

УДК 691.32

## МЕХАНИЗМ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ

◆◆◆◆

## THE MECHANISM OF BRITTLE FRACTURE OF STEEL

**Просьянкин Данил Романович**студент,  
Кубанский государственный аграрный университет  
dpkrasnodar@mail.ru**Prosyankin Danil Romanovich**Student,  
Kuban State Agrarian University  
dpkrasnodar@mail.ru

**Аннотация.** В статье выполнен обзор исследований накопления повреждений и механизмов разрушения при совместном действии механического нагружения и водорода. Обосновывается механизм хрупкого разрушения металлов, обусловленный как особенностями дислокационной структуры, так и содержанием растворённого в кристаллической решётке водорода при статическом и динамическом нагружении в условиях низких климатических температур.

**Ключевые слова:** хрупкое разрушение, прочность стали, статическое и динамическое нагружение, структура.

**Annotation.** The article provides a review of studies of damage accumulation and destruction mechanisms under the combined action of mechanical loading and hydrogen. The mechanism of brittle destruction of metals is substantiated, due to both the peculiarities of the dislocation structure and the content of hydrogen dissolved in the crystal lattice under static and dynamic loading at low climatic temperatures.

**Keywords:** brittle fracture, steel strength, static and dynamic loading, structure.

**В** области воздействия низких климатических температур на хрупкую прочность актуальным остаётся направление исследований, связанное с действием растворенного в металле водорода на прочность статически и динамически нагруженных образцов, при этом наблюдается значительное снижение порога хладноломкости даже для сталей с высокой ударной вязкостью при низких температурах.

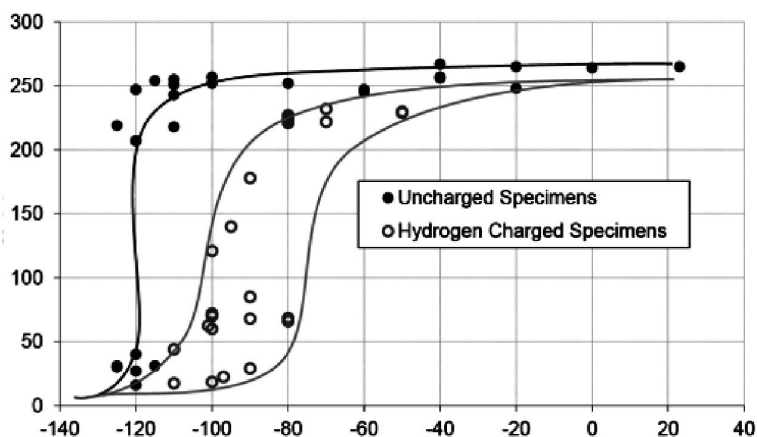
Повышение предела прочности сталей приводит к более резкому падению ударной вязкости при низкой температуре, причем для сварных соединений проблема усугубляется – в металле сварного шва ударная вязкость оказывается ниже, чем в основном металле, а в зоне термического влияния – выше, что приводит к раннему образованию трещин и коррозионному растрескиванию под действием водорода.

На рисунках 1 и 2 показаны зависимости от температуры энергии разрушения и доли хрупкой составляющей в изломе высокопрочной стали в отожжённом состоянии и с повышенным содержанием водорода [2]. Очевидно, что находящийся в металле водород снижает уровень энергии, требуемый для разрушения образца, и изменяет характер разрушения на хрупкий, сдвигая тем самым диапазон вязко-хрупкого перехода в область более высоких температур. Этим объясняется и падение ударной вязкости в образцах, выполненных из материала сварного шва [1].

