



There is given the analysis of influence of crystallizer geometrics on thermal conditions of its working at circular thermal load on working surface.

В. Ф. БЕВЗА, А. М. БОДЯКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.774.04

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОМ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

При непрерывных способах литья устойчивость процесса и качество получаемых заготовок определяются работоспособностью кристаллизатора, которая во многом зависит от температурных условий его работы. Температурное поле рабочей втулки обуславливается в основном теплофизическими характеристиками материала втулки, ее геометрическими параметрами (толщина стенки X_2 , диаметр D_1) и режимом теплового нагружения. В процессе эксплуатации имеет место циклическое теплонагружение кристаллизаторов, включающее в себя различные по физической природе, частоте и интенсивности гармоник: циклы начала и окончания разливки (пусковые циклы), циклы, обусловленные колебанием уровня металла, качанием кристаллизатора, периодическим вытягиванием слитка и т. п. При непрерывной разливке стали опытными работами было установлено, что нарастание деформаций стенок и стойкость кристаллизатора связаны не столько с массой отлитого металла, сколько с количеством плавок, т. е. с количеством теплосмен (пусковых циклов) [1]. Цикличность же теплового воздействия на стенки кристаллизатора в процессе разливки имеет место только в зоне контакта с жидким металлом. Как правило, в подавляющем большинстве непрерывных методов литья эта зона относительно невелика и поэтому можно считать, что количество тепла, передаваемого от затвердевающего слитка, изменяется только по длине кристаллизатора и уменьшается по мере нарастания твердой корки, а количество тепла, выделяемое на каждом уровне, постоянно. В связи с этим температурное поле кристаллизатора является практически стационарным и изменяющимся только вдоль образующей и по толщине стенки.

При непрерывно-циклическом литье намораживанием также имеют место пусковые циклы, при которых кристаллизатор в начале разливки испытывает значительный термический удар. Но в отличие от других непрерывных способов литья здесь кристаллизатор подвергается циклическим

тепловым воздействиям от жидкого металла по всей высоте рабочей втулки в течение всей кампании разливки с периодом (P), равным времени затвердевания отливки [2]. Поэтому многократность циклического теплового нагружения кристаллизатора определяется не только количеством пусковых циклов, но в основном количеством отлитого через кристаллизатор металла.

Особенность литья циклическим намораживанием заключается в подводе металла в неподвижный кристаллизатор снизу через сифонный металлопровод и после заданной выдержки в полном извлечении затвердевшей корки из расплава и кристаллизатора вверх. В процессе извлечения отливки последовательно освобождаются участки внутренней поверхности рабочей втулки, которые непосредственно приходят в контакт с жидким металлом, находящимся в осевой части. Это приводит к резкому повышению температуры рабочей поверхности кристаллизатора (рис. 1). В течение выдержки происходит уменьшение температуры всей системы: стенки кристаллизатора, затвердевающей корки и жидкого металла. Затем цикл повторяется. Причем в начале процесса литья средняя температура стенки кристаллизатора повышается с каждым циклом, пока не достигнет некоторого определенного значения. За этот промежуток времени неустановившийся процесс изменения температуры переходит в установившийся периодический.

При установившемся режиме литья температура рабочей поверхности кристаллизатора колеблется по гармоническому закону с размахом ΔT_1 и периодом P около некоторого среднего значения T_{2cp} , которое при неизменяющихся технологических параметрах литья остается практически постоянным. Таким образом, в течение цикла стенка кристаллизатора работает в условиях нестационарного изменения температуры, а так как эти циклы постоянно повторяются, то процесс можно определить как стационарно периодический. Поэтому исследование изменения температу-

