

УДК 539.434

Л.Т. Крюков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПЕРЕХОДА МАТЕРИАЛА ИЗ ПЛАСТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ХРУПКОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Приводятся данные эксперимента по определению момента перехода материала из пластического в хрупкое состояние. Испытуемые образцы подвергают ступенчато нарастающему с постоянным шагом нагружению до предела текучести. При этом регистрируют падение напряжения в течение постоянного интервала времени.

Ключевые слова: температура перехода, микропластическая деформация, критические напряжения.

Обычно способ определения температуры перехода материала из пластичного состояния в хрупкое основывается на построении температурной зависимости ударной вязкости при динамических испытаниях серии образцов [1]. Этот способ заключается в том, что образцы нагружаются до разрушения методом ударного изгиба. Каждый образец, охлажденный до определенной температуры, разрушают на маятниковом копре и фиксируют величину ударной вязкости. Затем строится график изменения ударной вязкости для серии образцов в зависимости от температуры. За температуру перехода в хрупкое состояние принимают температуру, при которой происходит пятидесятипроцентное уменьшение величины ударной вязкости по отношению к первоначальной.

При этом отсутствие физически аргументированных критериев ударной вязкости сводит результаты испытаний на уровень технологических проб, что выражается в малой точности результатов. Кроме того, с повышением прочности материала критерии ударной вязкости становятся все менее показательной характеристикой материала, что выражается в отсутствии явно выраженного порога хладноломкости.

Иногда температура перехода материала из пластического состояния в хрупкое определяется таким образом [2]: образец из испытуемого материала нагревается до температуры, превышающей предполагаемое значение температуры перехода из пластического состояния в хрупкое, деформируют образец и регистрируют температуру, напряжение и деформацию. Одновременно охлаждают образец в процессе его деформирования вплоть до разрушения, а температуру образца в момент разрушения $T_{кр}$ принимают за температуру перехода материала из пластического состояния в хрупкое.

Недостатком приведенных методов является то, что для осуществления предполагаемых схем испытания образцов необходимо так изменять температуру и напряжение, чтобы действующее на образец напряжение при любой температуре равнялось напряжению σ_T , то есть нагружение должно осуществляться таким образом, чтобы действующее на образец напряжение при любой температуре следовало по температурной зависимости σ_T . По классической схеме Иоффе хрупкое разрушение наступает тогда, когда предел текучести σ_T становится равным истинному напряжению отрыва S_T (рис. 1).

Если допустить, что скорость охлаждения постоянна во всех экспериментах и нагружать образец от $\sigma = 0$, начиная с T_H (начальная температура испытания, выбранная по справочным данным и превышающая $T_{кр}$) с разными скоростями деформирования 1; 2; 3; 4.

