

19. Николаев В. А. К расчету коэффициента трения при горячей прокатке // Там же. – 1994. – № 11. – С. 21-24.
20. Николаев В. А. Влияние химического состава стали на предел текучести при пластической деформации // *Металл и литье Украины*. – 2000. – № 11-12. – С. 5-8.
21. Повышение точности листового проката / И. М. Меерович, А. И. Герцев, В. С. Горелик, Э. Я. Классен. – М.: *Металлургия*, 1972. – 176 с.
22. Ткалич К. Н., Коновалов Ю. В. Точная прокатка тонких полос. – М.: *Металлургия*, 1972. – 176 с.
23. Николаев В. А., Матюшенко Д. А. Влияние обжата в первой клетки чистовой группы ШСГП на параметры прокатки полос // *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. – 2007. – № 5. – С. 57-60.
24. Николаев В. А., Матюшенко Д. А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос // *Металл и литье Украины*. – 2007. – № 8. – С. 20-22.

Анотація

Ніколаєв В. О., Васильєв А. О.

Особенности прокатки на комбинированном штабовом стане

Запропоновано новий спосіб гарячої прокатки на широкоштабовому стані з розподілом чистової групи на дві підгрупи. Моделювання процесу показало можливість прокатки зі зменшенням товщини штаби до задньої кінцевої ділянки за допустимими температурами закінчення процесу.

Ключові слова

прокатка, широкоштабовий стан, чистова група, підгрупа, товщина, штаба, температура

Summary

Nikolayev V., Vasylyev A.

The peculiarities of rolling on combined strip mill

New way of hot rolling on wide strip mill with finishing group division in two subgroups was proposed. By modeling of process the possibility of rolling with strip thinning towards its end part at permissible temperatures at the end of the process is shown.

Keywords

rolling, wide strip mill, finishing group, subgroups, thickness, strip, temperature

Поступила 23.05.11

УДК 621.74.04

С. И. Репях, А. А. Жегур*

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

*ООО «НТП „Новые машины и технологии“», Днепропетровск

Модуль охлаждения Т-образного узла отливки

Исследован процесс затвердевания металла в протяженных Т-образных термических узлах стальных отливок, изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям. Получены эмпирические формулы для расчета модуля охлаждения Т-образного термического узла отливки.

Ключевые слова: *затвердевание, галтель, стенка, узел термический, отливка, модуль охлаждения*

Наиболее часто усадочные дефекты (раковины, рыхлоты, пористость) образуются в термических узлах отливок, к числу которых относятся и их Т-образные сопряжения стенок. Усадочные ра-

ковины и рыхлоты в Т-образных термических узлах определенных групп отливок являются недопустимыми дефектами, снижающими надежность литых деталей. Для предупреждения образования возник-

новения усадочных дефектов на Т-образный термический узел устанавливают прибыль или иной питающий его элемент литниково-питающей системы. Тем не менее, установка питающего элемента не всегда гарантирует получение плотного металла в Т-образном термическом узле отливки, что, в частности, объясняется отсутствием методики расчета размеров питающих элементов для данного типа термических узлов. Один из путей решения данной задачи – это назначение размеров питающих элементов по величине модуля охлаждения (приведенной толщине) питаемого узла [1, 2], что до настоящего времени было невозможно из-за отсутствия формул для расчета модуля охлаждения Т-образных термических узлов отливок.

Модуль охлаждения Т-образного термического узла отливки рассчитывали, проводя аналогию между его затвердеванием и термически плоской стенкой отливки. Поэтому для расчетов, проведения экспериментальных исследований и компьютерного моделирования процесса затвердевания расплава в форме использовали схемы, представленные на рис. 1.

Для термически плоской отливки с толщиной стенки δ (рис. 1, а) при мгновенной заливке расплава в форму без перегрева время его полного затвердевания рассчитывают по формуле [3]

$$\tau_c = \left(\frac{\delta}{2K} \right)^2, \quad (1)$$

где δ – толщина стенки, м; K – коэффициент затвердевания, м/с^{0.5}.

Для термически плоской отливки с толщиной стенки δ длительность затвердевания в ней расплава с учетом времени отвода теплоты перегрева расплава, по аналогии с формулой (1), вычисляют по формуле

$$\tau = \left(\frac{\delta}{Z} \right)^2, \quad (2)$$

где Z – коэффициент, м/с^{0.5}; τ – время отвода теплоты перегрева и затвердевания расплава в форме, с.

