



ИЗУЧЕНИЕ ИНВАРИАНТНОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ЛОКАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ К НАДРЕЗУ И СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ МЕТОДОМ МЕХАНОСТИМУЛИРОВАННОЙ ФОТОЭМИССИИ

Мишин В.М., Щитов Д.В., Мишин В.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, филиал г. Пятигорск, Россия



Аннотация

Известен критерий микроскопа ОЦК-металлов, согласно которому критическое локальное растягивающее напряжение в зоне локального разрушения не зависит от температуры, скорости нагружения, геометрии концентраторов напряжений и способа приложения нагрузки [4]. Актуальным является подтверждение этого факта различными физическими методами. Целью работы являлось подтверждение инвариантности критерия микроскопа (критического локального растягивающего напряжения) к температуре испытаний, скорости нагружения, геометрии концентраторов напряжений и способу приложения нагрузки, с одной стороны, применением механостимулированной фотоэмиссии, с другой, известными методами структурной микромеханики разрушения. результатов.

Введение

Ранее критическое локальное растягивающее напряжение (σ_F) в стали определяли только методами механики разрушения, что не являлось достаточным условием представления его как фундаментальной [1,2]. Используя возможности метода механостимулированной фотоэмиссии, разработанного Н.П. Валуевым и И.В. Мойшем [3], возможна оценка величины и рассмотрение зависимости критического локального растягивающего напряжения в зоне локального разрушения от внешних факторов для стали 3. Одновременно, для сравнения, на этой же стали возможно определить критическое локальное растягивающее напряжение методами структурной микромеханики разрушения с привлечением метода конечных элементов [4]. Целью работы являлось сравнение критического локального растягивающего напряжения, полученного этими различными методами и, тем самым, установление его инвариантности к температуре испытаний, скорости нагружения, геометрии концентраторов напряжений и способу приложения нагрузки.

Методы и материалы

Эксперименты проводили на горячекатанной стали 3. Для испытаний с применением механостимулированной фотоэмиссии использовали образцы для испытаний на сосредоточенный изгиб тип 11 (ГОСТ 9454-78) с надрезом и углом раскрытия надреза 45° . Испытания на растяжение в диапазоне температур $77 - 273$ К и скоростей нагружения $2 - 200$ мм/мин проводили на образцах диаметром $8,00$ мм с кольцевыми проточками глубиной $2,00$ мм трех типов: а) гладких; б) с углом раскрытия проточки 60° и в) с U -образными кольцевыми проточками. Эмиссия атомов наиболее вероятна в зоне максимальных растягивающих напряжений, где межатомные силы сцепления атомов наиболее ослаблены.

Атомы железа могут за счет тепловых флуктуаций покидать массив металла. Максимальный уровень локальных растягивающих напряжений реализуется в вершине трещины, поэтому, регистрируя параметры фотоэмиссии металла, можно путем расчета оценить величину локального разрушающего напряжения по экспериментальным данным [4]. Записав выражение для количества десорбируемых поверхностью металла атомов N за время разрушения можно оценить величину локальных напряжений:

$$N = J \cdot p = N_o \cdot C \cdot \exp\left[-\frac{U_o - \Delta U}{KT}\right] \quad (1)$$

где U_o – энергия связи атомов, N_o – количество атомов на поверхности излома, C – предэкспоненциальный множитель, J – количество квантов флуоресцентного излучения, K – постоянная Больцмана, T – температура в зоне разрушения, p – вероятность излучения десорбируемого атома.

Величина ΔU соответствует энергии атома, смещенного под действием локального напряжения σ_M из положения равновесия. Связь между величинами ΔU и σ_M линейная:

$$\Delta U = \sigma_M \cdot V \quad (2)$$

где V – объем, занимаемый одним атомом.

Из выражений 1 и 2 может быть вычислена величина критического локального напряжения в вершине трещины:

$$\sigma_M = \frac{U_o}{V} - \frac{k \cdot T}{V} \ln\left(\frac{\varepsilon \cdot \Omega \cdot N_o \cdot C_p}{J_p \cdot 4 \cdot \pi}\right) \quad (3)$$

где J_p – количество зарегистрированных квантов флуоресценции за время разрушения, ε – телесный угол регистрации квантов, Ω – эффективность регистрации.

Результаты и их обсуждение

Значения длины волны фотонов, соответствующие коротковолновой границе излучения, при этом практически не изменяются, что позволяет использовать данный параметр для оценки сил межатомных связей, характеризующих локальную прочность стали. Влияние концентрации напряжений обусловленных геометрией надреза иллюстрируется на рис. 1.