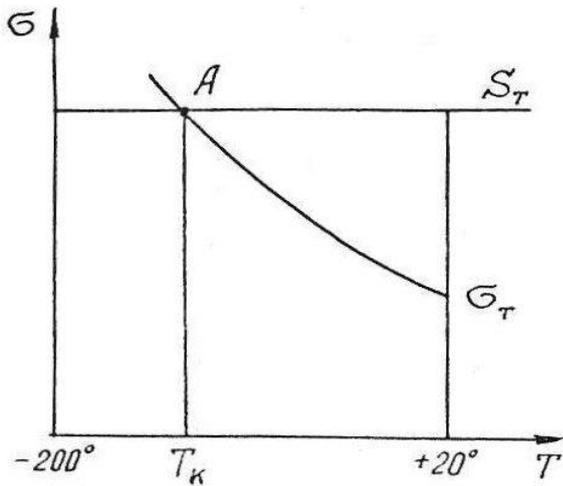


Рис. 1. Схема Иоффе

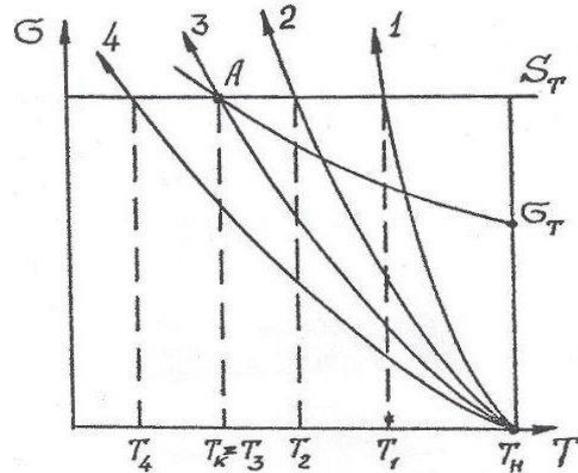


Рис. 2. Определение величины $T_{кр}$

Как видно из рис. 2, только в том случае, когда действующее напряжение пересечет точку пересечения σ_T и S_T (кривая 3), T_p будет равна $T_{кр}$. Во всех других случаях T_p будет либо выше, либо ниже $T_{кр}$. Для точного определения температуры $T_{кр}$ нужно вполне определенно знать координаты точки A , а для этого необходимо строить зависимость σ_T от температуры с учетом скорости деформации как параметра, что требует испытания серии образцов.

Используемый метод определения перехода материала из пластического в хрупкое состояние повышает точность результатов за счет введения физически аргументированных критериев состояния материала. Это достигается тем, что испытываемые образцы нагружают, регистрируют параметры нагружения и находят зависимость изменения этих параметров от температуры испытания. Каждый образец подвергают ступенчатому, нарастающему с постоянным шагом, нагружению до предела текучести. При этом регистрируют падение напряжения в течение постоянного интервала времени. По зависимости $\Delta\sigma_i(\sigma_i)$ определяют значение критического напряжения $\sigma_{кр}$, устанавливают зависимость $\frac{(\Delta\sigma_i)^2}{\sigma_{кр}}$ от температуры испыта-

ний материала, и по резкому спаду этой зависимости судят о моменте перехода материала из пластического состояния в хрупкое. Здесь $\Delta\sigma_i$ – величина напряжения за цикл нагружения; σ_i – общая величина напряжения в образце; $\sigma_{кр}$ – нагружение, соответствующее пределу пропорциональности.

При применении этого метода используют партию образцов материала. Первый образец из этой партии подвергают сжатию на специальном прессе высокой жесткости при $T = 20^\circ\text{C}$. Нагружение производят ступенчато возрастающими усилиями с постоянной величиной приращения нагрузки до предела текучести. Причем после каждой ступеньки увеличения нагрузки дают выдержку под этой нагрузкой в течение 150 с. При испытании регистрируют величину напряжения в образце σ_i и величину падения напряжения (глубину релаксации напряжения) $\Delta\sigma_i$ в образце за время выдержки при постоянной нагрузке (рис. 3, а). Для образца строят зависимость $\Delta\sigma_i = f(\sigma_i)$ (рис. 3, б).

Для каждого последующего образца этой партии уменьшают температуру испытания на 20°C , повторяя весь цикл ступенчатого нагружения, и строят зависимости $\Delta\sigma_i = f(\sigma_i)$. Для каждой зависимости характерны несколько последовательных стадий микропластиче-

ской деформации, ограниченной соответствующими группами критических напряжений ($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_1', \sigma_2', \sigma''$ и так далее), которые характеризуются разными законами изменения глубины релаксации напряжения ($\Delta\sigma_i$), отражающей изменение скорости пластической деформации ($\dot{\xi}_p$).

