

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
Кафедра «Технология функциональных и конструкционных материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ПРОГРЕССИВНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ЛИТЬЯ

Направление подготовки  
Квалификация(степень) выпуска  
Форма обучения

22.04.02 – «Металлургия»  
магистр  
очная

Составитель:

В.Н.Шаршин

Владимир 2019

## **Шаршин В.Н.**

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Прогрессивные литейные технологии заготовительного литья» / Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; сост. В.Н.Шаршин. – Владимир, 2019. –55 с.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Прогрессивные литейные технологии заготовительного литья» и рассчитаны на магистрантов, обучающихся по направлению 22.04.02 – «Металлургия. Прогрессивные технологии при производстве отливок».

Служат руководством к проведению практических работ и направлены на формирование основных профессиональных компетенций, отвечающих требованиям ФГОС-3 по направлению подготовки 22.04.02 – «Металлургия. Прогрессивные технологии при производстве отливок » к результатам освоения ОПОП ВПО.

Табл. 13. Ил. 1.

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
22.04.02 «Металлургия»  
Протокол № 9 от 7.06. 2019 г.  
Рукописный фонд кафедры  
ТФ и КМ ВлГУ

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие.....	4
Введение.....	5
Работа 1. Расчёт параметров жидкого металла.....	6
Работа 2. Расчёт продолжительности затвердевания непрерывнолитой заготовки.....	7
Работа 3. Расчёт скорости вытягивания заготовки.....	7
Работа 4. Расчёт скорости разливки и диаметра сталеразливочных стаканов.....	9
Работа 5. Расчёт параметров настройки кристаллизатора и системы вторичного охлаждения.....	10
Работа 6. Расчёт охлаждения кристаллизатора.....	11
Работа 7. Расчёт вторичного охлаждения заготовки.....	14
Работа 8. Расчёт длительности разливки плавки и производительности МНЛЗ.....	22
Заключение.....	23
Список использованных источников.....	24

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема получения отливок высокого качества всегда имела важное значение. Для её решения технолог – литейщик должен знать механизмы литейных процессов и уметь управлять ими.

Цели освоения дисциплины (модуля) - обеспечение базовой теоретической подготовки студентов по профилю специальности: изучение теоретических основ процессов заполнения литейной формы, кристаллизации расплавов, затвердевания и охлаждения отливки, приобретение навыков практических расчётов основных физических и технологических параметров процесса получения отливок.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО, к результатам освоения ОПОП ВО по направлению 22.04.02 «Металлургия»:

Обладать способностью управлять реальными технологическими процессами обогащения и переработки сырья, получения и обработки металлов (ПК-1).

Обладать способностью анализировать полный технологический цикл получения и обработки материалов (ПК-3).

Обладать способностью разрабатывать предложения по совершенствованию технологических процессов и оборудования (ПК-5).

В работе студентам предлагается выполнить расчет технологических параметров непрерывной разливки стали на четырехручьевой МНЛЗ криволинейного типа.

Определить параметры жидкого металла для непрерывной разливки, выбрать диаметры каналов стаканов в сталеразливочном и промежуточном ковшах.

Произвести расчет основных параметров систем охлаждения кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения.

Определить длительность разливки плавки и годовая производительность МНЛЗ при рабочей скорости вытягивания заготовки.

## Введение

Непрерывная разливка является в настоящее время основным способом разливки стали, при котором получают слябовые и сортовые заготовки. Качество непрерывнолитых заготовок во многом зависит от правильности выбора технологических параметров процесса разливки, который должен быть сделан с учетом типа машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), размеров поперечного сечения заготовки, марки стали. Экспериментальное определение рациональных параметров разливки с учетом вышеперечисленных факторов – это сложный, дорогой, трудоемкий и длительный процесс. Современное состояние теории непрерывной разливки стали позволяет определить основные технологические параметры расчетным путем. Расчет технологических параметров непрерывной разливки стали всегда делается для конкретной МНЛЗ. Поэтому для расчета необходимо иметь данные о металлургической длине машины, высоте кристаллизатора, количестве и длине участков зоны вторичного охлаждения, способе вторичного охлаждения на каждом участке. В задании на выполнение расчета могут быть указаны как конструктивные параметры машины, так и источник информации для их выбора.

В результате выполнения практических работ будут определены:

- параметры жидкого металла (допустимое содержание вредных примесей температура металла при разливке);
- продолжительность затвердевания заготовки;
- рабочая скорость вытягивания заготовки и диапазон допустимых скоростей вытягивания;
- скорость разливки металла и диаметр каналов стаканов в сталеразливочном и промежуточном ковшах;
- параметры настройки кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения;
- режим охлаждения кристаллизатора;
- режим вторичного охлаждения заготовки;
- длительность разливки плавки и производительность МНЛЗ.

## Работа 1. Расчёт параметров жидкого металла

Действующие стандарты, определяющие требования к химическому составу металла, допускают довольно высокое содержание вредных примесей – серы и фосфора. Непрерывная разливка металла с повышенным содержанием вредных примесей сопряжена с рядом трудностей. Так, например, повышенное содержание серы требует снижения скорости разливки. В противном случае непрерывно-литые заготовки оказываются пораженными различными дефектами (чаще всего поверхностными или внутренними трещинами). Кроме того, при разливке такого металла возможно возникновение аварийных ситуаций, связанных с прорывами затвердевшей корки [2].

Разливаемая сталь марки 15 имеет следующий химический состав (по ГОСТ 1050–88), представленный в таблице 1.1 [3].

