

К. П. БУНИН и Н. М. ДАНИЛЬЧЕНКО

## О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАКАЛКИ НА СКОРОСТЬ ГРАФИТИЗАЦИИ ЧУГУНА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 26 XI 1951)

Известно, что закалка белого чугуна существенно увеличивает скорость его последующей графитизации. Причина этого трактуется по-разному.

Ряд авторов связывает действие закалки с появлением многочисленных карбидных частиц, образующихся при нагреве закаленного чугуна для графитизации вследствие распада образовавшегося при закалке мартенсита. Появление карбидных частиц сильно увеличивает межфазовую поверхность, являющуюся при отжиге местом зарождения графита, и тем самым резко увеличивает число центров графитизации.

Это представление о природе влияния предварительной закалки опровергается экспериментами по изотермической закалке чугуна. Если закалку производить в горячих средах при температурах выше точки  $M$ , то в результате изотермического превращения аустенит переходит в тонкую смесь карбида и феррита, степень дисперсности которой не уступает той, какая получается в результате распада мартенсита при нагреве закаленного белого чугуна. Несмотря на это, влияние изотермической закалки на склонность белого чугуна к графитизации ничтожно мало в сравнении с влиянием закалки в холодной воде.

Представление это опровергается и фактом резкого ослабления эффективности предварительной закалки при переходе от обычной закалки к ступенчатой, при которой мартенситное превращение осуществляется при медленном охлаждении. Предварительная закалка вполне эффективна лишь тогда, когда мартенситное превращение происходит в условиях резкого охлаждения, что и имеет место при закалке чугуна в воде. Из того факта, что структуры, создающиеся при обычной и ступенчатой закалке, практически одинаковы, а эффективности их при последующей графитизации существенно различны, непосредственно следует, что измельчение карбида не определяет влияния закалки на скорость графитизации белого чугуна при последующем отжиге.

Другие авторы объясняют действие закалки образованием в чугуне закалочных напряжений, уменьшающих каким-то специфическим образом устойчивость цементита. Конкретного механизма влияния этих напряжений на скорость графитизации до сих пор не было предложено.

Наконец, недавно нами было высказано предположение о том, что решающую роль в ускорении графитизации играют образующиеся в белом чугуне при закалке в результате напряжений микроскопические закалочные трещины, облегчающие образование зародышей графита<sup>(1)</sup>. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные, подтверждающие это предположение.

При отжиге после предварительной закалки число центров графитизации сильно увеличивается по сравнению с случаем отжига без предварительной обработки. Наблюдающееся при этом ускорение графитизации можно связывать как с увеличением числа зародышей графита, так и с появлением в чугуне в результате закалки внутренних напряжений, каким-то образом ускоряющих графитизацию при последующем отжиге. Если бы удалось разделить эти два влияния, получив чугун с большим числом центров графитизации, но лишенный закалочных напряжений, можно было бы установить роль каждого из этих факторов при графитизации закаленного белого чугуна.

Это удастся сделать, если наряду с образцами закаленного чугуна использовать образцы чугуна, выдержанные до графитизации длительное время при низких температурах (300—500°). Известно, что подоб-

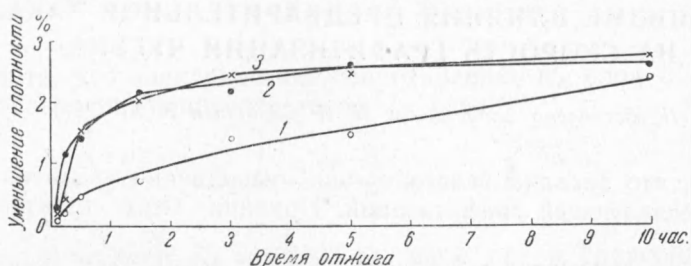


Рис. 1. Кинетические кривые графитизации белого чугуна. 1 — чугун без предварительной обработки; 2 — чугун, предварительно закаленный от 820°; 3 — чугун, предварительно выдержанный при 400°

ная предварительная низкотемпературная обработка белого чугуна приводит, как и предварительная закалка, к образованию в нем большого числа зародышей графита (это число одного порядка с числом зародышей графита, появляющихся при отжиге закаленного чугуна). Вместе с тем, при таком способе увеличения числа центров графитизации в образцах не создается напряжений, а даже наоборот, происходит некоторая разрядка имеющихся напряжений. Сравнительное исследование скорости графитизации белого чугуна после предварительной закалки и низкотемпературной выдержки позволит, следовательно, установить влияние только увеличения числа зародышей и выявить специфическое влияние закалочных напряжений, если оно имеет место.