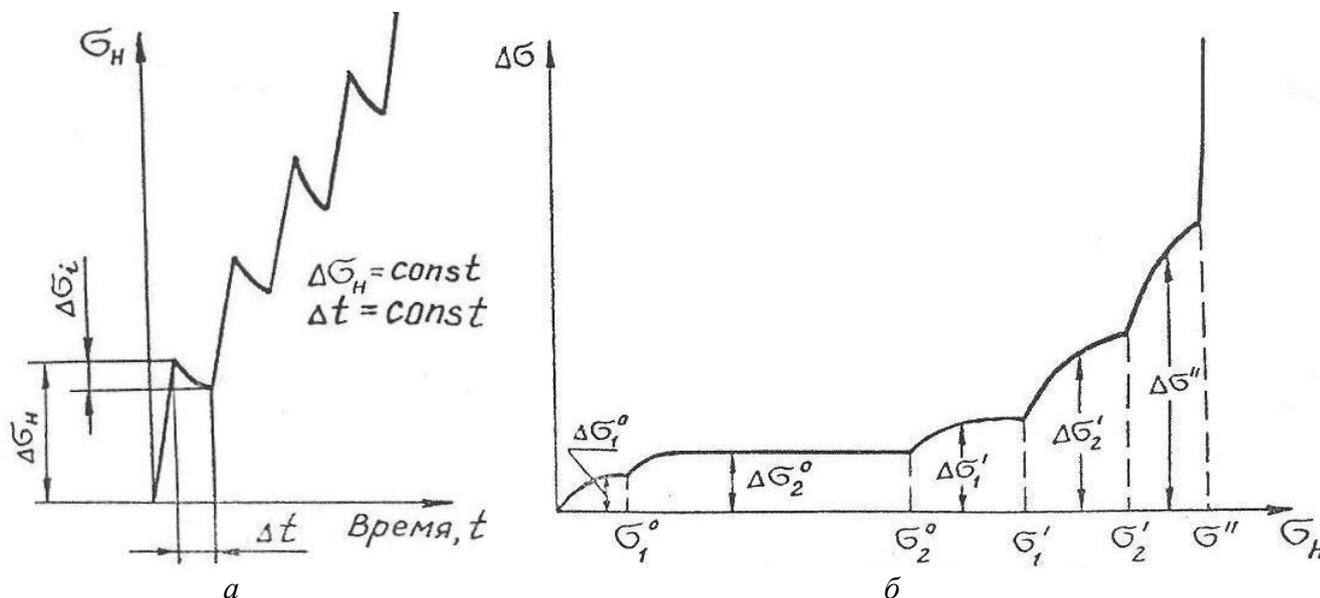


Рис. 3. Схема нагружения образца

По зависимостям $\Delta\sigma_i = f(\sigma_i)$ для каждого образца определяют критическое напряжение $\sigma_H^{кр} = \sigma_2^0$, которое ограничивает линейный участок изменения $\Delta\sigma_i = \text{const}$ (рис. 2, б). После этого строят температурную зависимость величины A , являющейся функцией двух параметров микропластической деформации ($\dot{\xi}_p$ и $\sigma_H^{кр}$)

$$A = f(\dot{\xi}_p, \sigma_H^{кр}) = \frac{(\Delta\sigma_2^0)^2}{\sigma_2^0}$$

По резкому уменьшению этой величины судят о моменте перехода $T_{кр}$ материала из пластического в хрупкое состояние. При определении температуры переход из пластического в хрупкое состояние для армо-железа изготавливались образцы диаметром 3,5 мм и высотой 7 мм.

Первый образец деформировался сжатием на специальной испытательной машине высокой жесткости при $T = -15^\circ\text{C}$. Эта температура была выбрана за первоначальную ввиду того, что ранее были проведены испытания с целью определения момента перехода армо-железа из пластического в хрупкое состояние по общепринятой методике и построены температурные зависимости изменения ударной вязкости серии образцов из этой же партии материала. Высокая жесткость деформирующего устройства, на порядок превышающая жесткость машин, используемых для определения механических свойств металлов, необходима для уменьшения вклада машина в регистрируемую величину релаксации напряжений.

Усилие замеряется с помощью датчика силы, представляющего собой стальное упругое тело с наклеенными на него по мостовой схеме тензодатчиками. Сигнал с датчика через усилитель с компенсирующим устройством подается на самопишущий регистрирующий прибор, который записывает кривые падения напряжения после каждого цикла нагружения образца.

Первоначально приложенная нагрузка равнялась 20 МПа, затем делалась выдержка $\Delta t = 150$ с. В течение этой выдержки регистрировалась на самописце величина падения напряжения. По истечении времени выдержки нагрузка увеличивалась ещё на 20 МПа и делалась выдержка длительностью 150 с, в течение которой фиксировалась величина падения напряжения $\Delta\sigma$. Такой цикл нагружения с постоянным шагом $\Delta\sigma = 20$ МПа и постоянным временем выдержки после каждого нагружения $\Delta t = 150$ с повторялся до достижения предела текучести (величина $\Delta\sigma$ становится близкой к величине $\Delta\sigma_1$ или при приращении нагрузки напряжение не растет – площадка текучести).

