

Методика расчета пористости при направленном затвердевании отливок

05, май 2014

DOI: 10.7463/0514.0709914

Коротченко А. Ю., Тверской М. В., Хилков Д. Э.

УДК 621.74.019

Россия, МГТУ им. Баумана

kor_15@mail.ru

tversk@mail.ru

dmitry.hilckov@vandex.ru

Введение

Одна из главных задач при разработке техпроцесса изготовления отливок - организовать питание отливок на этапе их затвердевания, которое обеспечивает заданный уровень по усадочной пористости и усадочным раковинам. Как известно, в общем случае зона питания отливки (ЗПО) складывается из зоны питания прибыли (ЗПП) и зоны питания торца (ЗПТ). В литературных источниках вместо термина ЗПТ можно встретить термины действие конечного (концевого) эффекта или радиус действия края отливки.

Значение ЗПТ определяют в серии специальных экспериментов на отливках простой конфигурации (плиты и брусья) и оформляют в виде регрессионных зависимостей ЗПТ от характерных размеров той или иной отливки. Таким образом возникают значительные материальные и временные затраты на определение значения ЗПТ, которое используется в дальнейшем, в том числе и для расчета направленного затвердевания отливок.

В настоящей работе предложена методика расчета ЗПТ, основанная на вычислительном моделировании затвердевания отливки в литейной форме, что позволяет резко сократить затраты на поиск необходимых величин. Для определения мест в отливке, пораженных усадочной пористостью, используются новые критерии пористости, разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В работе показана возможность использования приведенного размера в качестве характерного параметра отливки для регрессионной зависимости ЗПТ, что придает универсальность этой зависимости и возможность ее использования для любой фасонной отливки, а не только для отливок простой конфигурации.

Основная часть

Значения ЗПТ используют для расчета направленного затвердевания отливки в форме, порядок которого и примеры можно в частности посмотреть в [1,2]. Схема подобного расчета представлена на рис.1.

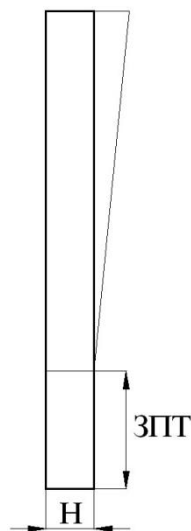


Рис.1. Схема к расчету технологического напуска

На рис.1 показана упрощенная схема по данным [2] для расчета технологического напуска, обеспечивающего направленное затвердевание отливки типа "плита" в песчаной форме. На рис.1 обозначено T – толщина плиты. Как следует из рис.1, нижняя часть отливки имеет плотную структуру за счет краевого эффекта, зона действия которого равна ЗПТ.

Методика расчета направленного затвердевания отливок заключается в следующем. Первое расчетное сечение располагается на расстоянии, равном ЗПТ. Последующие расчетные сечения рекомендуется располагать на расстояниях чуть меньше, чем ЗПТ, а величину напуска выбирать такой, чтобы обеспечить более позднее затвердевание вышележащих сечений отливки относительно нижележащих.

Значения ЗПТ и ЗПО определяются в серии специальных экспериментов, начиная от работ Пеллини [3] и по настоящее время. Так, в работе [4] приводятся экспериментальные данные для стальных отливок, изготовленных в песчаных формах и на рис.2 показаны эти зависимости.

