

## Л и т е р а т у р а

1. В е й н и к А.И. Приближенный расчет процессов теплопроводности. М.-Л., Госэнергоиздат, 1959.
2. А н и с о в и ч Г.А., Ж и а к и н Н.П. Охлаждение отливки в комбинированной форме. М., Машиностроение, 1969.

УДК 621.002.8

В.П.Северденко, А.С.Матусевич,  
И.П.Прокопов, А.Ф.Гончаров, А.Г.Бакаев

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе рассматриваются закономерности влияния некоторых технологических параметров процесса непрерывного литья композиционных материалов, разработанного в физико-техническом институте АН БССР /1/, на тепловой режим водоохлаждаемого цилиндрического кристаллизатора.

При изучении теплового режима кристаллизатора в качестве материала матрицы композиционной отливки использовался алюминий марки А7, в качестве армирующих волокон - проволока диаметром 0,5 мм из стали Х18Н10Т. Эксперименты проводились на кристаллизаторе, который представлял собой стальной водоохлаждаемый кожух с частично запрессованной в него цилиндрической графитовой втулкой. Свободный конец втулки в процессе вытяжки отливки находился непосредственно в расплаве.

Измерение температуры кристаллизатора производилось хромель-алюмелевыми термопарами с диаметром электродов 0,2 мм на электронном автоматическом потенциометре типа КСП. Термопары были установлены в различных сечениях по толщине графитовой втулки. Температура жидкого металла в распределительной ванне измерялась термопарой ХА, электроды которой диаметром 0,5 мм были защищены кварцевым наконечником. В процессе исследования получены температурные поля кристаллизатора при различных режимах литья, с помощью которых стало возможным установить характер изменения интенсивности теплообмена и удельного теплового потока в кристаллизаторе.

Одним из наиболее важных технологических параметров процесса

непрерывного литья является скорость вытяжки отливки. В условиях формирования непрерывной композиционной отливки процесс необходимо вести с максимально возможными скоростями вытяжки. Это обусловлено не только повышением производительности труда, но и необходимостью сокращения времени контакта армирующих волокон с жидким металлом матрицы. Минимальное время контакта волокон с расплавом способствует максимальному сохранению прочностных характеристик волокон, а следовательно, и самого композиционного материала. Скорость вытяжки отливки существенно влияет на тепловой режим кристаллизатора, который находится в непосредственной связи с устойчивостью процесса и качеством композиционной отливки.

Исследование влияния скорости вытяжки на тепловой режим кристаллизатора было проведено при формировании отливки диаметром  $d = 6$  мм, температуре заливаемого металла  $T_{залив} = 770-780^\circ \text{C}$ , расходе охлаждающей воды  $G_2 = 0,006 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$  и объемном содержании волокон  $V_f = 30\%$ . В результате получены температурные поля кристаллизатора при различных скоростях вытяжки, по которым с помощью известных зависимостей [2] были рассчитаны величины удельных тепловых потоков.

