

**УДК 621.78**

А.С. Горшенин, к.т.н., доцент (СамГТУ)

В. Е. Кривошеев, к.т.н., доцент (СамГТУ)

г. Самара

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ С НЕИЗМЕННЫМИ РЕЖИМНЫМИ  
И КОНСТРУКТИВНЫМИ ФАКТОРАМИ МОДЕЛИ  
ТЕПЛООБМЕНА**

Термическая обработка алюминиевых слитков имеет большое значения для снижения дефектов, возникших при его литье. Термическая обработка является одним из самых энергозатратных в тепловых технологиях. Задача снижения энергетических затрат является одной из приоритетных в современной энергетике. На величину энергетических затрат в процессе термической обработки оказывают влияние многие режимные и конструктивные факторы. Одним из видов термической обработки алюминия является гомогенизационный отжиг, приводящий к устранению дендритной ликвации, выравниванию структуры сплава, уменьшению микропор и трещин. Важным моментом после гомогенизации является скорость охлаждения слитка. При медленном охлаждении успевает произойти распад легирующих элементов в сплаве. Слиток приобретает повышенную пластичность и может деформироваться при меньших давлениях и с большими скоростями. При быстром охлаждении слитка выше температуры перехода легирующих элементов в твердый раствор происходит закалка сплава.

Таким образом, скорость охлаждения слитка после гомогенизации не должна превышать критическую [1]. Одним из способов, позволяющим вести организованный процесс охлаждения слитков с заданной скоростью, является использование специальной камеры охлаждения.

В работах [2,3] рассматривались математические модели, описывающие теплообмен при охлаждении алюминиевых слитков воздухом в камере охлаждения. Обобщенная математическая модель для ряда, состоящего из нескольких алюминиевых слитков, имеет вид [2,3]

$$\begin{cases} t_{B_N} = t_{B_{(N-1)}} + \frac{c_{Pал}}{c_{Pв}} \frac{m_{ал}}{G_B} [(T_{(N-1)} - t_{B_{(N-1)}}) - (T_0 - t_{B1}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo)] \\ T_N = t_{B_{N-1}} + (T_0 - t_{B_{N-1}}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo) \\ \frac{T}{\tau} \leq 70^\circ C / ч \text{ на отрезке } 500^\circ C - 300^\circ C \end{cases}, \quad (1)$$

где  $t_{B_N}$  - температура воздуха после охлаждения слитка,  $T_N$  - температура алюминиевого слитка,  $\frac{T}{\tau}$  - заданная скорость охлаждения слитков.

Данная модель позволяет провести исследование теплообмена при постоянных или переменных режимных и конструктивных факторах. Рассмотрим поведение модели при сохранении их постоянными. Режимным фактором, влияющим на время охлаждения слитков, является только скорость охлаждающего воздуха. Конструктивными факторами являются диаметр слитка  $d$  и ширина канала  $\delta$ .

Для снижения энергетических затрат необходимо исследовать теплообмен между охлаждающим воздухом и слитками и оптимизировать конструктивные и режимные факторы. Исследуем характер теплообмена с использованием (1) при охлаждении ряда слитков при следующих факторах: скорость охлаждающего воздуха  $W = 1,1 \text{ м/с}$ , диаметр слитка  $d = 0,24 \text{ м}$ , ширина канала  $\delta = 0,2 \text{ м}$ . В процессе расчета определяется изменение температур каждого слитка и охлаждающего воздуха в течении времени.

По результатам расчета построен график, представленный на рис. 1, для следующих исходных данных: начальная температура охлаждаемого слитка  $T_0 = 500^\circ \text{C}$ , начальная температура нагрева воздуха  $t_B = 20^\circ \text{C}$ , количество слитков в ряду  $n = 8 \text{ шт}$ , длина слитка  $l = 12 \text{ м}$ , время охлаждения  $\tau = 11 \text{ часов}$ .