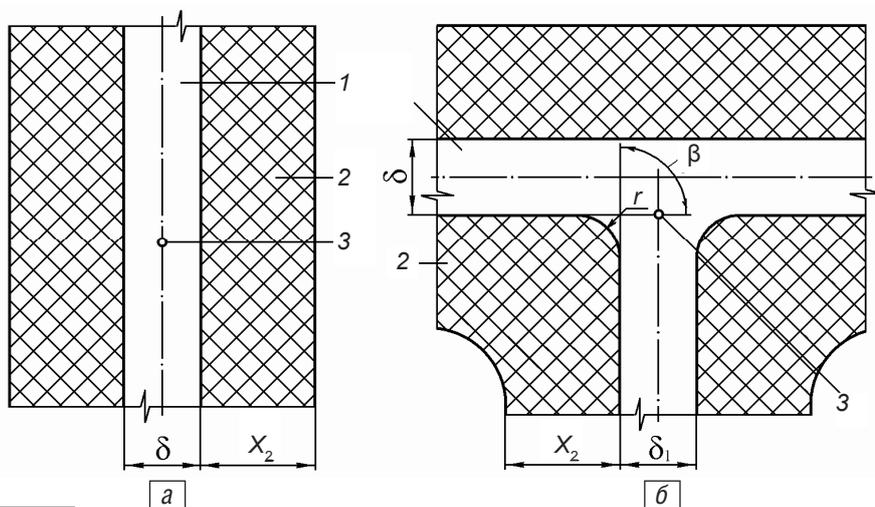


Рис. 1. Схема расположения горячего спая термомпары в плоской стенке отливки (а) и ее Т-образном термическом узле (б): 1 – отливка; 2 – керамическая оболочковая форма; 3 – место положения горячего спая термомпары

Из формулы (2) можно найти

$$Z = \frac{\delta}{\sqrt{\tau}}. \quad (3)$$

По аналогии с формулой (3), для Т-образного термического узла отливки величина коэффициента Z будет равна

$$Z = \frac{\delta_T}{\sqrt{\tau_T}}, \quad (4)$$

где δ_T – толщина гипотетической термически плоской отливки в области ее термического узла, м; τ_T – время отвода теплоты перегрева и затвердевания расплава в Т-образном термическом узле отливки, с.

Решая совместно формулы (3) и (4) относительно δ_T , получаем

$$\delta_T = \delta \cdot \sqrt{\frac{\tau_T}{\tau}}. \quad (5)$$

Поскольку для термически плоской стенки отливки модуль ее охлаждения равен, см

$$R = \frac{U}{S} = \frac{\delta}{2}, \quad (6)$$

где U – объем стенки отливки, см³; S – площадь контакта стенки отливки с формой, см²; δ – толщина стенки отливки, см, то по аналогии с формулой (6) для гипотетической термически плоской стенки отливки толщиной δ_T модуль ее охлаждения в области Т-образного термического узла составит, см

$$R_T = \frac{U_T}{S_T} = \frac{\delta_T}{2}, \quad (7)$$

где U_T – объем гипотетической термически плоской стенки отливки в области Т-образного термического узла, см³; S_T – площадь контакта гипотетической термически плоской стенки отливки с формой в области Т-образного термического узла, см²; δ_T – толщина гипотетической термически плоской стенки отливки, см.

С учетом (5) формула (7) примет вид, см

$$R_T = \frac{\delta}{2} \cdot \sqrt{\frac{\tau_T}{\tau}}. \quad (8)$$

Определение времени τ и τ_T проводили по результатам натурального и компьютерного экспериментов для термически плоских стенок отливок и их Т-образных термических узлов (см. рис. 1) при следующих условиях: отливка – сталь марки 10X18H9Л, температура заливки расплава в форму – (1550 ± 10) °С, температура перегрева расплава стали над ее температурой ликвидус – (70 ± 10) °С; форма – кварцевая оболочковая, изготовленная на основе гидролизованного спиртового раствора этилсиликата и заливаемая расплавом стали на воздухе без

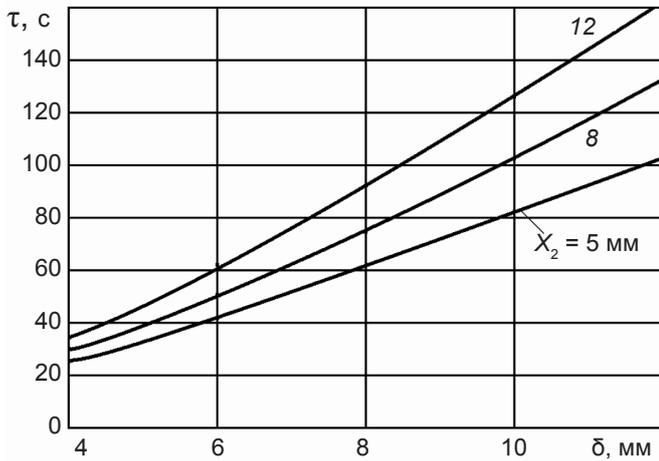


Рис. 2. Изменение τ от $f(\delta, X_2)$

опорного наполнителя. Начальная температура формы – $(900 \pm 50)^\circ\text{C}$, время заливки формы расплавом $\tau_3 \rightarrow 0$.

