Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 1

*ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА*

П. Л. ГРУЗИН

# ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА САМОДИФФУЗИЮ ЖЕЛЕЗА

*(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 25 V 1954)*

Вопрос о механизме влияния легирующих элементов на кинетику фазовых превращений в стали имеет важное научное и практическое значение. В связи с этим в настоящее время большое внимание уделяется изучению деталей механизма влияния легирующих элементов на кинетику распада переохлажденного аустенита.

Г. В. Курдюмов и Р. И. Энтин, отмечая ([1,2]) важную роль подвижности атомов углерода и легирующих элементов в процессах распада аустенита, особое внимание обращают на роль подвижности самих атомов железа при $\alpha \rightarrow \gamma$-превращении. Р. И. Энтин показал ([2]), что скорость полиморфного $\gamma \rightarrow \alpha$-превращения в железе может изменяться в довольно широких пределах при легировании такими элементами, как хром, молибден и др., причем в указанном ряду элементов особое место занимает хром. Так например, при температурах ниже максимума скорости превращения (650—500°) в сплаве железа с 8,5% хрома превращение 5% $\gamma$-фазы происходит за несколько часов, а при температурах ниже 420° оно имеет явно мартенситную кинетику. На основе этих данных высказано предположение ([2]), что легирование железа хромом приводит к существенному увеличению междуатомных связей в кристаллической решетке $\gamma$-фазы и к уменьшению подвижности атомов железа. Это предположение может быть проверено более непосредственно, путем определения влияния хрома на параметры коэффициента самодиффузии в $\gamma$-железе. Из результатов исследования влияния хрома на скорость $\gamma \rightarrow \alpha$-превращения вытекает, что энергия активации самодиффузии железа в случае сплава железо — хром должна быть значительно выше, чем для чистого железа. Скорость самодиффузии железа с добавкой хрома должна заметно убывать в области температур ниже 1000—1100°.

Для выяснения влияния хрома на параметры самодиффузии $\gamma$-железа были взяты два сплава железо — хром: один сплав содержал около 4% хрома, а другой около 8%. Химический анализ сплавов приведен в табл. 1.

Таблица 1

| Сплав | Содержание в вес. % | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cr | C | Si | Mn | Ni | S | P | V | Fe |
| Железо — хром 8% . . | 7,90 | 0,03 | 0,06 | 0,21 | 0,22 | 0,024 | 0,007 | сл. | 91,85 |
| Железо — хром 4% . . | 3,98 | 0,17 | 0,18 | 0,24 | 0,15 | 0,022 | 0,008 | сл. | 94,93 |

Исследование проводилось на образцах в виде пластинок размером 5×8×25 мм. Особое внимание обращалось на однородность сплавов; с этой целью 5-килограммовые слитки после выплавки проковывались в горячем состоянии в бруски, которые затем подвергались гомогенизирующему отжигу в течение 30—40 час. при температуре 1100—1200°. Из брусков изготовлялись образцы, подвергавшиеся затем стабилизирующему отжигу в вакууме при 1100—1200°.

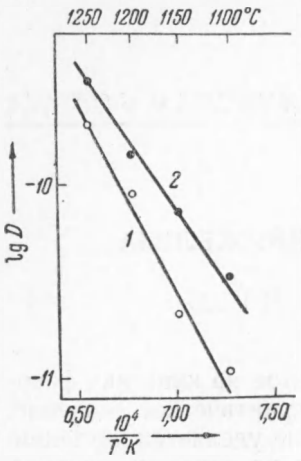



Рис. 1. График температурной зависимости коэффициентов самодиффузии сплавов железо — хром 8% (*1*) и железо — хром 4% (*2*)

Известно, что скорость диффузии зависит от величины зерна. С целью исключения влияния этого фактора на диффузию проводился частичный контроль микроструктуры образцов до и после диффузионного нагрева. Предпринимались меры, чтобы структура образцов была одинаковой.

Измерения коэффициентов самодиффузии проводились ранее разработанным методом, с использованием искусственно-радиоактивного изотопа $Fe^{59}$ ([3]). При каждой температуре измерения проводились на 3—5 образцах. Средние значения коэффициентов диффузии, найденные для различных температур, помещены в табл. 2. На основании данных табл. 2 были построены графики рис. 1.

Были также вычислены параметры самодиффузии $D_0$ и $Q$, приведенные в табл. 3, где даны также полученные ранее значения параметров коэффициента самодиффузии в чистом железе.

Данные табл. 3 показывают, что энергия активации самодиффузии в случае сплава железа с 8% хрома приблизительно на 30% больше, чем для чистого железа. Величины коэффициентов самодиффузии железа в сплаве значительно ниже, чем в железе, причем это различие увеличивается с понижением температур. При таких температурах как 900° указанное различие в коэффициентах достигает приблизительно одного порядка.