Таблица 1.1 – Химический состав разливаемой стали марки 15

C	Si	Mn	S	P
0,12... 0,19%	0,17... 0,37%	0,35... 0,65%	не более 0,04 %	0,035 %

Обычно верхний предел содержания серы и фосфора в стали, разливаемой на МНЛЗ, устанавливается в интервале от 0,015 до 0,025%. Выбор конкретного значения предельного содержания вредных примесей определяется возможностями технологии выплавки и ковшевой обработки металла в сталеплавильном цехе. С учетом приведенной выше информации необходимо принять предельные значения допустимых содержаний серы и фосфора в металле. Принимаем верхний предел содержания фосфора 0,025%, верхний предел содержания серы 0,025%.

Температура разливаемого металла оказывает существенное влияние как на технологию непрерывной разливки, так и на качество получаемой заготовки. Наилучшие результаты получаются в том случае, когда металл в промежуточном ковше имеет перегрев над температурой ликвидус 20–300 С:

$$t_{np} = t_{ликв} + (20...30),$$

где  $t_{np}$  – температура металла в промежуточном ковше, 0 С;

$t_{ликв}$  – температура ликвидус, 0 С.

Температуру ликвидус для углеродистой стали рекомендуется определять по формуле:

$$t_{ликв} = 1530 - 80[C],$$

где  $[C]$  – среднее содержание углерода в стали, %.

Принимаем среднее содержание углерода в стали марки 15 равным 0,15%.

Тогда:

$$t_{ликв} = 1530 - 80 \cdot 0,15 = 1518^{\circ}C,$$

$$t_{np} = 1518 + 25 = 1543^{\circ}C.$$

## Работа 2. Продолжительность затвердевания непрерывнолитой заготовки

Главными факторами, определяющими продолжительность затвердевания непрерывнолитых заготовок, являются размеры ее поперечного сечения: толщина  $A$  и ширина  $B$ . С достаточной точностью продолжительность затвердевания заготовки можно определить по формуле:

$$\tau_z = K_{\phi} \cdot \left( \frac{A}{2K} \right)^2,$$

где  $\tau_z$  – продолжительность затвердевания, мин;

$K_{\phi}$  – коэффициент формы поперечного сечения заготовки;

$A$  – толщина заготовки, мм;

$K$  – коэффициент затвердевания, мм/мин<sup>0,5</sup>.

Значение коэффициента формы  $K_{\phi}$  примем равным 1 (т. к.  $B/A \geq 2$ ).

Величину коэффициента затвердевания  $K$  рекомендуется принимать в пределах 24–26 мм/мин<sup>0,5</sup> для всех марок стали, принимаем равным 26 мм/мин<sup>0,5</sup>. Толщина получаемой заготовки составляет 250 мм.

Тогда:

$$\tau_z = 1 \cdot \left( \frac{250}{2 \cdot 26} \right)^2 = 23_{\text{мин}}.$$

## Работа 3. Скорость вытягивания заготовки

Установление скоростного режима заключается в определении диапазона допустимых скоростей вытягивания заготовки и рабочей скорости вытягивания. В качестве рабочей принимается такая скорость вытягивания, при которой обеспечивается сочетание высокого качества заготовки с достаточно высокой производительностью МНЛЗ. Обычно рабочая скорость вытягивания заготовки назначается с учетом многих факторов: марки стали, размеров поперечного сечения отливаемой заготовки, температуры металла в промежуточном ковше, содержания в стали вредных примесей и др. Если температура разливаемого металла и содержание вредных примесей в нем соответствуют требованиям раздела 1, то рабочая скорость вытягивания может быть рассчитана по формуле:

$$v_p = K_v \frac{A+B}{AB},$$

где  $v_p$  – рабочая скорость вытягивания заготовки, м/мин;

$K_v$  – коэффициент скорости вытягивания, м<sup>2</sup>/мин;

$A, B$  – толщина и ширина заготовки, м.

Так как сталь марки 15 относится к группе углеродистых качественных сталей, то принимаем  $K_v = 0,16$  м<sup>2</sup>/мин, толщина и ширина заготовки составляет соответственно 0,25 и 1,3 м.

Тогда получаем:

$$v_p = 0,16 \frac{0,25 + 1,3}{0,25 \cdot 1,3} = 0,76 \text{ м / мин.}$$

Рабочая скорость вытягивания заготовки является базовой для определения диапазона допустимых скоростей вытягивания:

$$v_{\text{мин}} = 0,5 v_p;$$

$$v_{\text{макс}} = 1,5 v_p.$$

Получаем:

$$v_{\text{мин}} = 0,5 \cdot 0,76 = 0,38 \text{ м / мин};$$

$$v_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 0,76 = 1,10 \text{ м / мин.}$$

Скорость вытягивания определяет глубину лунки жидкого металла в кристаллизующейся непрерывно-литой заготовке:

$$L_{\text{ж}} = \tau_z \cdot v_p;$$

тогда при расчете на рабочую скорость вытягивания:

$$L_{\text{ж}} = 23 \cdot 0,76 = 17,5 \text{ м},$$

при расчете на максимальную скорость вытягивания:

$$L_{\text{ж}} = 23 \cdot 1,10 = 25,3 \text{ м.}$$

Необходимая частота качания кристаллизатора определяется по формуле:

$$v = K_v \frac{v_p}{\delta},$$

где  $L_{\text{ж}}$  – глубина лунки жидкого металла, м;

$v$  – частота качания кристаллизатора, мин<sup>-1</sup> ;

$K_v$  – коэффициент частоты;

$\delta$  - амплитуда качания кристаллизатора, м.

Принимаем  $K_v = 1,1$  и  $\delta = 0,003$  м.

