

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 620.179

Е.А. Шибеев, А.А. Анисимова

E.A. Shibeev, A.A. Anisimova

Омский государственный технический университет

Omsk State Technical University

ВНУТРЕННИЕ РАСТЯГИВАЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЧУГУНАХ

THE INTERNAL STRETCHING TENSION IN THE IRON CASTING

Рассмотрены аспекты возникновения внутренних растягивающих напряжений в чугунах в зависимости от формы графитовых включений и их влияние на размерную точность отливки. На основе плоской математической модели показано, что при всех прочих равных условиях различие предсадочного расширения в отливках из высокопрочного чугуна по сравнению с отливками из серого чугуна может составлять от 3 до 6 раз и определяется формой графитовых включений. Составная часть предсадочного расширения и линейной усадки будет определяться различием внутренних растягивающих напряжений, зависящих исключительно от формы графитовых включений, что необходимо принимать в расчет при определении литейных припусков литейной оснастки с целью повышения размерной точности.

Ключевые слова: внутренние напряжения, графит, высокопрочный чугун, серый чугун, размерная точность.

Aspects of emergence of the internal stretching tension in the chugunakh depending on a form of graphite inclusions and their influence on the dimensional accuracy of casting are considered. In work on the basis of flat mathematical model it is shown that under all other equal conditions, distinction of preshrinkable expansion in castings in comparison with castings from gray cast iron can make of high-strength cast iron from 3 to 6 times and is defined by a form of graphite inclusions. The component of preshrinkable expansion and linear shrinkage will be defined by distinction of the internal stretching tension depending only on a form of graphite inclusions that it is necessary to take into consideration when determining foundry allowances of foundry equipment for the purpose of increase of dimensional accuracy.

Keywords: internal tension, graphite, high-test cast iron, gray iron, dimensional accuracy.

Усадочные процессы в затвердевающем сплаве определяются его объемными изменениями при затвердении и охлаждении, связанными в основном со структурными превращениями при кристаллизации и охлаждении данного сплава, а также взаимодействием отливки с формой.

В связи с этим под объемной усадкой сплавов и металлов понимают уменьшение заданного объема сплава или металла при охлаждении в изотермических условиях.

Под объемной усадкой отливки имеют в виду уменьшение объема отливки из сплава или металла, залитого в реальную форму и охлаждающегося в изотермических условиях.

Аналогично под предусадочным расширением сплава или металла будем понимать расширение, вызванное процессами, протекающими в сплаве или металле при кристаллизации и охлаждении.

Под предусадочным расширением отливки имеем в виду увеличение линейных размеров отливки, залитой в реальную форму под действием свойств сплава или металла, формы и технологических факторов.

Актуальной является научно-техническая задача повышения размерной точности и уменьшения объема прибылей отливок из чугуна, получаемых в сырых песчано-глинистых формах. Для ее решения необходимо развитие представлений о механизме протекания усадочных процессов при затвердевании отливок.

Известно, что высокопрочный чугун (ВЧ), имея существенное преимущество по механическим свойствам перед серым чугуном (СЧ), одновременно отличается от него высоким уровнем склонности к формированию усадочной раковины, большим предусадочным расширением и, следовательно, меньшей линейной усадкой.

Теория предусадочного расширения объясняет данный процесс как графитизацию отливки в твердом состоянии. При этом, поскольку модификаторы на основе редкоземельных металлов обладают графитизирующим действием, скорость графитизации в отливках из ВЧ непосредственно сразу после затвердевания выше, чем в СЧ. Так как процесс графитизации сопровождается увеличением объема, зерна графита создают в теле отливки растягивающие напряжения, которые частично реализуются в виде пластической деформации затвердевшего сплава. Исходя из этого возникает вопрос: а будет ли предусадочное расширение в ВЧ и СЧ различным при всех прочих равных условиях? То есть может ли расширение отливки зависеть от самой формы графита *с точки зрения теории упругости*, так как включения графита есть дислокации в теле твердого сплава, *вызывающие внутренние растягивающие напряжения $\sigma_{вн}$* ?

В работе [1] на примере цилиндрического образца длиной 600 мм и диаметром 30 мм, отливаемого в сырой песчано-глинистой форме, было установлено, что предусадочное расширение в высокопрочном чугуне с шаровидным графитом может достигнуть 0,53 %, в том числе в твердом состоянии (до перлитного превращения) 0,15 %. В аналогичном образце из серого чугуна 0,20 % и 0,02 % соответственно.

В работе [2] на примере шарового образца диаметром 100 мм, заливаемого в металлическую форму, также отмечается, что величина предсудачного расширения составляет 0,6 % в ВЧ и 0,3 % в СЧ. Кроме того, было установлено, что давление образца на стенки формы в момент, соответствующий максимальному расширению, составляет 1,1 кгс/мм для ВЧ и 0,6 кгс/мм для СЧ.

Рассмотрим некую плоскостную модель при следующих условиях:

- количество включений графита в ВЧ и СЧ одинаково (хотя на практике количество включений графита в СЧ в 3–5 раз больше, чем в ВЧ) [4];
- степень и скорость графитизации в ВЧ и СЧ одинаковы;
- объем включений графита в ВЧ и СЧ одинаков;
- распределение включений в ВЧ и СЧ одинаково.

