

13. Григорьев С. М., Григорьев Д. С., Карпунина М. С. Термодинамические особенности восстановления вольфрама и математическая модель в системе W-O-C применительно к технологии получения губчатого ферровольфрама // Чер. металлы. – 2006. – № 2. – С. 49-55.
14. Предварительная подготовка и использование отходов в условиях производства быстрорежущих сталей / М. П. Ревун, С. М. Григорьев, Ю. Н. Каюков и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 10. – С. 86-88.

## Анотація

Григор'єв С. М., Петрищев А. С.

Особенности фазовых перетворень в процесі відновлення окалини швидкорізальної сталі

Досліджено фазові перетворення при вуглецевотермічному відновленні окалини сталі марки P18. Встановлено схему перетворень, яка підтверджує складний багатофазний вміст початкових, проміжних і кінцевих продуктів реакції та відсутність фаз і з'єднань, що мають помітну схильність до сублимації в межах досліджуваних температур. Показано міру засвоєння тугоплавких легувальних елементів розплавом сталі при використанні металізованої окалини.

## Ключові слова

фазові перетворення, вуглецевотермічне відновлення, окалина, сублимація, тугоплавкі легувальні елементи

## Summary

Grigoriev S., Petrishchev A.

Phase change features in the course of restoration of a scale of a rapid tool steel

Phase transformations at carbothermic reduction of an oxide scale of steel P18 were investigated. The transform circuit that confirms complex multiphase composition of initial, intermediate and end-products of reaction and confirms the absence of phases and the compounds with appreciable propensity to sublimation at the temperatures being investigated is established. The degree of assimilation of high-melting alloying elements with a melt of steel at use of mill scale is shown.

## Keywords

phase transformations, carbothermic reduction, mill scale, sublimation, high-melting alloying elements

Поступила 12.04.11

УДК 621.74.04

**А. А. Жегур, С. И. Репях\***

ООО «Научно-техническое предприятие „Новые машины и технологии“», Днепропетровск

\*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

## Расчет рациональной величины галтели в Т-образном термическом узле отливки

Получена эмпирическая формула расчета наиболее рационального размера галтели в результате экспериментальных и компьютерных исследований процесса затвердевания расплава в протяженном Т-образном термическом узле отливки

**Ключевые слова:** затвердевание, галтель, раковина, узел термический, отливка

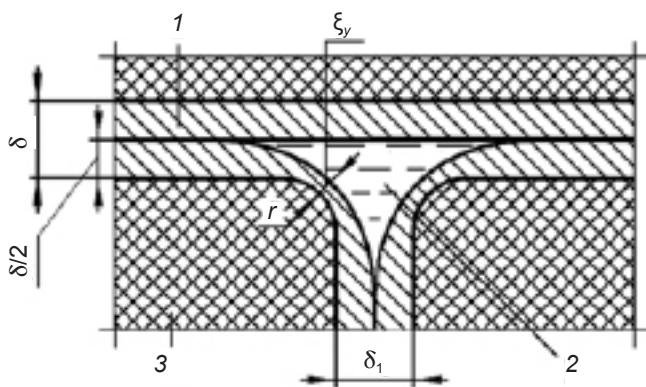
**Н**аиболее вероятными местами образования усачных дефектов (пористость, рыхлота, раковина, трещина, утяжина) в отливке являются ее термические узлы. Из числа известных типов тер-

мических узлов отливок в этом отношении наиболее «неблагополучными» являются L-, X- и Т-образные узлы, образованные сочленениями термически плоских стенок отливки одинаковой толщины и

питаемые расплавом при затвердевании со стороны этих стенок. Данная схема питания термического узла неизбежно приводит к появлению в нем усадочных дефектов, нередко «выходящих» на поверхность отливки в области галтели. Во избежание этого конструкции таких тепловых узлов стремятся выполнять наиболее технологичными еще на стадии проектирования отливки. В условиях недостаточного питания узла при затвердевании его высокая конструкционная технологичность позволяет избежать образования в узле трещин, сузить область расположения усадочной раковины и рыхлоты, максимально удалить усадочную раковину от поверхности галтели узла.

Как было отмечено выше, в L-, X- и T-образных узлах отливки все усадочные дефекты располагаются в непосредственной близости к поверхности отливки в области ее галтели. Поскольку конструкционная надежность такого узла отливки тем выше, чем толще слой (корка) металла в области галтели, то все известные расчеты по затвердеванию металла на внешнем углу формы, как правило, сводятся к определению толщины слоя (корки) металла, затвердевшего на галтели формы к моменту прекращения питания термического узла отливки. То есть длительность питания термического узла отливки в расчетах принимается равной длительности затвердевания термически плоской стенки отливки в сечении, значительно удаленном от этого узла.