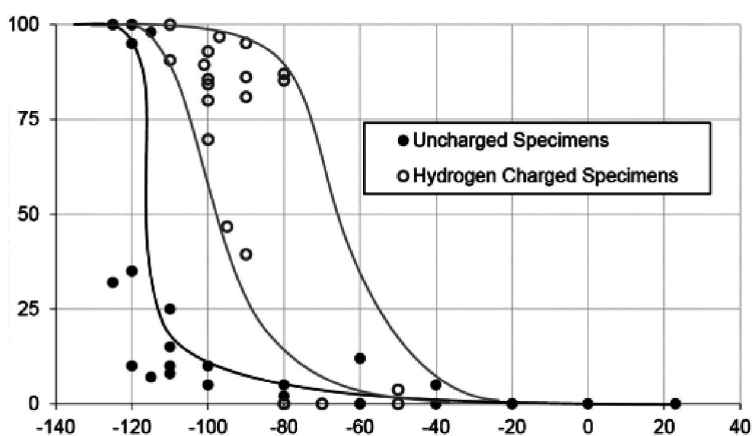
В последнем случае водород попадает в металл непосредственно из сварочной ванны, тогда как в зоне термического влияния термический цикл сварки уменьшает содержание водорода, которое становится ниже, чем в основном металле.

В качестве рекомендаций по повышению холодостойкости материалов, а также их сварных соединений представляется целесообразным повышение энергии активации пластического сдвига сталей и сплавов, или разрыва молекулярных связей полимеров и композитов. [3]

Одной из наиболее перспективных технологий для металлических материалов является интенсивная пластическая деформация с созданием равновесной дисперсной структуры с микронапряжениями сжатия (материалы с субмикроструктурной структурой), однако для существенного понижения температурного диапазона вязко-хрупкого перехода, особенно для безопасной эксплуатации сварных соединений таких материалов, рекомендуется микролегирование редкоземельными элементами, что обеспечит существенное повышение энергии активации пластического сдвига и сопротивления дислокационно-фононной подсистемы воздействию растворенного водорода.



**Рисунок 1** – Зависимость энергии разрушения при ударном изгибе для высокопрочной стали F22 (ASME) от температуры. Здесь и далее: по шкале абсцисс – энергия, по шкале ординат – температура



**Рисунок 2** – Зависимость доли хрупкого излома при ударном изгибе для стали F22 (ASME) от температуры

Для подтверждения дислокационно-фононного механизма вязко-хрупкого перехода, когда хладноломкость обуславливается флуктуациями на очагах в виде дислокаций, сдвигов, микропор и микротрещин и дальнейшим их ростом, разработана модель активационного типа. На основе разработанного подхода возможен количественный расчет энергетического и фононного спектра, а также прогнозирование свойств микрокристаллических и нано-структурных материалов с высоким порогом хладноломкости. [4]

В частности, измельчение кристаллической структуры зерен интенсивной пластической деформацией уменьшает длину свободного пробега в решетке, тем самым снижая неупругое рассеяние фононов, ответственное за разрыв связей под действием внешнего растягивающего напряжения. Это также позволяет рассчитать параметры и частоты оптимальных энергетических воздействий (нейтронного облучения, электрического напряжения и т.п.) на детали конструкции, снижающие диапазон вязко-хрупкого перехода в область безопасных температур.

## Литература

1. Шиховцов А.А. Влияние внутренних и внешних факторов на замедленное хрупкое разрушение стали // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11. – Ч. 9. – С.1841–1845.
2. Шиховцов А.А. Мишин В.М. Кинетика и микромеханика замедленного разрушения стали // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4. – С. 858–861.
3. Шиховцов А.А. Мишин В.М. Влияние концентрации напряжений на пороговые нагрузки при замедленном разрушении стальных деталей // *Международный журнал и фундаментальных исследований*. – 2013. – № 4 – С. 134–135.
4. Мишин В.М., Шиховцов А.А. Локальное замедленное разрушение порошковых сталей содержащих мартенсит // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2015. – № 11. – С. 665–666.

### References

1. Shikhovtsov A.A. Influence of internal and external factors on delayed brittle fracture of steel // Fundamental Researches. – 2013. – № 11. – Part 9. – P. 1841–1845.
2. Shikhovtsov A.A. Mishin V.M. Kinetics and micromechanics of delayed fracture of steel // Fundamental Researches. – 2013. – № 4. – P. 858–861.
3. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. The influence of stress concentration on threshold loads during delayed fracture of steel parts // International Journal of Fundamental Research. – 2013. – № 4 – P. 134–135.
4. Mishin V.M. Shikhovtsov A.A. Local delayed fracture of powder steels containing martensite // International Journal of Experimental Education. – 2015. – № 11. – P. 665–666.