

Следовательно,  $C \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$  Ф. При разности потенциалов  $\Delta\phi = 0,02$  В, когда произошло насыщение зависимости  $H_{\mu}(\phi)$ , заряд в слое составил  $q = 3 \cdot 10^{-5}$  Кл. Поверхностная плотность зарядов на границе «монослоя»  $\sigma = q/S = 0,075$  Кл/м<sup>2</sup>. Этот слой контактирует с цинком, поэтому поверхностная плотность электронов на образце возрастает на величину  $\Delta n_e = \sigma/e = 4,7 \cdot 10^{17}$  м<sup>-2</sup>. Если считать, что энергия каждого электрона имеет порядок уровня Ферми (для цинка  $E_F = 3,9 \cdot 10^{-19}$  Дж [4]), то изменение удельной поверхностной энергии  $\Delta\gamma = E_F \Delta n_e = 0,18$  Дж/м<sup>2</sup>. В работе [5] для цинка в температурном интервале 78 – 753 К приведены значения удельной поверхностной энергии в пределах от 0,41 до 0,83 Дж/м<sup>2</sup>. Таким образом, наблюдается изменение удельной поверхностной энергии за счет электрического потенциала более чем на 20 %. Такое изменение удельной поверхностной энергии действительно существенно изменяет условия деформирования поверхностного слоя и вполне может влиять на его механические свойства. Не случайным представляется и значение характерного заряда, полученного по эмпирической зависимости (2), так как процесс изменения микротвердости под действием электрического потенциала связан с перемещением именно электронов – элементарных электрических зарядов.

**Выводы.** Исследовано влияние электрического потенциала на микротвердость плоскости (0001) монокристалла цинка. Микротвердость уменьшается экспоненциально с увеличением абсолютного значения потенциала. Снижение микротвердости может быть объяснено уменьшением удельной поверхностной энергии за счет электризации, которое изменяет условия зарождения и движения деформационных дефектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коновалов С.В., Филиппьев Р.А., Котова Н.В. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 12. С. 38 – 40.
2. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Филиппьев Р.А., Котова Н.В. // Металлы. 2010. № 4. С. 39 – 45.
3. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. – М.: Химия, 1974. – 200 с.
4. Предводителей А.А., Троицкий О.А. Дислокации и точечные дефекты в гексагональных металлах. – М.: Атомиздат, 1973. – 200 с.
5. Физические величины. Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Бартковский и др. Под ред. И.С. Григорьева и Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат. 1991. – 1232 с.

© 2012 г. Д.В. Орлова, Р.А. Филиппьев,  
В.И. Данилов  
Поступила 25 мая 2012 г.

УДК 669.14.018.8

**Г.В. Оглоблин<sup>1</sup>, В.В. Стулов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет  
<sup>2</sup>Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОРОЧКИ ЗАГОТОВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

В работе [1] приведены результаты моделирования на парафине охлаждения стали в емкости при различных вариантах охлаждения. Недостаток работы заключается в невозможности наблюдения за процессом роста корочки заготовки. В исследованиях [2, 3] представлены результаты моделирования на свинцово-сурьмянистом сплаве охлаждения стали в кристаллизаторе лабораторной установки с использованием тепловых труб. Значения толщины корочки заготовки установлены расчетным путем на основе экспериментальных данных.

Цель работы – моделирование процесса формирования корочки заготовки в кристаллизаторе.

На рис. 1 приведена литейно-ковочная машина для получения непрерывнолитых деформированных заготовок [4]. Роль вертикальных стенок (рис. 1) выполняет жидкокристаллический детектор с мезофазой 42 – 50 °С [5]. В качестве материала для моделирова-

ния используется парафин. Наклонные в верхней части кристаллизатора стенки изготовлены из стали.

#### Результаты моделирования

Динамика формирования корочки парафина в кристаллизаторе показана на рис. 2, на позиции *a* которого видно, что в полости кристаллизатора после заливки в него парафина температура расплава  $t > 50$  °С, о чем свидетельствует окраска детектора – глубокий ультрафиолет. На рис. 2, *б* видно, что через время  $\tau = 15$  с с момента разлива парафина в нижней части наклонных в верхней части стенок (рис. 1) начинает зарождаться корочка заготовки. Через  $\tau = 45$  с с момента разлива парафина в кристаллизатор область формирования корочки заготовки четко проявляется (рис. 2, *в*). В дальнейшем процесс формирования продолжается. С использованием рис. 2, *д* и *е* определяется ско-

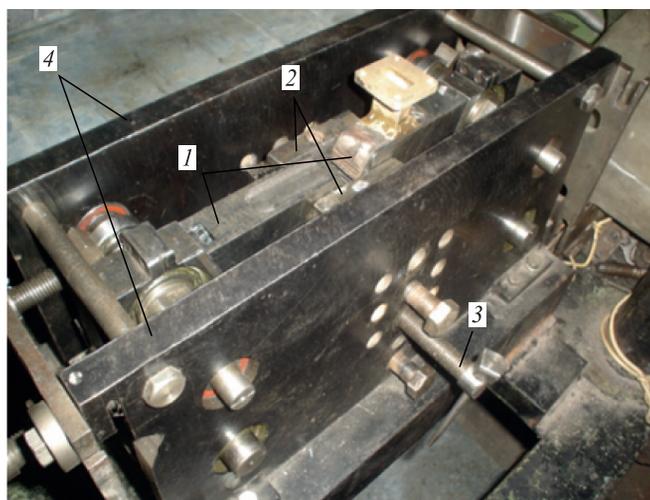


Рис. 1. Литейно-ковочная машина:

