

УДК 621.74

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ**

Олег Михайлович Шафиев

*Аспирант 1 курса,**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: В.В. Стулов,**доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

При разработке новых конструкций кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), в частности, имеющих принципиальное отличие в системе охлаждения, предпочтение отдается моделированию процесса кристаллизации расплава, в том числе физическому, с использованием легкоплавких материалов, таких как сплав Sn-Pb и парафин [1,2].

Разработки таких конструкций направлены на повышение качества и конкурентоспособности металлопродукции, снижение энерго - и ресурсоемкости производства, что нашло отражение в Государственной программе Российской Федерации [3].

Целью настоящей работы является моделирование процесса кристаллизации стали в кристаллизаторе МНЛЗ на легкоплавком материале – парафине в двух моделях кристаллизатора № 1 - с двухконтурной системой охлаждения [4], в основе которой лежит работа испарительно-конденсационного контура, и №2 - охлаждаемого проточной водой, аналогично существующим конструкциям кристаллизаторов скольжения.

Для выполнения работы были поставлены следующие задачи:

- произвести заливку парафина и исследовать процесс его кристаллизации в моделях кристаллизатора №1 и №2;
- исследовать и сравнить толщину корочки, образующейся в моделях кристаллизаторов № 1 и № 2;
- привести сравнительную характеристику качества поверхности заготовок, полученных в кристаллизаторе № 1 и № 2.

Стенки моделей кристаллизаторов изготавливаются толщиной  $\delta = 10^{-3}$  м из стали 08Х18Н10Т. Температура кристаллизации парафина  $t_s = 61$  °С.

Геометрические параметры моделей кристаллизаторов № 1 и № 2:  $d_b = 0,047$  м - внутренний диаметр,  $H = 0,16$  м – высота,  $F_0 = 2,4 \times 10^{-2}$  м<sup>2</sup> – площадь поверхности контакта с отливкой,  $F_0 = 3 \times 10^{-2}$  м<sup>2</sup> – площадь наружной поверхности.

В ходе выполнения работы проводятся измерения следующих величин:

$t_{\text{разл}}^0$  - температура расплава в процессе разлива, °С;

$\tau_3$  - время заливки расплава в кристаллизатор, сек;

$t_v^0$  - температура охлаждающей кристаллизатор воды, °С;

$\dot{V}$  - расход охлаждающей кристаллизатор воды, л/мин;

$\tau_{\text{кр}}$  - время образования корочки, сек;

$\tau_0$  - время вытекания лишнего парафина из кристаллизатора, сек;

$\tau_b$  - время выдержки заготовки в кристаллизаторе после вытекания парафина, сек;

$s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  - толщина корочки в пяти местах;

$s_{cp}$  - средняя толщина корочки, мм.

Помимо измерения толщины корки по высоте заготовки, проводится исследование равномерности толщины корки по периметру.

Измерение температур осуществляется с помощью цифрового термометра Мегеон 26300 с точностью измерения  $\pm 1$  °С.

Для оценки качества поверхности заготовок производится подсчет числа крупных  $N_B$ , шт., и малых,  $N_M$ , шт., складок по высоте заготовки  $H$ , м, осуществляется замер средней ширины складки и средняя глубина складок.

В результате эксперимента было установлено, что при разливке расплава в модель кристаллизатора № 2 поверхность заготовки имеет дефекты в виде складок на поверхности. Число крупных складок достигает значения  $N_B=64$  шт., число малых складок -  $N_M=187$  шт. при высоте заготовки  $H = 0,16$  м. Средняя ширина крупной складки составляет 3 мм, малой – 1 мм, средняя глубина складок составляет 0,5 мм. При исследовании заготовки, полученной в модели кристаллизатора № 1, выявлено отсутствие складок на поверхности.

Также отмечено, что толщина корки, полученной в модели кристаллизатора № 2, изменяется по сечению заготовки, в то время как толщина корки, полученной в модели кристаллизатора № 1, имеет равномерную толщину по сечению.

В результате моделирования процесса кристаллизации расплава на парафине было установлено влияние температуры расплава, температуры рабочей стенки кристаллизатора, равномерности теплоотвода на качество поверхности заготовки и равномерность толщины образующейся в кристаллизаторе корки по сечению. Показано, что размер и частота дефектов в виде складок на поверхности заготовки, а также неравномерность толщины образующейся в кристаллизаторе корки выше в модели кристаллизатора № 2, имеющем систему охлаждения проточной водой. Складки на поверхности, а также неравномерность толщины корки по сечению отсутствуют в заготовках, полученных в модели кристаллизатора № 1 с двухконтурной системой охлаждения с замкнутым испарительно-конденсационным контуром. Полученный результат объясняется, с одной стороны, более высокой температурой стенки модели № 1, а с другой стороны, более равномерным охлаждением пароводяной смесью по периметру цилиндрической стенки модели, по сравнению со стенкой модели № 2, охлаждаемой холодной водой при ее конвективном движении. Полученные результаты имеют практическую ценность для проектирования конструкций кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок.

## Литература

- 1 Стулов В. В., Цхадаиа З. А., Шафиев О. М. Моделирование получения отливок в цилиндрических кристаллизаторах //Сталь. – 2018. – №. 5. – С. 8-13.
- 2 Стулов В. В., Шафиев О. М. Моделирование затвердевания стальной цилиндрической заготовки //Сталь. – 2019. – №. 3. – С. 22-25.
- 3 Государственная программа Российской Федерации № 328 от 15.04.2014 «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».
4. Пат. 2651083 РФ. Кристаллизатор для получения непрерывнолитых цилиндрических заготовок / В. В. Стулов ; 2018, Бюл. № 11.