Строилась зависимость $\Delta\sigma$ от σ_1 (пример для $T = -70^\circ\text{C}$ показан на рис. 4).

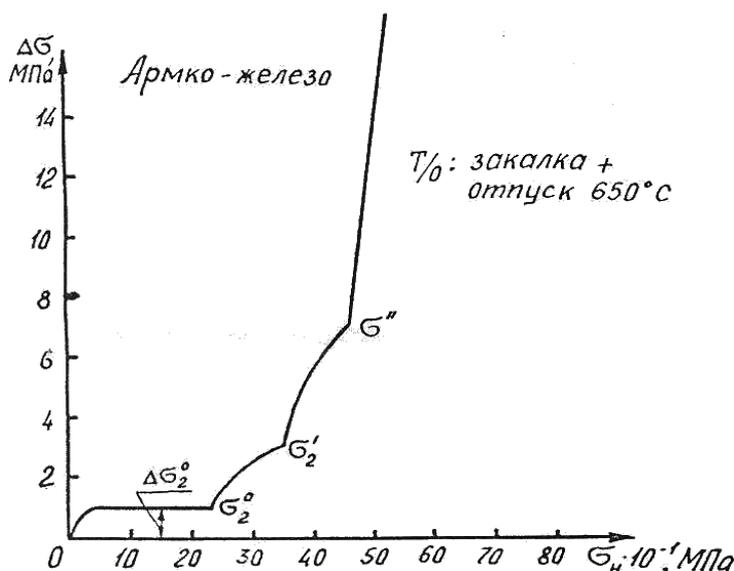


Рис. 4. Нагружение образца из армко-железа

Для определения величины $A = \frac{(\Delta\sigma_2^0)^2}{\sigma_2^0}$, коррелирующей с $\dot{\xi}_p$, были выбраны значения $\sigma_2^0 = -1,7$ МПа и $\sigma_2^0 = 150$ МПа и подсчитывалось значение $A = 1,93 \cdot 10^{-2}$ МПа. Затем в испытательную машину устанавливали следующий образец, охлаждали вместе с упорами испытательной машины до -40°C и повторяли весь цикл ступенчатого нагружения ($\Delta\sigma = 20$ МПа) с выдержками ($\Delta t = 150$ с) до предела текучести.

Третий образец испытывался при $T = -60^\circ\text{C}$, четвертый – при $T = -70^\circ\text{C}$, пятый – при $T = -80^\circ\text{C}$, шестой – при $T = -90^\circ\text{C}$. Данные испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытания образца из армко-железа

Температура испытания, °C	$\Delta\sigma_2^0$, МПа	σ_2^0 , МПа	$A \cdot 10^{-2}$, МПа	KCU, мДж/м ²
-15	1,7	150	1,93	3,9
-40	1,45	140	1,50	3,6
-60	1,9	190	1,90	3,9
-70	1,0	220	0,455	3,6
-80	0,85	335	0,216	0,1
-90	0,8	345	0,185	0,1

По данным таблицы строится зависимость A от T и по пятидесятипроцентному уменьшению величины A от верхней площадки определяется величина $T_{кр}$ (рис. 5).