Исходя из этого, авторы произвели исследование кинетики графитизации белого чугуна, находившегося в трех различных состояниях: в исходном состоянии, после закалки в воде от 820° и, наконец, после 6-часовой выдержки при 400°. Чугун выплавлялся в дуговой электропечи и имел следующий состав: 2,50% С; 0,93% Si; 0,51% Mn; 0,048% S; 0,72% P и 0,05% Cr. Графитизация образцов этого чугуна ( $d = 15$  мм) производилась при 920°. После различных выдержек при этой температуре образцы охлаждались на воздухе. Степень графитизации определялась по уменьшению плотности образцов чугуна и контролировалась микроскопически.

Из кинетических кривых (см. рис. 1) ясно видно, что предварительная закалка от 820° и низкотемпературная обработка при 400°, приведшие к образованию при графитизации многочисленных центров графитизации, в одинаковой мере ускорили графитизацию чугуна.

Из факта совпадения кинетических кривых следует, что основное действие предварительной закалки на склонность чугуна к графитизации проявляется лишь увеличением числа центров графитизации, и что напряжения, возникающие при закалке, играют роль лишь постольку, поскольку они способствуют образованию центров графитизации.

В незакаленном исходном чугуна образуются лишь немногочисленные центры графитизации. Трудности образования в исходном чугуна зародышей графита обусловлены тем, что, наряду с созданием в матрице обогащенных углеродом участков, необходимо удаление из этих участков и атомов железа, поскольку графитная фаза практически их не содержит. Подвижность же атомов железа значительно меньше подвижности атомов углерода, и поэтому присутствие их в участках про странства, занимаемых атомами углерода и превращающихся в центры графитизации, затрудняет процесс образования зародышей графита.

Роль предварительной закалки и состоит, главным образом, в том, что это затруднение обходится. При закалке в матрице чугуна как на межфазовых поверхностях, так и в мартенсите создаются многочисленные микроскопические закалочные трещины. При нагреве чугуна для графитизации они заполняются углеродом, и таким путем создаются центры графитизации.

Эта роль закалочных трещин подтверждается видом включений графита, выявляемых микроскопически на ранних этапах процесса графитизации,— форма большинства включений графита соответствует форме закалочных трещин. Форма включений графита, полученных в этом же чугуна, но не подвергавшемся закалке, является обычной— это более или менее равноосные компактные включения с небольшими от ветвлениями по границам зерен матрицы.

Большое значение закалочных трещин подтверждается и другими экспериментальными данными о влиянии условий предварительной за калки на скорость графитизации чугуна. Если главная роль принадлежит закалочным трещинам, то становятся понятными и факт резкого ослабления эффективности предварительной закалки при замене обычной закалки в холодной воде изотермической и ступенчатой закалкой и факт отсутствия эффективности закалки от температуры ниже эвтектоидной.

Резюмируя сказанное выше, можно утверждать, что большое ускоре ние графитизации белого чугуна, наблюдающееся после предваритель ной закалки, обусловлено резким увеличением числа зародышей гра фита, легко образующихся в чугуна на базе многочисленных микроско пических закалочных трещин, возникающих при закалке.

Увеличение дисперсности карбида и какое-то специфическое влияние остаточных закалочных напряжений на устойчивость карбида могут играть лишь второстепенную роль в наблюдающемся ускорении графитизации, тем более, что при нагреве закаленного чугуна для графитиза ции дисперсные карбидные частицы растворяются в аустените, а на пряжения снимаются.

Поступило  
26 IX 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. П. Бунин и Н. М. Данильченко, ДАН, 72, № 5 (1950).