

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. Н. БОГАЧЕВА и В. Д. САДОВСКИЙ

**О СТАБИЛИЗАЦИИ АУСТЕНИТА ПО ОТНОШЕНИЮ
К МАРТЕНСИТНОМУ ПРЕВРАЩЕНИЮ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 II 1952)

Известно, что превращение аустенита в мартенсит при закалке стали начинается при определенной температуре (точка М, мартенситная точка), зависящей от химического состава стали (аустенита), и развивается с дальнейшим понижением, температуры вплоть до комнатной, продолжаясь иногда и в области отрицательных температур. Количество мартенсита при достижении комнатной температуры или любой другой температуры зависит от скорости охлаждения в интервале ниже точки М, причем для сталей, у которых значительное количество мартенсита образуется при положительных температурах, замедленное охлаждение способствует меньшему развитию превращения; быстрое охлаждение наоборот, приводит к более полному превращению аустенита в мартенсит. Таким образом, при медленном охлаждении в мартенситном интервале аустенит как бы стабилизируется, превращение его в мартенсит осуществляется менее полно, больше получается остаточного аустенита. Этот эффект стабилизации становится особенно ясным, если в процессе охлаждения в мартенситном интервале сделать остановку: при продолжении охлаждения превращение возобновляется не сразу, а с некоторым гистерезисом, и вся кривая последующего превращения оказывается сниженной по отношению к кривой, характеризующей превращение при непрерывном охлаждении. Еще сильнее эффект стабилизации проявляется в том случае, если остановка охлаждения в мартенситном интервале дополняется нагревом до температур более интенсивного развития процесса отпуска, имеющегося к моменту остановки мартенсита (1, 2).

Для сталей, у которых мартенситная точка лежит близко к комнатной температуре или даже ниже ее и для которых, следовательно, интервал превращения в основном расположен уже в области отрицательных температур, не только не наблюдается описанной стабилизации, но, напротив, замедленное охлаждение или изотермические выдержки приводят к более полному превращению аустенита в мартенсит (3) (см. также (4, 5)).

До сих пор эффект стабилизации чаще всего связывали с отпуском мартенсита в процессе его образования, поскольку для сталей с мартенситной точкой, лежащей выше комнатной температуры (150—200°), такой отпуск (точнее, «самоотпуск») возможен даже при непрерывном (замедленном) охлаждении, тем более, при остановках охлаждения и, в еще большей степени, если остановки дополняются специальным нагревом для отпуска. Эта связь эффекта стабилизации с отпуском мартенсита хорошо соответствует и отмеченному выше практическому отсутствию стабилизации при отрицательных температурах.

Однако в последнее время в американской литературе, а затем и в нашей распространилось представление о возможности стабилизации аустенита в результате изотермических выдержек (или изменений скорости охлаждения) при температурах, лежащих выше мартенситной точки (⁶⁻⁹). При этом имеется в виду, что такие «стабилизирующие»

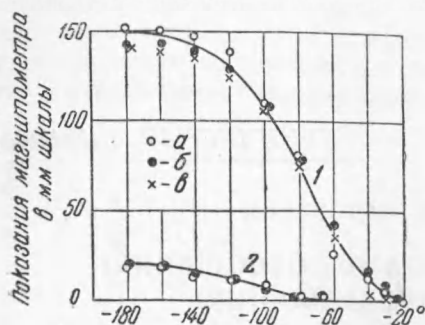


Рис. 1. Влияние выдержки в аустенитном состоянии на положение мартенситной точки и ход мартенситного превращения: 1 — в никель-марганцевой стали (0,79% С, 4,53% Мп, 3,72% Ni); 2 — в хромистой стали (0,79% С, 15,21% Cr). Образец охлажден: а — непосредственно после закалки, б — после 2-месячной выдержки при комнатной температуре, в — после старения при 200° 4 часа

мартенсита» в работе Клиера и Трояно, посвященной изучению влияния хрома на положение мартенситной точки (⁶) *.

