ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Influence of thickness of casting wall and the carbon and silicon contents on structure formation processes in modified graphitized steels is investigated.

С. Б. БЕЛИКОВ, И. П. ВОЛЧОК, В. А. САВЧЕНКО, ЗНТУ,
Н. А. СВИДУНОВИЧ, С. Е. БЕЛЬСКИЙ, Д. В. КУИС, БГТУ

УДК 669.017.11:669.15–194.5

СТРУКТУРНАЯ ДИАГРАММА ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Основными сплавами в современном машиностроении являются сплавы на основе железа – стали и чугуны. Среди них особое место занимают графитизированные стали, чаще всего это заэвтектоидные сплавы с повышенным содержанием кремния и наличием в структуре включений свободного графита. Благодаря своему химическому составу и структуре они сочетают в себе положительные свойства чугуна (высокие демпфирующие свойства, термостойкость, окалиностойкость и т. д.) и конструкционных сталей (более высокие по сравнению с высокопрочным чугуном предел прочности, пластичность и вязкость). Основными факторами, сдерживающими широкое использование отливок из графитизированных сталей, являются недостаточно изученные процессы структурообразования этих материалов и необходимость проведения длительного и энергоемкого графитизирующего отжига для разложения структурно свободного цементита и получения феррито-перлитной структуры с включениями графита.

При производстве чугуна для приблизительного определения его структуры пользуются так называемыми структурными диаграммами [1], на которых обозначены области белого, половинчатого, перлитного, феррито-перлитного и ферритного чугунов, т. е. диаграммы иллюстрируют влияние элементов-графитизаторов (углерода и кремния) и скорости охлаждения (толщины стенки отливки) на степень графитизации чугунов. Для графитизированных сталей такие диаграммы отсутствуют, что в значительной мере сдерживает совершенствование процессов их производства.

В данной работе была поставлена задача исследовать влияние толщины стенки отливки и содержания углерода и кремния на процессы структурообразования в модифицированных графитизированных сталях. Для этого были проведены опытные плавки на сплавах с содержанием углерода от 0,6 до 1,2% и кремния от 1,0 до 1,6%. Модифицирование проводили путем присадки измельченных ферросилиция ФС-65 (ДСТУ 4127-2002) и алюминия марки А99 (ГОСТ 11069-74) в ковш перед заливкой жидкого металла. Для получения заданного содержания углерода сталь 20 науглероживали чугуном Л5, который, кроме того, менял начальное содержание кремния. Для получения заданного содержания кремния (за счет легирования и модифицирования) для каждой плавки отдельно рассчитывали общее количество ФС-65. Полученные сплавы имели химический состав: 0,61–1,19%C, 1,00–1,67%Si, 0,32–0,37%Mn; 0,12–0,17%Al, 0,008–0,014%S и 0,016–0,025%P.

Заливку металла проводили в сухие песчано-глинистые литейные формы, в которых получали ступенчатые отливки, ступени имели толщину h от 10 до 50 мм, что обеспечивало различную скорость охлаждения.

Результаты исследований показали, что в результате модифицирования алюминием и ферросилицием в структуре сталей вследствие графитизирующего действия кремния и алюминия в литом состоянии образовалась графитная фаза. При этом включения структурно свободного цементита в количестве 1–4% наблюдались лишь в заэвтектоидных сталях.

В зависимости от толщины стенки отливки и содержания углерода и кремния изменялись количество графитной фазы $V_г$, параметр формы графитовых включений $\lambda_г$ и их количество n. По результатам количественной металлографии в зависимости от химического состава и скорости охлаждения отливок в структуре металлической основы литых графитизированных сталей присут-

