

С.Г. АГБАЛЯН, Р.С. ЕГИАЗАРЯН, Е.С. САЛТЫКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
КОВКОГО ЧУГУНА

Исследованы принципы структурообразования ковкого чугуна при термической обработке. Разработана новая технология получения ковких чугунов, сущность которой состоит в следующем: отливки из белого чугуна нагреваются до температуры аустенизации, после короткой выдержки подвергаются термоциклированию, закаляются в воде или в масле и подвергаются отжигу.

Ключевые слова: чугун, зерно, графит, цементит, перлит, закалка, отжиг.

Ковкий чугун как конструкционный материал находит широкое применение во многих отраслях промышленности. По своим литейным и механическим свойствам он занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью, что и определяет области его применения. Этот машиностроительный материал, получаемый от длительного отжига белого чугуна, применяется для изготовления деталей, работающих под ударом и вибрационной нагрузкой.

Целью работы является исследование принципов структурообразования ковкого чугуна при термической обработке и разработка новой технологии, обеспечивающей высокие механические свойства.

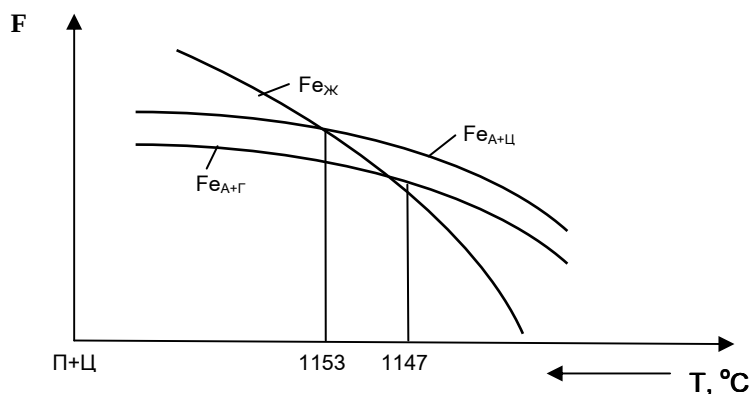


Рис. 1. Изменение свободной энергии жидкого сплава ($Fe_{ж}$) в смеси аустенит+цементит ($Fe_{A+Ц}$) и аустенит+графит ($Fe_{A+Г}$) в зависимости от температуры

Ковкий чугун получают из белого чугуна путем графитизации или обезуглероживания [1]. При нагреве белого чугуна выше 727°C (линия PSK на диаграмме Fe-C) образуются аустенитная и цементитная фазы. Так как графит является более устойчивой фазой, чем цементит (рис. 1), то при указанных

температурах и больших выдержках цементит распадается с образованием аустенита и хлопьев графита (1-я стадия графитизации). Если его затем охладить на 50...100°C ниже PSK и дать длительную выдержку, что равноценно очень медленному охлаждению, то аустенит превращается в перлит, а цементит, который является частью перлита (рис. 2), распадается на хлопьевидный графит и феррит (2-я стадия графитизации). При такой обработке весь углерод выделяется в свободном состоянии, и структура чугуна после отжига будет состоять из феррита и включений хлопьевидного углерода. Такой чугун называется ферритным [2].

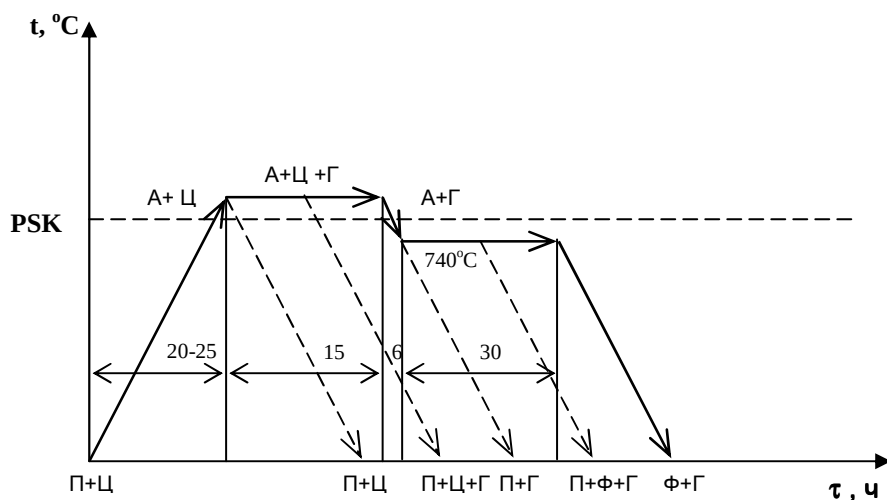


Рис. 2. Схема образования структур при графитизации чугуна

Принимается следующая схема течения процесса графитизации в первой его стадии:

1. Постепенное растворение связанного углерода (цементита, ледебурита) в твердом растворе – аустените.
2. Диффузия углерода через твердый раствор от цементитных выделений к центрам графитизации.
3. Выделение углерода из твердого раствора в виде углерода отжига, в силу меньшей растворимости углерода в аустените по сравнению с растворимостью цементита.