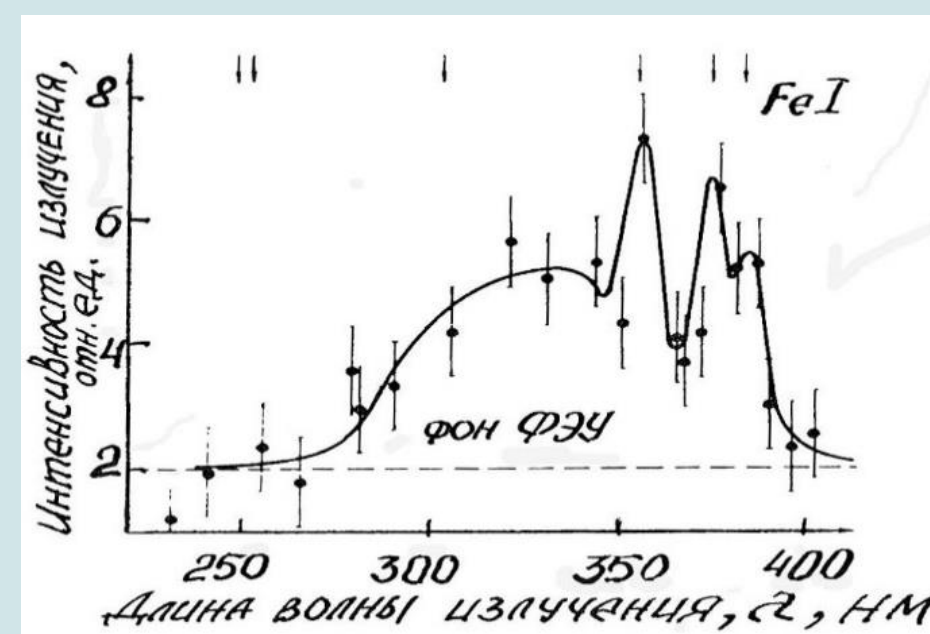


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения от длины волн

Анализ спектров эмиссии показывает, что падает также и интенсивность флуоресценции, однако положение коротковолновой границы спектра практически не изменяется, то есть, локальное разрушающее напряжение практически не зависит от геометрии образца, надреза, скорости и температуры испытаний

Для определения величины локального разрушающего напряжения по (3) необходимо знать величины U_o , T и V .

Методика оценки критического локального растягивающего напряжения заключается в следующем. Регистрируется граничная длина волны флуоресцентного излучения. Это значение используется для нахождения величины U_o . Регистрируется интенсивность длинно-волнового теплового излучения в диапазоне $0,8 - 5$ мкм. По полученным значениям определяется температура поверхностей разрушения в момент их образования. Эта температура изменяется в зависимости от марки стали и характера разрушения от 300 до 500 °С. Измеряется интенсивность флуоресцентного излучения J_p . Полученные значения используются для нахождения критического локального растягивающего напряжения по формуле (3). В результате расчета для стали 3 на основе зависимости интенсивности флуоресценции от локальных напряжений в вершине трещины было получено значение 1200 МН/м².

С другой стороны, определяли критическое локальное растягивающее напряжение (σ_F) на образцах: а) гладких; б) с углом раскрытия проточки 60° и в) с U -образными кольцевыми проточками по методике, изложенной в [2,4].

Определенное, таким образом, значение критического локального растягивающего напряжения (σ_F) на образцах с различной геометрией концентратора напряжений и диапазоне скоростей нагружения $2 - 200$ мм/мин при растяжении составило для стали 3 – 1120 МН/м².

Заключение

Таким образом, методом механостимулированной фотоэмиссии подтверждена инвариантность критического локального растягивающего напряжения к температуре, скорости нагружения, геометрии концентраторов напряжений и способу приложения нагрузки. Критическое локальное растягивающее напряжение (σ_F) может быть использовано как характеристика локальной прочности стали и сплавов на основе железа в расчетах на прочность.

Библиографический список

1. Mishin V.M., Filippov G.A. Microstructural factors that decrease the local strength of grain boundaries in martensitic steels // *Physics of Metals and Metallography*, 2018. Vol. 119. № 5, pp. 504–509. DOI: 10.1134/S0031918X18050101
2. Мишин В. М., Филиппов Г. А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению // *Деформация и разрушение материалов*. 2007. № 3. С. 37–42.
3. Валуев Н.П., Денисов В.Н., Мойш Ю.В., Подобедов В.Б., Саррак В.И., Филиппов Г.А., Беленький А.Я. Исследование фотонной эмиссии, возникающей при хрупком разрушении сталей // *ФММ*. – 1986. – Т.62. – в.4. – С. 724 - 729.
4. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Физика замедленного разрушения сталей – Монография [Текст] / В.М. Мишин – М.-В: «Полиграфпром», 2013. – 455 с. ISBN 978-5-905831-05-8.

Контакты

Мишин В.М. E-mail: mishinvm@yandex.ru Тел.: +7 9064960994
Северо-Кавказский федеральный университет, филиал г. Пятигорск
Вебсайт: pf.ncfu.ru