Получим:

$$v = 1,1 \frac{0,76}{0,003} = 279 \text{ мин}^{-1}.$$

Обязательным условием получения плотной осевой зоны непрерывно-литой заготовки является соблюдение соотношения:

$$L_{\text{ж}} / L_{\text{м}} \leq 0,9,$$

где  $L_{\text{м}}$  – металлургическая длина МНЛЗ (расстояние по оси заготовки от уровня

жидкого металла в кристаллизаторе до последнего поддерживающего ролика), м; в соответствии с исходными данными составляет 28 м.

Поэтому необходима проверка соблюдения этого условия при разливке с максимальной скоростью вытягивания.

При рабочей скорости вытягивания заготовки:



$$\frac{L_{ж}}{L_{м}} = \frac{17,5}{28} = 0,63,$$

т.е. соответствует требуемым условиям;  
при максимальной скорости вытягивания:

$$\frac{L_{ж}}{L_{м}} = \frac{25,3}{28} = 0,89,$$

т.е. соответствует требуемым условиям.

#### **Работа 4. Скорость разливки и диаметр каналов сталеразливочных стаканов**

Определение рабочей скорости вытягивания заготовки и диапазона допустимых ее значений позволяет рассчитать рабочую скорость разливки и возможный диапазон ее изменения. Зависимость между скоростью вытягивания заготовки и соответствующей ей скоростью разливки (для одного ручья) описывается формулой:

$$q = \rho_{ст} A B v,$$

где  $q$  – скорость разливки, т/мин;

$\rho_{ст}$  – плотность затвердевшей стали в конце зоны вторичного охлаждения, (7,5 т/м<sup>3</sup>);

$v$  – скорость вытягивания заготовки, м/мин.

Рабочая скорость разливки  $q_r$  и ее предельные значения  $q_{мин}$  и  $q_{макс}$  вычисляются по данной формуле при подстановке в нее соответствующих скорости вытягивания заготовки  $v_p$ ,  $v_{мин}$  и  $v_{макс}$ .

Получим:

$$q_p = 7,5 \cdot 0,25 \cdot 1,3 \cdot 0,76 = 1,85 \text{ т / мин};$$

$$q_{мин} = 7,5 \cdot 0,25 \cdot 1,3 \cdot 0,38 = 0,93 \text{ т / мин};$$

$$q_{макс} = 7,5 \cdot 0,25 \cdot 1,3 \cdot 1,10 = 2,68 \text{ т / мин}.$$

Диаметры каналов стаканов в сталеразливочном и промежуточном ковшах вычисляются с использованием формулы:

$$q = K_p d^2 h^{0,5},$$

$$d = \sqrt{\frac{q}{K_p \cdot h^{0,5}}},$$

где  $K_p$  – коэффициент скорости разливки, т/(мин·мм<sup>2</sup>·м<sup>0,5</sup>);

$d$  – диаметр канала стакана, мм;

$h$  – высота слоя жидкого металла в ковше, м.

Расчет диаметров каналов стаканов и в сталеразливочном, и в промежуточном ковшах ведется на максимальную скорость разливки, причем при расчете диаметра канала стакана сталеразливочного ковша необходимо учитывать подачу жидкого металла одновременно в несколько кристаллизаторов. Принимаем при расчете диаметра канала для сталеразливочного ковша  $K_p = 1,2 \cdot 10^{-3}$  т/

(мин·мм<sup>2</sup>·м<sup>0,5</sup>) и  $h = 0,7$  м, а для промежуточного ковша  $K_p = 1,1 \cdot 10^{-3}$  т/ (мин·мм<sup>2</sup>·м<sup>0,5</sup>) и  $h = 0,7$  м.

Тогда:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{2,68 \cdot 4}{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7^{0,5}}} = 103 \text{ мм, принимаем } 105 \text{ мм;}$$

$$d_{прол} = \sqrt{\frac{2,68}{1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7^{0,5}}} = 54 \text{ мм, принимаем } 55 \text{ мм.}$$

### **Работа 5. Параметры настройки кристаллизатора и системы вторичного охлаждения**

В задании указаны те размеры поперечного сечения непрерывнолитой заготовки, которые она должна иметь на выходе из МНЛЗ. Кристаллизующаяся заготовка имеет несколько большие размеры поперечного сечения, которые постепенно уменьшаются по мере ее охлаждения. Поэтому поддерживающая система МНЛЗ настраивается так, чтобы расстояние между противоположными стенками кристаллизатора и противоположными роликами системы вторичного охлаждения монотонно уменьшалось в направлении движения заготовки. Обычно ширина и толщина поперечного сечения заготовки в верхней части кристаллизатора превышает заданные размеры на 2...3 и 4...5%, а в нижней части – на 1...2 и 3...4% соответственно. Расстояние между опорными поверхностями противоположных роликов системы вторичного охлаждения уменьшаются линейно.

Расчет параметров настройки МНЛЗ заключается в определении расстояний между противоположными стенками сверху и внизу кристаллизатора и между противоположными роликами на входе и выходе каждой зоны системы вторичного охлаждения.

Расстояние между противоположными стенками сверху кристаллизатора:

$$A_0 = (1,04 \dots 1,05) \cdot A;$$

$$B_0 = (1,02 \dots 1,03) \cdot B.$$

Расстояние между противоположными стенками внизу кристаллизатора:

$$A_1 = (1,03 \dots 1,04) \cdot A;$$

$$B_1 = (1,01 \dots 1,02) \cdot B,$$

где  $A$ ,  $B$  – толщина и ширина отливаемой заготовки, мм.