Повышения технологичности термических узлов данного типа достигают путем изменения их размерных параметров. Из числа гипотетически возможных вариантов изменения элементов конструкции T-образных тепловых узлов бесконечной длины изменению могут подлежать толщины сочленяющихся между собой стенок отливки ( $\delta$ ,  $\delta_1$ ), угол сочленения стенок ( $\beta$ ), радиус галтели ( $r$ ), что схематично представлено на рис. 1. В зависимости от величин



**Рис. 1.** Схема профиля корки расплава, затвердевшего на внешнем углу формы: 1 – твердый материал отливки; 2 – расплав; 3 – форма

данных параметров и их соотношений изменяется и толщина слоя металла ( $\xi_y$ ), затвердевшего на галтели в термическом узле отливки к моменту прекращения питания его расплавом. При этом, как показывает практика производства отливок, наиболее неблагоприятными размерными параметрами T-образного узла являются:  $\delta_1/\delta = 1$ ,  $\beta \ll 90^\circ$ ,  $r \rightarrow 0$ .

Толщину слоя металла отливки, затвердевшего на стенке прямого угла формы при  $r = 0$  на расстоянии ( $x$ ) от его вершины в начальный период затвердевания, Г. Ф. Баландин рассчитывает по формуле [1]

$$\xi_y \approx \xi \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{a_2\tau}}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – толщина слоя металла, затвердевшего на поверхности внешнего угла формы на большом расстоянии от его вершины за время  $\tau$ , м;  $x$  – расстояние от вершины внешнего угла формы до рассматриваемого сечения в плоской стенке отливки, м;  $a_2$  – коэффициент температуропроводности материала формы, м<sup>2</sup>/с;  $\tau$  – время, с.

При заливке расплава в форму с небольшим перегревом величину  $\xi_y$  на галтели внешнего прямого угла формы к моменту времени окончания затвердевания расплава в сечении плоской стенки отливки, удаленном на значительное расстояние от термического узла, рассчитывают по формуле [1, 2]

$$\xi_y \approx r \left[ \sqrt{1 + \frac{\delta}{r}} - 1 \right], \quad (2)$$

Н. И. Хворинов для расчета величины  $\xi_y$  на галтели со стороны внешнего прямого угла формы рекомендует использовать следующую формулу [3]:

$$\xi_y = \xi + r$$

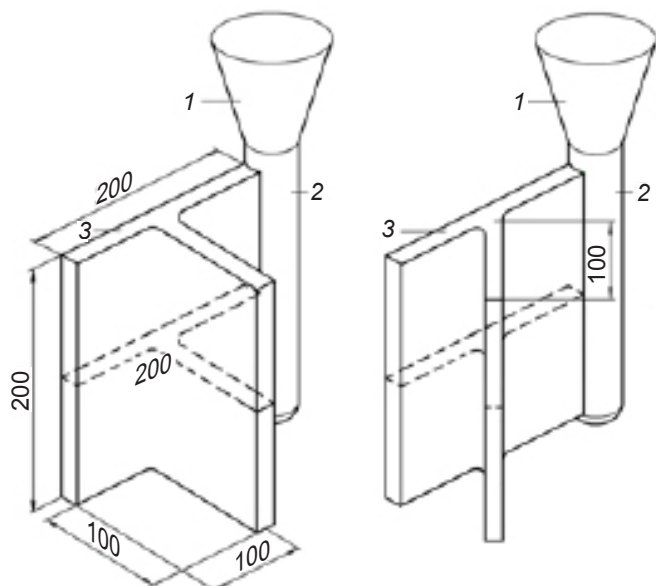
или к моменту окончания затвердевания, приняв  $\xi = 0,5\delta$ :

$$\xi_y \approx \delta/2 + r. \quad (3)$$

Анализ формул (2) и (3) показывает, что значения  $\xi_y$ , рассчитанные по этим формулам, значительно различаются между собой и не зависят от теплофизических параметров формы и металла отливки. Кроме этого, данные формулы применимы только для прямоугольных сопряжений стенок одинаковой толщины.

Учитывая неоднозначность результатов вычислений по формулам (2) и (3), а также ограниченность их применения, провели исследования, направленные на проверку соответствия расчетных и экспериментальных значений величин  $\xi_y$ , а также на разработку аналитического выражения зависимости  $\xi_y = f(\delta_1, \delta, \beta, r)$  для T-образных термических узлов отливок различной конфигурации.

