

К ВОПРОСУ О КОРОБЛЕНИИ ОТЛИВОК

В качестве критерия склонности материала отливки к короблению предложено использовать коэффициент свободной линейной усадки материала отливки. Чем больше абсолютная величина коэффициента свободной линейной усадки материала отливки, тем выше склонность данного материала к короблению в литье.

Постановка проблемы и состояние вопроса

Различная степень торможения усадки и скорость охлаждения различных частей формирующейся отливки приводит к появлению в ее материале пластических деформаций, что соответствующим образом сказывается на характере и абсолютной величине остаточных напряжений и короблении отливки.

Напряжения в отливках понижают путем их отжига, естественного старения, вибрационной обработкой и т.п. Тем не менее, все эти мероприятия не устраняют коробления отливок. В то же время существующие на сегодняшний день аналитические методы расчета величин коробления отливок, разработанные Е. Гейном, Н.Г. Гиршовичем, Л.С. Константиновым и др. [1...6] позволяют лишь качественно оценить влияние того или иного параметра отливки на величину их коробления и не решают проблему в целом.

Учитывая изложенное выше, а также то обстоятельство, что в настоящее время для получения отливок особо ответственного назначения все шире используют сплавы, отливки из которых рихтовать недопустимо, проблема получения отливок с высокой точностью формы – актуальна.

Постановка задачи исследования

Задача исследований – определение критерия оценки материала по его склонности к короблению в отливке.

Основные результаты исследований

С целью выявления общих закономерностей коробления отливок рассмотрим данный процесс на отливке балочного типа прямоугольного сечения длиной l_0 , схематично представленной на рис.1, а.

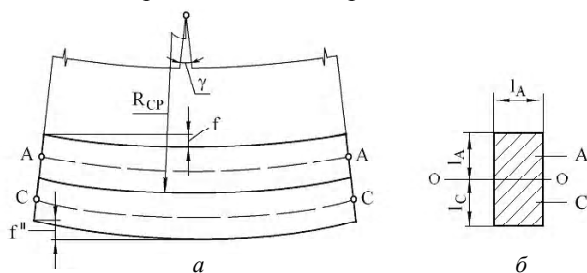


Рис. 1. Схема к расчету коробления отливки балочного типа (а) и ее поперечного сечения (б)

Для решения поставленной задачи, разделим отливку пополам по линии $O-O$ (см. рис. 1, б). В этом случае, величину прогиба отливки (f и f'') рассчитаем исходя из предположения о том, что данная отливка представляет собой два жестко связанных между собой стержня (A и C), изготовленных из материалов с различной линейной усадкой, и находящихся в области упругого состояния с момента образования в них непрерывной твердой фазы, а размеры поперечного сечения стержней составляют (см. рис. 1, б):

$$l_A = l_C = l_{AC},$$

где l_{AC} – расстояние между геометрическими центрами стержней A и C .

В этом случае коэффициенты линейных усадок элементов A и C (см. рис. 1, а), как балок постоянного по длине сечения, рассчитываем по формулам:

$$\alpha_{AA} = k_{AA} \cdot \Delta t_{AA}, \quad (1)$$

$$\alpha_{CC} = k_{CC} \cdot \Delta t_{CC}, \quad (2)$$

где α_{AA} , α_{CC} – коэффициент линейной усадки A -го и C -го элемента отливки соответственно; k_{AA} , k_{CC} – коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) металла в элементе A и элементе C соответственно, град⁻¹; Δt_{AA} , Δt_{CC} – изменение температуры элементов, соответственно, A и C от температуры перехода материала из пластического в упругое состояние до температуры окружающей среды (t_{OC}).

$$\Delta t_{AA} = t_{ПВ}^{AA} - t_{OC},$$

$$\Delta t_{CC} = t_{ПВ}^{CC} - t_{OC},$$

где $t_{ПВ}^{AA}$, $t_{ПВ}^{CC}$ – температура перехода материала в элементах отливки, соответственно A и C из пластического в упругое состояние.

Величину коробления (выгнутости – f'') отливки балочного типа, имеющей сечение, представленное на рис. 1, б, рассчитаем с использованием схемы, представленной на рис.1, а.