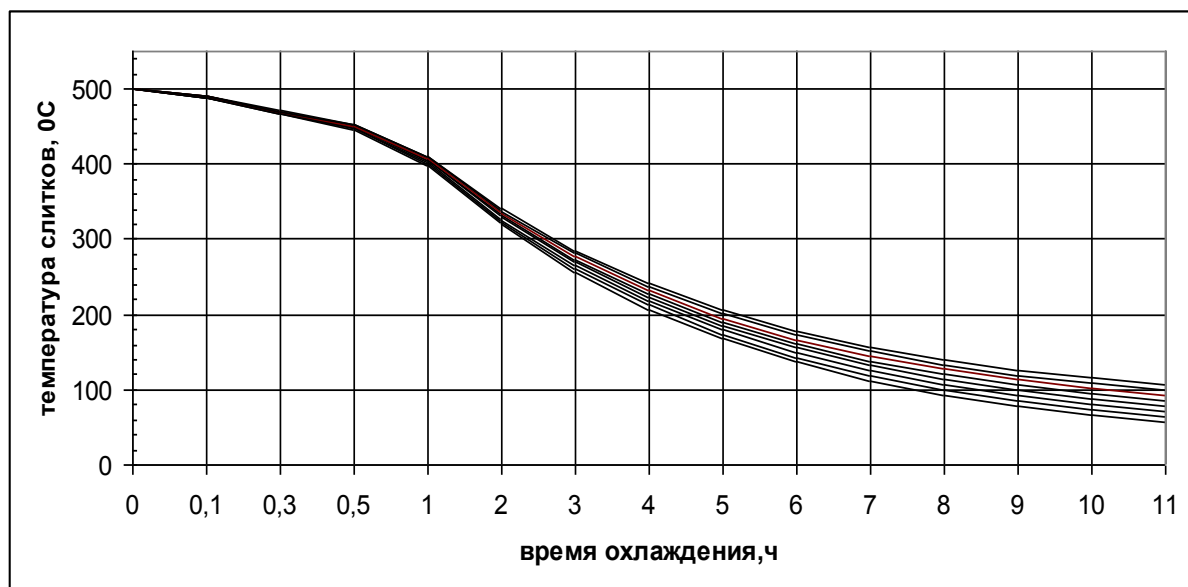


Рис. 1 Зависимость температуры слитков от времени охлаждения

Из рис.1 можно сделать вывод, что температура слитков в начальный момент времени охлаждения  $\tau = 0,5 \text{ ч}$  почти одинакова. Это

позволяет сделать предположение о возможности в начальный период времени  $\tau = 0,5\text{ч}$  вести регулирование процесса охлаждения по первому слитку. Также из графика видно, что каждый последующий слиток в ряду имеет более высокую температуру, чем предыдущий. Это следствие того, что воздух при омывании слитков постепенно нагревается, и перепад температуры между слитком и воздухом уменьшается.

Используя рис.1, построим график изменения скорости охлаждения слитков во времени. Скорость охлаждения слитка рассчитываем как отношение разницы температур, соответствующих временному интервалу, к этому интервалу времени. По результатам расчета скорости охлаждения слитка построен график, представленный на рис. 2.

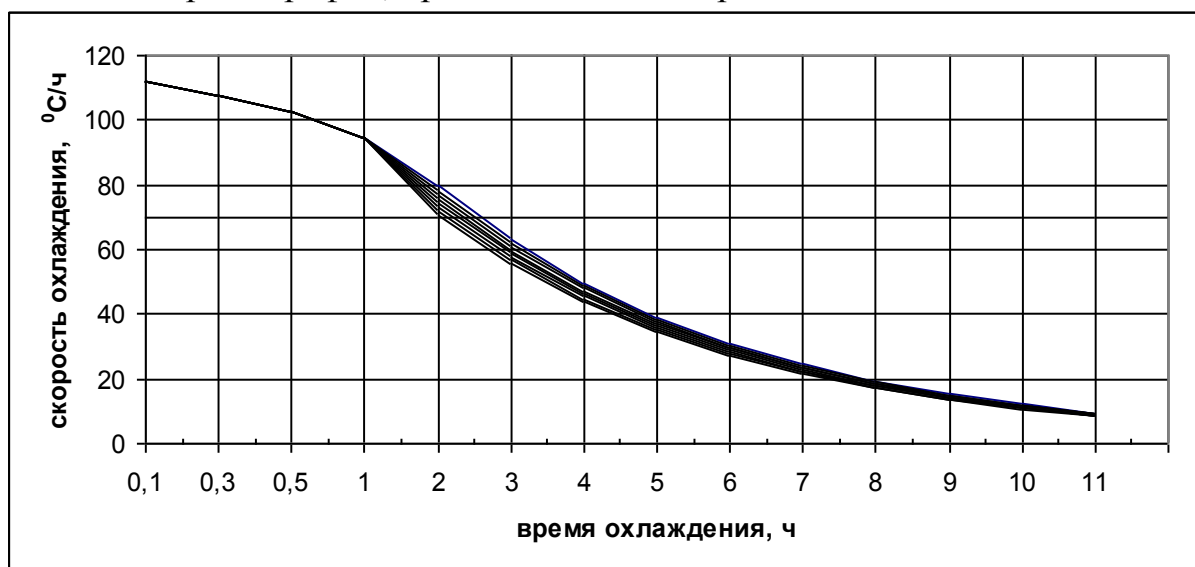


Рис. 2. Зависимость скорости охлаждения слитков от времени охлаждения

На рисунке 2 представлена зависимость скорости охлаждения слитков во времени, также нанесена прямая, характеризующая критическую скорость охлаждения слитков до достижения ими температуры  $300^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ .

Из рисунка 2 можно сделать вывод, что даже при заданной скорости воздуха  $W = 1,1\text{м}/\text{с}$  скорость охлаждения слитков в начальный момент времени превышает критическую, что приведет к закалке слитков. Это говорит о том, что скорость охлаждающего воздуха в начальный момент времени, должна быть ниже. Также из рисунка следует, что по истечении времени  $\tau = 1,5\text{ч}$  скорость охлаждения падает ниже критической и продолжает уменьшаться с течением времени.

