

Определение продолжительности питания из прибыли усадки массивных отливок

Выведены формулы для расчета технологического процесса производства чугунных прокатных валков с электрошлаковым обогревом прибыли.

Ключевые слова: прокатный валок, прибыль, электрошлаковый обогрев, граница выливания, дефекты.

Постановка проблемы в обобщенном виде и ее связь с научными и практическими задачами. Согласно принятым положениям в теории литейных процессов [1-3], продолжительность затвердевания прибыли должна быть равна или больше продолжительности затвердевания отливки, что обеспечит ее направленное затвердевание и отсутствие усадочных дефектов. Однако питание усадки из прибыли невозможно уже в «зоне микроскопических перемещений», если принять во внимание известную схему [4] формирования кристаллической структуры и продвижения фронта затвердевания от поверхности отливки к осевой зоне (рис. 1).

Это обусловлено тем, что часть жидкого металла остается в разобранном состоянии между дендритными ветвями. Поэтому при затвердевании оставшейся части расплава образование усадочной пористости в отливке неизбежно, так что прибыль может не работать на этом этапе.

Уменьшить ширину этой зоны с усадочной пористостью ($t_n - t_c$ на рис. 1) возможно с помощью газодинамического воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл [5, 6]. Однако реализовать эту технологию пока возможно только для ограниченных видов отливок.

Целью исследований было установление рациональной продолжительности питания усадки отливки из прибыли, подогрев которой осуществляют электрошлаковым способом нерасходуемыми электродами.

Основной материал исследования. В соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, перемещение расплава из прибыли должно заканчиваться в момент достижения «границы питания» осевой зоны отливки. Установить точное значение температуры и время перехода сплава из зоны локальных перемещений в зону образования усадочной пористости не представляется возможным.

Кроме того, ни одна из существующих программ компьютерного моделирования процессов затверде-

вания не позволяет установить «границу выливания», «границу питания», «зону макроскопических перемещений», «зону локальных перемещений» и «зону микроскопических перемещений» (см. рис. 1).

Для уменьшения непроизводительных потерь металла на прибыли в 90-х годах XX столетия в НМетАУ разработана технология комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева (ЭДЭШО) прибыли чугунных прокатных валков, которая внедрена и успешно работает в настоящее время на Днепропетровском (ДЗПВ) и Лутугинском (ЛЗПВ) заводах прокатных валков. Ее особенность заключается в том, что после окончания заливки валка в прибыль опускают графитированный электрод до соприкосновения с расплавом, затем приподнимают его для зажигания электрической дуги, которая горит под слоем порошкообразного флюса. После расплавления флюса и формирования шлаковой ванны происходит переход на электрошлаковый обогрев прибыли [2].

Технология электрошлакового обогрева (ЭШО), которая также применяется в вальцелитейных цехах,

