

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

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

**К ВОПРОСУ О РАБОТЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАРОДЫШЕЙ
МАРТЕНСИТА**

Изучение кинетики превращения аустенита в мартенсит в области температур ниже комнатной показало, что скорость превращения при достаточно низкой температуре становится измеримой и уменьшается при дальнейшем понижении температуры (^{1, 2}). Если брать приведенную скорость превращения, т. е. скорость, отнесенную к предельному для данной температуры количеству изотермически возникающего мартенсита, то температурная зависимость скорости может быть описана следующей формулой:

$$\frac{1}{V'_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0} = Ae^{-U/RT}, \quad (1)$$

где V — количество мартенсита, определяемое магнитометром; V'_0 — предельное количество мартенсита, образующегося при температуре T ; A и U — константы, характеризующие данную сталь.

Так как рост кристаллов мартенсита ограничен, то изменение V происходит, главным образом, за счет увеличения числа кристаллов мартенсита, т. е. определяется скоростью образования зародышей мартенсита.

Если считать, что средняя величина кристаллов мартенсита, образующихся в начальной стадии, постоянна, то можно принять (^{1, 2})

$$\frac{1}{V'_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0} = nv, \quad (2)$$

где n — число зародышей, образующихся в единицу времени в единице объема; v — средний объем кристалла мартенсита.

Если сравнить (1), при учете (2), с формулой для скорости флюктуационного зарождения центров новой фазы в случае кристаллизации жидкостей (³)

$$n = Ke^{-U/RT} e^{-W/RT} \quad (3)$$

(U — энергия активации, W — работа образования зародышей и K — коэффициент, не зависящий от температуры), то можно заключить, что в нашем случае работа образования зародышей W мала по сравнению с U , а $K = A/v$.

Последнее позволяет оценить величину K . Так как A в нашем случае (²) имеет порядок 1 мин.^{-1} , или $10^{-2} \text{ сек.}^{-1}$, то, приняв размер кристаллов мартенсита $10^{-3} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$, получим для K значение $10^8 \text{ сек.}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$.

В случае спонтанной кристаллизации жидкостей, как установлено в работах В. И. Данилова и его сотрудников (3), величина K имеет порядок 10^{24} — 10^{26} сек.⁻¹·см⁻³. При кристаллизации на нерастворимых дисперсных частицах примесей K может быть меньше, чем 10^{10} .

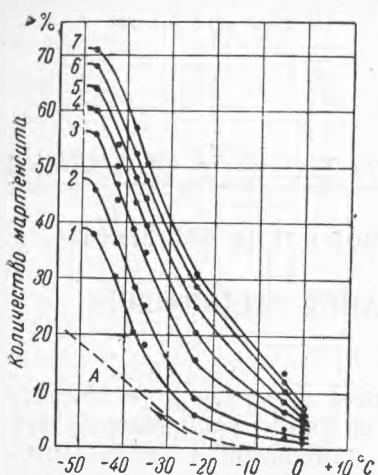


Рис. 1. Приращение количества мартенсита в зависимости от температуры при различном времени выдержки вблизи мартенситной точки. Сплав железо—никель (23%) марганец (3,4%). А — кривая охлаждения (10° в мин.); 1—5 мин., 2—10 мин., 3—30 мин., 4—1 час., 5—2 часа, 6—5 час., 7—10 час.

шилось и на определенном расстоянии от T_0 нулю.

Между тем, при изучении температурной зависимости скорости превращения в ряде сталей мы наблюдали только увеличение скорости превращения с повышением температуры (1, 2). Все значения величины $\ln \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0}$ показывали прямолинейную ее зависимость от $1/T$, в соответствии с формулой (1). Затухание изотермического превращения происходило тем быстрее, чем выше температура, и при температурах выше -50° предельное количество мартенсита достигалось за время, которое необходимо было для установления температуры. Поэтому изотермическое превращение в этой области не могло наблюдаться.

Иную картину мы получили при исследовании температурной зависимости скорости изотермического превращения для сплава железа с 23% Ni и 3,4% Mn. При непрерывном охлаждении со ско-

Полученное нами значение K для мартенситного превращения можно считать указанием на то, что зародыши мартенсита образуются не в любой области твердого раствора, что они возникают в каких-то особых местах. Поэтому изучение влияния различных факторов на величину K существенно для выяснения природы зарождения кристаллов мартенситных фаз (4).

Величина U для превращения аустенита в мартенсит мала и имеет порядок 1000 калорий на моль (2). Скорость превращения становится очень большой уже при температурах выше -50° . В то время как U не зависит от температуры, величина работы образования критического зародыша W растет с повышением температуры и в точке фазового равновесия T_0 между аустенитом и мартенситом (5) должна сделаться бесконечно большой.

Поэтому при повышении температуры величина W в какой-то области должна сделаться сравнимой с U , а затем значительно превзойти ее. Скорость превращения в этой области должна уменьшиться и на определенном расстоянии от T_0 стать практически равной нулю.