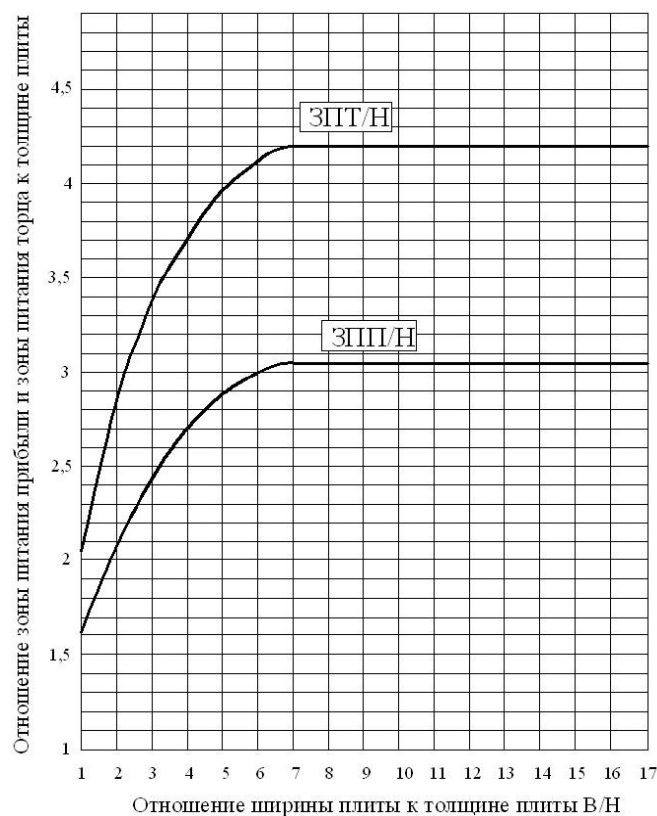


Рис. 2. Изменение ЗПТ и ЗПП

В экспериментах, представленных на рис.2, отливка была в форме плиты, и ее толщина изменялась в пределах от 2,54 см до 30,5 см.

Как следует из данных, представленных на рис.2, отношения ЗПТ/Н и ЗПО/Н в зависимости от отношения В/Н сначала возрастают, а затем принимают постоянные значения. Представленные зависимости получены для простейшей конфигурации отливки типа плиты.

Цель настоящей работы – определить величину ЗПТ расчетным путем (численным моделированием), что позволяет отказаться от дорогостоящих и трудоемких натурных экспериментов.

Расчеты затвердевания отливки и образования усадочной пористости проводились с помощью пакета программ Flow 3D. Для расчета зон с усадочными дефектами использовался критерий пористости (КП) K_1 , разработанный на кафедре «Литейные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана [5]. Значения критерия определяются по формуле:

$$K_1 = L / \sqrt{t_3}, \quad (1)$$

где L - локальная длина двухфазной зоны в отливке; t_3 - локальное время затвердевания этой зоны.

В пакете программ Flow 3D у пользователя есть возможность применять для анализа отливок на усадочные дефекты свои собственные критерии, в которых могут быть задействованы в любых сочетаниях и долях четыре расчетных параметра: скорость охлаждения,

скорость затвердевания V_s , локальное время затвердевания t_3 и градиент температур. В связи с отсутствием в этом перечне параметра L , формула для расчета КП K_1 была преобразована за счет замены L на выражение $L = V_s \cdot t_3$ к виду:

$$K_1 = V_s \cdot \sqrt{t_3}. \quad (2)$$

Согласно данному критерию, если в расчетной точке отливки вычисленное значение КП K_1 превысит критическое значение $K_{1кр}$, то в этом месте образуется усадочная пористость.

В численных расчетах в качестве модельного сплава была выбрана сталь 20ГЛ, а в качестве материала литейной формы – холоднотвердеющая смесь (ХТС), изготовленная по альфа-сет процессу. Для выбранных материалов сплава и формы значение $K_{1кр}$ равно $0,01 \text{ м} \cdot \text{с}^{1/2}$. В расчетах по определению величины ЗПТ использовались отливки простой конфигурации, вид которых показан на рис.3.