Получим:

$$A_0 = 1,04 \cdot 250 = 260 \text{ мм;}$$

$$B_0 = 1,02 \cdot 1300 = 1326 \text{ мм;}$$

$$A_1 = 1,03 \cdot 250 = 257,5 \text{ мм;}$$

$$B_1 = 1,01 \cdot 1300 = 1313 \text{ мм.}$$

Найдем, на сколько изменится толщина заготовки от низа кристаллизатора до конца зоны вторичного охлаждения:

$$\Delta A = A_1 - A = 257,5 - 250 = 7,5 \text{ мм.}$$

Общая длина зоны вторичного охлаждения:

$$l = 281 + 900 + 1446 + 3042 + 3841 + 3972 + 4680 = 18162 \text{ мм.}$$

Рассчитаем сужение расстояния между противоположными опорными поверхностями в конце первой секции зоны вторичного охлаждения.

Длина зоны составляет 281 мм, составляем пропорцию:

$$\frac{18162}{7,5} = \frac{281}{\Delta A},$$

тогда:

$$\Delta A = \frac{7,5 \cdot 281}{18162} = 0,12 \text{ мм.}$$

Расстояние между противоположными опорными поверхностями в конце первой секции зоны вторичного охлаждения:

$$A_2 = A_1 - \Delta A = 257,5 - 0,12 = 257,4 \text{ мм.}$$

Расстояние между противоположными опорными поверхностями для остальных секций зоны вторичного охлаждения рассчитываются аналогично.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты расчетов параметров настройки МНЛЗ

Номер зоны	Расстояние	Расстояние
	противоположными опорными поверхностями на входе в зону, мм	противоположными опорными поверхностями на выходе из зоны, мм
Кристаллизатор	260	257,5
1 зона	257,5	257,4
2 зона	257,4	257,0
3 зона	257,0	256,4
4 зона	256,4	255,1
5 зона	255,1	253,5
6 зона	253,5	251,9
7 зона	251,9	250,0

## Работа 6. Охлаждение кристаллизатора

Чаще всего в МНЛЗ используются сборные кристаллизаторы, в стенках которого имеется система вертикальных каналов для охлаждающей воды. Обычно каналы имеют диаметр 20 мм, а расстояние между ними 40...50 мм (принимаем 45 мм).

Основным показателем, характеризующим режим охлаждения кристаллизатора, является расход охлаждающей воды. Предварительно перед расчетом расхода воды необходимо, пользуясь вышеприведенными рекомендациями, выбрать диаметр каналов и определить их число. Расход воды на охлаждение кристаллизатора должен быть таким, чтобы выполнялись два условия:

3) температура воды на выходе из кристаллизатора не должна превышать 40... 450 С с тем, чтобы не происходило отложение растворенных в ней солей;

3) скорость движения воды в каналах должна быть не менее 2 м/с для того, чтобы предотвратить возникновение локальных перегревов.

Расход воды, обеспечивающий выполнение первого условия, определяется следующим образом. Сначала выбором или расчетом определяются исходные данные:

- температура воды на входе в кристаллизатор (принимается 200 С);
- температура воды на выходе из кристаллизатора (принимается 420 С);
- перепад температур воды в кристаллизаторе  $\Delta t_w$  (42–20 = 220 С);
- средний перепад температуры между температурой жидкого металла и температурой поверхности кристаллизующейся заготовки  $\Delta t$  (принимается 3700 С);
- средняя толщина слоя затвердевшего металла в кристаллизаторе  $\xi_0$  :

$$\xi_0 = K_z \cdot \sqrt{\tau} = K_z \cdot \sqrt{\frac{h}{v_p}},$$

где  $K_z$  – коэффициент затвердевания, мм/мин<sup>0,5</sup> ;

$\tau$  – продолжительность затвердевания, мин;

$h$  – расстояние до середины кристаллизатора, м;

$v_p$  – рабочая скорость вытягивания заготовки, м/мин.

Принимаем величину коэффициента затвердевания  $K_z = 26$  мм/мин<sup>0,5</sup> .

Расчет ведем для середины кристаллизатора. Длина кристаллизатора по заданию 950 мм. Рабочая скорость вытягивания – 0,76 м/мин. Кристаллизатор заполняют не полностью. Принимаем, что уровень жидкого металла в кристаллизаторе составляет 850 мм, т.е. расстояние до середины кристаллизатора составит 425 мм.

Тогда:

$$\xi_0 = 26 \cdot \sqrt{\frac{0,425}{0,76}} = 19,4 \text{ мм.}$$

После этого вычисляется средняя плотность теплового потока от заготовки к кристаллизатору:

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{\xi_0},$$

где  $Q$  – средний тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup> ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности затвердевшего металла, Вт/(м·град).

Принимаем следующее значение коэффициента теплопроводности  $\lambda = 30$  Вт/(м·град).

Тогда:

$$Q = 30 \frac{370}{0,0194} = 572,2 \text{ кВт/м}^2 .$$

Затем вычисляется расход воды, обеспечивающий принятую температуру ее на выходе из кристаллизатора:

$$G_{\text{вп}} = \frac{3,6 \cdot Q \cdot F_{\text{вп}}}{\rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}},$$

где  $G_{\text{вп}}$  – расход воды на кристаллизатор по рассматриваемому условию, м<sup>3</sup> /ч;

$F_{\text{вп}}$  - площадь поверхности кристаллизатора, воспринимающая тепловой поток, м<sup>2</sup> ;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup> ;

$C_{\text{в}}$  – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·град).

