

С. З. БОКШТЕИН

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РАСПАД МАРТЕНСИТА ПРИ ОТПУСКЕ СТАЛИ

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 15 V 1950)

Распад мартенсита принадлежит к числу основных процессов, определяющих строение и, следовательно, свойства отпущенной стали. Физическая сущность этого сложного явления выяснена исследованиями Г. В. Курдюмова и его сотрудников. Отдельные опытные данные, полученные при изучении структуры мартенсита ⁽¹⁾ или процессов карбидообразования ^(2, 3), прямым образом указывают, что введение легирующих элементов приводит к изменению скорости распада твердого раствора при отпуске закаленной стали. Косвенным образом это вытекает из наблюдения многих физических эффектов. Однако систематических количественных данных о распаде легированного мартенсита не опубликовано. В связи с изложенным было предпринято систематическое исследование влияния легирования и условий отпуска на распад мартенсита.

Содержание углерода в мартенсите определялось при помощи карбидного анализа ⁽⁴⁾. Контрольные опыты и сравнение с рентгеноструктурными данными, полученными для нелегированной стали ^(5, 6), показывают, что применявшаяся в исследовании методика позволяет получить количественные данные, необходимые для определения состава фаз отпущенной стали.

Исследованию подвергалась среднеуглеродистая сталь (0,4% C) с переменным содержанием одного из следующих элементов: никеля, марганца, хрома, молибдена, ванадия и кремния после отпуска в интервале температур 200—650° продолжительностью от 1 минуты до 25 часов. Некоторые данные, полученные при этом, приведены в табл. 1 и на рис. 1 (изотермическое течение процесса для хромистой стали при 200°). Влияние переменной концентрации легирующих элементов при 200 и 500° показано на рис. 2.

Рассмотрение опытных данных приводит к заключению, что легирующие элементы оказывают существенное влияние на распад мартенсита при отпуске стали. В этом смысле возможно разбить элементы на две группы. Элементы первой группы: никель и марганец — оказывают слабое влияние на распад мартенсита или немного ускоряют его. Элементы второй группы: хром, молибден, ванадий, кремний — замедляют в разной степени распад мартенсита. Повышение содержания углерода приводит к более интенсивному распаду мартенсита и смещает интервал распада к более низким температурам, что согласуется с другими данными ^(5, 7).

Выделение углерода из α -раствора при отпуске среднеуглеродистой стали, легированной никелем (до 6%), марганцем (до 2,5%), практи-

Таблица 1

Влияние легирующих элементов на распад мартенсита при отпуске (содержание С в %)

Т-ра отпуска в °С (в 1 час)	Состав стали							
	0,40% С	0,70% С	0,37% С 5,6% Ni	0,37% С 2,4% Mn	0,41% С 3,5% Cr	0,33% С 1,3% Mo	0,39% С 1,37% V	0,41% С 1,75% Si
200	0,25	0,34	0,23	0,24	0,29	0,28	0,30	0,30
300	0,15	0,16	0,11	0,13	0,20	0,18	0,16	0,26
400	0,05	0,07	0,03	0,06	0,13	0,11	0,11	0,15
500	0,01	0,00	0,00	0,02	0,06	0,05	0,10	0,01
550	0,02	—	0,00	0,01	0,03	—	—	—
650	0,01	0,00	0,00	0,01	—	—	—	0,00

чески заканчивается, как и в нелегированной, в промежутке температур 400—500°. В стали, легированной хромом (до 7%), молибденом (до 1,3%), ванадием (до 1,4%), полного выделения углерода при этих температурах или в начальные моменты при более высоких температурах (550°) не происходит. Таким образом, в равных условиях отпуска (ниже 500°) содержание углерода в α -растворе хромистой, молибдено-

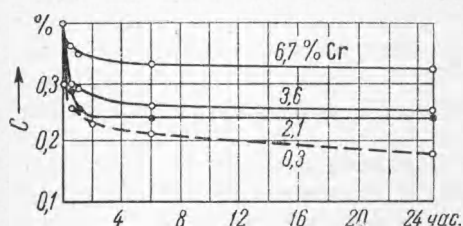


Рис. 1. Изменение содержания углерода в α -растворе при изотермическом отпуске хромистой стали (200°)

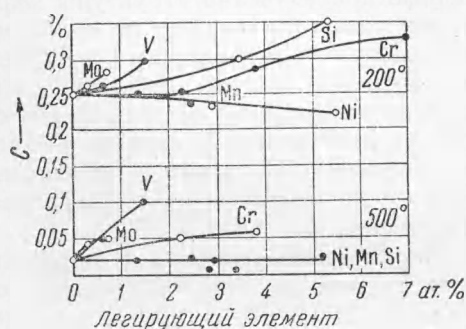


Рис. 2. Влияние легирующих элементов на содержание углерода в α -растворе отпущенной стали

вой или ванадиевой стали выше по сравнению с углеродистой, никелевой или марганцевистой сталью, а состояние насыщения феррита в первых достигается при более высокой температуре отпуска (на 50—150° выше в зависимости от характера и степени легирования).

Кремний, подобно элементам первой группы, не задерживает процесса выделения углерода из раствора при отпуске в промежутке 400—500°, однако подобно элементам второй группы, сильно задерживает распад при более низких температурах.

