

Член-корреспондент АН СССР Г. В. КУРДЮМОВ и О. П. МАКСИМОВА *

О КИНЕТИКЕ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ВЫШЕ КОМНАТНОЙ

При первых исследованиях кинетики мартенситного превращения в области достаточно низких температур всегда наблюдалось уменьшение скорости превращения с понижением температуры (¹⁻²). Существование восходящей ветви на температурной кривой скорости для процесса превращения аустенита в мартенсит впервые было установлено на сплаве железо-никель-марганец (23% Ni, 3,4% Mn) (³), имеющем мартенситную точку при 5°. На этом сплаве была получена обычного вида температурная кривая скорости с максимумом, как и в общем случае фазовых превращений.

В связи с полученным результатом было высказано предположение, что многократно наблюдавшийся исследователями (⁴⁻⁵) факт изотермического превращения аустенита в мартенсит при температурах значительно выше комнатной связан с существованием восходящей ветви на температурной кривой скорости. Предполагалось, что это явление обусловлено тоже невозможностью протекания быстрого превращения вблизи мартенситной точки вследствие большой работы образования зародышей при малом ΔT . Изотермическое образование мартенсита обычно наблюдалось исследователями в интервале температур выше 50—70°. Эффекты наблюдались, но скорость превращения не оценивалась, температурная зависимость ее не изучалась. Поэтому представляло интерес изучить кинетику на сталях с мартенситной точкой, лежащей значительно выше комнатной температуры. С другой стороны, целесообразность такого исследования определялась уже тем, что желательно было получить общую картину изменения скорости превращения аустенита в широком интервале температур — от температур, лежащих значительно выше комнатной, до температуры жидкого азота.

Исследование проводилось термомагнитным методом на марганцевой стали (0,8% C, 2,2% Mn), имевшей мартенситную точку при 155°. Были построены кривые изотермического превращения аустенита в мартенсит для всего интервала температур ниже T_m (от 155 до —196°).

Результаты исследования подтвердили предположение о малой скорости превращения вблизи мартенситной точки, расположенной значительно выше комнатной температуры. Исследование показало, что и в этом случае температурная кривая скорости имеет максимум (см. рис. 1), как в случае исследованного ранее сплава железо-никель-марганец. Однако отличительной особенностью рассматриваемого случая явилось то обстоятельство, что здесь максимум отвечал неизмеримо большей скорости затухания превращения: изотермическое превращение наблюдалось в этой стали в двух интервалах температур, разделенных между собой областью чрезвычайно большой скорости превращения (см.

* В вычислении экспериментальной части настоящей работы принимала участие Н. А. Бондаренко.

рис. 2 и 3). Первый интервал изотермического превращения примыкал к мартенситной точке и распространялся примерно до комнатной температуры; второй интервал был расположен ниже -50° , т. е. в обычной низкотемпературной области изотермического образования мартенсита. Поэтому соответствующие поправки к мартенситной кривой непрерывного охлаждения выразились для данной стали в виде двух заштрихованных участков, отвечающих двум температурным интервалам изотермического превращения (см. рис. 2).

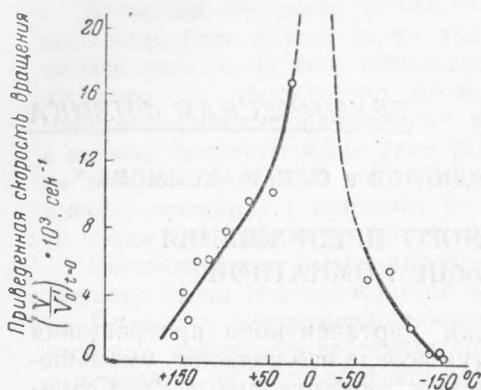


Рис. 1. Приведенная начальная скорость превращения аустенита в мартенсит в зависимости от температуры (сталь 0,8% С, 2,2 % Мп)

ческий процесс, оценивать скорость — настолько она была велика (превращение затухало практически мгновенно). Эта неизмеримо большая скорость превращения сохранялась до -50° . Только ниже -50° снова появилась возможность наблюдать превращение во времени и измерять его скорость. По мере дальнейшего понижения температуры скорость превращения, как и обычно в этом интервале температур, постепенно убывала. Особенно наглядную картину изменения скорости процесса в каждом из двух интервалов дают «приведенные» изотермы, показывающие скорость затухания процесса. В верхнем интервале кривые лежат тем ниже, скорость затухания превращения тем меньше, чем выше температура, чем ближе она к T_m . Наоборот, в нижнем интервале изотермического превращения ниже -50° процесс идет тем медленнее, чем температура ниже (см. рис. 4).