Продолжительность процесса графитизации определяется скоростью диффузии углерода через твердый раствор, количеством углерода, которое необходимо продиффундировать, и длиной пути диффузии углерода через твердый раствор.

Первая стадия графитизации завершается распадом структурно свободного цементита. В результате к окончанию выдержки образуется двухфазная система, состоящая из аустенита и графита в виде скоплений углерода отжига.

Вторая стадия графитизации начинается разложением цементита, находящегося в перлите, до графита. Полнота графитизации во второй стадии, как и скорость происходящих реакций, зависит от скорости прохождения интервала

температур, находящихся вблизи A_1 (PSK). Быстрое прохождение интервала A_1 способствует сохранению больших количеств связанного углерода в виде цементита перлита. Наоборот, медленное охлаждение при прохождении интервала A_1 (или выдержка при температуре немного ниже A_1) способствует переводу системы в стабильное состояние и распаду цементита перлита. Условия охлаждения чугуна после завершения второй стадии графитизации определяют конечную структуру; при замедленном охлаждении получается ферритный ковкий чугун, а при ускоренном – перлитный. Продолжительность процесса превращения отливок из белого чугуна в ковкий зависит от скорости графитизации, которая, в свою очередь, зависит от количества образующихся в единицу времени на единице площади центров кристаллизации.

На основании проведенных исследований и данных С.А. Салтыкова [3] для вычисления времени графитизации предложена формула

$$\tau = A/n^{0,5}, \quad (1)$$

где τ – время графитизации, час; n – количество выделений углерода отжига на 1 мм^2 поверхности; A – константа, зависящая от свойств металла и температуры графитизации.

Для определения времени, необходимого для завершения первой стадии графитизации, С.А. Салтыков вывел следующую эмпирическую формулу [3]:

$$c = 1/(1,1895 \cdot \sqrt[3]{n^{1,6}}), \quad (2)$$

где c – расстояние между центрами соседних включений углерода отжига, мм; n – количество выделений углерода отжига на единицу поверхности.

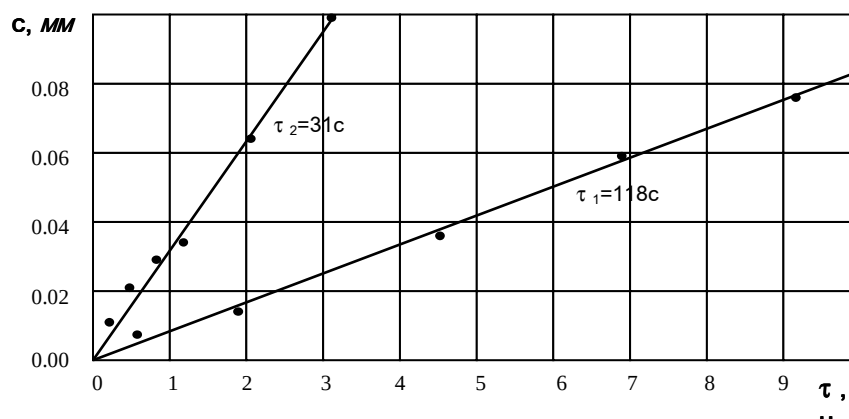


Рис. 3. Продолжительность 1-й (τ_1) и 2-й (τ_2) стадий графитизации в зависимости от среднего расстояния между центрами графитизации

На рис. 3 приведена зависимость продолжительности первичной и вторичной графитизации от среднего расстояния между центрами графитизации c . Зависимость это линейная и может быть выражена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 118 \cdot c, \\ \tau_2 &= 31 \cdot c,\end{aligned}\tag{3}$$

где τ_1, τ_2 – продолжительность первичной и вторичной графитизации, час.

Формула (3) действительна для случая проведения первой стадии графитизации при 930°C, а при другой температуре отжига коэффициент изменяется: с повышением температуры отжига уменьшается, с понижением – увеличивается.