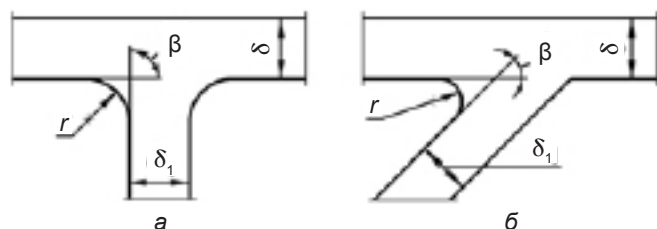
Исследования проводили на плоских отливках (рис. 2) с T-образным сочленением стенок. Отливки изготавливали из карбамида в стальных формах. Для построения зависимостей  $\xi = f(\tau)$  и  $\xi_y = f(\tau)$  использовали экспериментальные данные о толщинах слоев затвердевшего расплава на стенках формы, полученных в результате удаления жидкого остатка из затвердевающих отливок через определенное время с момента окончания заливки формы. Толщины  $\xi$  и  $\xi_y$  замеряли в центральном поперечном сечении отливок (на рис. 2 поперечное сечение выделено пунктирной линией) с точностью 0,02 мм.



**Рис. 2.** Вид испытуемых отливок с ЛПС: 1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – отливка

Аналогичным образом величину  $\xi_y$  измеряли и в сечениях отливок из стали марки 10X18H9Л, изготовленных методом литья по выплавляемым моделям в кварцевые оболочковые формы (КО) с начальной температурой 890...950 °С. Кроме этого, процесс затвердевания стали 10X18H9Л в КО моделировали на компьютере по программе LVM-flow.

По результатам обработки полученных данных, для протяженного Т-образного узла отливки при условии  $\delta \geq \delta_1$ ,  $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$  (рис. 3) и его односторон-



**Рис. 3.** Схемы Т-образных термических узлов отливок с величиной  $\beta = 90^\circ$  (а) и  $\beta = 45^\circ$  (б)

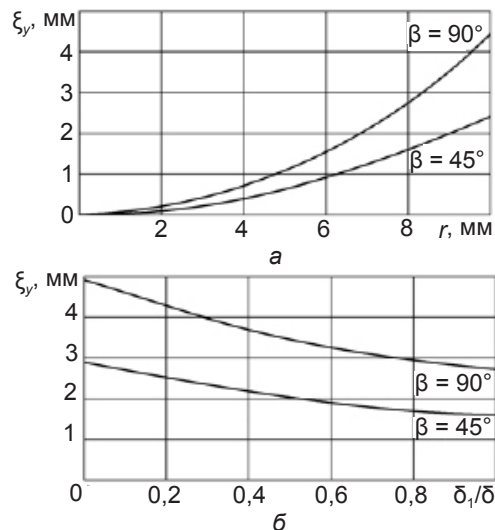
нем питания (рис. 2) получена приближенная зависимость величины  $\xi_y$  от геометрических параметров сечения термического узла, находящегося на удалении  $l \geq 10\delta$  как от источника питания термического узла, так и торцов отливки

$$\xi_y \approx r \left[ \sqrt{1 + \frac{2r}{\delta + \delta_1} \left(1 - \cos \frac{\pi\beta}{180}\right)^{0,5}} - 1 \right] \quad (4)$$

где  $\pi = 3,14$ ;  $\beta$  – угол сопряжения стенок отливки, град.

Из формулы (4) видно, что  $\xi_y = 0$  при  $r = 0$  и зависит только от геометрических размеров теплового узла. Для оценки влияния параметров, входящих в формулу (4), на величину  $\xi_y$  построили зависимости  $\xi_y = f(r, \beta)$  и  $\xi_y = f(\delta_1/\delta, \beta)$ , представленные на рис. 4.

Анализ зависимостей на рис. 4, показывает, что величина  $\xi_y$  возрастает с увеличением радиуса галтели, угла сопряжения стенок и с уменьшением ве-



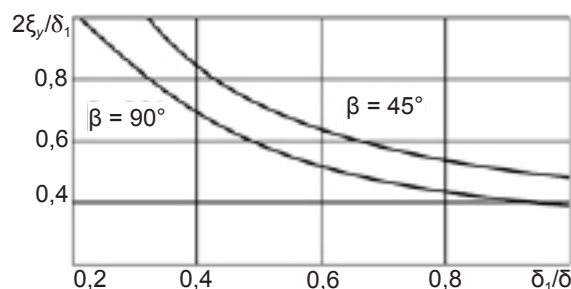
**Рис. 4.** Зависимости  $\xi_y = f(r, \beta)$  при  $\delta_1 = \delta = 10$  мм (а) и  $\xi_y = f(\delta_1/\delta, \beta)$  при  $r = 8$  мм (б)

личины соотношения толщин тонкой и толстой стенок. При этом  $\xi_y \rightarrow 0,5\delta_1$  в случае  $\delta_1/\delta \rightarrow 0$  и  $\beta \rightarrow 90^\circ$ .