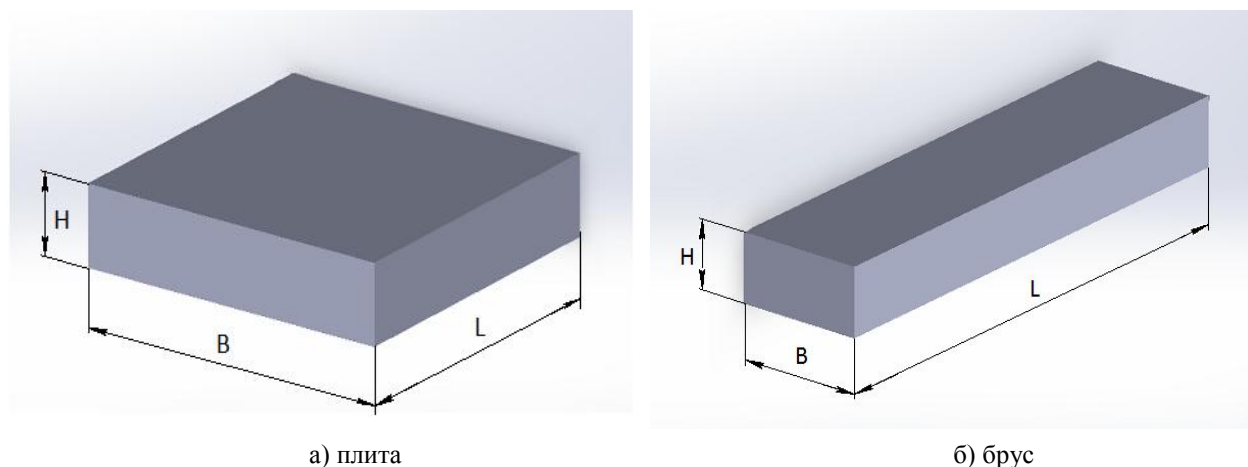


Рис. 3. Конфигурация отливок: L – длина, B – ширина и H – толщина отливки

На рис.3 показаны плита с габаритными размерами 300x300xH мм и брус с габаритными размерами 1200x300xH мм. В расчетах значение толщины отливок H менялось в пределах от 20 до 60 мм, что определялось рядом условий. В-первых, при толщине отливки более 60 мм в верхней части отливки образовывалась концентрированная усадочная раковина, которая вносила существенную погрешность в расчетную схему. Во-вторых, указанный диапазон толщин охватывает практически всю номенклатуру среднего стального литья, используемого на производстве.

Для уменьшения погрешности, вносимой расчетной схемой, было принято несколько ограничений: при изменении толщины отливки количество расчетных ячеек по высоте не менялось; шаг интегрирования подбирался так, чтобы обеспечить одинаковое количество расчетных циклов в вычислениях с переменной толщиной отливки; толщина формы менялась в зависимости от толщины отливки для обеспечения одинакового теплоотвода при затвердевании отливки.

На рис.4 показаны результаты расчетов пористости и схема определения величины ЗПТ.

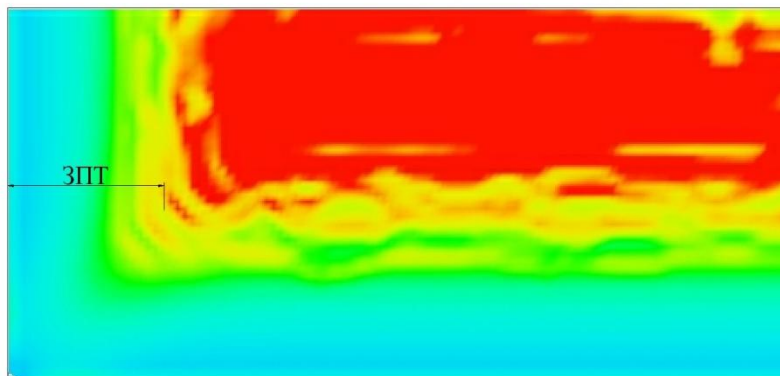


Рис.4. Расчетная схема к определению ЗПТ

На рис.4 изображена четверть бруса в поперечном сечении и красным цветом отмечены области, в которых вычисленное значение КП K_1 превышает критическое значение $K_{1кр}$. Величина ЗПТ измерялась от края отливки до начала зоны, пораженной усадочной пористостью.

По результатам серии вычислений, в которых менялась высота бруса и плиты, получены графики изменения отношения ЗПТ/Н в зависимости от отношения В/Н, рис.5.