1 – первая пара пластин, выполняющая движение в горизонтальной плоскости; 2 – вторая пара пластин, выполняющее движение в вертикальной плоскости; 3 – прижимное устройство; 4 – стенки ЛКМ

рость формирования корочки заготовки на наклонных стенках в верхней части, которая в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляет соответственно  $\beta_1 = 0,53 \cdot 10^{-3}$  м/с и  $\beta_2 = 0,13 \cdot 10^{-3}$  м/с.

Физические и теплофизические параметры парафина и стали марки 08X18H10T определяются из литературных источников [6, 7]. С использованием числа подобия Фурье [6]  $Fo = a\tau/x^2$  (где  $a$  – коэффициент теплопроводности материала;  $\tau$  – время формирования корочки заготовки;  $x$  – характерный размер, в качестве которого используется высота заливки расплава) определим значения времени  $\tau_n$  формирования корочки стальной заготовки. На модели при  $a_m = 0,13 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\tau_m = 15$  с,  $x_m = 0,04$  м получаем значение  $Fo = 1,22 \cdot 10^{-3}$ . Тогда для натуральных условий разлива стали в кристаллизатор при  $a_n = 4,63 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $x_n = 0,2$  м получаем значение необходимого времени формирования корочки заготовки  $\tau_n = 10,5$  с. При этом геометрический масштаб  $M_l = x_n/x_m = 5$ , а масштаб времени  $M_t = \tau_n/\tau_m = 0,7$ .

Таким образом, разработанная методика позволяет визуализировать процесс зарождения и формирования корочки заготовки в кристаллизаторе. Для моделирующего материала (парафина) определены граничные условия применения жидкокристаллического детектора с мезофазой 42 – 50 °С. Предложен способ обработки информации с фотокадров, отображающий процесс формирования корочки в разные моменты времени. Определено время формирования корочки стальной заготовки в кристаллизаторе  $\tau_n = 10,5$  с.

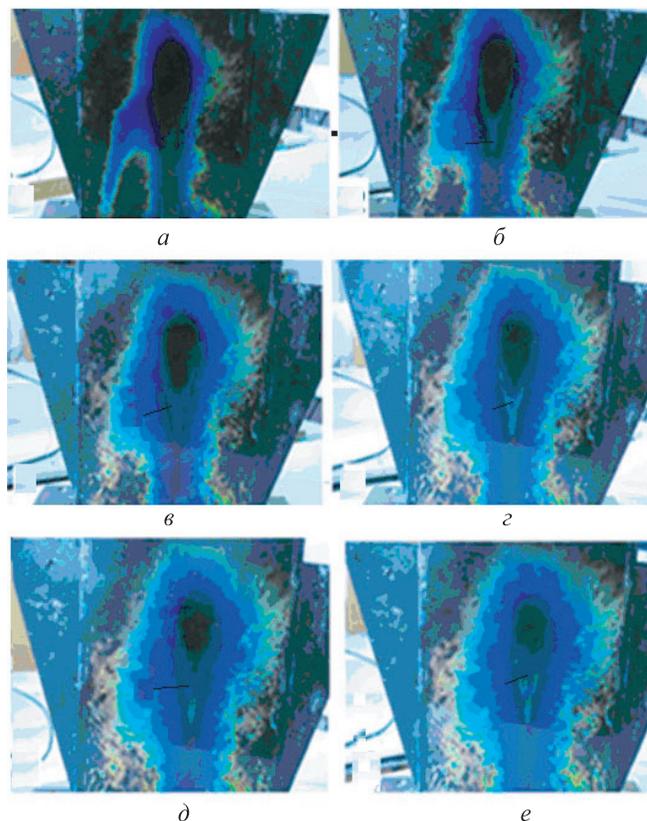


Рис. 2. Динамика формирования корочки парафина в кристаллизаторе:  
а – е – изменения, происходящие с шагом 15 с

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стулов В.В., Одинокоев В.И., Дербеткин А.А., Макаров С.С. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 4. С. 57 – 59.
2. Стулов В.В., Одинокоев В.И., Оглоблин Г.В. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 8. С. 41 – 46.
3. Стулов В.В., Макаров С.С., Севостьянов А.М. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 12 – 16.
4. Одинокоев В.И., Стулов В.В. Литейно-ковочный модуль (литье и деформация). – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 150 с.
5. Стулов В.В., Одинокоев В.И., Оглоблин Г.В. Физическое моделирование процессов при получении литой деформированной заготовки. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 175 с.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 512 с.
7. Островский О.И., Григорьян В.А., Вишкареев А.Ф. Свойства металлических расплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 304 с.

© 2012 г. Г.В. Оглоблин, В.В. Стулов  
Поступила 27 декабря 2011 г.