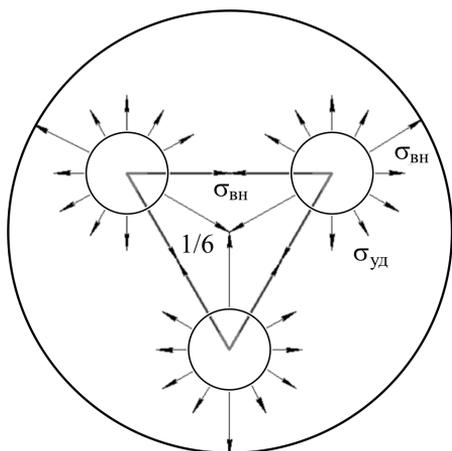


Рис. 1. Срез твердого сплава, имеющий три графитовых включения шаровидной формы

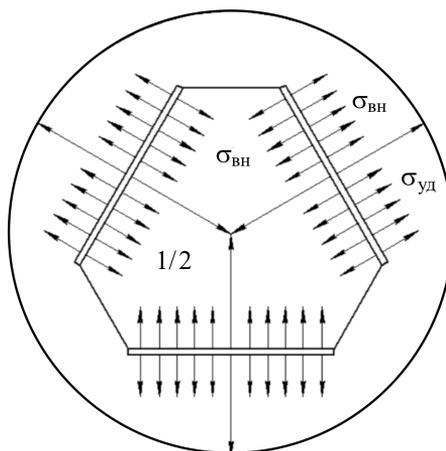


Рис. 2. Срез твердого сплава, имеющий три графитовых включения пластинчатой формы

На рис. 1 условно показан срез твердого сплава, имеющий три графитовых включения шаровидной формы диаметром 0,2 мм с расстоянием между ними 1 мм. Развернув шар в пластину, будем иметь пластину со стороной $A = 1,0$ мм и толщиной $t = 0,03$ мм, что отражено на рис. 2. Толщину среза h примем равной 0,02 мм для нивелирования влияния шаровидной формы графитовых включений в плоскостной модели.

Поскольку объем выделенного графита в обоих случаях одинаков, очевидно, что суммарное $\sigma_{вн}$ на границе «графит – металл» будет также одинакова. Но удельное внутреннее напряжение $\sigma_{уд}$ будет зависеть от распределения $\sigma_{вн}$ по площади графитовых включений.

Площадь поверхности шаровидного графитового включения на плоскостной модели будет составлять $2\pi R h$ и равна $0,0125 \text{ мм}^2$.

Площадь пластинчатых включений будет равна $2Ah$, т.е. $0,04 \text{ мм}^2$ (площадью торцов пластины пренебрегаем в силу незначительности).

Таким образом, $\sigma_{\text{уд}}$ в ВЧ в 3,2 раза будет больше, чем $\sigma_{\text{уд}}$ в СЧ.

Согласно закону Гука относительное удлинение образца (l) описывается формулой

$$l = \sigma / E,$$

где σ – внутреннее напряжение; E – модуль Юнга.

Как только внутренние напряжения превысят предел прочности материала на текучесть, упругая деформация переходит в пластическую, а учитывая, что модуль Юнга в чугунах при температурах на $10\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$ ниже линии ликвидус представляет предельно малую величину, можно предполагать, что предсудачное расширение (линейное удлинение образца) будет прямо пропорционально $\sigma_{\text{уд}}$ (в нашем примере в 3,2 раза).

Кроме того, форма графитовых включений оказывает существенное влияние на суммарные внутренние растягивающие напряжения $\sigma_{\text{вн}}$. Согласно теории упругости [3] напряжения разного знака внутри тела взаимно уравновешиваются. Как видно из приведенной модели, для чугуна с пластинчатым графитом взаимно уравновешивается 1/2 часть внутренних растягивающих напряжений, в то время как для чугуна с шаровидным графитом – только 1/6 часть, что усиливает разрыв между суммарными внутренними напряжениями на границе «графит – металл» в 2 раза.

Таким образом, на основе плоской математической модели показано, что при всех прочих равных условиях различие предсудачного расширения в отливках из ВЧ по сравнению с отливками из СЧ может составлять от 3 до 6 раз и определяется формой графитовых включений, которые могут существенно влиять на внутреннее растягивающее напряжение в области пластической деформации сплава.

На основе вышесказанного можно предположить, что составная часть предсудачного расширения и, соответственно, линейной усадки, помимо скорости, степени графитизации и свойств формы, будет определяться различием внутренних растягивающих напряжений, зависящих исключительно от формы графитовых включений, что необходимо принимать в расчет при определении литейных припусков литейной оснастки с целью повышения размерной точности.

Список литературы

1. Шибеев Е.А. Развитие представлений о механизмах протекания усачных процессов при затвердевании отливок из высокопрочного чугуна в сырых песчанно-глинистых формах: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1990. –166 с.

2. Шишараев С.В., Ланин В.Л., Игнатов М.Н. Исследование величины предусадочного расширения и давление отливки на стенки формы в зависимости от углеродного эквивалента, типа и количества модификатора в отливках из высокопрочного чугуна (ЧШГ) // Научная сессия МИФИ. – 2004. – Т. 15. – С. 119–120.

3. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1965. – 204 с.

4. Теория литейных процессов / Б.С. Чуркин, Э.Б. Гофман, А.Б. Чуркин, Ю.И. Категоренко. – Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2006. – 196 с.

Получено 10.06.2015

Шибеев Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения, Омский государственный технический университет.

Анисимова Алина Андреевна – студентка, Омский государственный технический университет, факультет элитного образования и магистратуры, e-mail: alicosia@mail.ru.