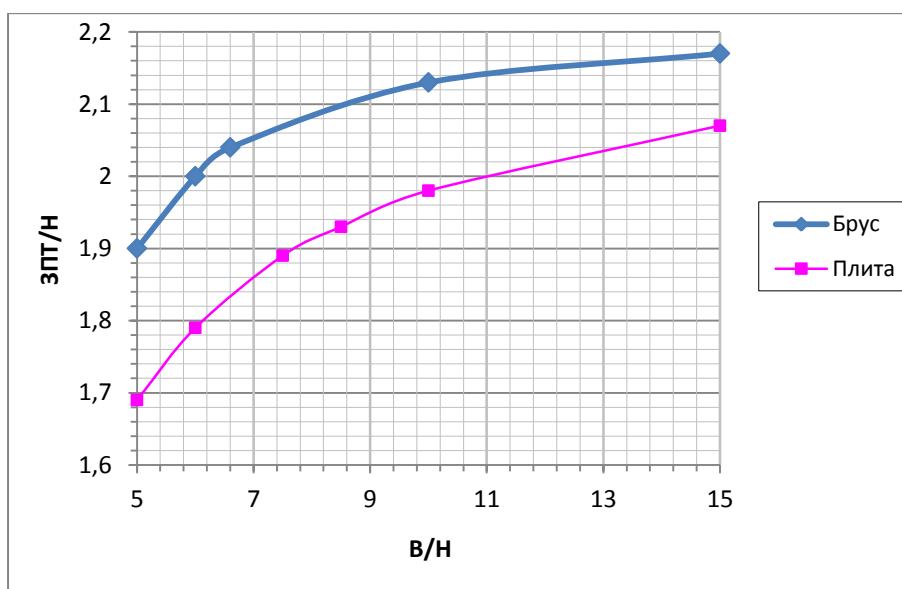


Рис. 5. Зависимости ЗПТ/Н от отношения В/Н

Сравнивая расчетные кривые с кривой, полученной в эксперименте (рис.2), можно отметить качественное совпадение результатов. Сначала зависимость ЗПТ/Н от отношения В/Н увеличивается, а затем выходит на постоянный уровень. Расчеты также показали,

что в зависимости от конфигурации отливки значения ЗПТ разные при одинаковом отношении В/Н. При малых значениях В/Н различие в величине ЗПТ для бруса и плиты максимально, а с увеличением В/Н различие в значениях ЗПТ уменьшается. При дальнейшем увеличении В/Н кривые на рис.5 выходят на постоянный уровень порядка 2,25 - 2,35, причем одинаковый как для бруса, так и для плиты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экспериментальные данные о ЗПТ, полученные для одной отливки, нельзя использовать для другой отливки (если их конфигурации не совпадают).

Оценивая характер изменения ЗПТ/Н по отношению к В/Н видно, что при больших значениях В/Н отношение ЗПТ/Н не изменяется и остается постоянным. Объяснить такую зависимость можно, связав величину ЗПТ с приведенным размером отливки R_0 . Напомним, что R_0 есть отношение объема отливки к площади ее охлаждаемой поверхности. При больших значениях В/Н площадь охлаждаемой поверхности плиты и бруса определяется только двумя развитыми поверхностями (площадь торцов значительно меньше), а значение R_0 становится равным половине толщины отливки. Если в отношении ЗПТ/Н заменить толщину плиты (бруса) их приведенным размером, то получим отношение ЗПТ/ $2R_0$. Коэффициент в знаменателе можно убрать (учтя его при расчете величины ЗПТ) и оставить только отношение ЗПТ/ R_0 .

Используя вышеизложенные рассуждения и расчетные данные, по которым строились зависимости для ЗПТ/Н, на рис.6 показаны графики изменения отношения ЗПТ/ R_0 в зависимости от отношения В/Н.

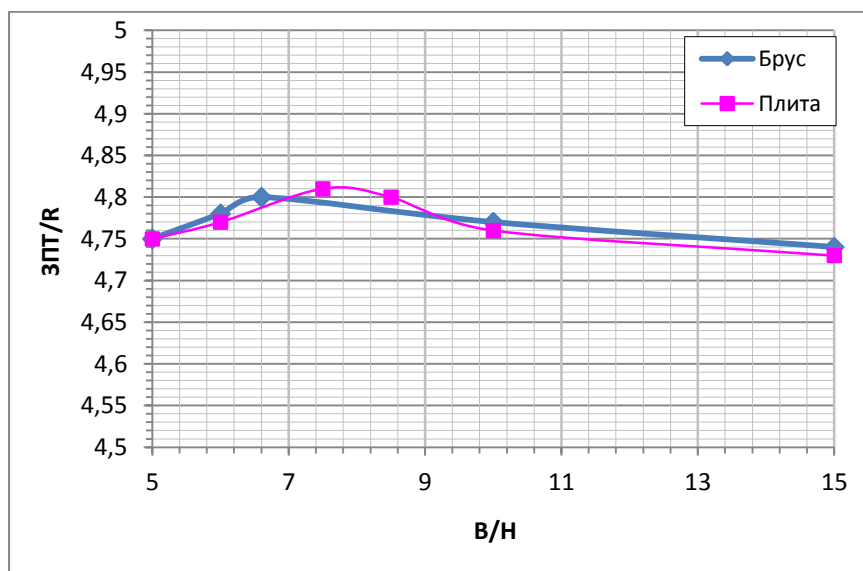


Рис. 6. Зависимости ЗПТ/ R_0 от отношения В/Н

Обработка кривых, представленных на рис.6, дает максимальный разброс значений ЗПТ/ R_0 при изменении величины В/Н не больше полутора процента, что позволяет говорить о постоянном значении отношения ЗПТ/ R_0 , причем это значение не зависит от конфигурации отливки.