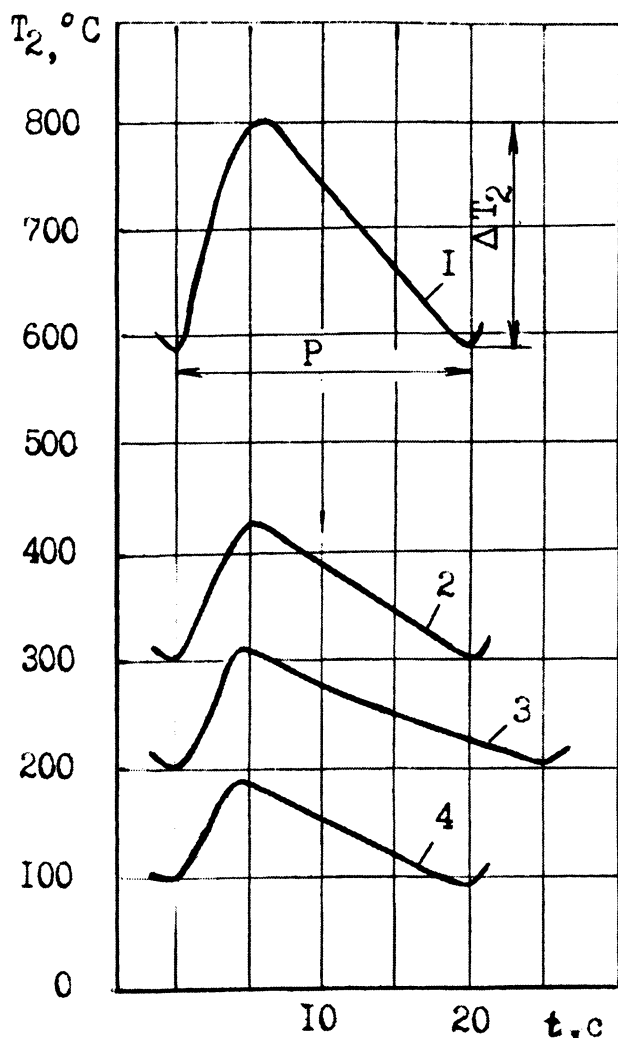


Рис. 1. Изменение температуры стенки кристаллизатора в течение одного цикла на удалении 0,5 мм от рабочей поверхности: 1 – $X_2 = 28$ мм; 2 – 17; 3 – 9; 4 – 7 мм

ры кристаллизатора в течение одного цикла дает исчерпывающую информацию о тепловом состоянии его работы в течение всего процесса разлива.

Основными параметрами, определяющими стойкость кристаллизатора, являются величина и характер термических напряжений, возникающих в стенке рабочей втулки под действием перепада температур между ее внутренней (рабочей) и наружной (водоохлаждаемой) поверхностью ($\Delta T_{2,3}$), который в свою очередь зависит от материала и геометрических параметров втулки. Наряду с таким параметром, как перепад температуры по сечению стенки, тепловые условия работы кристаллизатора при непрерывно-циклическом литье определяют также характер и величину изменения температуры стенки в течение цикла, в частности, размах колебаний температуры рабочей поверхности ΔT_2 и уровень средней температуры этой поверхности $T_{2,ср}$. Именно по этим параметрам осуществляли анализ температурного поля кристаллизатора.

Исследования проводили при литье заготовок из серого чугуна в кристаллизаторы скольжения

с рабочими втулками, изготовленными из малоуглеродистой нестареющей стали, имеющей удовлетворительные характеристики по термической стойкости и позволяющие создавать сварные конструкции. Толщину стенки варьировали от 7 до 28 мм, диаметр – от 50 до 200 мм.

Расчеты и экспериментальные исследования показали, что при литье чугуна в кристаллизаторы с $X_2 = 12$ мм распределение температуры по толщине стенки близко к линейному (рис. 2). Нелинейность заметно возрастает с увеличением X_2 в зоне, примыкающей к рабочей поверхности. Следует отметить, что перепад температур по толщине стенки $\Delta T_{2,3}$ не остается постоянным, а изменяется в течение цикла в соответствии с изменением температуры на рабочей поверхности. При этом наибольшее значение этот параметр имеет в каждом цикле в момент времени, при котором температура рабочей поверхности кристаллизатора достигает максимума (рис. 3, а, кривая 5).