Найдем площадь поверхности кристаллизатора:

$$F_{\text{вп}} = \left( \frac{1}{2} \cdot (A_0 + A_1) \cdot l_{\text{вп}} + \frac{1}{2} \cdot (B_0 + B_1) \cdot l_{\text{вп}} \right) \cdot 2 = \left( \frac{1}{2} \cdot (0,260 + 0,2575) \cdot 0,85 + \frac{1}{2} \cdot (1,326 + 1,313) \cdot 0,85 \right) \cdot 2 = 2,68 \text{ м}^2.$$

Получим:

$$G_{\text{вп}} = \frac{3,6 \cdot 572,2 \cdot 10^3 \cdot 2,68}{1000 \cdot 4,2 \cdot 22} = 59,7 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход воды, обеспечивающий выполнение второго условия – заданную скорость ее движения в каналах кристаллизатора, определяется по формуле:

$$G'_{\text{кр}} = 900 \pi d^2 v_{\text{в}} m,$$

где  $G'_{\text{кр}}$  – расход воды на кристаллизатор, м<sup>3</sup> /ч;

$d$  – диаметр канала, м;

$v_{\text{в}}$  – скорость движения воды, м/с;

$m$  – количество каналов.

Вычислим количество каналов, по которым течет вода для охлаждения кристаллизатора. Для этого найдем периметр верха кристаллизатора:

$$P = 2 \cdot (260 + 1326) = 3172 \text{ мм}.$$

Расстояние от центра одного канала до центра следующего:

$$45 + 20 = 65 \text{ мм}.$$

Количество каналов:

$$m = 3172 / 65 = 49 \text{ шт}.$$

Тогда:

$$G'_{\text{кр}} = 900 \cdot 3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 2,5 \cdot 49 = 138,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

После вычисления требуемого расхода воды, исходя из первого и второго условия, принимаем больший из них, т.е. 138,5 м<sup>3</sup> /ч.

## Работа 7. Вторичное охлаждение заготовки

Режим вторичного охлаждения непрерывнолитой заготовки должен быть таким, чтобы выдерживался оптимальный температурный режим затвердевшей оболочки. Достаточно точно этот оптимальный температурный режим может быть задан изменением перепада температуры по толщине затвердевшей оболочки:

$$t_{пов} = t_{ликв} - \Delta t,$$

где  $t_{пов}$  – температура поверхности заготовки, 0 С;

$\Delta t$  – перепад температуры по толщине затвердевшей оболочки, 0 С.

Расчет режима вторичного охлаждения заготовки ведется по зонам в соответствии с конструкцией МНЛЗ. Так как по длине любой зоны вторичного охлаждения все показатели, характеризующие тепловое состояние кристаллизующейся заготовки, непрерывно меняются, то расчет ведется до середины зоны.

Расчет каждой зоны производится в такой последовательности:

- 1) определяется время, прошедшее от начала кристаллизации;
- 2) вычисленное время используется для нахождения перепада температуры по толщине затвердевшего слоя  $\Delta t$ , температуры поверхности  $t_{пов}$  и толщины слоя затвердевшего металла  $\xi$ ;
- 3) подсчитывается плотность теплового потока:
  - от жидкой сердцевины к поверхности заготовки через слой затвердевшего металла  $Q_{вн}$  (Вт/м<sup>2</sup>);
  - с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{изл} = \varepsilon \cdot C_0 \left[ \left( \frac{t_{пов} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{окр} + 273}{100} \right)^4 \right];$$

– с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$Q_{конв} = \alpha_{конв} (t_{пов} - t_{окр}),$$

где  $Q_{изл}$ ,  $Q_{конв}$  – плотность перечисленных выше тепловых потоков, Вт/м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – степень черноты поверхности заготовки;

$C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup> × К<sup>4</sup>);

$t_{окр}$  – температура окружающей среды, 0 С;

$\alpha_{конв}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности заготовки, Вт/(м<sup>2</sup> × град).

Из физики известно, что  $C_0 = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup> × К<sup>4</sup>). При расчетах рекомендуется принимать  $\varepsilon = 0,7 \dots 0,8$ , принимаем 0,7.

В первом приближении можно считать, что коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от интенсивности обдува поверхности заготовки воздухом и может быть подсчитан по формуле:

$$\alpha_{\text{конв}} = 6,16 + 4,19 \cdot v_{\text{об}},$$

где  $v_{\text{об}}$  – скорость движения потока воздуха, подаваемого на заготовку, м/с.

При водовоздушном вторичном охлаждении заготовки принимаем  $v_{\text{об}} = 3$  м/с. В случае водяного охлаждения воздух на поверхность заготовки не подается, и поэтому  $v_{\text{об}} = 0$ .

4) Вычисляется плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{\text{ор}} = \frac{Q_{\text{вн}} - Q_{\text{изл}} - Q_{\text{конв}}}{\eta},$$

где  $g_{\text{ор}}$  – плотность орошения поверхности заготовки, м<sup>3</sup> / (м<sup>2</sup> × ч);

$\eta$  – охлаждающий эффект воды, Вт×ч/м<sup>3</sup>.

При расчетах плотности орошения рекомендуется принимать  $\eta = 48000 \dots 52000$  Вт×ч/м<sup>3</sup> – при водяном вторичном охлаждении;

$\eta = 57000 \dots 60000$  Вт×ч/м<sup>3</sup> – при водовоздушном вторичном охлаждении.

Принимаем соответственно 50000 и 58000 Вт×ч/м<sup>3</sup>.

5) Рассчитывается расход воды:

$$G = g_{\text{ор}} \cdot F_{\text{ор}}$$

где  $G$  – расход воды, м<sup>3</sup> / ч;

$F_{\text{ор}}$  – площадь орошаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

В том случае, если на МНЛЗ отливаются непрерывнолитые заготовки, имеющие прямоугольное поперечное сечение с отношением сторон  $B/A \geq 1,5$ , то водой охлаждаются только широкие грани. При этом площадь орошаемой поверхности одной грани определяется по формуле:

$$F_{\text{ор}} = (B - 2\xi) \cdot L_z,$$

где  $L_z$  – длина зоны, м.