Наиболее действенно замедляет мартенситный распад ванадий, а затем молибден (ниже 400° — кремний), слабее других — хром.

Введением в сталь значительных количеств легирующих элементов, задерживающих выделение углерода из мартенсита, не удастся полностью устранить распад при низких температурах отпуска. Это находится в согласии с положением Г. Курдюмова (8) о том, что легирующие элементы оказывают слабое влияние на первую стадию отпуска («двухфазный» распад).

По мере повышения температуры отпуска влияние легирующих элементов становится все более действенным. Выделение последних порций углерода из раствора при наличии в нем значительного количества эле-

значительного количества элементов, задерживающих этот процесс, оказывается весьма затруднительным, и лишь протекающий при высоком отпуске процесс перераспределения легирующего элемента между раствором и карбидом и, параллельно, процесс коагуляции карбидных частиц приводят к получению феррита в состоянии насыщения.

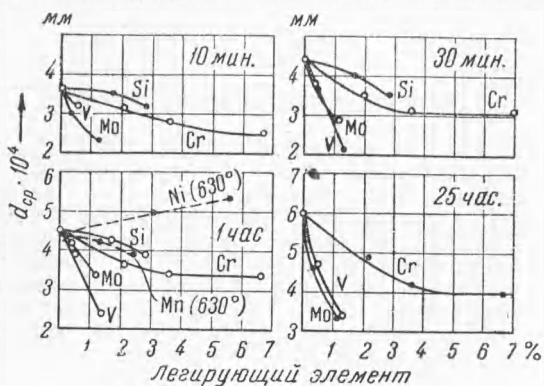


Рис. 3. Влияние легирующих элементов на средний размер карбидных частиц для различных моментов изотермического отпуска (700°)

Так как процесс распада мартенсита характеризуется выделением углерода из него, то объяснение причины различного влияния легирующих элементов на скорость распада может быть получено при рассмотрении влияния их на коагуляцию карбидов (см. рис. 3) и диффузию углерода в феррите (см. рис. 4). Опытами автора показано, что никель приводит к увеличению скорости коагуляции ⁽¹⁰⁾ и коэффициента диффузии углерода в феррите; соответственно этому никель ускоряет выделение углерода из раствора. Ванадий, молибден и хром существенно уменьшают скорость коагуляции и в соответствии с этим замедляют процесс распада мартенсита. Марганец практически не влияет на процесс коагуляции и слабо влияет на распад мартенсита. Особое положение занимает кремний, относительно слабо задерживающий коагуляцию карбидов, но энергично тормозящий процесс распада мартенсита. Возможно предположить, что подобное действие кремния определяется изменением характера связей в кристаллической решетке, вследствие сильно выраженных металлоидных свойств кремния, и затруднением в его присутствии процесса образования зародышей карбидной фазы, необходимых для протекания мартенситного распада.

Повышение содержания углерода в закаленной стали от 0,4 до 0,7%, увеличивая перепад концентраций, также ускоряет суммарный процесс диффузии углерода и коагуляцию карбидных частиц. В соответствии с этим повышение содержания углерода в мартенсите приводит к ускорению процесса распада его.

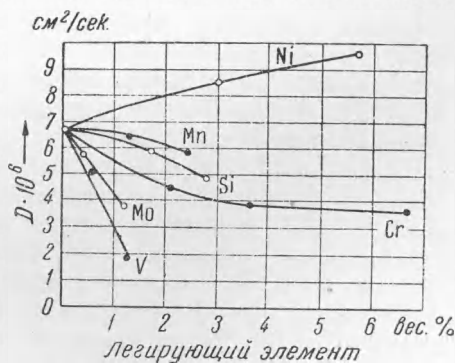


Рис. 4. Влияние легирующих элементов на коэффициент диффузии углерода в феррите (700°)

Распад легированного мартенсита во времени характеризуется кинетическими кривыми, качественно подобными кривым для нелегированного мартенсита ⁽⁵⁾.

Полученные опытные данные находятся в согласии с представлениями С. Конобеевского ⁽⁹⁾ о механизме распада пересыщенных растворов вообще, и представлениями Г. Курдюмова ⁽⁸⁾ о механизме распада мартенсита при отпуске стали в частности.

Поступило
11 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Курдюмов, И. Исаичев и Э. Каминский, Тр. Ин-та черной металлургии, 1 (1947). ² С. Кишкин, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1943). ³ С. Бокштейн, Превращения при отпуске, 1949. ⁴ Н. Попова, Зав. лабор., № 10 (1945). ⁵ Г. Курдюмов и Н. Ослон, ЖТФ, 9, в. 12 (1939). ⁶ Э. Каминский и Г. Стеллецкая, Проблемы металловедения и физики металлов, 1949, стр. 192. ⁷ Н. Гудцов, Ф. Баранов и О. Кузьмина, Металлург, № 11 (1937). ⁸ Г. Курдюмов, Тезисы доклада на конференции по применению рентгеновских лучей к исследованию металлов, 1948. ⁹ С. Конобеевский, Изв. АН СССР, сер. хим., № 5, 1209 (1937). ¹⁰ С. Бокштейн, ЖТФ, 20, № 3 (1950).