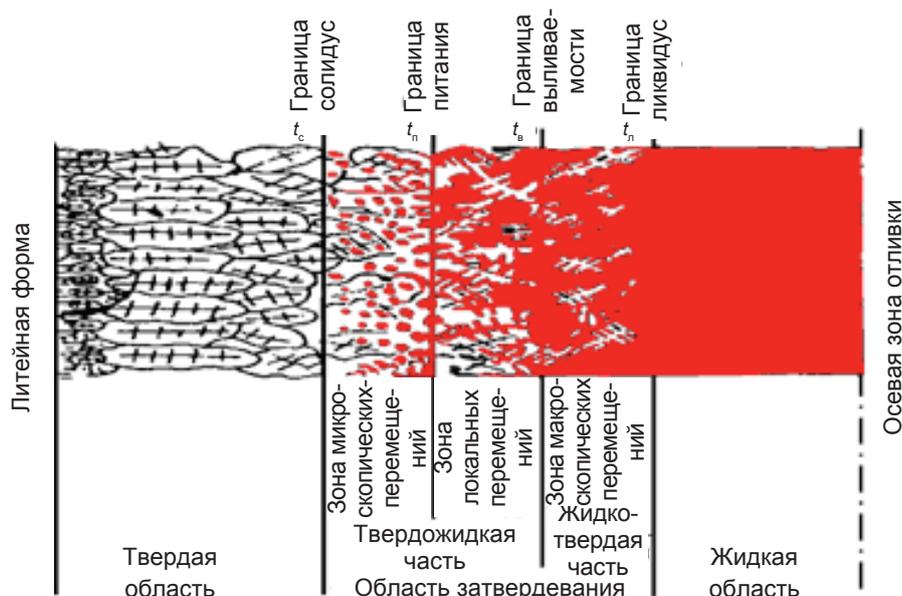


Рис. 1. Схема формирования кристаллической структуры и продвижения фронта затвердевания от поверхности отливки к осевой зоне: t_n и t_c – температуры ликвидус и солидус; t_b и t_n – температуры границы выливания и начала формирования усадочной пористости

отличается тем, что легкоплавкий флюс вводят на струю заливаемого расплава в сифонную литниковую систему с тангенциальным подводом питателя в нижнюю шейку. За счет температуры перегрева чугуна флюс расплавляется и всплывает через нижнюю шейку, бочку и верхнюю шейку в прибыль, так что одновременно происходит рафинирование чугуна от неметаллических включений.

В вальцелитейных цехах ДЗПВ и ЛЗПВ продолжительность обогрева устанавливается произвольно. Так, на ДЗПВ валки массой до 10 т необходимо обогреть 5 часов, а массой свыше 10 т – 7 часов. Таким образом, не учитывается диаметр прибыли, объемная усадка валка, влияние комбинированной кокильно-песчаной литейной формы на формирование усадочных дефектов.

Согласно с основными положениями теории литейных процессов, продолжительность обогрева прибыли должна быть равна продолжительности затвердевания последнего элемента отливки – верхней шейки. В дальнейшем, тепловые режимы и продолжительность обогрева оценивали также математическим моделированием.

Экономическая эффективность ЭДЭШО и ЭШО возрастает с увеличением стоимости электроэнергии. Это обусловлено тем, что для питания усадки методом периодической доливки в прибыль перегретого металла, необходимо иметь дополнительную печь, а ЭШО обеспечивает только поддержание жидкой металлической ванны в жидком состоянии при температуре, достаточной для расплавления затвердевшего металла при уменьшении уровня расплава в прибыли. Экзотермические вставки и смеси оказались неэффективными для отливок массой более 1000 кг из-за высокой продолжительности затвердевания отливок по сравнению с продолжительностью работы экзотермических смесей [2].

Для определения продолжительности питания усадки затвердевающей отливки проведены исследования на прокатных валках массой по 3600 кг, имеющих различное соотношение диаметров бочки, шейки и высоты.

Процесс питания усадки из прибыли исследовали в литейном цехе ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков». Изменение уровня металла в прибыли фиксировали по перемещению электрододержателя установки ЭШО (рис. 2, а) вслед за усадкой расплава с точностью $\pm 0,5$ мм, считая, что зеркало металла в прибыли плоское и без настывлей на ее стенках, как указано в [2]. Это обусловлено тем, что торец прибыли после обогрева имеет плоскую форму из-за подплавления настывлей металла, затвердевшего на стенках формы прибыли (рис. 2, б). Как показали замеры, температура шлаковой ванны ≈ 1550 °С достаточна для удаления настывлей при ЭШО чугунных и стальных отливок.

Замеры показали, что к моменту проникновения границы выливания в осевую зону бочки валков различных типоразмеров, 78-89% расплава из прибыли перешло в отливку. Поэтому уменьшение значений объемной усадки после проникновения границы выливания в осевую зону бочки, которая охлаждается в



а



б

Рис. 2. Электрошлаковый обогрев прибыли валка из высокопрочного чугуна с помощью мобильной установки (а) и торец прибыли валка массой 3600 кг после обогрева (б)

кокиле, позволяет обосновать уменьшение силы тока в процессе последнего этапа электрошлакового обогрева прибыли и рассчитать время перехода на этот этап.