В остальных случаях охлаждаются водой все четыре грани заготовки. Площадь орошаемой поверхности каждой грани рассчитывается аналогично.

При разливке стали на МНЛЗ радиального и криволинейного типов охлаждающая вода, подаваемая по малому радиусу, используется более эффективно. Поэтому расход воды по малому радиусу тех зон, где угол наклона оси заготовки к горизонту менее 45°, должен быть уменьшен по сравнению с расчетом на 15...25%.

После определения расхода воды по всем зонам рассчитывается общий и удельный расходы воды на вторичное охлаждение заготовки:



$$G_{\text{см}} = \sum_{i=1}^k G_i ;$$

$$G_{y\partial} = \frac{G_{\text{см}}}{60 \cdot q} ,$$

где  $G_{\text{см}}$  – общий (суммарный) расход воды на вторичное охлаждение, м<sup>3</sup> /ч;

$G_i$  – расход воды на вторичное охлаждение  $i$ -той зоны, м<sup>3</sup> /ч;

$G_{y\partial}$  – удельный расход воды на вторичное охлаждение  $i$ -той зоны, м<sup>3</sup> /т;

$q$  – скорость разливки (в ручье), т/мин.

Для водовоздушной системы вторичного охлаждения необходимо также рассчитать и расход воздуха по зонам. Для качественного распыления воды нужно выдерживать определенное соотношение между расходами воды и воздуха. Величина этого соотношения определяется конструкцией форсунок и может применяться в широких пределах. Для ориентировочных расчетов, проводимых без учета конструкции форсунок, можно принимать соотношение расхода воды к расходу воздуха в пределах от (1:10) до (1:20), принимаем (1:15).

Проведем расчет режима вторичного охлаждения заготовки для скорости вытягивания ее 0,78 м/мин.

#### **Первая секция зоны вторичного охлаждения:**

Рассчитаем время, прошедшее от начала кристаллизации. В соответствии с методическими указаниями [1], расчет будем вести до середины секции. Поэтому длину секции принимаем равной  $0,281/2 = 0,141$  м. Расстояние от уровня жидкого металла до середины первой секции зоны вторичного охлаждения определится как сумма уровня жидкого металла в кристаллизаторе, расстояния между кристаллизатором и зоной вторичного охлаждения, расстояния до середины первой секции зоны вторичного охлаждения:

$$L_1 = 0,850 + 0,2 + 0,141 = 1,19 \text{ м.}$$

Время, прошедшее от начала кристаллизации, определится как:

$$\tau_1 = \frac{l_1}{v} = \frac{1,19}{0,78} = 1,53 \text{ мин.}$$

По графику изменения оптимальной температуры поверхности заготовки для любой конкретной марки стали при заданной скорости вытягивания [1] определим перепад температуры по толщине затвердевшей оболочки. При времени, прошедшем от начала кристаллизации, равном 1,53 мин, перепад температуры равен 410°С. Тогда температура поверхности заготовки равна:

$$t_{\text{пов1}} = t_{\text{ликв}} - \Delta t = 1518 - 410 = 1108 \text{ °С.}$$

Толщина слоя затвердевшего металла:

$$\xi_1 = 26 \cdot \sqrt{1,53} = 32,2 \text{ мм.}$$

Плотность теплового потока:



- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{\text{сн1}} = 30 \cdot \frac{410}{0,0322} = 381988 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{\text{изл1}} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{1108 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 144100 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$\alpha_{\text{конв}} = 6,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$ , т. к. охлаждение в первой секции в соответствии с заданием только водяное, тогда:

$$Q_{\text{конв1}} = 6,16 \cdot (1108 - 20) = 6702 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

В соответствии с методическими указаниями [1], принимаем охлаждающий эффект воды, равный  $50000 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^3$  .

Тогда:

$$g_{\text{оп1}} = \frac{381988 - 144100 - 6702}{50000} = 4,6 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Отношение толщины заготовки к длине В/А равно 5,2, что больше 1,5, значит водой охлаждаются только широкие грани.

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{\text{ор1}} = (1,3 - 2 \cdot 0,0322) \cdot 0,141 = 0,17 \text{ м}^2 .$$

Тогда расход воды составит:

$$G_{\text{вод1}} = 4,6 \cdot 0,17 \cdot 2 = 1,56 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

**Вторая секция зоны вторичного охлаждения:**

Расстояние от центра первой секции до центра второй равно:

$$L_2 = 0,141 + 0,900/2 = 0,591 \text{ м}.$$

Тогда:

$$\tau_2 = \frac{l_2}{v} + \tau_1 = \frac{0,591}{0,78} + 1,53 = 2,29 \text{ мин};$$

$$\Delta t = 420^\circ \text{C};$$

$$t_{\text{пов2}} = 1518 - 420 = 1098 \text{ }^\circ \text{C};$$

$$\xi_2 = 26 \cdot \sqrt{2,29} = 39,3 \text{ мм}.$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{\text{сн2}} = 30 \cdot \frac{420}{0,0393} = 320611 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{изг2} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{1098 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 139934 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$\alpha_{конв} = 6,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$ , т. к. охлаждение во второй секции в соответствии с заданием только водяное, тогда:

$$Q_{конв2} = 6,16 \cdot (1098 - 20) = 6640 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{ор2} = \frac{320611 - 139934 - 6640}{50000} = 3,48 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{ор2} = (1,3 - 2 \cdot 0,0393) \cdot 0,45 = 0,55 \text{ м}^2 .$$

Расход воды:

$$G_{вод2} = 3,48 \cdot 0,55 \cdot 2 = 3,83 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

