

Академик АН УССР Г. В. КАРПЕНКО, А. Н. РОМАНИВ, В. И. ТКАЧЕВ

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ НА ИХ МАЛОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

Ранее (¹) нами был обнаружен эффект резкого снижения малоцикловой несущей способности нержавеющей стали мартенситного класса в атмосфере водорода. Этот эффект имеет четко выраженную температурную зависимость и максимально проявляется при температурах, близких к комнатной. Резонно предположить, что абсолютная величина долговечности в водороде в значительной мере зависит от исходного ресурса малоцикловой прочности (в инертной атмосфере), структуры стали и температуры испытаний. Правомочность таких предположений следует, по крайней мере, из литературных данных о воздействии водородной атмосферы на несущую способность сталей при кратковременных испытаниях (²⁻⁴). Поэтому представляет интерес изучение влияния структуры стали на характер температурной зависимости вышеупомянутого эффекта и количественное проявление последнего при малоцикловой усталости. В этой связи заслуживают, в частности, внимания предположения Бэнсона (³) и Веннета (⁴), что спад несущей способности в газообразном водороде присущ только стадиям с объемноцентрированной решеткой, а у аустенитных сталей он возможен только, если последние претерпевают при пластической деформации полиморфное ($\gamma \rightarrow \alpha$)-превращение. Это предположение, сделанное в связи с оценкой кратковременной прочности сталей, требует проверки при малоцикловом нагружении.

Нами проведено сравнительное исследование малоцикловой усталости в вакууме и в водороде нержавеющей стали разных классов: мартенситного (2Х13), ферритного (Х17), аустенитного (Х18Н9Т, ЭП-666). Выбор перечисленных сталей обусловлен как их широкой применимостью в химической, энергетической и других отраслях промышленности, так и целесообразностью сопоставления нержавеющей сталей с различной структурой. Сталь 2Х13 испытывали в двух структурных состояниях: ферритно-карбидная смесь (состояние поставки) и мартенсит; сталь Х17 имела структуру ферритно-карбидной смеси. Кроме того, с целью сопоставления различных структур одной и той же стали, провели малоцикловые испытания в вакууме и в водороде трех партий образцов из высокопрочной конструкционной стали 50ХН. Образцы из этой стали после закалки подвергали отпуску для получения структур: мартенсит, тростит, сорбит.

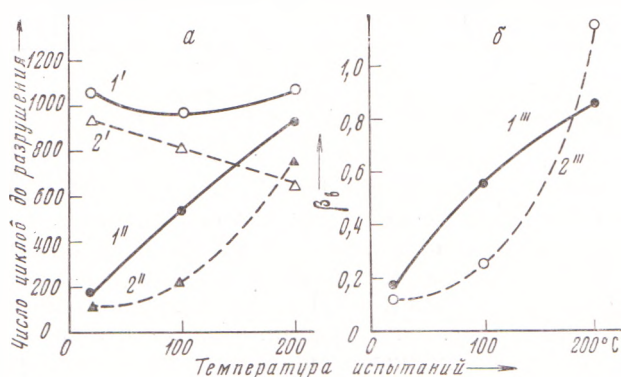
Сравнительные малоцикловые испытания указанных сталей в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. и в водороде (давление 1 атм) проводили на установке ВТП-1 (⁵) при плоском чистом изгибе с постоянной амплитудой деформации (пульсирующий цикл) и частотой 20 циклов в 1 мин. Для исследований использовали плоские образцы с шириной рабочей части 6 мм, толщиной 2 и 2,5 мм.

Температурные зависимости малоцикловой долговечности в вакууме и в атмосфере водорода для стали 2Х13 в двух указанных структурных состояниях при амплитуде деформации $\epsilon = 2,85\%$ и температурах $20-200^\circ\text{C}$ представлены на рис. 1а. В обоих случаях максимальное снижение выносливости образцов в водороде происходило при комнатной температуре, причем сильнее оно проявляется у стали с мартенситной структурой. Это наглядно иллюстрируется температурными зависимостями коэффициента влияния водорода $\beta_v = N_v/N$ (рис. 1б), где N и N_v — средние значения числа

циклов до разрушения образцов при заданной амплитуде деформации и температуре в вакууме и в водороде соответственно.

Малоцикловые испытания стали Х17 проводили при $\epsilon=1,6\%$ в диапазоне температур 20–600° (рис. 2). Температурная зависимость долговечности этой стали в вакууме характеризуется максимумом при 350° и слабо-

Рис. 1. Температурные зависимости малоцикловой долговечности (а) и коэффициента влияния водорода (б) стали 2Х13 ($\epsilon=2,85\%$): 1 — феррит + карбиды, 2 — мартенсит; 1' — вакуум, 1'' — водород



выраженным минимумом в районе 500°. Как и в случае стали мартенситного класса, максимальное падение выносливости в водороде отмечено при комнатной температуре. Повышение рабочей температуры от комнатной до 250° приводит к резкому ослаблению влияния водорода (рис. 2б, кривая 1'). Зависимость N_b от температуры имеет максимум при 350° (рис. 2а, кривая 1'').