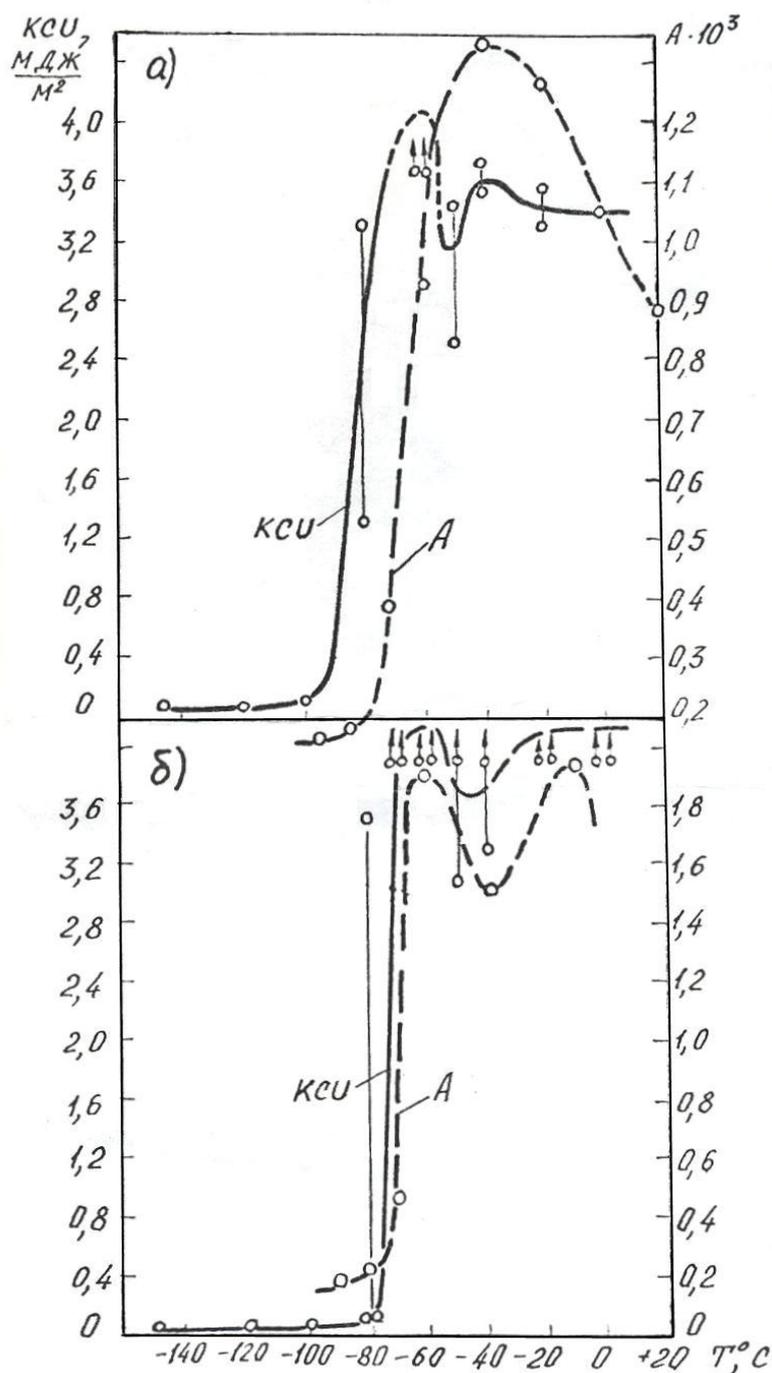


Рис. 5. Зависимость параметра A от разрушающей нагрузки

Библиографический список

1. Георгиев, М.Н. Вязкость малоуглеродистых сталей / М.Н. Георгиев. – М.: Metallurgy, 1973. С. 80–84.
2. А. с. №1052915 G01N3/00 от 03.06.1982.

Дата поступления
в редакцию 02.12.2013

L.T. Kryukov

**DETERMINATION OF THE MOMENT OF THE MATERIAL TRANSITION
FROM PLASTIC INTO BRITTLE STATE USING PARAMETERS OF MICROPLASTIC
DEFORMATION**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Experimental data for determination of the moment of the substance transition from plastic into brittle state is given.

Methodology: The tested samples undergo loading, gradually rising at constant intervals until the yield point. Here stress relaxation within a constant time period is registered. Further, the dependence $\Delta\sigma_i(\sigma_H)$ is used to calculate the critical stress $\sigma_{кр}$ value. Then dependence of $(\Delta\sigma_i)^2/\sigma_{кр}$ on substance testing temperature is set.

Findings: A precipitate drop of the $(\Delta\sigma_i)^2/\sigma_{кр}$ dependence demonstrates the moment of the substance transition from plastic into brittle state.

Key words: transition temperature, microplastic deformation, critical stress.