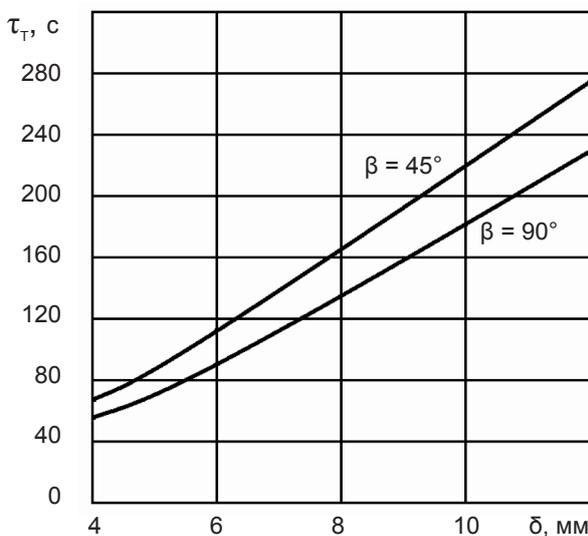
В работе исследовали (см. рис. 1) влияние толщины основной (δ) и сопрягаемой с ней (δ_1) стенок отливки, толщины стенки формы (X_2), радиуса галтели (r) и угла сопряжения (β) Т-образного сочленения термически плоских стенок отливок на время затвердевания расплава стали в тепловом центре термического узла отливки, а также влияние толщины стенки отливки (δ) и стенки формы (X_2) на время затвердевания расплава стали в термически плоской стенке. Пределы изменения исследуемых параметров для Т-образных термических узлов отливок и их термически плоских стенок приведены в табл. 1.

При компьютерном моделировании для кварцевых оболочковых форм, заливаемых на воздухе,

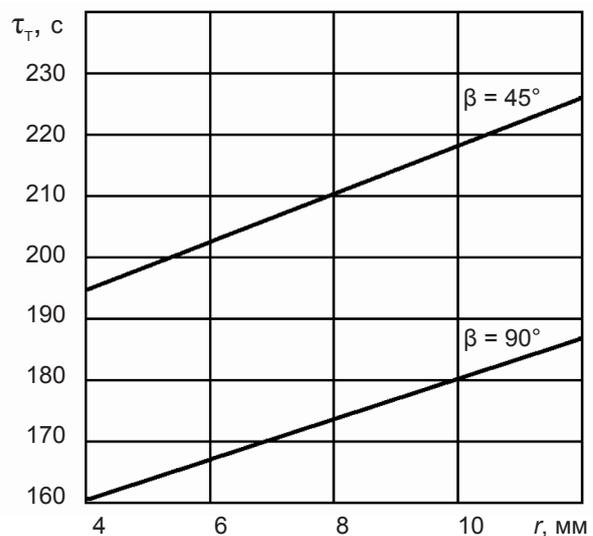
Таблица 1

Пределы изменения параметров

| Уровни | Параметры | | | | |
|---------|---------------|-------------------|------------|----------------|--------------|
| | δ , мм | δ_1/δ | r/δ | β , град | X_2/δ |
| Верхний | 16,0 | 1 | 1,2 | 90 | 2,5 |
| Нижний | 4,0 | 0,4 | 0,4 | 45 | 0,5 |



а



б

Рис. 3. Изменения τ_T от $f(\delta, \beta)$ при $\delta = \delta_1 = r$ и $X_2 = 10$ мм (а), τ_T от $f(r, \beta)$ при $\delta = \delta_1 = 10$ мм и $X_2 = 10$ мм (б)

использовали теплофизические данные, приведенные в работе [2] и адаптированные к используемым в исследованиях кварцевым оболочковым формам по результатам термографирования реальных отливок.

