

**ФАКТОРЫ, СНИЖАЮЩИЕ ЛОКАЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ ГРАНИЦ ЗЕРЕН СТАЛЕЙ,
СОДЕРЖАЩИХ МАРТЕНСИТ**

Мишин В.М.

*ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Пятигорск, Россия, E-mail: mishinvm@yandex.ru*

В результате превращения аустенита в мартенсит образуются ослабленные структурные зоны – границы исходных аустенитных зерен [2,5]. На них выходят кристаллы образовавшегося мартенсита, перед вершинами которых образуются области объемного растяжения – источники остаточных внутренних микронапряжений [4]. В то же время, происходит образование зернограничных сегрегаций охрупчивающих примесей фосфора, сурьмы и олова [2-5]. В связи с этим, актуально изучение влияния перечисленных факторов на локальную прочность границ зерен. Целью исследования являлось установление количественного влияния факторов, снижающих локальную прочность границ зерен сталей, содержащих мартенсит.

Материал и методика исследования

Изучали локальную прочность исходных аустенитных зерен на различных сталях со структурой мартенсита (табл.1).

Таблица 1 – Исследуемые стали

Сталь	Термообработка
Мартенситная 18X2H4BA	1000 °С, 20 мин., зак. в воде
Аустенитно-мартенситная 50H7X6, 50X8H5	1100 °С, масло, холодная деформация
Мартенситностареющая H18M2T2	1000 °С, масло, старение 3 ч., 425 °С.
Метастабильная аустенитная 50H20	1100 °С масло

Локальную прочность границ зерен в стали оценивали уровнем растягивающих напряжений в зоне локального разрушения на основе испытаний сосредоточенным изгибом на замедленное хрупкое разрушение (ЗХР) образцов с концентраторами напряжений, позволяющих локализовать процесс зарождения и начального развития трещины на границах зерен [3]. Расчет локальных напряжений проводили на основе применения метода конечных элементов (МКЭ) [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Локальная прочность границ зерен мартенситной стали

Показано, что локальная прочность границ зерен в мартенситной стали (18X2H4BA) (оцениваемая величиной порогового локального напряжения при испытаниях на ЗХР) зависит от их структурного состояния в зоне зарождения трещины [4-6]. В наибольшей степени локальную прочность границ зерен снижают сегрегации фосфора и остаточные внутренние микронапряжения в вершинах мартенситных кристаллов, выходящих на границы исходных аустенитных зерен [2] (рис. 1). Изучение одновременного воздействия углерода и фосфора на хрупкую прочность границ исходных зерен аустенита, оцениваемую уровнем пороговых м.л.р.н., стали в закаленном состоянии показало, что зависимость хрупкой прочности границ зерен от объемного содержания углерода и концентрации зернограничного фосфора немонотонна. С повышением объемного содержания от 0,007 до 0,03 % увеличивается хрупкая прочность границ, несмотря на одновременный рост при этом зернограничного фосфора. Установлено, что имеет место зависимость между содержанием углерода в стали и хрупкой прочностью границ зерен. Эта связь осуществляется через воздействие углерода на зернограничный фосфор. Существует диапазон концентраций углерода, в котором он влияет на выход фосфора на границы зерен.

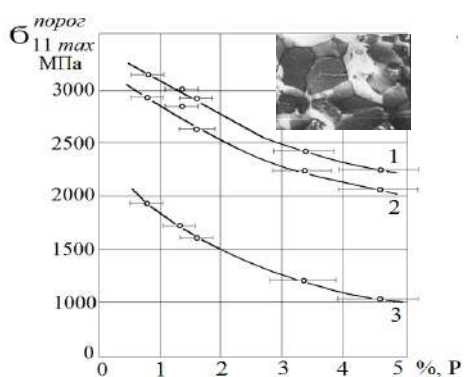


Рисунок 1 – Зависимости локальной прочности границ зёрен от атомной концентрации фосфора на границе зерна стали 18X2H4BA. Отдых: 1 – 30 мин, 2 – 50 ч, 3 – 100 ч

При малых концентрациях (до 0,04%) действие углерода позитивно – он нейтрализует охрупчивающее влияние зернограницных сегрегаций фосфора. Даже при росте концентрации последнего на границах, происходит рост хрупкой прочности границ зёрен. При больших концентрациях (более 0,04%) углерод играет негативную роль, т.е. теряет нейтрализующее действие на фосфор, количество которого на границах растёт – хрупкая прочность падает.

Локальная прочность границ зёрен аустенитно-мартенситной стали

В результате испытаний на ЗХР двух партий образцов из стали 50Н7Х6, имеющих примерно одинаковое общее содержание мартенсита (75 %), но полученное разными способами, установлено, что сталь после холодной пластической деформации в двухфазном состоянии имеет большую прочность границ зёрен (рис. 2). Доказано, что именно протекание процессов релаксации микронапряжений в результате пластической деформации приводит к снижению уровня остаточных внутренних микронапряжений, привносящих основной вклад в ослабление границ зёрен.