Таблица 2

| Г-ра в °С | $D$, см²/сек. | |
|---|---|---|
| | Fe — Cr 8% | Fe — Cr 4% |
| 1250 | $2{,}1\cdot10^{-10}$ | $3{,}6\cdot10^{-10}$ |
| 1200 | $9{,}0\cdot10^{-11}$ | $1{,}5\cdot10^{-10}$ |
| 1150 | $2{,}2\cdot10^{-11}$ | $7{,}2\cdot10^{-11}$ |
| 1100 | $1{,}1\cdot19^{-11}$ | $3{,}3\cdot10^{-11}$ |

Особо следует остановиться на обсуждении результатов по сплаву железо — хром 4%. Энергия активации для этого сплава также несколько выше, чем для чистого железа. Но это увеличение не соответствует тому, что можно ожидать на основании данных по сплаву железо — хром 8% и предположения об одинаково сильном действии хрома на самодиффузию во всей исследованной области концентраций. В самом деле, если бы между энергией активации самодиффузии и содержанием хрома в сплаве существовала прямолинейная зависимость, то для сплава железо — хром 4% энергия активация должна была бы иметь значение 70—80 ккал/г-ат. По данным же наших измерений, она равна приблизительно 70 ккал/г-ат. Это несоответствие можно объяснить, если учесть повышенное содержание углерода в сплаве железо — хром 4%; углерод мог, согласно данным ([4]), оказать обратное действие, т. е. уменьшить значение энергии активации приблизительно до 60 ккал/г-ат. Таким образом, в сплаве железо — хром 4% имеется совместное действие хрома и углерода. Предположив, что действие углерода на самодиффузию железа в присутствии хрома в количе-

Таблица 3

| Сплав | $Q$, $\frac{ккал}{г\text{-}ат}$ | $D_0$, $\frac{см^2}{сек.}$ |
|---|---|---|
| Железо—хром 8% . . . . . | 90 | $6 \cdot 10^2$ |
| Железо—хром 4% . . . . . | 69 | 4 |
| Чистое железо . . . . . | 68 | 0,7 |
| Сплав железо—хром 4% с поправкой на углерод . . . . . | 75 | 20 |

ственном отношении приблизительно то же, как и в стали ([4]), можно внести поправку в значение энергии активации самодиффузии для сплава железо — хром 4% (см. табл. 3). После введения поправки на действие углерода значения $Q$ железа и сплавов железо — хром 4% и железо — хром 8% в пределах точности измерения удовлетворительно укладываются на прямую в координатах $Q$ — концентрация хрома. Аналогичное рассуждение можно провести и в отношении параметра $D_0$, что также приводит приблизительно к пропорциональной зависимости логарифма этого параметра от концентрации хрома. График зависимости $D_0$ и $Q$ от концентрации с учетом упомянутых поправок по сплаву железо — хром 4% приведен на рис. 2.

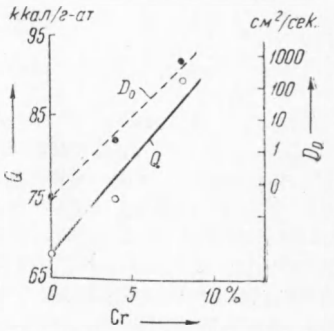



Рис. 2. График зависимости параметров коэффициента самодиффузии железа от концентрации хрома

Анализ данных по параметрам коэффициентов самодиффузии железа в сплавах железо — хром приводит к выводу, что хром значительно усиливает междуатомные связи в решетке γ-железа и замедляет подвижность атомов железа в области температур ниже 1100°. Этот результат подтверждает предположение, высказанное Р. И. Энтиным на основе данных по изучению γ — α-превращения. Можно также предположить, что углерод ослабляет междуатомные связи в аустените не только в обычной стали, но и в стали, легированной хромом.

В работе принимал участие А. В. Вернер. Выражаю благодарность Р. И. Энтину за ценные советы и участие в обсуждении результатов работы.

Институт металловедения и физики металлов
ЦНИИЧМ

Поступило
6 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. В. Курдюмов, Проблемы металловедения и физики металлов, М., 1949; ДАН, **60**, № 9 (1948). [2] Р. И. Энтин, Проблемы металловедения и физики металлов, М., 1952. [3] П. Л. Грузин, ДАН, **86**, № 2 (1952); Изв. АН СССР, ОТН, № 3 (1953). [4] П. Л. Грузин, Г. В. Курдюмов, Ю. В. Корнев, ДАН, **80**, № 1 (1951).