В соответствии с рис. 1, рассматриваемая отливка представляет собой конструкцию, состоящую из двух стенок квадратного сечения. Исходя из того, что приведенные толщины данных элементов отливки одинаковы, а литейная форма изготовлена из однородного материала, но с различной величиной шероховатости рабочих поверхностей, степень торможения усадки элемента A и элемента C (см. рис. 1) со стороны различных частей формы (полуформ) будет также различна. Различие в степени торможения усадки различных элементов отливки приводит к различной величине коэффициентов литейной усадки одного и того же сплава в рассматриваемых элементах, что обусловлено различиями в значениях величин $t_{ПУ}^{AA}$ и $t_{ПУ}^{CC}$.

Допустив, что характер коробления рассматриваемой отливки приводит к изменению ее вида (формы) в соответствии со схемой представленной на рис. 1, a , величину коробления (f^{11}) отливки рассчитываем по формуле, м:

$$f^{11} = R_{OK} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4R_{OK}^2 - [l_{\Phi} \cdot (1 - \alpha_{AA})]^2},$$

$$R_{OK} = R_{CP} + l_{AC}, \quad (3)$$

где l_{Φ} – длина рабочей полости формы, м; R_{CP} – средний радиус кривизны отливки, охлажденной до температуры окружающего воздуха, м.

Для определения величины R_{CP} , запишем следующие выражения для длин дуг AA и CC соответственно (см. рис. 1, a):

$$l_{AA} = \gamma \cdot \left(R_{CP} - \frac{l_{AC}}{2} \right), \quad (4)$$

$$l_{AA} = \gamma \cdot \left(R_{CP} - \frac{l_{AC}}{2} \right), \quad (5)$$

Если длина рабочей полости формы равна l_{Φ} , то:

$$l_{AA} = l_{\Phi} \cdot (1 - \alpha_{AA}), \quad (6)$$

$$l_{CD} = l_{\Phi} \cdot (1 - \alpha_{CC}), \quad (7)$$

Используя формулы (4) и (5), находим разность длин дуг AA и CC , которая после охлаждения отливки до комнатной температуры составит:

$$\Delta l = l_{AA} - l_{CC} = \gamma \cdot l_{AC}$$

или

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_{AC}}. \quad (8)$$

Из формул (6) и (7) находим, что:

$$\Delta l = l_{CC} - l_{AA} = l_{\Phi} \cdot (\alpha_{CC} - \alpha_{AA}). \quad (9)$$

Величину γ определяем в результате совместного решения формул (4) и (5), рад:

$$\gamma = \frac{l_{\Phi} \cdot (1 - \alpha_{AA})}{R_{CP} - \frac{l_{AC}}{2}}. \quad (10)$$

Приравнявая уравнения (8) и (10) с учетом уравнения (9), получаем величину R_{CP} :

$$R_{CP} = \frac{l_{AC} \cdot (2 - \alpha_{AA} - \alpha_{CC})}{2 \cdot (\alpha_{AA} - \alpha_{CC})}. \quad (11)$$

Величину обратного прогиба балки (стрелу прогиба) со стороны элемента A (см. рис. 1), можно вычислить по известной формуле:

$$f = \frac{l_{CP}}{8 \cdot (R_{CP} - l_{AC})}, \quad (12)$$

где l_{CP} – длина охлажденной отливки по ее средней линии, м.

Длину охлажденной отливки по ее средней линии рассчитываем по формуле:

$$l_{CP} = l_{\Phi} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{AA} + \alpha_{CC}}{2} \right). \quad (13)$$

Представив:

$$R_{CP} - l_{AC} = \frac{l_{AC} \cdot (2 - 3 \cdot \alpha_{AA} + \alpha_{CC})}{2 \cdot (\alpha_{AA} - \alpha_{CC})}, \quad (14)$$

формула (12) с учетом (13) и (14) будет иметь вид:

$$f = \frac{l_{\Phi} \cdot (2 - \alpha_{AA} + \alpha_{CC}) \cdot (\alpha_{AA} - \alpha_{CC})}{8 \cdot l_{AC} \cdot (2 - 3 \cdot \alpha_{AA} + \alpha_{CC})}. \quad (15)$$

К моменту достижения материалом отливки температуры окружающей среды состояние отливки будет характеризоваться не только наличием ее деформации величиной f (f^{11}), но и существованием в теле отливки как сжимающих, так и растягивающих напряжения. Величину растягивающих напряжений для рассматриваемой отливки, в соответствии с теорией сопротивления материалов, рассчитываем по формуле:

$$\sigma_{CC} = \alpha_{CC} \cdot E \cdot \frac{S_{AA}}{S_{CC} + S_{AA}} = 0,5 \cdot \alpha_{CC} \cdot E, \quad (16)$$

где S_{AA} , S_{CC} – соответственно, площадь поперечного сечения элемента A и C рассматриваемой отливки, м²; E – модуль упругости материала отливки, Па.

