

УДК 669–147:621.77

Канд. техн. наук В. М. Полещук¹, канд. техн. наук В. Л. Бровкин², Т. О. Витер²¹ Ассоциация научных организаций горно-металлургического комплекса Украины, ² Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕПРЕРЫВНОЛИТОМ СЛИТКЕ С ЖИДКОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

Работа направлена на повышение производительности машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и исследования термических напряжений, возникающих в непрерывнолитом слитке прямоугольного сечения. Для повышения производительности МНЛЗ предлагается использовать принцип локального обжата слитка с жидкой сердцевиной перед порезкой. Расчет термических напряжений в твердой оболочке непрерывнолитого слитка с жидкой сердцевиной проводился на основе известных решений задач термоупругости. Полученные результаты могут быть использованы на практике для улучшения существующих МНЛЗ.

Ключевые слова: термические напряжения, непрерывная разливка, производительность, локальное обжатие.

Введение

В связи с увеличением скорости разливки, расширением марочного состава и возрастающих требований к качеству металла вопросы, связанные с изучением природы возникновения трещин в непрерывнолитых слитках, принимают большое значение. В большинстве случаев непрерывнолитой металл не является конечной продукцией, – он поступает на прокатные станы, где из него получают сортовой металл, трубы, рельсы и т. д. Рациональная технология, очевидно, должна обеспечивать сочетание процессов литья и обработки давлением, в первую очередь, для получения продукции высокого качества при низких затратах энергии и небольших потерях металла.

Современные прокатные станы обеспечивают процесс прокатки с минимальной скоростью 5–10 м/мин, тогда как скорость разливки на МНЛЗ при сечениях от 100×100 мм до 150×150 мм не превышает 6 м/мин [1]. С этим связаны сложности в совмещении процессов разливки и прокатки сортового металла. Повысить скорость разливки на действующих машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) пока не представляется возможным, так как при порезке это может привести к вытеканию жидкой сердцевины слитка.

Одним из способов повышения производительности МНЛЗ является принцип локального обжата слитка перед порезкой [2, 3]. Он позволяет отделить заготовку от непрерывнолитого слитка, что приведет к вытеснению жидкой сердцевины из зоны порезки и исключит ее вытекание. Согласно [4] метод локального обжата позволяет повысить теплосодержание непрерывнолитой заготовки на 20 %.

Локальную деформацию слитка производят до смыкания закристаллизовавшихся поверхностных слоев заготовки при содержании закристаллизовавшейся час-

ти поверхностных слоев более 50 % от общей площади сечения заготовки [5].

Проблема получения качественной непрерывнолитой заготовки, не пораженной трещинами и другими дефектами, несмотря на большой накопленный опыт, пока еще остается нерешенной. Одним из факторов, предопределяющих появление внутренних трещин, являются термонапряжения, возникающие по толщине слитка в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) [6]. В решении этой проблемы, наряду с экспериментальными работами, большое значение имеет математическое моделирование термонапряженного состояния непрерывнолитого слитка.

Постановка задачи

Задача решалась применительно к условиям непрерывной разливки сортовой заготовки одного из металлургических заводов Украины. Методика и результаты расчетов температурных режимов охлаждения непрерывнолитого слитка по длине МНЛЗ подробно рассмотрены в работах [4, 7, 8].

Термические напряжения в оболочке твердого слитка рассчитываются в одномерном приближении с учетом эффекта наращивания твердой корочки по методике [9, 10].

Исходные данные расчета:

- сталь 3;
- температура перегрева стали: 15 °С;
- размеры поперечного сечения слитка: 0,13×0,13 м;
- скорость вытягивания слитка: $V_p = 4,2; 6$ м/мин;
- зона охлаждения состоит из 8 участков:
- кристаллизатор 0,85 м;
- зона вторичного охлаждения (ЗВО) – 4 участка.

Длина каждого участка составляет, соответственно: 0,5 м; 2,65 м; 3,05 м; 3,5 м;

- зона охлаждения на открытом воздухе – 3 участка: участок выпрямления слитка 15 м, участок локального обжата 5 м, участок перед порезкой 5,5 м.

Удельный расход воды на ЗВО для охлаждения заготовок определен по заводским данным из условий эксплуатации существующей сортовой МНЛЗ: 1-й участок ЗВО: $34 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 2-й участок ЗВО: $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 3-й участок ЗВО: $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 4-й участок ЗВО: $2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

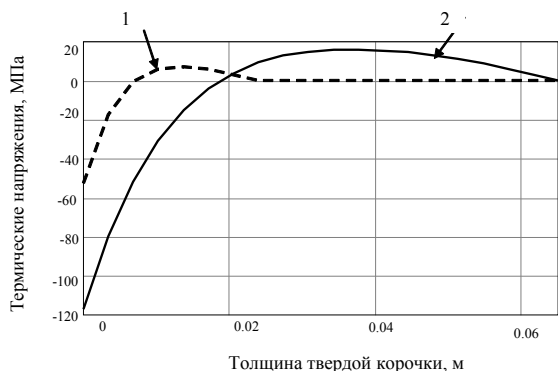


Рис. 1. Распределение термических напряжений при реальном распределении температур при скорости разливки 4,2 м/мин: 1 – распределение термических напряжений в слитке на выходе из ЗВО; 2 – распределение термических напряжений в слитке перед началом реза

На рисунке 2 представлены значения температурных напряжений по сечению слитка при скорости разливки 6 м/мин с применением локального обжата слитка.