**Третья секция зоны вторичного охлаждения:**

$$L_3 = 0,450 + 1,446/2 = 1,17 \text{ м};$$

$$\tau_3 = \frac{l_3}{v} + \tau_2 = \frac{1,17}{0,78} + 2,29 = 3,79 \text{ мин};$$

$$\Delta t = 450^\circ\text{C};$$

$$t_{пов3} = 1518 - 450 = 1068 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\xi_3 = 26 \cdot \sqrt{3,79} = 50,6 \text{ мм}.$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{ен3} = 30 \cdot \frac{450}{0,0506} = 266798 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{изг3} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{1068 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 128058 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

В соответствии с методическими указаниями [1], при водовоздушном вторичном охлаждении заготовки принимаем скорость движения потока воздуха  $v_{об} = 3 \text{ м/с}$ , тогда:

$$\alpha_{конв} = 6,16 + 4,18 \cdot 3 = 18,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$Q_{конв3} = 18,7 \cdot (1068 - 20) = 19598 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

В соответствии с методическими указаниями [1], принимаем охлаждающий эффект воды, равный  $58000 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^3$  .

$$g_{ор3} = \frac{266798 - 128058 - 19598}{58000} = 2,05 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{op3} = (1,3 - 2 \cdot 0,0506) \cdot 0,723 = 0,87 \text{ м}^2 .$$

Расход воды:

$$G_{вод3} = 2,05 \cdot 0,87 \cdot 2 = 3,57 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

Расход воздуха:

$$G_{воз3} = 3,57 \cdot 15 = 53,6 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

**Четвертая секция зоны вторичного охлаждения:**

$$L_4 = 0,723 + 3,042/2 = 2,24 \text{ м} ;$$

$$\tau_4 = \frac{l_4}{\nu} + \tau_3 = \frac{2,24}{0,78} + 3,79 = 6,66 \text{ мин} ;$$

$$\Delta t = 485^\circ \text{C} ;$$

$$t_{пов4} = 1518 - 485 = 1033 \text{ }^\circ \text{C} ;$$

$$\xi_4 = 26 \cdot \sqrt{6,66} = 67,1 \text{ мм} .$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{сж4} = 30 \cdot \frac{485}{0,0671} = 216841 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{изл4} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{1033 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 115173 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$\alpha_{конв} = 6,16 + 4,18 \cdot 3 = 18,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)} ;$$

$$Q_{конв4} = 18,7 \cdot (1033 - 20) = 18943 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{op4} = \frac{216841 - 115173 - 18943}{58000} = 1,43 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}) .$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{op4} = (1,3 - 2 \cdot 0,0671) \cdot 1,52 = 1,77 \text{ м}^2 .$$

Расход воды:

$$G_{вод4} = 1,43 \cdot 1,77 \cdot 2 = 5,0 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

Расход воздуха:

$$G_{воз4} = 5,0 \cdot 15 = 75,0 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

**Пятая секция зоны вторичного охлаждения:**

$$L_5 = 1,52 + 3,841/2 = 3,44 \text{ м} ;$$

$$\tau_5 = \frac{l_5}{\nu} + \tau_4 = \frac{3,44}{0,78} + 6,66 = 11,07 \text{ мин} ;$$

$$\Delta t = 525^\circ \text{C} ;$$

$$t_{пов5} = 1518 - 525 = 993 \text{ }^\circ \text{C} ;$$

$$\xi_5 = 26 \cdot \sqrt{11,07} = 86,5 \text{ мм.}$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{\text{ен}5} = 30 \cdot \frac{525}{0,0865} = 182081 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{\text{изл}5} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{993 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 101664 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$\alpha_{\text{конв}} = 6,16 + 4,18 \cdot 3 = 18,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$Q_{\text{конв}5} = 18,7 \cdot (993 - 20) = 18195 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{\text{ор}5} = \frac{182081 - 101664 - 18195}{58000} = 1,07 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{\text{ор}5} = (1,3 - 2 \cdot 0,0865) \cdot 1,92 = 2,16 \text{ м}^2 .$$

Так как на участке пятой секции зоны вторичного охлаждения угол наклона оси заготовки к горизонту становится менее  $45^\circ$ , то расход воды по малому радиусу должен быть уменьшен на 15...25% [1]. Принимаем 20%, тогда:

$$G_{\text{вод}5} = 1,07 \cdot (2,16 + (2,16 - 2,16 \cdot 0,20)) = 4,16 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$G_{\text{воз}5} = 4,16 \cdot 15 = 62,4 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

**Шестая секция зоны вторичного охлаждения:**

$$L_6 = 1,92 + 3,972/2 = 3,91 \text{ м};$$

$$\tau_6 = \frac{l_6}{\nu} + \tau_5 = \frac{3,91}{0,78} + 11,07 = 16,08 \text{ мин};$$

$$\Delta t = 555^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{пов}6} = 1518 - 555 = 963 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\xi_6 = 26 \cdot \sqrt{16,08} = 104,3 \text{ мм.}$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{\text{ен}6} = 30 \cdot \frac{555}{0,1043} = 159636 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{\text{изл}6} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{963 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 92338 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$\alpha_{\text{конв}} = 6,16 + 4,18 \cdot 3 = 18,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$Q_{\text{конв}6} = 18,7 \cdot (963 - 20) = 17634 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{ор6} = \frac{159636 - 92338 - 17634}{58000} = 0,86 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{ор6} = (1,3 - 2 \cdot 0,1043) \cdot 1,99 = 2,17 \text{ м}^2 .$$

Расход воды:

$$G_{вод6} = 0,86 \cdot (2,17 + (2,17 - 2,17 \cdot 0,20)) = 3,36 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расход воздуха:

$$G_{воз6} = 3,36 \cdot 15 = 50,4 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