В результате обработки экспериментальных данных и данных компьютерного моделирования получили эмпирические зависимости, используя которые с величиной погрешности менее 5 % при указанных выше параметрах и в указанных выше пределах их изменения можно рассчитать:

– время охлаждения и затвердевания расплава стали марки 10X18H9Л в термически плоской стенке отливки, с

$$\tau = (0,77 + \delta)^2 \left(\frac{X_2}{\delta} \right)^{(0,35 + 0,014\delta)}, \quad (9)$$

где величины δ и X_2 представлены в миллиметрах;

– коэффициент затвердевания расплава стали марки 10X18H9Л в термически плоской стенке отливки, $\text{мм}/\text{с}^{0,5}$

$$K = 0,613(0,925 - 0,155 \cdot \ln X_2) \times (1,63 + 0,0009X_2 - 8 \cdot 10^{-6} X_2) \times \left(1 - 0,277 \cdot \ln \frac{16}{\delta} \right), \quad (10)$$

где величины δ и X_2 представлены в миллиметрах;

– время охлаждения и затвердевания расплава стали марки 10X18H9Л в Т-образных узлах термически плоских стенок отливок, с

$$\tau_T = (1,48 - 0,0048\beta) \left(0,64 + 0,138 \frac{r}{\delta} \right) AB; \quad (11)$$

$$A = 0,86 + \left(\frac{\delta_1}{\delta} \right)^{0,72};$$

$$B = (0,92 + \delta)^2 \left(\frac{X_2}{\delta} \right)^{(0,4 + 0,016\delta)},$$

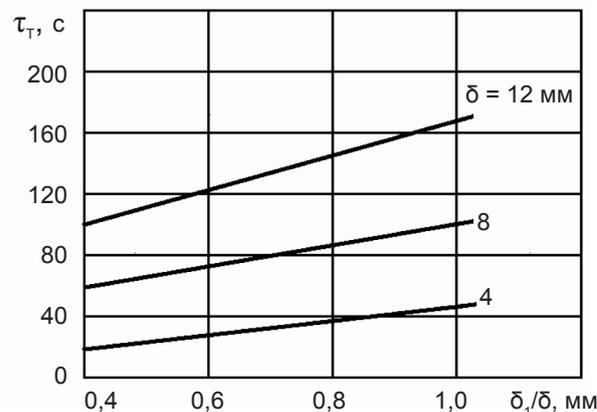
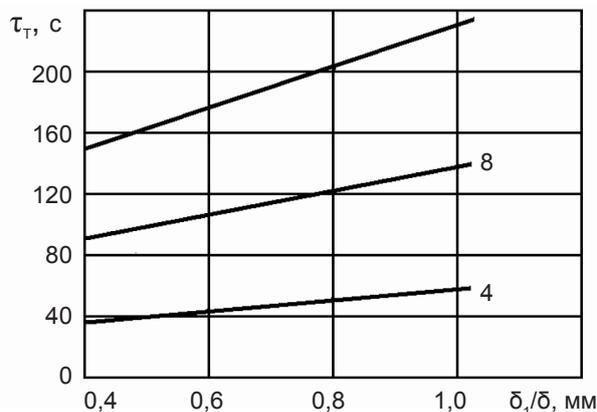


Рис. 4. Изменения τ_T от $f(\delta_1/\delta, \delta)$ при $r/\delta = 1, \beta = 90^\circ$ и $X_2 = 10$ мм (а), τ_T от $f(\delta_1/\delta, \delta)$ при $r/\delta = 1, \beta = 90^\circ$ и $X_2 = 6$ мм (б)

где величины δ, δ_1, r и X_2 представлены в миллиметрах, β – в градусах.

Для анализа влияния геометрических параметров термически плоской стенки отливки и ее Т-образного термического узла на время, соответственно, τ и τ_T по формулам (9) и (11) построили графики (рис. 2...4).

Зависимости времени отвода теплоты перегрева и затвердевания расплава стали в термически плоских стенках отливок от их толщины и толщины стенок формы, построенные по формуле (9), представлены на рис. 2, анализ которого показывает, что при формировании отливок в кварцевых оболочковых формах без опорного наполнителя время отвода теплоты перегрева и затвердевания расплава стали в термически плоских стенках отливок возрастает с увеличением как толщины стенки отливки, так и толщины стенки формы.

Время отвода теплоты перегрева и затвердевания расплава стали в Т-образных термических узлах отливок, в соответствии с зависимостями на рис. 3, 4, возрастает с увеличением толщины основной и сопрягаемой стенок отливки, соотношения δ_1/δ , радиуса галтели сопряжения (r), толщины стенки формы (X_2) и с уменьшением угла сопряжения (β).

Используя формулы (9) и (11), несложно рассчитать модуль охлаждения Т-образного термического узла отливки по формуле (8) в пределах изменения его геометрических параметров (см. таблицу).