С увеличением толщины стенки кристаллизатора повышаются средняя температура ($T_{2,ср}$) на его рабочей поверхности (рис. 3, а, кривая 1), а также размах ее колебаний (ΔT_2) (рис. 3, а, кривая 3) и перепад ($\Delta T_{2,3}$) по толщине стенки (рис. 3, а, кривые 5, 6). Вместе с тем средняя температура и размах ее колебаний на водоохлаждаемой поверхности уменьшаются (рис. 3, а, кривые 2, 4). При $X_2 = 28$ мм максимальное значение температуры на рабочей поверхности достигает 800 °C (рис. 1, кривая 1), а на водоохлаждаемой поверхности она стабилизируется на уровне около 70 °C. При этом максимальный перепад по толщине стенки ($\Delta T_{2,3}$) превышает 700 К (рис. 3, а, кривая 5). Такой температурный режим кристаллизатора не обеспечивает стабильности процесса литья и приводит к обрыву затравочной части отливки. Это связано с недо-

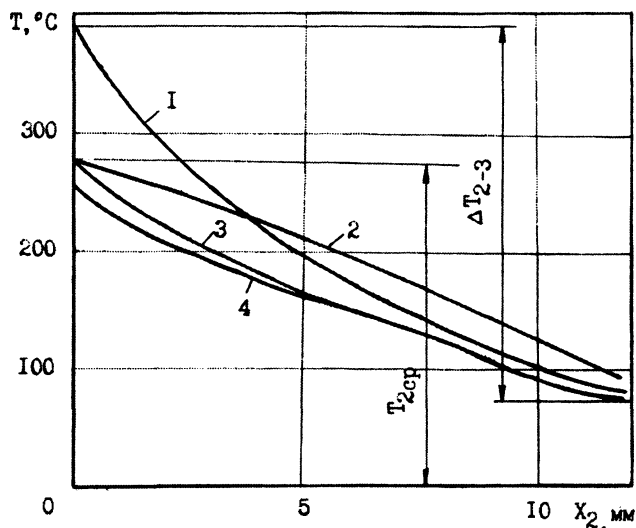


Рис. 2. Мгновенное распределение температуры по толщине стенки кристаллизатора: 1 – при максимальном; 4 – при минимальном; 2, 3 – при среднем значении температуры на рабочей поверхности

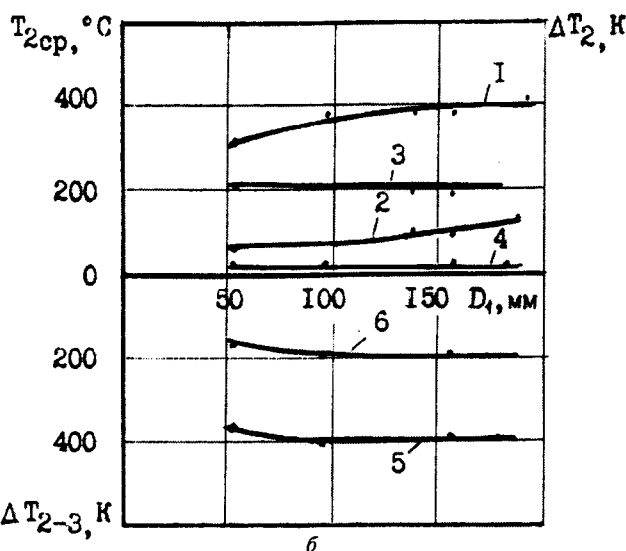
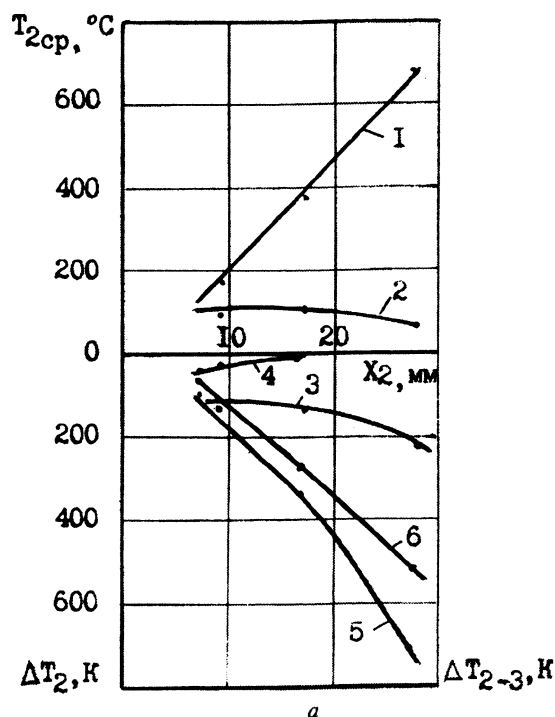