Температурная кривая скорости имеет в этом случае две отдельные ветви: восходящую, берущую начало при 155° , и нисходящую, связанную с появлением изотермического эффекта ниже -50° (рис. 1). В интервале между комнатной температурой и -50° проведены пунктирные линии, уходящие в область неизмеримо большой скорости превращения. Логарифмическая кривая скорости показывает, что и в этом случае в интервале низких температур (ниже максимума) точки ложатся на прямую, что еще раз подтверждает зависимость скорости превращения от энергии тепловых колебаний атомов и независимость

В области температур выше комнатной скорость затухания превращения была тем больше, чем ниже температура. С увеличением степени переохлаждения в этой области скорость достижения предельного количества мартенсита постепенно возрастала и, наконец, при комнатной температуре стала неизмеримо большой. В некотором интервале температур ниже комнатной невозможно было фиксировать изотерми-

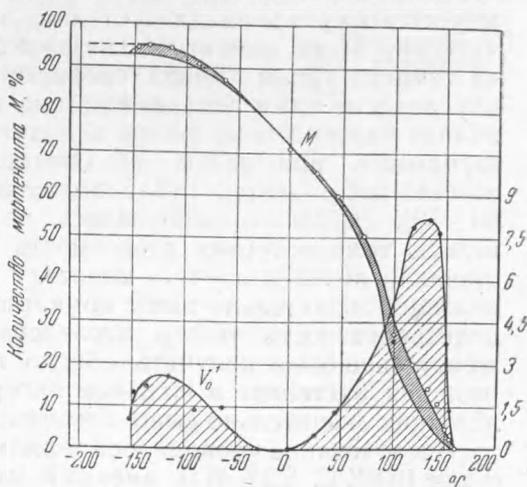


Рис. 2. Мартенситная кривая непрерывного охлаждения, построенная с учетом изотермического эффекта; M — кривая охлаждения, V_0' — эффекты изотермического превращения (сталь 0,8% С, 2,2% Мп)

ее от работы образования зародышей при достаточной отдаленности от границы фазового равновесия.

В формуле, выражающей зависимость скорости превращения от температуры,

$$N = Ae^{-U/RT} e^{-W/RT}$$

(где U — энергия активации превращения, W — работа образования зародышей) второй множитель $e^{-W/RT}$, учитывающий влияние работы образования зародышей W , для области температур ниже максимума может быть исключен и формула может использоваться в следующем упрощенном виде:

$$N = Ae^{-U/RT}.$$

При температурах же выше максимума точки на логарифмической кривой скорости ложатся ниже прямой и тем дальше от нее, чем меньше степень переохлаждения ΔT , вследствие того, что здесь, помимо температуры, оказывает действие второй фактор — работа образования зародышей W (3). Поэтому в области выше максимума работа образования зародышей W должна учитываться, и выражение для скорости превращения необходимо брать в его полном виде.

И если ниже максимума решающим фактором является $e^{-U/RT}$ (т. е. температура превращения, так как величина U посто-

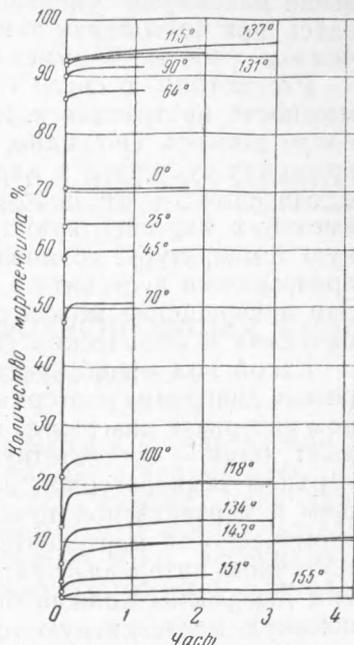


Рис. 3. Изотермы, построенные с учетом количества мартенсита, образовавшегося до начала выдержки (сталь 0,8% С, 2,2% Mn)