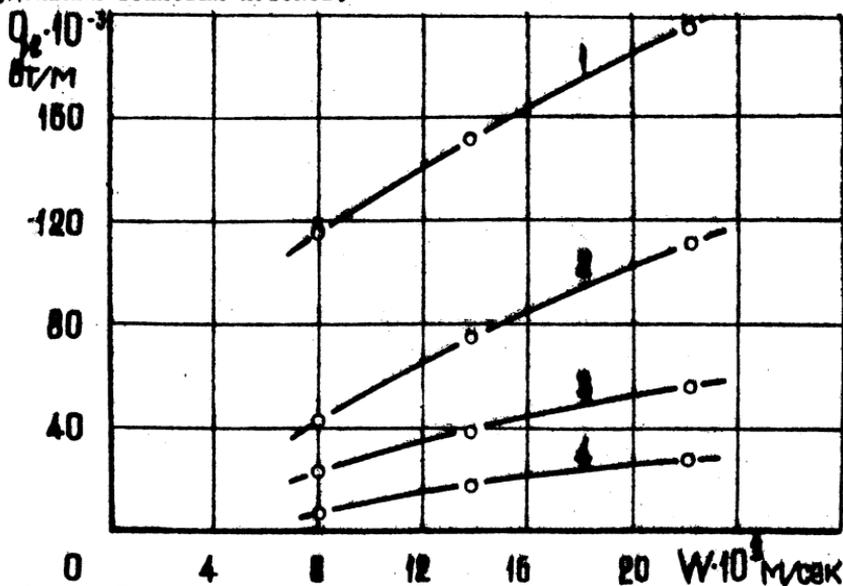


Рис. I. Влияние скорости вытяжки отливки на величину удельного теплового потока

На рис. I приведено распределение удельного теплового потока, отнесенного к единице длины кристаллизатора, в зависимости от скорости вытяжки отливки  $W$ , где кривая I соответствует сечению, расположенному на расстоянии от торца кристаллизатора  $Z = 40$  мм; кривая 2 -  $Z = 61$  мм; 3 -  $Z = 21$  мм; 4 -  $Z = 84$  мм. Как видим, с увеличением скорости вытяжки отливки происходит возрастание теплового потока  $q_e$  по всей длине кристаллизатора, причем  $q_e$  имеет наибольшее абсолютное значение и возрастает более интенсивно в сечении  $Z = 40$  мм, которое расположено в начале сочленения графитовой втулки и водоохлаждаемого кожуха. Такой характер изменения величины  $q_e$  обусловлен механизмом формирования газового зазора между отливкой и кристаллизатором. Увеличение скорости вытяжки влечет за собой уменьшение газового зазора, а следовательно и величины термического сопротивления системы.

Исследование влияния относительного объемного содержания волокна в композиционной отливке ( $d = 6$  мм) на тепловой режим кристаллизатора было проведено при следующих параметрах литья:  $T_{\text{зап}} = 780^\circ\text{C}$ ;  $W = 0,9$  м/мин;  $G = 0,007 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/сек.

Распределение удельного теплового потока по длине кристаллизатора для различных значений объемного содержания волокна представлено на рис. 2, а, где кривая I соответствует  $V_f = 20\%$ ; 2 -  $V_f = 30\%$ ; 3 -  $V_f = 60\%$ . Величина  $q_e$  достигает максимума при меньших значениях  $V_f$ . При этом влияние объемного содержания волокна на величину удельного теплового потока сказывается в большей мере в сечении  $Z = 40$  мм, где имеет место начало контакта графитовой втулки и водоохлаждаемого кожуха, а также ватвердевание композиционной отливки.

Увеличение значения теплового потока при уменьшении объемного содержания волокна происходит вследствие того, что при этом в отливке увеличивается относительное количество алюминия, теплофизические свойства которого значительно превышают по величине аналогичные свойства стальных волокон. Кроме того на ход процесса оказывает некоторое влияние теплота кристаллизации алюминия, доля которой в общем тепловом балансе возрастает с уменьшением  $V_f$ .

На величину удельного теплового потока также влияет расход охлаждающей кристаллизатор воды. На рис. 2, б представлены зависимости  $q_e$  от  $G_s$ , где кривая I соответствует  $G_s = 0,11 \cdot 10^{-8}$

