

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ
ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

М.Е. Пруцков, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин

METHODS OF ESTIMATION OF DISSIPATIVE PROPERTIES
OF STEELS AT LOW TEMPERATURES

M.E. Prutskov, A.G. Kolmakov, I.Zh. Bunin

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Россия

Abstract. Use of the methodology of multifractal parameterization of structures, for conducting an estimate of habits of change in micromechanisms of shattering of steel at different temperatures of the testings, reflecting to dynamic loudspeaker of the latent dissipative processes. This method allows to present quantitatively not only an over-all configuration of structure for actual natural materials, but also inhomogeneity of allocation geometrical, physical, chemical, etc. characteristics, according to the nature of investigated structure that cannot be reached ordinary methods.

Методы оценки механических свойств сталей при низких температурах основаны на механических испытаниях модельных образцов. При проектировании металлических конструкций и оценке их остаточного ресурса используются стандартизированные характеристики материалов, полученные при проведении модельных испытаний и зависящие как от температуры испытаний, так и от состояния структуры материала. Развитие процессов охрупчивания при наличии нерегистрируемых дефектов может приводить к катастрофическим последствиям в условиях производств повышенной опасности, экологически опасных производств, при гидроиспытаниях и пр. Процессы охрупчивания приводят к ситуации, когда реальные свойства металла при данной температуре снижаются до уровня свойств, соответствующих более низким температурам. Наглядно такая ситуация представлена на рис.1, где приведена модельная кривая хрупкости и показаны смещение и деформация кривой вследствие протекания процессов охрупчивания. Величина эффективной вязкости разрушения (K_{IC}) при этом снижается $K_{c0} \rightarrow K_{ct}$, и трещиностойкость металла становится равной своей исходной величине при пониженной температуре. Поскольку в реальных изделиях всегда имеются дефекты, находящиеся за пределами чувствительности приборов дефектоскопического контроля, прочностные характеристики необходимо корректировать как с учетом пониженных температур, так и с учетом протекания процессов охрупчивания. Предлагается проводить коррекцию прочностных характеристик на коэффициент $K_{IC}^{эфф}/K_{IC}^{исх}$, определяемый по изменению температурной зависимости трещиностойкости. В общем случае учет охрупчивания следует проводить на основе анализа изменения характера (смещения и деформации) температурных зависимостей критических коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) (при статическом и/или циклическом нагружении), J-интеграла, ударной вязкости, прочностных и пластических свойств.

Сталь 09Г2С в нормализованном состоянии широко используется в сварных конструкциях стационарных и транспортных объектов, работающих в условиях низких температур. Оценка механических (диссипативных) свойств стали 09Г2С при температурах $-70... +20$ °С проводили на гладких цилиндрических образцах с размерами рабочей части $\varnothing 3 \times 15$ мм после нормализации (930 °С) в ходе испытаний на одноосное растяжение (рис.2). Заметное уменьшение прочностных характеристик

наблюдали при температурах $-40\dots-30$ °С, в то время как падение пластических свойств - при температурах ≤ -50 °С. Характер изменения механических свойств указывает, что хрупко-вязкий переход соответствует интервалу температур $-50\dots-40$ °С. При фрактографическом исследовании обнаружены следы макрорасслоений по границам зерен вдоль направления прокатки, предположительно связанных с возникшими в результате прокатки дорожками неметаллических включений.

Традиционно структуры материалов, в частности структуры поверхностей изломов изучаются с использованием количественных параметров, характеризующих отдельные элементы структуры. Известны так же методы фрактального анализа структур [2]. Привлечение концепции мультифракталов, основанной на использовании общего понятия меры, позволяет давать количественную оценку конфигурации исследуемой структуры в целом, а также вводить характеристики однородности и скрытой упорядоченности, что существенно дополняет традиционные методы количественной металлографии и фрактографии. Разработана оригинальная методика мультифрактальной параметризации структур [3], основу которой составляет теоретико-информационная интерпретация мультифрактального формализма [3,4]. Методика позволяет рассчитывать мультифрактальные характеристики двумерных (2D) компьютерных изображений структур - спектр размерностей Реньи $D(q)$ и $f(\alpha)$ -спектр и количественно оценивать характеристики однородности $f(q \rightarrow \infty) \equiv f(q=40) = f_{40}$ и скрытой упорядоченности (периодичности) $\Delta_{40} = D_1 - D_{40}$ структур. Применение данной методики для количественного описания структур изломов стали 09Г2С позволило выявить визуально неразличимые изменения в микромеханизмах разрушения стали при разных температурах испытаний, отражающие динамику скрытых диссипативных процессов.