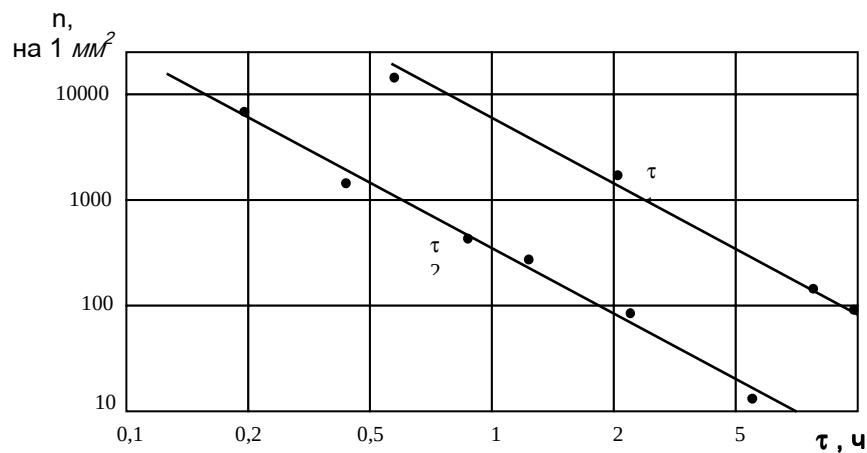


Рис. 4. Продолжительность 1-й и 2-й стадий графитизации в зависимости от количества центров графитизации на 1 мм^2 площади шлифа. Логарифмический масштаб

Зависимость продолжительности 1-й и 2-й стадий графитизации от количества центров графитизации на 1 мм^2 площади шлифа более сложна и выводится путем совместного решения уравнений (2) и (3), которые представляют в логарифмических координатах прямых (рис.4)

$$\tau_1 = 99,2 / \sqrt[3]{n^{1,6}}, \tau_2 = 26,1 / \sqrt[3]{n^{1,6}}.\tag{4}$$

Как видно из вышеизложенного, влияние центров графитизации на продолжительность процесса очень велико, то есть процесс отжига при изготовлении изделий из ковкого чугуна можно ускорить увеличением количества центров кристаллизации при всех прочих одинаковых условиях. Поэтому ряд предложенных способов ускорения отжига основан на увеличении количества центров графитизации, достигаемом различными способами [3,4]. Так, после закалки от 930°C в воде для полного завершения графитизации достаточно проведение последующего отжига в течение 4-5 часов при 930°C, охлаждения до 730°C, выдержки в течение 4-5 часов при 730°C.

На основании этих и других исследований нами разработана новая технология получения ковких чугунов, сущность которой состоит в следующем:

отливки из белого чугуна нагреваются до температуры аустенизации (950 ± 25 °C), после короткой выдержки (1,0...1,5 мин/мм) подвергаются термоциклированию (2 или 3 раза до температуры 500...600 °C) и закаливаются в воде или в масле. После закалки отливки немедленно подвергаются отжигу. Длительность отжига не превышает 10...15 час.

Микроструктура чугуна после такого сверхускоренного отжига содержит мелкие включения углерода отжига, которые обеспечивают значительное увеличение прочностных свойств ($\sigma_b(450...660$ МПа, $\sigma_T(220...350$ МПа, $\delta(1...5$ %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц Б.Г. Металлография.- М.: Металлургия, 1971. - 408 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
3. Салтыков С.А. О роли центров графитизации при отжиге ковкого чугуна // Металлург. – 1939. - № 8. - С.10-22.
4. Кунявский М.Н. Термическая обработка чугуна.- М.: Машгиз, 1950. - 408 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26.04.2001.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Ս. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ե.Ս. ՍԱԼՏԻԿՈՎԱ

ԿՈՒԵԼԻ ԹՈՒՋԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել են կոուլի թուջի կառուցվածքագոյացման հիմնական սկզբունքները ջերմային մշակման ժամանակ: Մշակվել է կոուլի թուջերի ստացման նոր տեխնոլոգիա, որի էությունը հետևյալն է. սպիտակ թուջից ձուլվածքները տաքացվում են մինչև աուստենիտացման ջերմաստիճան, կարճատև պահումից հետո ենթարկվում են ջերմացիկլիկ մշակման, միավում են ջրում և թրծվում:

S.G. AGBALYAN, R.S. YEGHIAZARYAN, E.S. SALTIKOVA

BASIC PRINCIPLES OF MALLEABLE CAST IRON STRUCTURE FORMATION

Fundamentals of malleable cast iron structure formation during heat treatment are studied. A new technology for obtaining malleable cast iron is developed, its idea consisting of the following: castings from white cast iron are heated to the austenization temperature, after a short soaking they undergo thermal cycling, harden in water or oil and undergo annealing.