В качестве примера можно рассчитать модуль охлаждения Т-образного термического узла отливки при следующих значениях его параметров: $\delta = 12$ мм, $\delta_1 = 12$ мм, $r = 10$ мм, $\beta = 90^\circ$ и X_2 от 8 до 14 мм.

В расчетах по формуле (8) величина толщины стенки отливки переведена в сантиметры. Результаты расчета величины R_T представлены на рис. 5, анализ которого показывает, что модуль охлаждения R_T рассматриваемого Т-образного термического узла отливки возрастает от 0,725 см (при $X_2 = 8$ мм) до 0,740 (при $X_2 = 14$ мм). При этом модуль охлаждения стенки рассматриваемой отливки, в соответствии с формулой (6), составляет $R = 1,2/2 = 0,6$ см. Вычислив величину модуля охлаждения Т-образного термического узла отливки при определенной толщине стенки кварцевой оболочковой формы можно вычислить размеры соответствующей прибыли на этот узел.

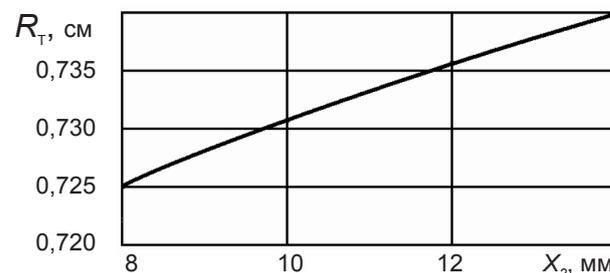
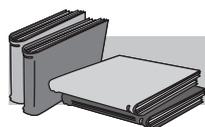


Рис. 5. Изменение R_T от $f(X_2)$

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют проводить расчет модуля охлаждения Т-образных термических узлов отливок из стали марки 10Х18Н9Л, изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям в кварцевые оболочковые формы без опорного наполнителя с начальной температурой 850...950 °С.



ЛИТЕРАТУРА

1. Хворинев Н. И. Затвердевание отливок: пер. с нем. и чешск. – М.: ИИЛ, 1955. – 144 с.
2. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
3. Гиршович Н. Г., Нехендзи Ю. А. Тепловые основы затвердевания отливок / Новое в теории и практике литейного производства. Вып. 39. – М.; Л.: Машгиз, 1956. – С. 22-60.

Анотація

Реп'ях С. І., Жегур О. А.

Модуль охолодження Т-подібного вузла виливка

Досліджено процес твердіння металу в протяжних Т-подібних термічних вузлах сталевих виливків, що виготовляються методом литва за моделями, що виплавляються. Отримано емпіричні формули для розрахунку модуля охолодження Т-подібного термічного вузла виливка.

Ключові слова

твердіння, галтель, стінка, вузол термічний, виливок, модуль охолодження

Summary

Repyakh S., Zhegur A.

Cooling module of T-shaped hot spot of casting

The process of metal solidification in the extended T-shaped hot spot of steel castings produced by investment casting. The empirical formula for calculating the cooling module of the T-shaped thermal center of casting is found.

Keywords

solidification, fillet, wall, hot spot, casting, cooling module

Поступила 01.04.11

УДК 621.78:532.525.6

Э. Е. Бейгельзимер

НПО «Доникс», Донецк

Инженерная методика расчета радиуса пятна контакта охлаждающей струи на верхней поверхности горячекатаного листа

Выполнено аналитическое исследование кольцевого гидравлического прыжка, образующегося при вертикальном натекании одиночной круглой струи жидкости на верхнюю поверхность неподвижной горизонтальной пластины. Получены простые зависимости радиуса прыжка от толщины послепрыжкового слоя в стационарном режиме. Область растекания струи при этом упрощенно разделена на две зоны: невязкого и вязкого течения (для второй из этих зон принято допущение о постоянстве толщины потока жидкости). Методика рекомендуется для использования процесса охлаждения металлических листов круглыми струями жидкости в инженерных расчетах, а также решения задач автоматического управления этим процессом в режиме реального времени.

Ключевые слова: струя жидкости, металлический лист, кольцевой гидравлический прыжок, радиус прыжка, инженерный расчет

Введение. Наиболее интенсивный теплоотвод при охлаждении верхней поверхности металлического листа круглыми жидкими струями обычно наблюдается в зоне, ограниченной кольце-

вым гидравлическим прыжком, под которым понимается скачкообразный рост толщины радиального потока жидкости [1]. Образование гидравлического прыжка связано с наложением собственного