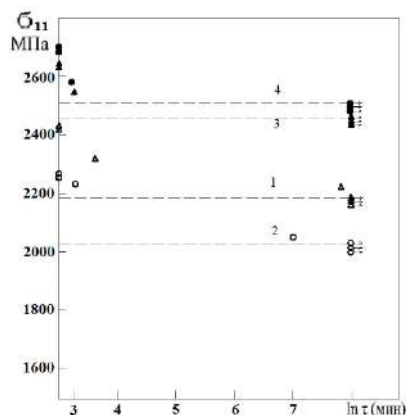


Рисунок 2 – Уровни локальной прочности границ зёрен двухфазных аустенитно-мартенситных сталей с различным содержанием мартенсита с высоким и низким уровнем внутренних микронапряжений: 1 – сталь 50X6H7 (охлаждение при -50 °С, содержание мартенсита 75 %); 2 – сталь 50X8H5 (содержание мартенсита 40 %); 3 – сталь 50X6H7 (холодная прокатка на 27 %, содержание мартенсита 75 %); 4 – сталь 50X8H5 (холодная прокатка на 25 %, содержание мартенсита 85 %). lnτ – время до регистрации разрушения

Таким образом, локальная прочность границ зёрен двухфазных аустенитно-мартенситных сталей зависит от уровня остаточных внутренних микронапряжений, локализованных на границах исходных аустенитных зёрен.

Локальная прочность границ зёрен мартенситностареющей стали

Установлено, что в ходе старения модельной мартенситностареющей стали Н18М2Т2 происходит изменение состояния границ зёрен, которое связано с упругими искажениями, образуемыми в результате распада по границам и с обогащением границ зёрен примесными атомами, ослабляющими межзеренную связь. Насыщение границ зёрен водородом приводит к значительному снижению их прочности, измеряемому величинами порогового локального напряжения при ЗХР (рис. 3). Водород оказывает максимальное охрупчивающее действие на локальную прочность границ зёрен при одновременном выполнении двух условий: в зоне концентрации напряжений действуют максимальные локальные растягивающие напряжения и достигается критическая концентрация водорода [4].

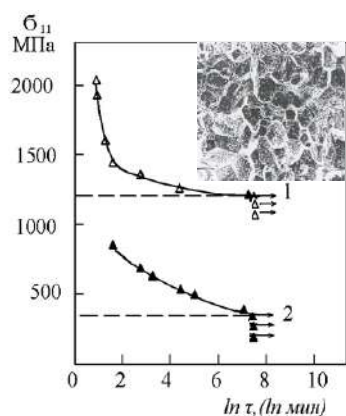


Рисунок 3 – Зависимости времени до разрушения от максимального локального растягивающего напряжения мартенситно-старяющей стали H18M2T2 (старение при 425°C, 3ч.) при испытаниях в воздушной среде – 1 и при электролитическом наводороживании – 2. Интеркристаллитный характер излома в зоне локального разрушения стали H18M2T2

при пороговых напряжениях $\sigma_{11пороз}$.

Таким образом, возникновение в структуре стали локальных упругих напряжений локализованных на межфазной когерентной границе интерметаллид – матрица и насыщение границ зёрен водородом приводит к снижению локальной прочности границ зёрен мартенситно-старяющей стали.

Локальная прочность границ зёрен метастабильной аустенитной стали

В метастабильной аустенитной стали (50H20) в вершине концентратора напряжений в результате деформации аустенита происходит фазовое превращение аустенита в мартенсит [1]. Появление «свежего» мартенсита приводит к возникновению высокого уровня остаточных микронапряжений в вершинах кристаллов мартенсита, вышедших на границы зёрен аустенита. Локальная прочность границ зёрен снижается, что приводит к реализации замедленного разрушения. Определённые пороговые локальные напряжения при испытаниях на ЗХР, соответствуют локальной прочности границ зёрен.

Заключение

1. Установлено, что локальную прочность границ зёрен мартенситных, двухфазных аустенитно-мартенситных, мартенситно-старяющих, метастабильных аустенитных сталей снижают остаточные внутренние микронапряжения, концентрация водорода в водородных ловушках в вершинах мартенситных кристаллов, выходящих на границы исходных аустенитных зёрен и сегрегации фосфора, сурьмы, олова.

2. Показана применимость разработанной методики количественной оценки локальной прочности границ зёрен на основе испытаний на замедленное разрушение и применения метода конечных элементов.

Список литературы:

1. Artemova E.N., Mishin V.M., Sarrak V.I., Suvorova S.O. Force criterion for delayed failure of metastable austenitic steel // Strength of Materials, 1989. -Vol. 21, Issue 11. -pp 1522–1525.
2. Волоконский М.В., Мишин В.М. Оценка прочности границ зёрен стали, ослабленных фосфором и остаточными напряжениями // Современные наукоемкие технологии, 2013. -№ 3. - С. 104-105.
3. Мишин В.М., Береснев А.Г., Саррак В.И. Способ определения склонности к замедленному разрушению стали при одновременном действии водорода и механических напряжений // Заводская лаборатория, 1986. -№ 8. -С. 69-74.
4. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению // Деформация и разрушение материалов, 2007. -№ 3. -С. 37-42.
5. Sarrak V.I., Mishin V.M. Delayed failure of steels // Materials Science, 1992. -Vol. 28, № 5.- P. 419-420.
6. Мишин В.М., Саррак В.И. Роль остаточных внутренних микронапряжений в термически активированном зарождении трещины при замедленном хрупком разрушении высоко- прочных сталей. // Физика металлов и металловедение, 1990. – №1. – С.195-198.