Моделирование процесса электрошлакового обогрева валков массой 2200 кг показало, что без ЭШО валок с диаметром верхней шейки и прибыли 330 мм затвердевает через 180 мин. Прибыль высотой 500 мм, которая рассчитывается в соответствии с действующими нормами на вальцелитейных заводах, не обеспечивает направленного затвердевания, а тепловой узел и усадочная раковина формируются в верхней шейке.

Подвод тепла $Q = 15$ кВт к зеркалу металла прибыли в течение 175 минут обеспечивает направленное затвердевание и питание усадки бочки и верхней шейки. Однако после отключения обогрева продол-

жесткость затвердевания прибыли из-за перегрева шлаковой и металлической ванн увеличивается со 180 до 250 мин или на 39%. Следовательно, также увеличивается продолжительность выдержки литейной формы в кессоне и необходимость в дополнительной кокильно-опочной оснастке.

Если уменьшить количество подводимого тепла в три раза – с 15 до 10, а затем до 5 кВт, и минимальную мощность обогрева проводить после 80 мин, то при отключении ЭШО на 180 мин, продолжительность затвердевания прибыли увеличится только до 225 мин.

Поэтому даже при минимальной мощности обогрева после отключения ЭШО, продолжительность затвердевания прибыли уменьшится с 39% только до 25% по сравнению с продолжительностью затвердевания верхней шейки валка.

Таким образом, после окончания обогрева на 180 минуте в момент полного затвердевания прибыли отливки диаметром 330 мм, имеет место инерционность процесса остывания металлической ванны и перехода тепла в отливку. Это обусловлено тем, что зеркало металла прибыли закрыто слоем расплавленного шлака (шлаковая ванна), который уменьшает потери тепла в окружающую среду и увеличивает продолжительность затвердевания прибыли на ≈25%.

Если придерживаться принятой технологии и прекращать ЭШО после затвердевания 100% твердой фазы, то увеличение общей продолжительности затвердевания прокатного валка обуславливает повышение затрат на электроэнергию, кокильную и опочную оснастку, необходимы дополнительные места в кессонах для остывания форм. Кроме того, увеличение перепада температур по высоте отливки из-за более продолжительного обогрева прибыли приводит к повышению термических напряжений.

Выведены формулы для расчета технологического процесса производства чугуновых прокатных валков с электрошлаковым обогревом прибыли, в которых максимальную мощностью подводимого тепла устанавливали равной времени проникновения границы выливания в осевую зону бочки, что соответствует максимальной усадке расплава из прибыли.

Общую продолжительность обогрева прибыли по новой технологии рассчитывали, как среднее значение между продолжительностью затвердевания верхней шейки (100% твердой фазы) и моментом проникновения границы выливания в ее центральную часть.

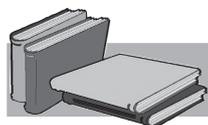
Разработанная методика расчета опробована и внедрена в условиях вальцелитейного цеха ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков». Уменьшение продолжительности обогрева валков по новой технологии сравнивали с расчетами, выполненными при условии затвердевания 100% твердой фазы. Например, для прибыли диаметром 300 мм продолжительность ЭШО уменьшилась на 54 мин, а для прибыли диаметром 600 мм – на 3 часа 37 минут.

Выводы

При затвердевании чугуновых прокатных валков в комбинированных кокильно-песчаных формах максимальное уменьшение уровня расплава из прибыли 78-89% соответствует моменту проникновения границы выливания в осевую зону бочки.

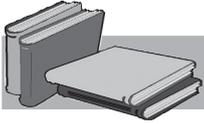
После отключения электрошлакового обогрева прибыли установлена инерционность процесса остывания металлической ванны и перехода тепла в отливку. Это обусловлено тем, что зеркало металла прибыли закрыто слоем расплавленного шлака (шлаковая ванна), который уменьшает потери тепла в окружающую среду и увеличивает продолжительность затвердевания прибыли на ≈25%.