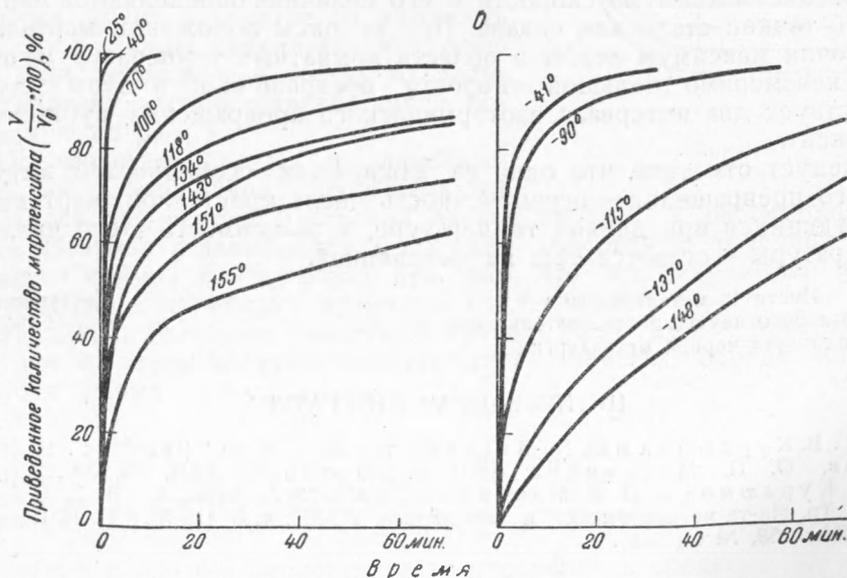


Рис. 4. Приведенные изотермы (приведенное количество мартенсита в зависимости от времени выдержки при различных температурах) (сталь 0,8% С, 2,2% Mn)

янна), то в области выше максимума решающую роль играет уже второй фактор $e^{-W/RT}$ (т. е. W). В области ниже максимума уменьшение скорости

превращения, происходящее с понижением температуры, обусловливается увеличением показателя U/RT (уменьшением $e^{-U/RT}$). В области выше максимума уменьшение скорости превращения, происходящее здесь при повышении температуры, обусловливается быстрым увеличением работы W (уменьшением $e^{-W/RT}$).

Рассмотрим, в связи с полученными результатами, вопрос о возможности протекания изотермического превращения при вылеживании после закалки. Очевидно, при комнатной температуре скорость превращения аустенита в мартенсит может быть существенно различной, в зависимости от положения мартенситной точки стали. В сталях, имеющих мартенситную точку, незначительно превышающую комнатную температуру, возможно протекание интенсивного и длительного превращения аустенита в мартенсит при вылеживании после закалки. Это превращение может приводить к существенному изменению механических и физических свойств стали.

Какой вид приобретает, в связи с полученными результатами, C-образная диаграмма изотермического превращения? В нижнем, мартенситном интервале диаграммы получаются два пучка разветвляющихся кривых: один — соответствующий изотермическому превращению в верхнем температурном интервале „измеримых“ скоростей (примыкающем к мартенситной точке), второй — отвечающий образованию „изотермического“ мартенсита в нижнем интервале (ниже -50°). В промежуточном интервале температур ветви обоих пучков сливаются. Такой вид диаграммы должен быть типичным для сталей и сплавов, имеющих высокую мартенситную точку (значительно выше комнатной температуры).

Таким образом, установлено, что скорость превращения аустенита в мартенсит определяется, как и в общем случае фазовых превращений, главным образом двумя факторами: температурой превращения T и степенью переохлаждения $\Delta T = T_0 - T$. Кривая изменения скорости превращения в зависимости от температуры имеет максимум. Положение максимума скорости и его величина определяются мартенситной точкой стали или сплава. При высоком положении мартенситной точки максимум лежит в области комнатных температур и отвечает неизмеримо большой скорости превращения; в этом случае существует два интервала изотермического превращения аустенита в мартенсит.

Следует отметить, что одна из важнейших особенностей мартенситного превращения — ограниченность числа кристаллов мартенсита, образующихся при данной температуре, и зависимость этого числа от температуры — остается еще не выясненной.

Институт металлофизики
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии

Поступило
10 VIII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, ДАН, 61, № 1 (1948). ² Г. В. Курдюмов, О. П. Максимова и Т. В. Тагунова, ДАН, 73, № 2 (1950). ³ Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, ДАН, 73, № 1 (1950). ⁴ В. Д. Садовский, Тр. Ин-та металлофизики и металловед. УФАИ, в. 3 (1945). ⁵ П. П. Петросян, ДАН, 59, № 6 (1948).