Рис. 3. Изменение средней температуры (1, 2), размаха ее колебаний (3, 4) и перепада температур по сечению стенки рабочей втулки (5, 6) в зависимости от толщины стенки (а) и диаметра (б) кристаллизатора: 1, 3 – рабочая; 2, 4 – водоохлаждаемая поверхность; 5 – при максимальном; 6 – при минимальном значении температуры на рабочей поверхности кристаллизатора

статочной интенсивностью отвода тепла от поверхности отливки, что обуславливает высокую среднюю температуру и соответственно низкую прочность затвердевшей корки, которая не выдерживает условий вытяжки отливки. Кроме того, такой режим способствует возникновению значительных напряжений в стенке рабочей втулки и быстрому появлению сетки разгара на рабочей поверхности. Поэтому применение кристаллизатора с большой толщиной стенки нецелесообразно.

При уменьшении толщины стенки заметно снижаются средняя температура и размах ее ко-

лебаний на рабочей поверхности, а также перепад по толщине стенки (рис. 3, а). Например, при $X_2 = 7$ мм средняя температура рабочей поверхности не превышает 150°C , а перепад по толщине стенки составляет $70 - 90$ К. Это способствует уменьшению величины напряжений, однако чрезмерное утонение стенки кристаллизатора нежелательно, так как при этом снижается жесткость втулки против изгибающих напряжений. Нижнее ограничение по X_2 определяется условием жесткости рабочей втулки.

При прочих равных условиях изменение диаметра кристаллизатора от 50 до 200 мм не оказывает существенного влияния на температурные условия его работы (рис. 3, б). Если с увеличением диаметра средняя температура на рабочей и водоохлаждаемой поверхности заметно повышается (рис. 3, б, кривые 1, 2), то перепад температур по толщине стенки изменяется незначительно (рис. 3, б, кривые 5, 6), а размах колебаний температуры на рабочей и водоохлаждаемой поверхностях практически остается неизменным (рис. 3, б, кривые 3, 4).

Таким образом, толщина стенки X_2 выбирается с учетом прочностных характеристик ее материала и тепловых особенностей процесса литья. Верхний предел X_2 должен выбираться из условия обеспечения необходимой интенсивности отвода тепла от поверхности затвердевающей отливки и стойкости кристаллизатора. При этом надо учитывать, что для снижения термических напряжений и амплитуды их колебания в стенке кристаллизатора нужно минимизировать перепад температур по ее сечению и размах колебаний температуры в течение цикла. Для выполнения этих условий следует уменьшать толщину стенки кристаллизатора, но при этом необходимо выдерживать условие жесткости рабочей втулки, которая определяется соотношением толщины стенки и диаметра кристаллизатора. На основе проведенных исследований и опыта эксплуатации кристаллизаторов из различных материалов для литья заготовок из чугуна диаметром 50 – 200 мм методом непрерывно-циклического литья намораживанием рекомендуется применять рабочие втулки из малоуглеродистой стали с толщиной стенки 8 – 14 мм. Причем большую толщину X_2 следует применять при литье заготовок большего диаметра.

Полученные результаты позволяют перейти к определению термонапряженного состояния рабочей втулки, что даст возможность провести более полный анализ условий работы кристаллизатора и оптимизировать его конструкцию.

Литература

1. Рутес В. С., Аскольдов В. И., Евтеев В. П. и др. Теория непрерывной разливки. М.: Металлургия, 1971.
2. Бодяко А. М., Бевза В. Ф. Тепловой режим кристаллизатора // Литье и металлургия. 2001. № 2. С. 68–71.