T [°C]	$\sigma_{\text{пл}}$ [МПа]	$\sigma_{0,2}$ [МПа]	$\sigma_{\text{в}}$ [МПа]	ψ_p [%]	ψ [%]
-70	365 ± 4	390 ± 7	524 ± 7	21 ± 2	53 ± 1
-60	344 ± 7	377 ± 7	517 ± 7	22 ± 1	60 ± 1
-50	339 ± 3	372 ± 7	510 ± 7	22 ± 1	63 ± 1
-35	327 ± 7	355 ± 5	498 ± 7	24 ± 3	65 ± 2
-25	315 ± 6	342 ± 7	474 ± 4	24 ± 3	66 ± 1
-15	311 ± 2	336 ± 3	466 ± 7	24 ± 3	68 ± 1
0	309 ± 7	335 ± 7	463 ± 7	24 ± 3	68 ± 1
20	307 ± 7	334 ± 2	462 ± 7	24 ± 3	68 ± 1

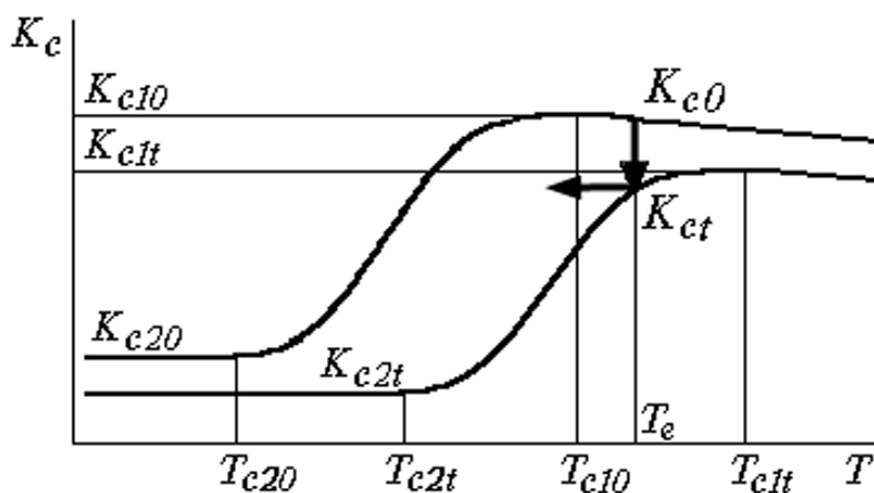


Рис.1. Смещение и деформация модельной кривой хрупкости [1].

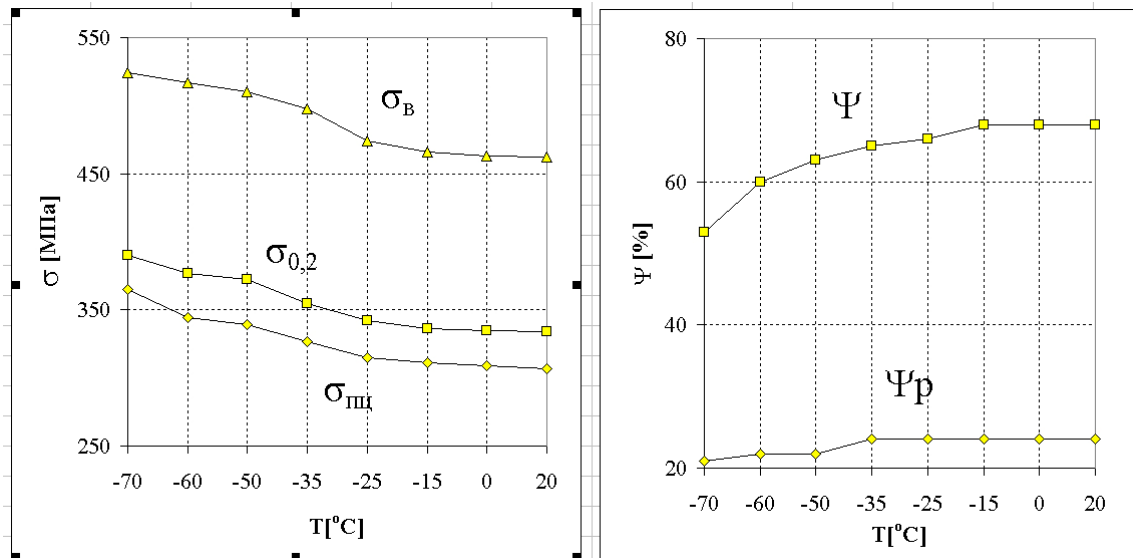


Рис.2. Температурная зависимость механических свойств стали 09Г2С.

Работа выполнена в рамках РФФИ 06-08-00704-а, при поддержке программ РАН ОХНМ-03 и «Фонда содействия отечественной науке».

Литература

1. Горицкий В.М., Встовский Г.В. // Безопасность труда в промышленности, 1997, №4, С.55-56.
2. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994, 384 с.
3. Иванова В.С., Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Пименов В.Н. Мультифрактальный метод тестирования устойчивости структур в материалах. Интерконтакт "Наука", 2000.
4. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф. Методология мультифрактальной параметризации структур материалов. Вестник ВГУ, серия Материаловедение, 1999 вып. 1, 6, С.46-52