Выведены формулы для расчета технологического процесса производства чугуновых прокатных валков с электрошлаковым обогревом прибыли. Максимальную мощностью подводимого тепла обогрева устанавливали равной времени проникновения границы выливания в осевую зону бочки. Общую продолжительность ЭШО по новой технологии рассчитывали, как среднее значение между продолжительностью затвердевания верхней шейки (100% твердой фазы) и моментом проникновения границы выливания в ее центральную часть.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривошеев А. Е.* Литые валки. – М.: Металлургиздат, 1957. – 360 с.
2. *Лейбензон В. О., Пілющенко В. Л., Кондратенко В. М., Хричиков В. Є., Недопьокін Ф. В., Білоусов В. В., Дмитрієв Ю. В.* Твердження металів і металевих композицій. Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. – К: Наукова думка, 2009. – 447 с.
3. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливки. Часть 1. – М.: «Машиностроение», 1976. – 328 с.
4. *Гуляев Б. Б.* Теория литейных процессов. – М.: «Машиностроение», 1976. – 216 с.
5. *Селиверстов В. Ю.* Теоретические и технологические основы газодинамического воздействия на металл, затвердевающий в литейной форме: дис. доктора техн. наук: специальность 05.16.04 / Селиверстов Вадим Юрьевич. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 345 с.
6. Патент України на винахід № 91943. Пристрій для одержання виливків, заявка а2009 06145, подана 15.06.2009, зареєстрована 10.09.2010 / Селівьорстов В. Ю. Хричиков В. Є., Куцова В. З., Меньяло О. В.; опубл 10.09.2010, Бюл. № 17.



REFERENCES

1. Krivosheev A. E. (1957). Litye valki [Cast rolls]. Moscow: Metallurgizdat, 360 p. [in Russian].
2. Leibenzon V. O., Piliushchenko V. L., Kondratenko V. M., Khrychikov V. E., Nedop'okin F. V., Bilousov V. V., Dmytriev Yu. V. (2009). Tverdnennia metaliv i metalevykh kompozitsii. Pidruchnyk dlia VUZiv. Vydannia druge, dooprats'ovane [Solidification of metals and metal compositions. Textbook for high schools. Second edition, finalized]. Kiev: Naukova dumka, 447 p. [in Ukrainian].
3. Balandin G. F. (1976). Osnovy teorii formirovaniia otlivki. Chast' 1 [Fundamentals of the theory of casting. Part 1]. Moscow: Mashinostroenie, 328 p. [in Russian].
4. Gulyaev B. B. (1976). Teoriia liteinykh protsessov [The theory of foundry processes]. Moscow: Mashinostroenie, 216 p. [in Russian].
5. Seliverstov V. Yu. (2011). Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy gazodinamicheskogo vozdeistviia na metall, zatverdevaiushchii v liteinoi forme: dis. doktora tekhn. nauk: special'nost' 05.16.04 [Theoretical and technological fundamentals of gas dynamic effect on metal, solidifying in a mold. Doctor's thesis]. Dnepr: NMetAU, 345 p. [in Russian].
6. Pat. no. 91943 of Ukraine. Prystrii dliia oderzhannia vylyvkiv [Casting device]. Seliv'orstov V. Yu. Khrychikov V. E., Kutsova V. Z., Menyaylo O. V. Application a2009 06145, filed on June 15, 2009, registered on 10.09.2010. Publ. 10.09.2010, Bull. No. 17 [in Ukrainian].

Анотація

Меняйло О. В.

Визначення тривалості живлення з надливу усадки масивних виливків

Виведено формули для розрахунку технологічного процесу виробництва чавунних прокатних валків з електрошлаковим обігрівом надливів.

Ключові слова

Прокатний валок, надлив, електрошлаковий обігрів, межа виливання, дефекти.

Summary

Menyaylo H.

Determination of the duration of shrinkage feeding from the heads of massive castings

Formulas for calculation of the technological process of production of cast iron rolls with electroslag heating of the heads are derived.

Keywords

Rolling roll, profit, electroslag heating, pouring line, defects.

Поступила 14.03.17