

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

Динамические испытания металлов для определения ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе образцов являются важными сдаточными характеристиками для сталей, работающих в условиях низких температур и ударных нагрузок, например, для газо- и нефтетрубопроводов, нефте- и газодобычи. Однако в настоящее время ударная вязкость относится к тем характеристикам металлов, которые трудно поддаются прогнозированию, поскольку является функцией многих параметров, таких как химический состав, фазовый состав, который в свою очередь зависит от множества параметров обработки сталей.

Задачей данной работы является расчет температурной зависимости ударной вязкости методом конечных элементов при помощи программного пакета LS-DYNA с использованием нового интегрально-вероятностного подхода к описанию структуры и процессов разрушения металлов.

Исходными данными для расчета являются механические свойства материала, полученные при статических испытаниях на разрыв, такие как предел текучести σ_{02} , сужение в шейке ψ , зависимость истинных напряжений от истинных деформаций, а также температурная зависимость модуля упругости $E(T)$, известная из справочников. В качестве критерия разрушения принимали величину предельных деформаций $\varepsilon_{\text{пред}}$, известную для комнатной температуры. Именно эта величина чувствительна к химическому составу и структуре металла.

Кривая растяжения аппроксимируется функцией:

$$\sigma(\varepsilon) = \sigma_{00} + \alpha \varepsilon^{\beta}. \quad (1)$$

Для сильнодеформированного металла, в том числе, в момент появления трещины при испытаниях на ударную вязкость коэффициент аппроксимации β изменяет свои значения для различных сталей в пределах $\beta_1 = (0,75 \div 0,9)$.

В файл, содержащий исходные данные, граничные условия и сетку образца вносят кривую растяжения (по точкам), предел текучести, модуль упругости и заданный критерий разрушения.

Температурное изменение предельных деформаций рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пред}i} = \varepsilon_{\text{пред}0} \cdot \left(\frac{E_i}{E_0} \right)^{\frac{1}{\beta_1 - 1}}, \quad (2)$$

а температурное изменение предела текучести – по формуле:

$$\sigma_{\text{т}i} = \sigma_{\text{т}0} \cdot \left(\frac{E_i}{E_0} \right)^{\frac{1}{1 - \beta}}, \quad (3)$$

где индексы «0» и «i» обозначает комнатную и любую отличную от нее температуру. Параметр β , известный из (1), для каждой марки стали имеет свое значение.

В результате выполненных расчетов получены температурные зависимости ударной вязкости для сталей 17Г1С-У, 12Г2СБ, Х65, 09Г2С. На рис. 1 показаны зависимость ударной вязкости от величины предельно допустимой деформации, а на рис. 2, 3 – зависимость ударной вязкости от температуры для сталей 09Г2С и 17Г1С-У.

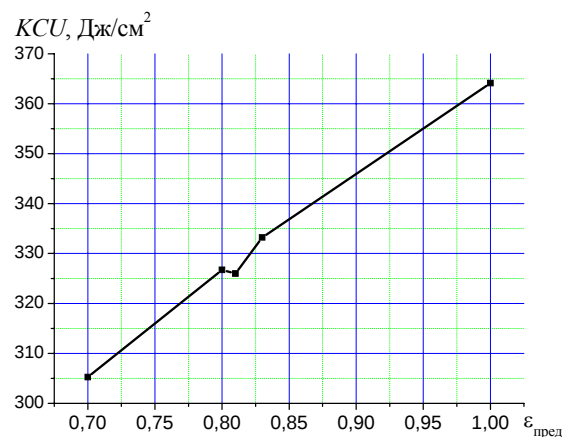


Рис. 1. Зависимость расчетной ударной вязкости от предельной деформации $\epsilon_{\text{пред}}$

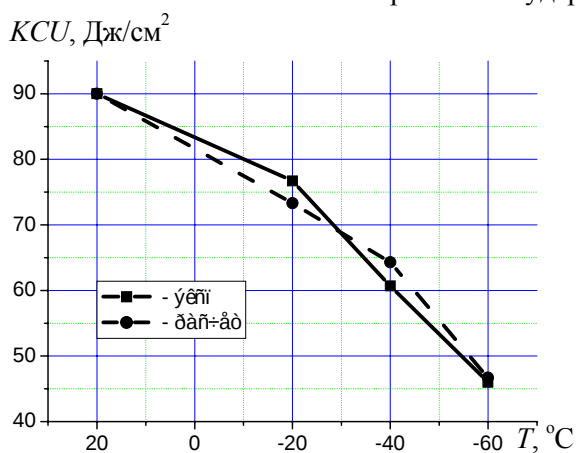


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости от температуры для стали 09Г2С (средние значения по данным испытаний трех партий металла)

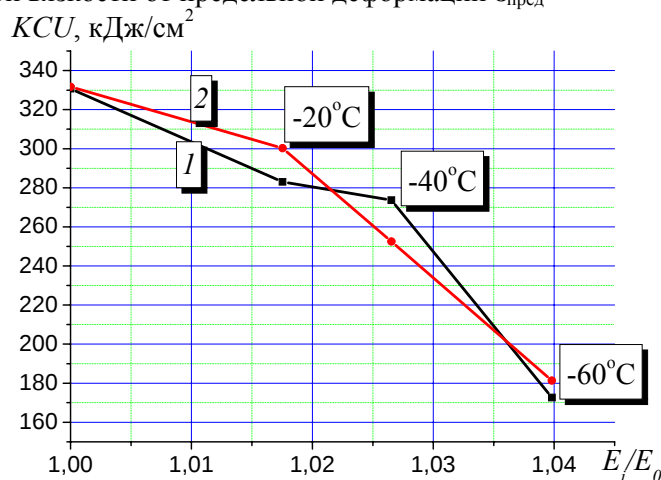


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости от температурного изменения модуля упругости для стали 17Г1С-У (средние значения по данным испытаний двух партий металла)

По результатам, представленным на рис. 1–3, можно отметить следующее:

- зависимость ударной вязкости от предельных деформаций практически линейная, что дает возможность использования упрощенных формул;
- расчетная температурная зависимость ударной вязкости для стали 09Г2С (см. рис. 2) практически совпадает с экспериментальными значениями;
- для других исследованных сталей (см., например, рис. 3) отличие расчетной кривой $KCU(T)$ от опытных данных может иметь больший разброс, который может быть вызван случайной неоднородностью структуры металла в пределах исследуемого листа.