

повышению прочности отливок и при одной подкалке без старения, однако в меньшей степени, чем после старения. Так, прирост прочности отливок при подкалке без старения с увеличением добавок магния до 0,9 % не превышает 13 %, а в сочетании со старением достигает 20 %.

Прочность кокильных образцов, прошедших термообработку по режиму Т6, возрастает с увеличением добавок магния до 0,5 %. Дальнейший рост добавок магния до 0,9 % не приводит к повышению прочности сплава АЛ2. При оптимальной добавке прирост прочности сплава по отношению к исходному составляет 70–75 %. Следовательно, уровень свойств, заложенных в сплаве АЛ2 с добавками магния, при литье под давлением с последующими подкалкой и старением достигается лишь частично. Это объясняется особенностями процесса литья под давлением. При высоких скоростях заполнения полости формы сплавом происходит его разбрызгивание и интенсивное окисление за счет резкого увеличения площади контакта жидкого сплава с воздухом. В результате в теле отливки образуется множество окисных плен, спаев, газовых включений, которые существенно снижают прочность сплава.

Таким образом, для повышения прочности отливок из сплава АЛ2 целесообразно модифицирование его магнием (0,5–0,6 %) в сочетании с подкалкой и старением. Прочность образцов, изготовленных по указанной схеме, повышается примерно на 20 %.

*УДК 621.74.047*

**А.Н.КРУТИЛИН, В.А.ГРИНБЕРГ,  
Г.И.СТОЛЯРОВА, В.И.ТУТОВ**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ЧУГУНА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

При вертикальном непрерывном литье чугуна в кристаллизаторе образуется затвердевшая корка, характеризующаяся сложным напряженно-деформированным состоянием. Для расчета напряжений, действующих в ней, необходимо знать ряд физико-механических характеристик чугуна при температурах, близких к температуре кристаллизации, в том числе и коэффициент его термического расширения. В литературе имеются сведения о коэффициенте термического расширения чугуна до температур 700–800 °С.

Измерение коэффициента термического расширения проводили на dilatометре "Netzsch Gerätebau GmbH" (ФРГ). Прибор позволяет производить непрерывную регистрацию термического изменения длины исследуемого образца в автоматическом режиме. В связи с тем что регистрируемое удлинение состоит из изменений размеров образца, частей чувствительного элемента, а также системы держателей, которые находятся в горячей зоне печи, для определения истинного изменения длины образца необходимо было провести его калибровку в сравнении со стандартным образцом с известными свойствами. В качестве стандартных образцов использовали кварц и Vacromium. Калибровку проводили при одинаковых условиях измерения исследуемых и

стандартных образцов. При проведении исследований использовали ступенчатый режим их нагревания: подъем температуры до 900, 1000 и 1100 °С со скоростью 10 °С/мин с выдержкой при этих температурах в течение 30 мин. Такой выбор режима нагревания обусловлен тем, что при температурах, близких к температуре кристаллизации, в чугунах происходит не только процесс теплового расширения, но и графитообразования. Охлаждение чугуна сопровождается ростом графита. Кроме того, данный режим нагревания позволил значительно сократить продолжительность испытаний, повысить точность измерения. При температурной выдержке на дилатограмме хорошо видно, происходит ли в испытываемом образце полиморфное превращение.

Расшифровку показаний дилатометра производили следующим образом. На первом этапе вычисляли погрешность измерения путем сравнения относительного удлинения стандартного образца с табличными данными. Полученное значение суммировали с номинальным, считываемым с дилатограммы исследуемого образца. По полученной сумме рассчитывали коэффициент термического расширения. Испытания проводили в вакууме  $(3-8) \cdot 10^{-5}$  МПа. Образцы диаметром 6 мм и длиной 25 мм вырезали из поверхностного слоя заготовок, отлитых непрерывным способом.

