

УДК 669.15

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

О. П. МАКСИМОВА, В. Н. ЗАМБРИЦКИЙ, И. Ю. ПАНАРИНА

О РОЛИ УГЛЕРОДА В СМЕНЕ ТИПА МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 9 IV 1975)

В установлении общей структурно-кинетической картины мартенситных ($\gamma \rightarrow \alpha$)-превращений в сплавах железа и выяснении роли отдельных факторов в реализации различных типов этих превращений важное место занимает вопрос о влиянии примесей внедрения, в частности, углерода — элемента, в значительной мере определяющего наиболее существенные свойства сталей. Имеющиеся экспериментальные данные указывают на то, что повышение содержания углерода в пределах одной и той же системы способствует протеканию мартенситного превращения по атермической кинетике и возникновению характерных для этой кинетики пластинчатых кристаллов с габитусом $\{259\}_{\gamma}$ (1, 2). В связи с этим особый интерес представляет рассмотрение влияния углерода на процесс мартенситообразования в сплавах системы Fe—Ni—Mn (типа H22Г3, H23Г4), характеризующихся ярко выраженной склонностью к изотермическому мартенситному превращению (3, 4). В таких сплавах, как известно, в наиболее чистом виде реализуется изотермический $\gamma \rightarrow \alpha$ мартенситный переход, не осложненный предшествующим ему появлением продуктов охлаждения. Сплавы этого типа способны к полному переохлаждению аустенита при резком глубоком охлаждении, протеканию превращения с инкубационным периодом, и общая кинетическая картина изотермического образования мартенсита в них может быть описана С-образной кривой (5, 6). При непрерывном глубоком охлаждении таких сплавов превращение развивается очень вяло, но при последующем отогреве процесс заметно активизируется, причем количество мартенсита, возникающего при отогреве, как правило, намного превышает объем продуктов охлаждения. Можно было ожидать, что введение углерода в исследованные ранее сплавы Fe—Ni—Mn приведет к качественному изменению кинетических и структурных форм $\gamma \rightarrow \alpha$ мартенситного перехода.

В работе исследовались и сопоставлялись два сплава: «безуглеродистый» H23Г4 (Fe — 23,0% Ni — 3,7% Mn — 0,045% C) и углеродсодержащий 30H22Г3 (Fe — 22,4% Ni — 3,1% Mn — 0,28% C), имеющие сравни-

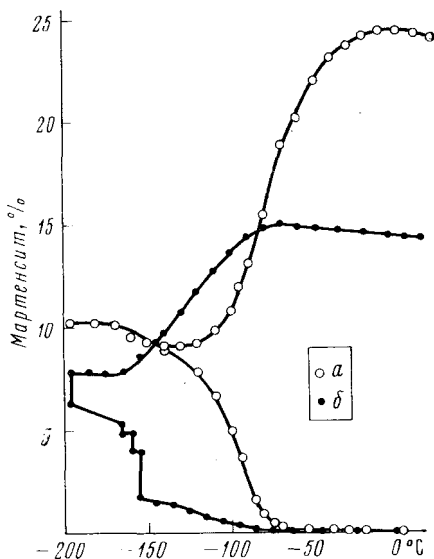


Рис. 1. Мартенситные кривые охлаждения и последующего отогрева: а — сплав изотермического типа H23Г4, б — сплав 30H22Г3 со сложной кинетикой превращения

тельно близкие мартенситные точки около -50° после закалки от 1150° в воде. Кинетику мартенситного превращения изучали магнитометрическим методом при скорости охлаждения образцов 10° в 1 мин.

Мартенситная кривая охлаждения сплава H23Г4 (рис. 1а) свидетельствует о ярко выраженном изотермическом* характере превращения, который проявляется в вялом развитии реакции при охлаждении до -196° и значительном приращении количества мартенсита при последующем отогреве до комнатной температуры.

Введение около 0,3% углерода в сплав Fe—Ni—Mn коренным образом меняет характер кинетики по сравнению с «безуглеродистым» сплавом H23Г4. В области температур от -50 до -155° в сплаве 30H22Г3 наблюдается превращение, характерное для материалов изотермического типа, на что указывает вялый ход реакции при охлаждении и существенный прирост количества мартенсита при отогреве в той же области (рис. 1, б). При достижении же температуры -155° происходит мартенситный взрыв — мгновенное образование значительного количества мартенситных кристаллов, сопровождающееся отчетливым звуковым эффектом.