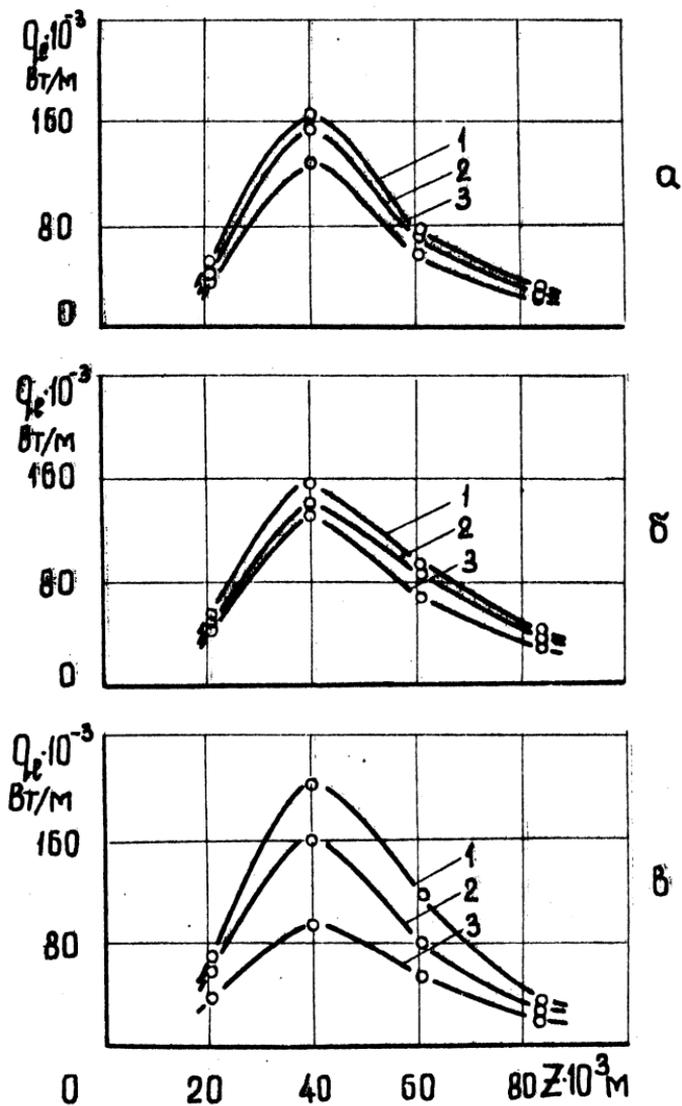


Рис.2. Влияние относительного объемного содержания волокон (а), расхода охлаждающей воды (б) и диаметра отливки (в) на величину удельного теплового потока

$\text{м}^3/\text{сек}$ ; 2 -  $G_s = 0,07 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{сек}$ ; 3 -  $G_s = 0,007 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{сек}$   
Приведенные данные получены для отливки  $d = 6 \text{ мм}$  при  $T_{\text{нал}} = 800^\circ\text{C}$ ,  
 $W = 0,8 \text{ м/мин}$  и  $V_f = 30\%$ . Как следует из рис.2,б, величина  
теплового потока возрастает при увеличении расхода воды, что име-  
ет место вследствие увеличения интенсивности теплообмена на водо-  
охлаждаемой поверхности кристаллизатора. Кипение воды на поверх-  
ности кристаллизатора в этом случае отсутствует. Характер распре-  
деления удельного теплового потока по длине кристаллизатора  
аналогичен показанному на рис.2.а.

Проведенные исследования показали, что в рассмотренном интер-  
вале значений расход охлаждающей кристаллизатор воды оказывает  
на величину удельного теплового потока меньшее влияние, чем ско-  
рость вытяжки отливки и относительное объемное содержание волок-  
на в композиционном материале.

Величина удельного теплового потока находится в зависимости  
от диаметра композиционного профиля. На рис.2,в показано распре-  
деление  $q_c$  по длине кристаллизатора для отливки диаметром  $d = 10 \text{ мм}$   
(кривая 1),  $d = 6 \text{ мм}$  (кривая 2) и  $d = 3 \text{ мм}$  (кривая 3). Данные  
получены при следующих технологических параметрах литья  $T_{\text{нал}} =$   
 $= 800^\circ\text{C}$ ;  $W = 0,9 \text{ м/мин}$ ;  $G_s = 0,006 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  $V_f = 30\%$ .  
Из рис.2,в видно, что тепловой поток возрастает по всей длине  
кристаллизатора с увеличением диаметра отливки. Наибольшего зна-  
чения  $q_c$  достигает во всех случаях в сечении  $Z = 40 \text{ мм}$ .

Полученные данные могут быть использованы для определения  
оптимальных режимных и конструктивных параметров непрерывного  
литья композиционных материалов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Северденко В.П., Матусевич А.С., Гончаров А.Ф. Способ изготовления композиционных профилей, "Вестник машиностроения", № 5, 1978.
2. Михеев М.А. Основы теплопередачи. М.-Л., Госэнергоиздат, 1956.