Исходя из рекомендаций по назначению размеров галтелей [4], согласно которым радиус галтели рассчитывают по формуле

$$r = \frac{45(\delta + \delta_1)}{45 + \beta}, \quad (5)$$

определили значения  $\xi_y = f(\delta_1/\delta, \beta)$  с учетом (5). Результаты расчетов представлены на рис. 5.



**Рис. 5.** Зависимости  $\xi_y = f(\delta_1/\delta, \beta)$  при  $\beta = 10$  мм и значениях  $r$ , рассчитанных по формуле (5)

Анализ зависимостей на рис. 5 показывает, что выполнение галтелей с рекомендуемыми радиусами приводит к увеличению величины соотношения  $2\xi_y/\delta_1$  при уменьшении угла сопряжения и соотношения  $\delta_1/\delta$ . При этом в случае  $\delta_1/\delta < 0,3$  Т-образный термический узел отливки превращается в термически плоскую стенку. Это означает, что если Т-образный термический узел выполнен с галтелями, величина которых рассчитана по формуле (5), и образован стенками, соотношение толщин которых  $\delta_1/\delta < 0,3$ , то в таком узле усадочные дефекты удалены от поверхности галтели настолько, что они практически не влияют на конструкционную прочность данного узла отливки.

Исходя из полученных результатов, наиболее рациональную величину радиуса галтели Т-образного сочленения термически плоских стенок отливки можно рассчитать по формуле (4), заменив в ней  $\xi_y$  на

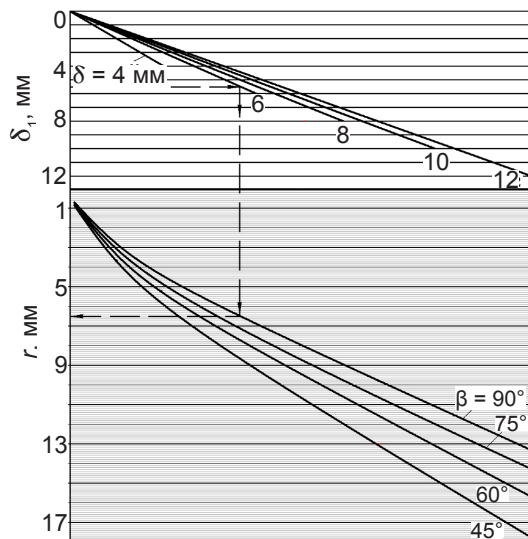


Рис. 6. Номограмма для определения  $r$

$\delta_1/2$ . В этом случае выражение (4) будет иметь вид

$$r = \frac{\delta + \delta_1}{2\sqrt{1 - \cos \frac{\pi\beta}{180}}} \times \left[ \left( \frac{\delta_1}{2r} + 1 \right)^2 - 1 \right]. \quad (6)$$

Поскольку представить формулу (6) в замкнутом виде невозможно, величину  $r$  по выражению (6) можно рассчитать итерационным методом либо определить ее по номограмме, представленной на рис. 6 для  $4 \leq \delta \leq 12$  мм,  $\delta_1/\delta \leq 1$ ,  $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ . Проведенные исследования и расчеты показали, что выполнение галтелей в Т-образных узлах отливок (для сочленений термически плоских стенок) с размерами, определенными по формуле (6) или по номограмме на рис. 6, позволит обеспечить наиболее высокую прочность и надежность этих узлов как конструктивных элементов литой детали.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки. – М.: Машиностроение, 1976. – Ч. 1. – 328 с.
2. Рыжиков А. А. Технологические основы литейного производства. – М.: Машгиз, 1962. – 528 с.
3. Хворинюв Н. И. Затвердевание отливок: Пер. с нем. и чеш. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. – 198 с.
4. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

### Анотація

Жегур О. А., Реп'ях С. І.

Розрахунок раціональної величини галтелі у Т-подібному термічному вузлі виливка

Отримано емпіричну формулу розрахунку найбільш раціонального розміру галтелі за результатами експериментальних і комп'ютерних досліджень процесу твердіння розплаву в протяжному Т-подібному термічному вузлі виливка.

### Ключові слова

твердіння, галтель, раковина, термічний вузол, виливок

### Summary

Zhegur A., Repyakh S.

Calculatson of fillet rational size in T-shaped hot spot of casting

According to results of experimental and computer researches of process of castings solidification in the extensive T-shaped hot spot of casting, the snap formula of calculation of the most rational fillet size is obtained.

### Keywords

solidification, fillet, bleb, hot spot, casting

Поступила 01.04.10