Заключение

1. Для расчета пористости в отливках предлагается использовать критерий пористости в виде $K_1 = V_s \cdot \sqrt{t_s}$.

2. Для определения ЗПТ предлагается использовать отношение ЗПТ/ R_0 , которое, как показано в статье, является постоянной величиной для отливок любой конфигурации, в случае равенства их приведенного размера. Величина отношения ЗПТ/ R_0 зависит только от теплофизических свойств сплава и формы, а также краевых условий. Для определения величины отношения ЗПТ/ R_0 достаточно провести эксперименты для отливки одной простейшей конфигурации.

Список литературы

1. Неуструев А.А., Моисеев В.С., Смыков А.Ф. Разработка САПР технологических процессов литья. М.: ЭКОМЕТ, 2005. 216 с.
2. Назаратин В.В. Технология изготовления стальных отливок ответственного назначения. М.: Машиностроение, 2006. 234 с.
3. Pellini W.S. Factors Which Determine Riser Adequacy and Feeding Range // Trans. AFS. 1953. Vol. 61. P. 61-80.
4. Feeding and Riser Guidelines for Steel Castings. Steel Founders' Society of America, 2001. 44 p.
5. Коротченко А.Ю. Новый критерий образования усадочной пористости в отливках // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 9. С. 3-7.

Porosity design procedure at the directed solidification of castings

05, May 2014

DOI: 10.7463/0514.0709914**Korotchenko A.J., Tverskoi M.V., Khilkov D.E.**

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

kor_15@mail.rutversk@mail.rudmitry.hilckov@yandex.ru

One of the main tasks in developing a technical process to manufacture castings is to organize risering at the stage of solidification, which ensures the set level on shrinkable porosity and shrinkage cavities. As known, generally, the risering zone consists of a feeder zone and a feeding butt end zone. In references the terms of final (end) effect action or an effective area of the casting edge is possible to encounter rather than the term of feeding butt end zone.

The values of feeding butt end zone are used to calculate a directional solidification in the casting mould. The design procedure of a directional solidification of castings is follows. The first design section is advised to settle down at the distance equal to the zone of feeding butt end. The subsequent design sections are advisable to settle down at distances a little bit less, than the zone of feeding butt end. The padding (lap) value ought to be selected to provide the later solidification of the upper sections of casting with respect to the sections lying below.

A series of special experiments on castings of the simple configuration (slabs and bars) defines a value of the feeding zone of a butt end and makes it out as the regression dependences of the feeding butt end zone on the characteristic sizes of this or that casting. Thus, considerable material and time expenditures are demanded to define the value of the feeding butt end zone to be used further, including calculation of directional solidification of castings.

The paper offers a design procedure to calculate a zone of the feeding butt end via computing simulation of solidification in a casting mould thereby sharply reducing expenditures for searching the desirable values. To reveal spaces in the casting, staggered with shrinkable porosity, the new criteria of porosity developed in BMSTU are used.

The paper shows a possibility to use the effective size as a characteristic parameter of casting for dependence of the feeding butt end zone thus providing this dependence universality and a possibility to use it for making any shaped casting, but not just the castings of a simple configuration.

Publications with keywords: [modelling](#), [Directional solidification](#), [criteria of porosity](#), [shrinkage cavities and porosity](#), [the reduced size of casting](#)

Publications with words: [modelling](#), [Directional solidification](#), [criteria of porosity](#), [shrinkage cavities and porosity](#), [the reduced size of casting](#)

References

1. Neustruev A.A., Moiseev V.S., Smykov A.F. *Razrabotka SAPR tekhnologicheskikh protsessov lit'ya* [Development of CAD of technological processes of casting]. Moscow, EKOMET Publ., 2005. 216 p. (in Russian).
2. Nazaratin V.V. *Tekhnologiya izgotovleniya stal'nykh otlivok otvetstvennogo naznacheniya* [The technology of manufacture of steel castings of responsible appointment]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 234 p. (in Russian).
3. Pellini W.S. Factors Which Determine Riser Adequacy and Feeding Range. *Trans. AFS*, 1953, vol. 61, pp. 61-80.
4. Feeding and Riser Guidelines for Steel Castings. Steel Founders' Society of America, 2001. 44 p.
5. Korotchenko A.Yu. [New criterion of shrinkage porosity formation in castings]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2011, no. 9, pp. 3-7. (in Russian).