму розливки за умов вторинного охолодження. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Приазовський ДТУ. Маріуполь, 2010. – 20 с.
6. Казачков Е.А. Затвердевание, структура и свойства слитка // Итоги науки и техники. Производство чугуна и стали. – М.: ВИНТИ, 1975. – Вып. 7. – С. 113 – 195.

Одержано 14.03.12

Т. В. Горяинова

Повышение качества непрерывнолитых заготовок низкоуглеродистых перитектических сталей

Резюме

Исследовано влияние теплоотвода в зоне вторичного охлаждения на дефектность слябов из низкоуглеродистых сталей перитектического класса. Предложен режим «мягкого» охлаждения, обеспечивающий снижение на 37 % брака при производстве слябов сечением 220-250x1500-1800 мм из сталей с содержанием углерода 0,08 – 0,15 %.

T. V. Goriainova

Increase in quality of continuously cast billet of low-carbon peritectic steel

Summary

The influence of heat removal in secondary cooling circle to the defects of slabs of low-carbon peritectic steel is investigated. Regime of “soft” cooling that allow to reduce defects on 37 % at slab production with dimensions 220-250x1500-1800 mm of steels with 0,08 – 0,15 % C is suggested.