В этой работе особенно ярко наблюдалось стабилизирующее действие выдержки при комнатной температуре на дальнейшее превращение аустенита в сталях, у которых мартенситная точка находилась при отрицательных температурах.

Ввиду важности этого вопроса для теории мартенситного превращения в стали и для практики термической обработки, мы решили проверить данные Клиера и Трояно и попытаться обнаружить эффект стабилизации в отсутствие мартенсита на ряде других сталей.

Исследование проводилось магнитометрическим методом на образцах диаметром 3 мм и длиной 50 мм. Нагрев под закалку осуществлялся в атмосфере азота.

Результаты, представленные на рис. 1 и 2, показывают, что выдержка аустенита при комнатной температуре или даже при 200° не оказывает никакого влияния на ход мартенситного процесса при последующем охлаждении: мартенситная кривая для «стабилизированных» образцов не отличается от таковой для образцов, охлаждавшихся непосредственно после закалки.

С другой стороны, эффект стабилизации проявляется очень резко, если в образце уже имеется некоторое количество мартенсита (рис. 3). За-

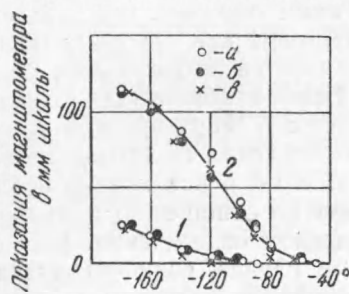


Рис. 2. Влияние выдержки в аустенитном состоянии на положение мартенситной точки и ход мартенситного превращения: 1 — в хромо-никелевой стали (0,75% С, 6,45% Cr, 8,08% Ni); 2 — в никелевой стали (0,8% С, 16% Ni). Образец испытан: а — сразу после закалки, б — через 45 дней после закалки, в — после предварительного старения при 200° 4 часа

* Необходимо отметить, что подобное явление описано значительно раньше М. М. Штейнбергом и С. С. Штейнбергом (¹⁰).

замечательно, что в этом случае достаточно выдержать образец, в котором появилось некоторое количество мартенсита при отрицательных температурах, всего 10 минут при комнатной температуре, чтобы резко снизить температуру возобновления превращения при последующем охлаждении.

Это говорит о том, что процесс отпуска мартенсита, с которым и следует связывать эффект стабилизации, совершается с заметной скоростью уже при комнатной температуре; выдержка при 200°, естественно, усиливает эффект стабилизации, соответственно более полному осуществлению процесса отпуска.

То обстоятельство, что эффект стабилизации связан именно с распадом мартенсита, хорошо иллюстрируется опытами на безуглеродистом сплаве железа с 30% никеля, результаты которых представлены на рис. 4. В этом случае не наблюдается стабилизации и в присутствии мартенсита, поскольку мартенсит в этом сплаве не должен претерпевать распада при отпуске. Необходимо только заметить, что представленная на рис. 4 мартенситная кривая для железо-никелевого

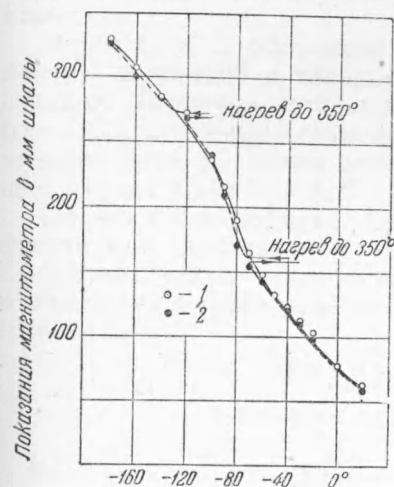


Рис. 4. Влияние отпуска в процессе охлаждения на ход мартенситного превращения при последующем охлаждении в сплаве железо — никель (30,5%). 1 — охлажден образец, закаленный от 1000°, 2 — охлажден образец, закаленный от 1000°, но с нагревом в процессе охлаждения до 350°

должно связывать с самоотпуском или отпуском мартенсита.