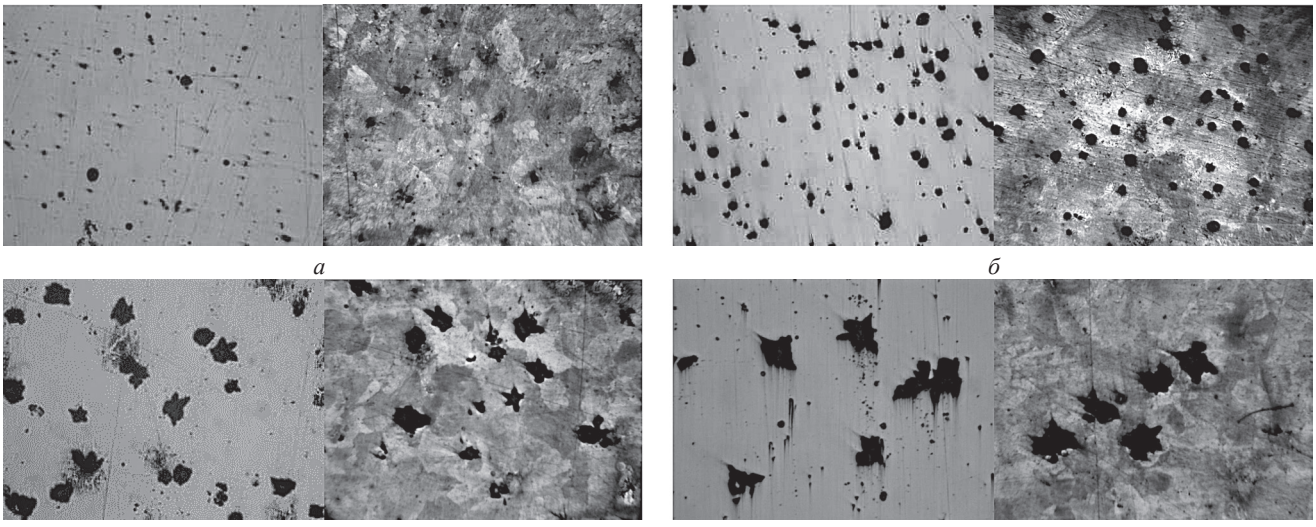


Рис. 1. Структура модифицированных сталей: *а*, *в* не травленные образцы; *б*, *г* – травленные образцы. ×200; *а* – 0,61%C, 1,62%Si, *h* = 10 мм; *б* – 1,19%C, 1,21%Si, *h* = 10 мм; *в* – 1,19%C, 1,21%Si, *h* = 50 мм; *г* – 1,19%C, 1,61%Si, *h* = 50 мм

ствовали графит, ферритная, перлитная и цементитная фазы. При этом распределение графитных включений изменялось от ШГ2 (рис. 1, *а*) до ШГ10 (рис. 1, *б*) по ГОСТ 3443-87 [2].

Объем графитной фазы $V_г$ увеличивался с повышением как толщины стенки отливки, так и количества модификатора. С увеличением содержания углерода от 0,61 до 1,04% и толщины стенки отливки с 10 до 50 мм в сплавах наблюдалось увеличение количества графитной фазы $V_г$ и изменение размеров шаровидных включений, равномерно распределенных по сечению образцов. Для сплавов с 1,19% С при толщине стенки 10 мм включения графита имели шаровидную форму и равномерно распределялись по площади шлифа (рис. 1, *б*). С увеличением толщины стенки отливки этих сплавов форма включений графита изменялась на неблагоприятную, почти хлопьевидную (рис. 1, *в*), а с ростом содержания кремния увеличивались размеры этих включений (рис. 1, *г*).

В результате регрессионной обработки экспериментальных данных было получено уравнение, характеризующее зависимость объема графитной фазы сталей $V_г$ от содержания углерода, кремния и скорости кристаллизации (толщины стенки h) отливок. В натуральном масштабе уравнение и соответствующий коэффициент корреляции r имели следующий вид:

$$V_г = 3{,}85 - 0{,}01h - 3{,}25C - 3{,}83Si - 0{,}08hC + 0{,}02hSi + 4{,}17CSi + 0{,}08hCSi,\ r = 0{,}98. \quad (1)$$

На основании полученных в работе данных металлографического анализа структур и регрессионного анализа были построены структурные диаграммы в координатах: содержание углерода, толщина стенки отливки для сталей с содержанием кремния 1,2 и 1,6%. При этом для сталей в литом состоянии ставилась задача на диаграмме отобразить зоны, соответствующие структурам перлит + цементит, перлит + графит + цементит, перлит + графит и перлит + феррит + графит. По данным металлографического анализа, было установлено, что структура перлит + графит + цементит имела место при низком содержании углерода и толщине стенки отливки 10 и 20 мм; структуру перлит + графит независимо от толщины стенки отливки и содержания кремния имели стали, в которых количество графита превышало 2±0,3 об.%; структуру перлит + графит + феррит – стали, в которых количество графита превышало 3±0,3 об.%.

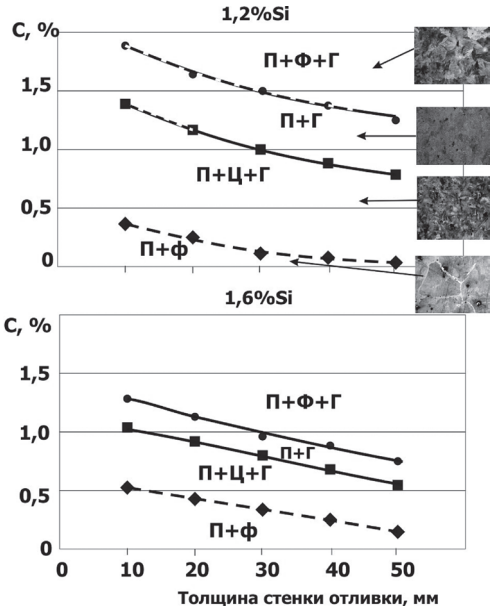


Рис. 2. Структурные диаграммы графитизированных сталей: сплошные линии – содержание углерода в пределах эксперимента; пунктирные – интерполяция на основе уравнения регрессии

Исходя из этого, в уравнении регрессии (формула (1)) задавались количеством графита 0, 2, 3 об.% и постоянным содержанием кремния 1,2 и 1,6% и рассчитывали содержание углерода для различной толщины отливки. Полученные структурные диаграммы показаны на рис. 2.

Сопоставления структур реальных сталей, в том числе с содержанием углерода от 0,6 до 1,2%, и полученных диаграмм показали хорошее соответствие между собой.

Анализируя полученные диаграммы, следует отметить, что наибольшее практическое значение имеют линии, разделяющие между собой зоны П + Ц + Г и П + Г. Эти линии позволяют определить условия (содержание углерода и кремния, и толщина стенки отливки), по которым возможно получение сталей без структурно свободного вторичного цементита, т. е. условия, исключающие необходимость проведения графитизирующего отжига.

Литература

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1980.

2. Савченко В. О. Вплив модифікування на властивості графітизованих сталей // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.55. Днепропетровск: ПГАСА, 2010. С. 118–122.