Из рисунка 1 видно, что первый слиток достигает температуры  $300^{\circ}\text{C}$  примерно через  $2,2\text{ч}$ . Это означает, что по истечении этого времени первый слиток не подвергнется закалке, и можно переходить на регулирование процесса охлаждения по второму слитку. После достижения вторым слитком температуры  $300^{\circ}\text{C}$ , можно переходить на

регулирование по третьему слитку и так далее, до тех пор, пока последний слиток не будет иметь температуру  $300^{\circ}\text{C}$ .

Из рисунка 1 видно, что последний слиток достигнет температуры  $300^{\circ}\text{C}$  примерно через 2,7ч. Дальнейшее охлаждение слитков с заданной скоростью охлаждающего воздуха  $W = 1,1\text{м/с}$  приведет к пониженной скорости охлаждения и увеличению общего времени процесса охлаждения.

Для сокращения общего времени охлаждения необходимо увеличить скорость охлаждающего воздуха до максимально возможной, как показано на рис. 3, так как это уже не влияет на свойства слитка.

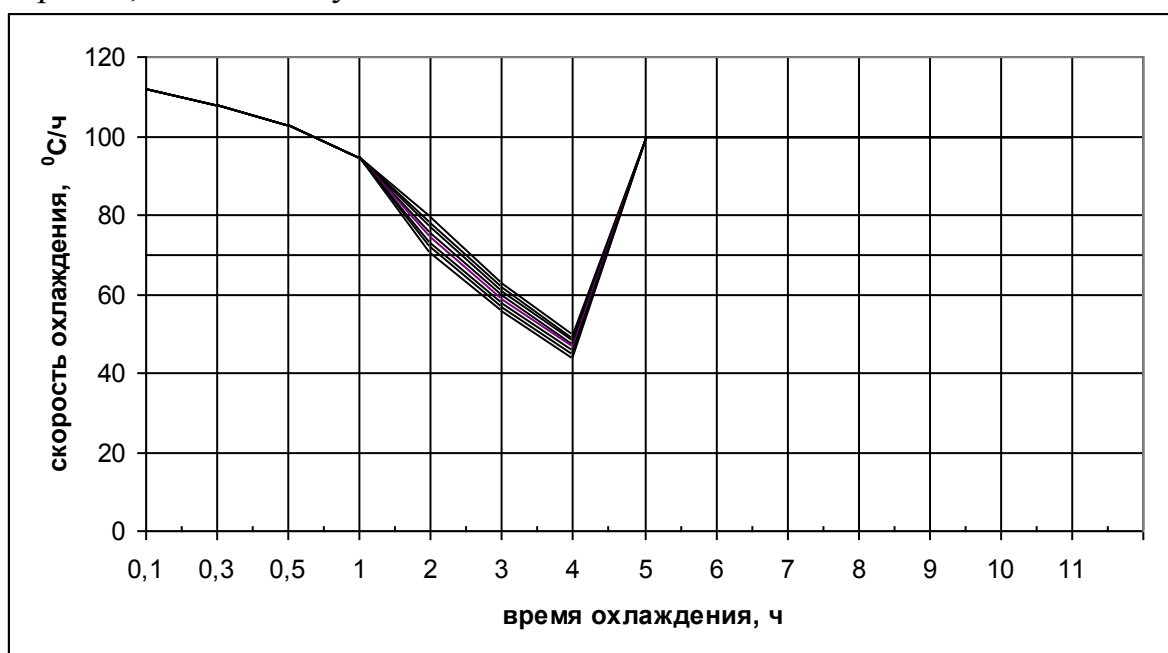


Рис. 3. Зависимость скорости охлаждения слитков от времени охлаждения при изменении скорости охлаждающего воздуха

Таким образом, постоянные режимные и конструктивные факторы не обеспечивают заданную скорость охлаждения и не позволяют оптимизировать процесс охлаждения. Поэтому необходимо изучить теплообмен при переменных факторах, которые позволят снизить энергозатраты на охлаждение алюминиевых слитков.

#### Список литературы:

1. Металловедение алюминия и его сплавов: Справ. изд. 2-е изд., перераб. и доп./ Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.Н. – М.: Металлургия, 1983. с. 280
2. Горшенин А.С. Математическая модель охлаждения алюминиевого слитка после гомогенизационного отжига// Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и

образовании: Тр. междунар.научно-практич. конф.- Одесса: 2011. – С. 102-105.

3. Горшенин А.С., Кривошеев В.Е. Исследование тепловых процессов при охлаждении алюминиевых слитков после их термической обработки// Энергетика и энергоэффективные технологии: Тр. V междунар. Науч.-практич. конф.- Липецк: 2011.- С. 134-137.