Таким образом, мартенситное превращение при непрерывном охлаждении углеродсодержащего сплава 30H22Г3 можно характеризовать двумя критическими точками: температурой начала реакции изотермического типа (условной точкой M_s)** и температурой начала атермического процесса (температурой первого взрыва M_n). Установленная последовательность типов мартенситного превращения при охлаждении и отогреве сплава 30H22Г3 («изотермия» — «атермия» — «изотермия»), четко разделенная по температурам, подобна наблюдавшейся в сплаве Fe — 24,3% Ni — 5,2% Mo (⁸).

В строгом соответствии с особенностями кинетики находятся и структурные формы продуктов превращения в обоих сплавах. В сплаве H23Г4, склонном к чисто изотермическому превращению, продукты глубокого охлаждения (отдельные кристаллы и группировки кристаллов) представляют собой наиболее характерные морфологические типы изотермического мартенсита: тупоугольные сопряжения в виде «галочек» и «бабочек» (рис. 2а, б), косые ряды (рис. 2в), а также своеобразные построения в виде «молний» из косых рядов (рис. 2г) (ср. (⁹)).

В структуре продуктов превращения углеродсодержащего сплава 30H22Г3, обладающего двойной кинетикой мартенситного превращения, после медленного непрерывного охлаждения до -196° , т. е. когда реализуются оба варианта превращения, соответственно наблюдается сочетание морфологических типов как изотермического мартенсита в виде «галочек», «бабочек» и косых рядов, так и атермического в виде «ферм» и «молний» из относительно крупных и четко ограниченных пластинчатых кристаллов (рис. 3а). Изотермическая выдержка в интервале между точками M_s и M_n вызывает возникновение кристаллов только изотермического типа (рис. 3б); напротив, резкое погружение образцов в жидкий азот и последующий быстрый отогрев их в воде приводят к подавлению изотермической составляющей и образованию только характерных для атермического мартенсита зигзагообразных построений из частично двойникованных пластинчатых кристаллов (рис. 3в).

Таким образом, введение в сплавы системы Fe—Ni—Mn достаточно большого количества углерода вызывает резкое изменение характера мартенситной реакции: превращение (его кинетика и структурные формы) от чисто изотермического, характерного для сплавов типа Fe—Ni (22—

* Термином «изотермический» мы условно характеризуем в данном случае способность сплава к протеканию превращения при постоянной температуре, хотя и используем его для характеристики процесса при непрерывном охлаждении и нагреве.

** В отличие от более высокой истинной мартенситной точки, устанавливаемой с помощью изотермических выдержек (⁷).

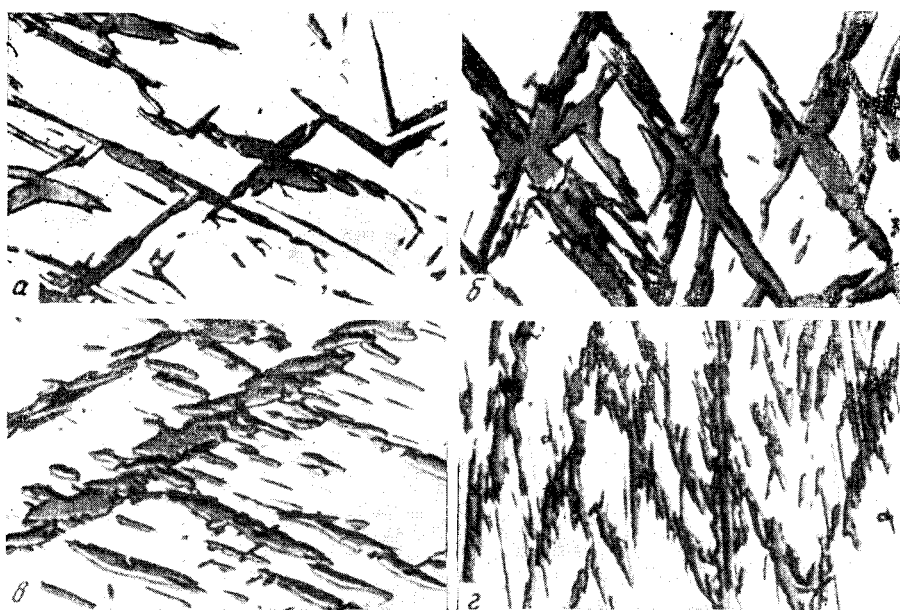


Рис. 2. Микроструктура мартенсита в сплаве изотермического типа H23Г4 после охлаждения до -196° , $\times 500 \times 1,5$: а — различные морфологические типы, б — «бабочки», в — косые ряды, г — построения в виде «молнии» из косых рядов