Величину сжимающих напряжений рассчитываем по формуле:

$$\sigma_{AA} = -\alpha_{AA} \cdot E \cdot \frac{S_{CC}}{S_{CC} + S_{AA}} = -0,5 \cdot \alpha_{AA} \cdot E. \quad (17)$$

Анализ формулы (15) показывает, что абсолютная величина коробления отливки рассматриваемого типа будет тем меньше, чем меньше ее длина, меньше разница коэффициентов литейной усадки материала отливки в ее элементах A и C , больше расстояние между средними линиями (l_{AC}).

Коробление отливки отсутствует ($f = 0$) в случае равенства коэффициентов литейной усадки в ее элементах A и C . Помимо этого, из формулы (15) следует, что при $\alpha_{AA} = \alpha_C$, где α_C – коэффициент свободной линейной усадки материала отливки, и $\alpha_{CC} = 0$ решающим параметром, определяющим абсолютную величину коробления отливки, становится коэффициент свободной линейной усадки материала отливки, с увеличением которого возрастает величина коробления отливки. В случае если принять $\alpha_{AA} = 0$ и $\alpha_{CC} = \alpha_C$, то отливка будет иметь обратную величину прогиба (коробления).

Выводы

При прочих равных условиях в качестве критерия склонности материала отливки к короблению можно использовать коэффициент свободной линейной усадки отливки. При этом, чем меньше величина коэффициента свободной линейной усадки отливки, тем меньше склонность материала отливки к короблению в литом изделии.

Перечень ссылок

1. Heyn E. Über bleibende Spannungen in Werkstücken infolge Abkühlung / Heyn E. // Stahl und Eisen. – 1907. – P. 1309–1347.
2. Гиршович Н. Г. Чугунное литье / Н. Г. Гиршович. – Л.: Кубуч, 1935. – 663 с.
3. Константинов Л. С. Расчет термических напряжений и деформаций отливок постоянного сечения (метод подвижной нейтрали) / Л. С. Константинов // Литейное производство. – 1959. – № 11. – С. 27–31.
4. Гиршович Н. Г. Искривление отливок в процессе охлаждения в форме / Н. Г. Гиршович, М. П. Симановский // Литейное производство. – 1963. – № 2. – С. 22–26.
5. Гиршович Н. Г. К вопросу о расчете прогиба отливок в форме / Н. Г. Гиршович // Литейное производство. – 1963. – № 6. – С. 47–48.
6. Константинов Л. С. Механизм возникновения температурных напряжений и деформаций в отливках / Л. С. Константинов // Литейное производство. – 1963. – № 11. – С. 25–32.

Одержано 10.10.2008

Як критерій схильності матеріалу вилівка до викривлення запропоновано використовувати коефіцієнт вільної лінійної усадки матеріалу вилівка. Чим більше абсолютна величина коефіцієнта вільної лінійної усадки матеріалу вилівка, тим вище схильність даного матеріалу до викривлення в литті.

The coefficient of free linear shrinkage of casting material is offered to use as the criterion of casting material inclination to shrinkage. The more the absolute value of coefficient of free linear of shrinkage of casting material, the higher the propensity of this material shrinkage in foundry.

УДК 539.371

Канд. фіз.-мат. наук С. А. Левчук

Національний університет, м. Запоріжжя

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК З ОТВОРАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТРИЦЬ ГРІНА

Задача про статичне деформування пологих оболонок з отворами розв'язується з використанням відповідних матриць Гріна. На прикладі оболонки з двома круговими отворами, при спеціальних крайових умовах, продемонстровано ефективність методу розрахунку.

Запропонований у роботах [3-5] спосіб побудови матриць Гріна задач теорії пружності дозволяє будувати компактні алгоритми розрахунку напружено-де-

формованого стану різних об'єктів складної структури. У даній роботі ця можливість реалізується на прикладах визначення характеристик напружено-дефор-