Исследовали коэффициент термического расширения серого чугуна и антифрикционного АЧС-2 с различным химическим составом. Содержание элементов в чугунах изменяли в интервале (процент по массе): С — 2,9—3,7; Si — 1,5—2,3; Mn — 0,1—0,6; Cr — 0,1—0,7; Ni — 0,1—0,6; Cu — 0,1—0,5; Ti — 0,02—0,1; P — 0,08—0,33; S — 0,05—0,06. При анализе полученных экспериментальных данных влияние изменения химического состава в исследованных пределах на коэффициент термического расширения не установлено. Значение коэффициента термического расширения в диапазоне температур 20—800 °С составляло  $(11,7-16,4) \cdot 10^{-5}$  1/град; 20—900 °С — 13—17,2 1/град; 20—1000 °С — 14—18,2 1/град.

Анализ дилатограмм образцов с различным химическим составом позволил установить, что при содержании P до 0,1 % относительное удлинение образца монотонно растет в диапазоне температур 800—1100 °С. В то же время на дилатограммах всех образцов с содержанием фосфора более 0,3 % имеет место резкое снижение коэффициента термического расширения после достижения температуры 1075—1085 °С.

Первоначально была выдвинута гипотеза, что это явление связано с полиморфным превращением (растворением графита в фосфидной эвтектике или растворением самой фосфидной эвтектики в аустените). Однако испытания, проведенные на чистых Fe—C—P сплавах с различным содержанием фосфора, показали, что изменение удлинения образцов не пропорционально содержанию фосфора, а происходит скачкообразно по достижении его концентрации 0,3 %. Наиболее вероятной причиной скачкообразного изменения коэффициента термического расширения можно считать эффект перераспределения фосфидной эвтектики в объеме образца или выход эвтектики через междендритные пространства на поверхность образца.

Для расчета коэффициента термического расширения в интервале температур, соответствующем их перепаду по толщине затвердевшей корки, использовали формулу

$$\alpha_{T_1-T_2} = \frac{\alpha_{T_2-T_0} (T_2 - T_0) - \alpha_{T_1-T_0} (T_1 - T_0)}{[1 + \alpha_{T_1-T_0} (T_1 - T_0)] (T_2 - T_1)}, \quad (1)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — температура соответственно на наружной и внутренней поверхностях затвердевшей корки;  $\alpha_{T_1-T_0}$  и  $\alpha_{T_2-T_0}$  — усредненные значения

коэффициента термического расширения при этих температурах.

Рассчитанный по формуле (1) коэффициент термического расширения ( $\alpha_{1000-1100} = 26,8$  1/град) был использован для определения термических напряжений, возникающих в затвердевшей корке вследствие перепада температур по толщине.

УДК 621.746

И.В.ЗЕМСКОВ, В.И.ТУТОВ,  
В.Д.ТУЛЬЕВ, И.К.ФИЛАНОВИЧ

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Качество наружной поверхности непрерывнолитых заготовок из чугуна является одним из основных факторов, способствующих ограничению снижения припусков на их механическую обработку. Ликвидация таких дефектов, как газовые раковины, неспаи, развороты затвердевающей корочки, задиры, позволит снизить материалоемкость заготовок, сократить отходы металла в стружку. Для этого исследовали влияние конструктивных элементов и профиля рабочей втулки кристаллизатора, смазочных материалов и вибрации на качество наружной поверхности непрерывнолитых заготовок из чугуна. Заготовки получали на лабораторной установке вертикального непрерывного литья путем заливки жидкого расплава в металлический водоохлаждаемый кристаллизатор. При этом использовали рабочие втулки с гладкой цилиндрической поверхностью с прямой и обратной конусностью, с вертикальными технологическими канавками, ряд смазочных материалов, вибрации различной направленности.

Эксперименты показали, что рабочая втулка должна иметь прямой конус с углом наклона образующей 8–10°. При меньших углах наклона или при отсутствии конусности вследствие предсудачного расширения чугуна происходит заклинивание затвердевающей заготовки, разворот корочки металла, нарушение ее сплошности. Увеличение конусности приводит к значительному снижению скорости извлечения заготовки, что связано с уменьшением интенсивности теплоотвода за счет увеличения газового зазора между втулкой и заготовкой.

Значительному уменьшению коэффициента трения между рабочей втулкой и заготовкой способствует применение растительных масел и суспензий