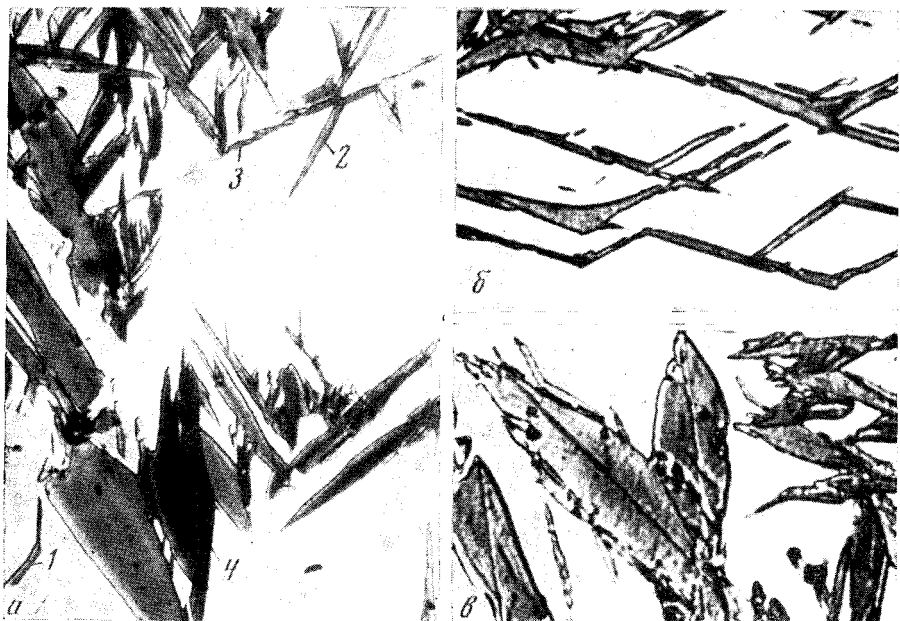


Рис. 3. Микроструктура мартенсита в сплаве 30H22Г3 со сложной кинетикой: а — медленное охлаждение до -196° : кристаллы изотермического (1–3) и атермического (4) мартенсита $500\times$; б — изотермическая выдержка при -120° в течение 2 час., изотермический мартенсит; в — резкое погружение в жидкий азот и быстрый отогрев, атермический мартенсит. $\times 500 \times 1,5$

24%)—Mn(2—4%), переходит к сложному — сочетанию изотермического со взрывным. Можно предполагать, что такое влияние углерода связано с возникновением упорядоченного состояния в углеродсодержащем аустените, которое способствует образованию структурных форм атермического мартенсита ⁽¹⁰⁾.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии
им. И. П. Бардина
Москва

Поступило
2 IV 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Я. Георгиева, О. П. Максимова, ФММ, т. 32, в. 2, 364 (1971). ² A. Greninger, A. Troiano, Trans. AIME, v. 140, 307 (1940). ³ Г. В. Курдюмов, О. П. Максимова, ДАН, т. 73, № 1, 95 (1950). ⁴ R. E. Cech, J. H. Hollomon, J. Metals, № 5, 685 (1953). ⁵ Г. В. Курдюмов, О. П. Максимова, Изв. АН СССР, ОТН, № 6, 4 (1957). ⁶ C. H. Shih, B. L. Averbach, M. Cohen, J. Metals, v. 7, № 2, 183 (1955). ⁷ О. П. Максимова, Е. Г. Понятовский и др., В сб.: Проблемы металловедения и физики металлов, М., Металлургиздат, в. 5, 25 (1958). ⁸ И. Я. Георгиева, И. И. Никитина, ДАН, т. 186, № 1, 85 (1969). ⁹ И. Я. Георгиева, В. П. Изотов и др., ФММ, т. 32, в. 3, 626 (1971). ¹⁰ Ю. Л. Родионов, Е. С. Мачурин, П. Л. Грузин, ДАН, т. 222, № 1 (1975).