Как видно из рисунка 2 толщина твердой корочки на выходе из зоны вторичного охлаждения (кривая 1) составляет 17 мм (время разливки 105 с) слиток имеет жидкую сердцевину, на поверхности слитка величина термических напряжений составляет 40 МПа. Перед началом реза (кривая 2) слиток имеет жидкую сердцевину, а толщина твердой корочки составляет 40 мм (время разливки 305 с). На поверхности слитка перед началом реза величина термических напряжений составляет 72 МПа. В приповерхностных слоях слитка растягивающий характер напряжений, а в средней части слитка – сжимающий.

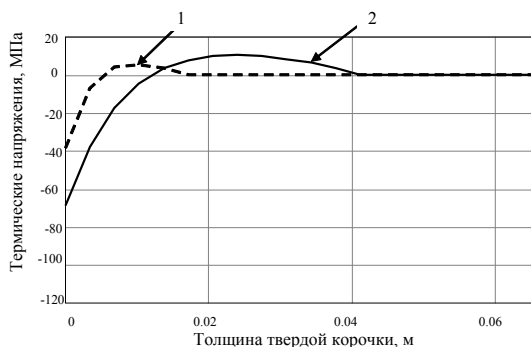


Рис. 2. Распределение термических напряжений при реальном распределении температур при скорости разливки 6 м/мин: 1 – распределение термических напряжений в слитке на выходе из ЗВО; 2 – распределение термических напряжений в слитке перед началом реза

Как видно из рисунков 1 и 2 увеличение скорости разливки с 4,2 м/мин до 6 м/мин приводит к снижению термических напряжений по сечению твердой корочки. Вследствие этого уменьшается вероятность возникновения трещин на поверхности непрерывнолитых заготовок.

Выводы

1. Выполнен анализ термических напряжений при непрерывной разливке сортовой заготовки при разных скоростях разливки.

2. Установлено, что увеличение скорости разливки с 4,2 м/мин до 6 м/мин приводит к снижению термических напряжений по сечению твердой корочки и вследствие этого уменьшается вероятность возникновения поверхностных трещин.

Список литературы

1. Бровман М. Я. Непрерывная разливка металлов / М. Я. Бровман. – М. : «ЭКОМЕТ», 2007. – 484 с.
2. Пат. 175. Россия. МПК В 22 D 11/126. Способ получения непрерывнолитых заготовок / Полещук В.М., Кривченко Ю.С., Бычков С.В. – №2433016 ; заявл. 17.11.2008 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 2.
3. Киселев А. П. Основные направления развития способов снижения обрести при переработке непрерывнолитых заготовок / Киселев А. П. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1998. – № 4. – С. 31–33.
4. Полещук В. М. Повышение теплосодержания непрерывнолитого слитка сортовой МНЛЗ / Полещук В. М., Бровкин В. Л., Витер Т. О. // *Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика*. – 2016. – № 8. – Днепро, 2016. – С. 149–155.
5. Математическая модель и расчет параметров мягкого обжата непрерывнолитых заготовок / [Буланов Л. В., Юровский Н. А., Химич Т. Г., Масаев М. В.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – № 8. – С. 124–130.
6. Тепловые процессы при непрерывном литье стали / [Самойлович Ю. А., Крулевецкий С. А., Горяинов В. А., Кабаков З. К.]. – М. : *Металлургия*, 1982. – 152 с.
7. Research of temperature fields and thermal stresses in the continuous casting ingot / V. Polyeshchuk, V. Brovkin, T. Viter and etc. // *14 th International Scientific Conference «Energy transformations in industry»*, September 23–25, 2015, Stara Lubovna. – 2015. – P. 136–141.
8. Полещук В. М. Определение перепада температур по длине непрерывнолитой заготовки сортовой МНЛЗ / Полещук В. М., Бровкин В. Л., Витер Т. О. / *Наукові праці всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми розвитку металургійної науки та освіти»*, 4–5 квітня 2017 р., НМетАУ, м. Дніпро, – С. 326–329.
9. Самойлович Ю. А. Микрокомпьютер в решении задач кристаллизации слитка / Самойлович Ю. А. – М. : *Металлургия*, 1982. – 182 с.
10. Сюй Чень-Ян Определение условий теплообмена при затвердевании непрерывнолитых заготовок в кристаллизаторе / Сюй Чень-Ян, Ольшанский В. М. Коваль Н. П. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – №3. – С. 82–85.

Одержано 29.06.2017

Полящук В.М., Бровкін В.Л., Вітер Т.О. Визначення термічних напруг в безперервнолитому зливку з рідкою серцевиною

Робота спрямована на підвищення продуктивності машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) і дослідження термічних напружень, що виникають в безперервнолитому зливку прямокутного перетину. Для підвищення продуктивності МБЛЗ пропонується використовувати принцип локального обтиснення зливка з рідкою серцевиною перед порізкою. Розрахунок термічних напружень у твердій оболонці безперервнолитого зливка з рідкою серцевиною проводиться на основі відомих рішень задач термопружності. Отримані результати можуть бути використані на практиці для поліпшення наявних МБЛЗ.

Ключові слова: термічні напруги, безперервне розливання, продуктивність, локальне обтиснення.

Poleshchuk V., Brovkin V., Viter T. Determination of thermal voltages in continuous mixture with liquid heart

The work is aimed at increasing the productivity of the continuous casting machine (CCM) and the study of thermal stresses arising in a continuous cast ingot of rectangular cross-section. To increase the productivity of the continuous casting machine, it is proposed to use the principle of local reduction of the ingot with the liquid core before cutting. Calculation of thermal stresses in the solid shell of a continuously cast ingot with a liquid core was carried out on the basis of known solutions of thermoelasticity problems. The obtained results can be used in practice to improve the existing caster.

Key words: thermal stresses, continuous casting, productivity, local reduction.