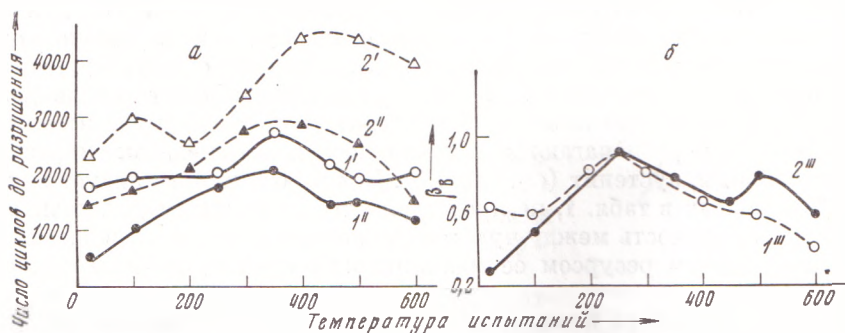


Рис. 2. Температурные зависимости малоцикловой долговечности (а) и коэффициента влияния водорода (б) сталей Х17 (1) и Х18Н9Т (2) ($\epsilon=1,6\%$), 1' — вакуум, 1'' — водород

Результаты малоцикловых испытаний аустенитной стали Х18Н9Т в вакууме и в водороде при $\epsilon=1,6\%$ в температурном интервале 20–600° показаны на рис. 2. Зависимость долговечности в вакууме от температуры (рис. 2а, кривая 2') обнаруживает четко выраженные максимум при 100°, минимум при 200° и последующий высоко расположенный максимум при 450°. Существенное снижение долговечности в водороде происходит при 20°; повышение температуры до 250° практически приводит к устранению вредного влияния водорода, которое, однако, резко усиливается при дальнейшем росте температуры до 600° (рис. 2а, кривая 2''). Было выявлено, что в процессе малоциклового деформирования в стали Х18Н9Т происходит полиморфное ($\gamma \rightarrow \alpha$)-превращение, о чем свидетельствует появление магнитной фазы в изломных участках образца. Этот факт, представляющий самостоятельный интерес, не позволил нам проверить тезис Бэнсона⁽³⁾ о нечувствительности аустенита к влиянию водородной атмосферы при механическом нагружении. Поэтому нами дополнительно исследовалось также влияние газообразного водорода на малоцикловую усталость стали ЭП-666, которая в силу значительного содержания никеля и хрома характеризуется

Таблица 1

Влияние структуры сталей на их малоцикловую долговечность в вакууме и в водороде при комнатной температуре, $\epsilon = 1,6\%$

Структурное состояние	2Х13		Х17		Х18Н9Т	ЭП-666	50ХН		
	феррит + карбиды	мартенсит	феррит + карбиды	аустенит	аустенит	аустенит	мартенсит	тростит	сорбит
Долговечность в вакууме β_s	3000	5400	1730	2380	6200	750	1480	1600	0,62
	0,35	0,15	0,28	0,63	0,55	0,10	0,32		

стабильной аустенитной фазой. Испытания этой стали при $\epsilon = 1,6\%$ в вакууме и водороде показали, что она является не менее чувствительной к воздействию водорода, чем сталь Х18Н9Т (см. табл. 1).

Малоцикловые испытания в вакууме и в водороде высокопрочной конструкционной стали 50ХН с тремя различными структурами при комнатной температуре подтвердили, что, как и в случае нержавеющей стали, максимальное снижение долговечности в газообразном водороде происходит у стали с мартенситной структурой; с повышением температуры отпуска этот спад ослабевает (см. табл. 1).

Резкое уменьшение малоциклового выносливости в атмосфере водорода сталей независимо от типа их структуры, имеющее место в области комнатных температур испытаний, свидетельствует, очевидно, о понижении эффективной поверхностной энергии, обусловленной адсорбцией водорода на ювенильной поверхности металла у вершины развивающейся трещины усталости. Этот эффект является универсальным и проявляется для всех структурных состояний стали, в том числе для аустенита. Однако интенсивность данного эффекта в значительной мере зависит от структуры стали. Так, структуры нержавеющей стали по величине эффекта спада долговечности в водороде при комнатной температуре и одной и той же амплитуде деформации располагаются в такой последовательности: мартенсит, феррит+карбиды, аустенит (см. табл. 1). Вместе с тем, как следует из данных, приведенных в табл. 1, не представляется возможным установить однозначную зависимость между чувствительностью стали к воздействию водорода и исходным ресурсом ее малоциклового прочностного (долговечности в вакууме).

Исходя из характера влияния температуры на снижение выносливости, вызванное водородом, исследуемый в данной работе диапазон температур (20—600°) можно разделить на два участка: низкотемпературный от 20 до 250° и высокотемпературный от 250° и выше. На первом участке повышение температуры приводит к ослаблению влияния водорода. На высокотемпературном участке рост температуры может привести к усилению спада выносливости в водороде и одновременному повышению долговечности в вакууме. По-видимому, здесь проявляется высокотемпературный механизм воздействия водорода, связанный с интенсификацией охрупчивающих зернограницных процессов, происходящих при высоких температурах.

Таким образом, эффект снижения малоциклового несущей способности сталей в атмосфере водорода при температурах, близких к комнатной, имеет универсальный характер, хотя его количественное проявление существенно зависит от структуры стали.

Физико-механический институт
Академии наук УССР
Львов

Поступило
21 V 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Романов, В. И. Ткачев, Р. И. Крипьякевич, Физ.-хим. мех. матер., 8, № 1, 102 (1972).
- ² J. B. Steinman, H. C. Van Ness, G. S. Ansell, Welding J., Res. Suppl., 44, 221 (1965).
- ³ R. B. Benson, R. K. Dann, L. W. Roberts, Trans. AIME, 242, 2199 (1968).
- ⁴ R. M. Vennett, G. S. Ansell, Trans. ASM, 60, 242 (1967).
- ⁵ В. И. Ткачев, А. Н. Романов и др., Физ.-хим. мех. матер., 8, № 2, 91 (1972).