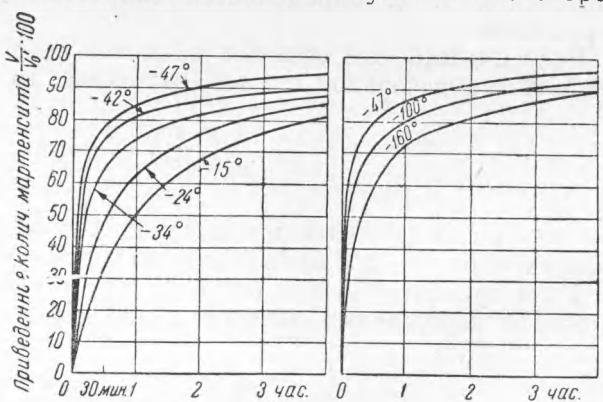


Рис. 2. Приведенное количество мартенсита в зависимости от времени выдержки при различных температурах. Сплав железо—никель (23%) — марганец (3,4%)

ростью 10° в минуту превращение началось при температуре -17° которая была принята за мартенситную точку для этого сплава. Однако кинетические кривые превращения, полученные при постоянных температурах, показали, что превращение происходит и при более высоких температурах (см. рис. 1). При этом оказалось, что скорость затухания превращения максимальна при -47° . Ниже этой температуры она уменьшается с понижением температуры, а выше нее уменьшается с повышением температуры.

Температурная зависимость скорости видна из рис. 2, на котором даны изотермы „приведенного количества“ мартенсита V/V_0 . Кривая изменения начальной скорости превращения (выраженной в процентах) в зависимости от температуры (см. рис. 3) имеет максимум, как в общем случае процессов кристаллизации.

На рис. 4 дана кривая зависимости $\ln \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0}$ от $\frac{1}{T}$. Мы видим, что при температурах ниже -50° точки укладываются на одну прямую. В соответствии с формулой (3) следует принять, что в этой области температур работа образования зародышей мала по сравнению с энергией активации. Последняя оказалась равной 600 кал / моль. Поэтому

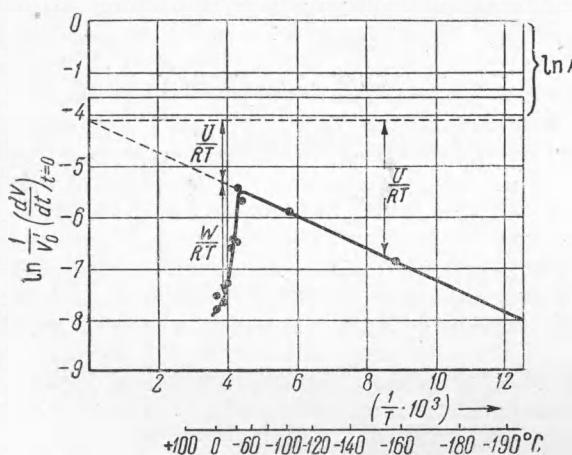


Рис. 4. Зависимость логарифма начальной скорости мартенситного превращения от температуры. Сплав железо — никель (23%) — марганец (3,4%)

Величина отклонения от прямой равна $\frac{W}{R} \frac{1}{T}$, что позволяет определить в этой области зависимость работы образования зародышей от температуры. Определенная таким образом величина W оказалась равной практически нулю при -50° и более низких температурах, 100 кал / моль при -40° , 700 кал / моль при -30° и 1400 кал / моль при 0° .

Таким образом, при мартенситных превращениях обнаруживаются все основные черты кинетики фазовых превращений. Ранее нами было

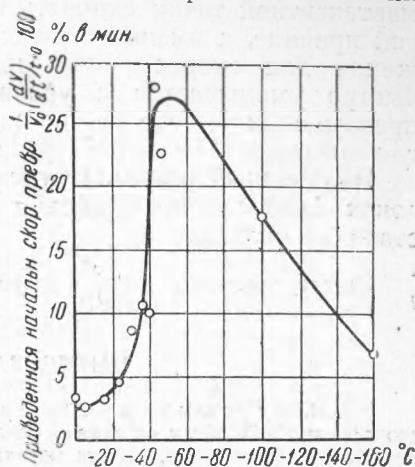


Рис. 3. Начальная скорость изотермического превращения в зависимости от температуры. Сплав железо — никель (23%) — марганец (3,4%)

$$\begin{aligned} \ln \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0} &\approx \\ &\approx \ln A - \frac{U}{R} \frac{1}{T}. \quad (4) \end{aligned}$$

При температуре выше -50° точки лежат ниже прямой и тем дальше от нее, чем выше температура. Повидимому, в этой области температур работа W становится сравнимой с U и должна учитываться:

$$\begin{aligned} \ln \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=0} &= \\ &= \ln A - \frac{U}{R} \frac{1}{T} - \frac{W}{R} \frac{1}{T}. \quad (5) \end{aligned}$$

установлено, что при достаточно низких температурах скорость превращения делается измеримой и уменьшается при дальнейшем понижении температуры, что обусловливается увеличением показателя U/RT (формула (1)). В настоящем исследовании нами показано, что около мартенситной точки скорость превращения может быть малой по другой причине, а именно, вследствие действия второго фактора в выражении для скорости образования зародышей ($e^{-W/RT}$). Так как W быстро уменьшается с увеличением переохлаждения, то скорость превращения быстро растет с понижением температуры в той области, где фактор $e^{-W/RT}$ играет решающую роль.

Полученный результат указывает на важность детального исследования скорости превращения вблизи мартенситной точки на разных сталях и сплавах.

Институт металловедения и физики металлов
ЦНИИЧМ

Поступило
20 IV 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, ДАН, **61**, № 1 (1948). ² Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, Сталь, № 2 (1950). ³ В. И. Данилов, ЖЭТФ, **19**, 304 (1949); Сборн. тр. Ин-та металловедения и физики металлов ЦНИИЧМ, 1949.
⁴ Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, ДАН, **73**, № 2 (1950). ⁵ Г. В. Курдюмов, ЖТФ, **18**, в. 8 (1948); Сборн. тр. Ин-та металловедения и физики металлов ЦНИИЧМ, 1949.