**Седьмая секция зоны вторичного охлаждения:**

$$L_7 = 1,99 + 4,680/2 = 4,33 \text{ м};$$

$$\tau_7 = \frac{l_7}{v} + \tau_6 = \frac{4,33}{0,78} + 16,08 = 21,63 \text{ мин};$$

$$\Delta t = 575^\circ\text{C};$$

$$t_{пов7} = 1518 - 575 = 943 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\xi_7 = 26 \cdot \sqrt{21,63} = 122,1 \text{ мм}.$$

Плотность теплового потока:

- от жидкой сердцевины к поверхности заготовки:

$$Q_{ен7} = 30 \cdot \frac{575}{0,1221} = 141278 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду излучением:

$$Q_{изл7} = 0,7 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{943 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 86487 \text{ Вт/м}^2 ;$$

- с поверхности заготовки в окружающую среду конвекцией:

$$\alpha_{конв} = 6,16 + 4,18 \cdot 3 = 18,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$Q_{конв7} = 18,7 \cdot (943 - 20) = 17260 \text{ Вт/м}^2 .$$

Плотность орошения поверхности заготовки водой:

$$g_{ор7} = \frac{141278 - 86487 - 17260}{58000} = 0,65 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Площадь орошаемой поверхности одной грани:

$$F_{ор7} = (1,3 - 2 \cdot 0,1221) \cdot 2,34 = 2,47 \text{ м}^2 .$$

Расход воды:

$$G_{вод7} = 0,65 \cdot (2,47 + (2,47 - 2,47 \cdot 0,20)) = 2,89 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расход воздуха:

$$G_{воз7} = 2,89 \cdot 15 = 43,4 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Общий расход воды на вторичное охлаждение заготовки:

$$G_{вт}^{вод} = 1,56 + 3,83 + 3,57 + 5,0 + 4,16 + 3,36 + 2,89 = 24,37 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Удельный расход воды на вторичное охлаждение заготовки:

$$G_{уд}^{вод} = \frac{24,37}{60 \cdot 1,85} = 0,22 \text{ м}^3/\text{т.}$$

Общий расход воздуха на охлаждение заготовки:

$$G_{см}^{воз} = 53,6 + 75,0 + 62,4 + 50,4 + 43,4 = 284,8 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Результаты расчетов по каждой зоне представлены в таблице 7.1.

### Работа 8. Длительность разливки плавки и производительность МНЛЗ

Без учета синхронизации работы отделения выплавки и разливки стали длительность разливки плавки можно определить по формуле:

$$\tau_p = \frac{M}{N \cdot \rho_{ст} \cdot F \cdot v_p},$$

где  $\tau_p$  – длительность разливки плавки, мин;  
 $M$  – масса стали в сталеразливочном ковше, т;  
 $N$  – количество ручьев.

Тогда:

$$\tau_p = \frac{365}{4 \cdot 7,5 \cdot 0,325 \cdot 0,76} = 49,3 \text{ мин.}$$

Годовая производительность МНЛЗ подсчитывается по формуле:

$$П = M \cdot \frac{1440}{z \cdot \left( \tau_p + \frac{\tau_{nc}}{S} \right) + (100 - z)(\tau_p + \tau_n)} \cdot g_z \cdot D$$

где  $П$  – годовая производительность МНЛЗ, т/год;

$1440$  – количество минут в сутках;

$z$  – доля плавков, разливаемых сериями методом «плавка на плавку», %;

$\tau_{nc}$  – длительность паузы между сериями, мин;

$S$  – среднее количество плавков в одну серию;

$\tau_n$  – длительность паузы между разливкой двух одиночных плавков, мин;

$g_z$  – выход годных заготовок, %;

$D$  – число рабочих суток в году.

Для расчета годовой производительности МНЛЗ принимаем следующие исходные данные:

$z = 100\%$ ;

$S = 50$  плавков;

$$g_{\varepsilon} = 98\%;$$

$$D = 320 \text{ сут.}$$

Длительность паузы при работе МНЛЗ методом «плавка на плавку» для слябовых машин составляет 150–180 мин, а для сортовых 80–110 мин.

Принимаем  $\tau_{nc} = 160$  мин.

При необходимости учета синхронизации работы отделения выплавки металла с отделением непрерывной разливки стали (ОНРС), длительность разливки плавки и длительность пауз необходимо принимать кратными ритму подачи ковшей. В конвертерном цехе с двумя работающими конвертерами ковши с жидким металлом поступают в ОНРС обычно через 15–20 мин., а в электросталеплавильном цехе – через 60–90 мин.

Получаем:

$$P = 365 \cdot \frac{1440}{100 \cdot (49,3 + \frac{160}{50})} \cdot 98 \cdot 320 = 3139584 \text{ т / год.}$$

### Заключение

В курсовой работе были определены наиболее важные технологические параметры, характеризующие процесс непрерывной разливки стали:

1) диапазон скоростей вытягивания заготовки:

$$v_{\text{мин}} = 0,38 \text{ м / мин.},$$

$$v_{\text{макс}} = 1,10 \text{ м / мин.},$$

2) расход воды на охлаждение кристаллизатора составил 138,5 м<sup>3</sup> /ч;

3) удельный расход воды на вторичное охлаждение заготовки составил 0,22 м<sup>3</sup> /т;

4) средняя продолжительность разливки плавки составила 49,3 мин;

5) годовая производительность МНЛЗ равна 3,14 млн. тонн.

### Список использованных источников

- 1 Расчет технологических параметров непрерывной разливки стали/Селиванов В.Н., Столяров А.М.: Методические указания. –Магнитогорск: МГМИ, 1993. – 14 с.
- 2 Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.
- 3 Стали и сплавы. Марочник/ Сорокин В.Г., Гервасьев М.А.: Справочник. –М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. – 608 с.