Остается непонятным, в чем причина расхождения наших данных с результатами других исследователей, наблюдавших стабилизацию в отсутствие мартенсита. Две из исследованных нами сталей почти не отличаются от сталей, изучавшихся Клиером и Трояно. М. М. Штейнберг и

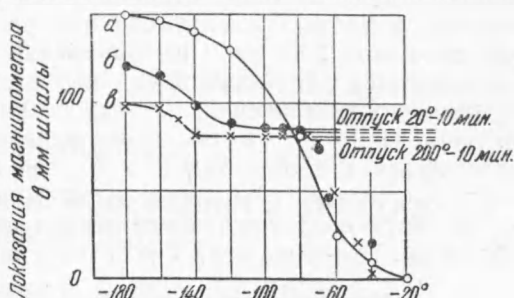


Рис. 3. Влияние отпуска в процессе охлаждения на ход мартенситного превращения при последующем охлаждении в стали (0,79% С, 4,53% Мп, 3,72% Ni). а — образец охлажден непрерывно, б — образец охлажден с промежуточным нагревом до комнатной температуры, в — образец охлажден с промежуточным нагревом до 200°

сплава несколько искажена тем обстоятельством, что γ -раствор в этом сплаве при комнатной температуре несколько магнитен и при охлаждении прирост намагниченности вначале обусловлен просто возрастанием намагниченности γ -раствора с понижением температуры, на которое накладывается эффект появления α -фазы, образующейся при охлаждении ниже 0°. Понятно, что для вывода об отсутствии эффекта стабилизации в данном сплаве отмеченное обстоятельство не имеет значения. Весь экспериментальный материал, полученный в нашей работе, значительная часть которого не приводится в настоящем сообщении, свидетельствует о том, что эффект стабилизации не наблюдается в отсутствие мартенсита и, напротив, отчетливо проявляется при наличии мартенсита, претерпевающего распад при «стабилизирующих» выдержках и нагревах.

Температура стабилизации M_s совпадает, таким образом, с мартенситной точкой и сама по себе не имеет смысла. Явление стабилизации попрежнему сле-

С. С. Штейнберг исследовали сталь с 1,02% С, 1,83% Si, 10,78% Cr и 2,25% V. Необходимо, конечно, провести аналогичные опыты на этой стали и других, точно отвечающих по составу сталям, исследованным Клиером и Трояно. Не исключается предположение, что в менее легированных сталях аустенит стабилизируется уже в процессе охлаждения при закалке, и тогда последующие выдержки при комнатной температуре, или даже при 200° уже не оказывают влияния. Возможно также, что стабилизация в отсутствие мартенсита связана с релаксацией термических напряжений, и тогда возникает вопрос о влиянии размеров образца. Понятно, что последнее предположение переводит вопрос о природе эффекта стабилизации в другую плоскость, так как наиболее вероятной причиной стабилизации, связанной с отпуском мартенсита, также является сопровождающее отпуск перераспределение внутренних напряжений. Проверка этих предположений нами намечена.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
19 IV 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. М. Бигеев, Тр. Уральск. филиала АН СССР, в. 9, 13 (1937). ² В. Д. Садовский и Н. В. Штишевская, там же, в. 9, 45 (1937). ³ Г. В. Курдюмов и О. П. Максимова, Сталь, № 2 (1950). ⁴ В. Д. Садовский, Сборн. Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах, 1950. ⁵ С. С. Штейнберг, Термическая обработка стали, избр. статьи, 1950, стр. 128—148. ⁶ E. Klier and A. Troiano, Metals Technology, 12, No. 2 (1945). ⁷ W. Harris and H. Cohen, *ibid.*, 15, No. 6 (1948). ⁸ M. Cohen, Trans. Am. Soc. for Metals, 41 (1949). ⁹ А. П. Гуляев, Сборн. Термическая обработка металлов, 1950. ¹⁰ С. С. Штейнберг, Тр. Уральск. индустр. ин-та, № 8 (1938).