

УДК 669.01:539.4;539.2

А.В. ШИЯН, канд. физ.-мат. наук

старший научный сотрудник отдела физики прочности и разрушения¹

E-mail: meshkov100@gmail.com

Ю.Я. МЕШКОВ, член-корр. НАН Украины, д-р техн. наук

главный научный сотрудник отдела физики прочности и разрушения¹

E-mail: shyian_av@ukr.net

Е.Ф. СОРОКА

аспирант¹

E-mail: katerok@imp.kiev.ua

¹Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев, Украина

Статья поступила 29.08.2014.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

На основе концепции механической стабильности разработана расчетная методика, позволяющая прогнозировать величину критических температур хрупкости T_c или T_0 от действия разных концентраторов напряжений в условиях одноосного растяжения и статического изгиба для широкого круга конструкционных сталей, используя при этом только результаты стандартных испытаний на одноосное растяжение. Проведена оценка точности предлагаемой методики.

Ключевые слова: хрупкая прочность, концентраторы напряжений, механическая стабильность, охрупчиваемость, конструкционное качество

Введение. Известно, что разные конструкционные стали (КС) обладают различной реакцией на присутствие в изделиях соответствующего концентратора напряжений (КН), например, трещины или надреза, что означает различную чувствительность к эффекту охрупчивания [1]. Поэтому оценка их склонности к охрупчиванию в виде определенного показателя соответствующего механического свойства может представляться вполне актуальной задачей материаловедения. При этом следует заметить, что традиционные показатели пластичности, вязкости или трещиностойкости непригодны для оценки самого эффекта охрупчивания, т. е. не допускают сравнения этих показателей для исходного состояния металла (т. е. не содержащего КН) и для его результирующего состояния, охрупченного присутствием трещины или надреза. Из сказанного следует, что для такого сравнения и, тем самым, оценки эффекта охрупчивания, необходимо использовать другое свойство металла, которое можно было бы корректно измерить как на гладком образце, так и на образце, содержащем КН.

Такую процедуру сравнения можно осуществить при измерении характеристики так называемой «хрупкой прочности», т. е. прочности металла, в момент его перехода в хрупкое состояние [1, 2]. Тогда путем сравнения величины хрупкой прочности R_x , полученной в результате испытаний стандартных гладких образцов на одноосное растяжение при температуре вязко-хрупкого перехода $T_{в-х}$, и зна-

чения также хрупкой прочности $\sigma_{0,2c}$, полученного в результате испытаний при критической температуре вязко-хрупкого перехода T_c или T_0 образцов с КН, можно получить количественную меру эффекта охрупчивания данной КС под действием определенного надреза, например, в виде отношения R_x/σ_{2c} .

В работе [1] показано, что охрупчивание металлов, означающее определенную потерю части пластичности, можно рассматривать как следствие потери определенной части механической стабильности K_{msc} , определяемой при критической температуре T_c или T_0 в условиях концентрации напряжений. Таким образом, разработка методики оценки эффекта охрупчивания КС при наличии КН путем расчетного определения критических параметров: прочности металла σ_{2c} при критической деформации $\epsilon_c \approx 2\%$, механической стабильности K_{msc} и температуры T_c или T_0 является важной и актуальной. Особенно привлекательной стороной такой методики может стать возможность прогнозирования величин указанных критических параметров с использованием только базовых механических характеристик КС — условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, предела прочности σ_B и относительного сужения образца после разрыва ψ_K , полученных по результатам испытаний на одноосное растяжение стандартных гладких образцов.

Методика расчетного определения степени охрупчивания КС. Для разработки расчетной методики были

использованы результаты исследований достаточно большого для корректной статистической обработки набора КС, полученные в работе [3] и прошедшие предварительный анализ в рамках концепции механической стабильности металлов в работе [1] для гладких образцов и образцов с двумя типами КН (кольцевым надрезом с радиусом $r = 0,25$ мм и углом раскрытия $w = 45^\circ$ — далее КН типа К1), испытанных на одноосное растяжение, и усталостной трещиной (далее КН типа К2), испытанных на статический трехточечный изгиб.

Количественная интерпретация категории качества по признаку сопротивляемости хрупкости металла впервые была предложена в работе [4], где введен параметр меры оптимальности (механического качества) μ_{Kms}^σ по механической стабильности K_{ms} при заданной прочности $\sigma_{0,2}$ в виде отношения:

$$\mu_{Kms}^\sigma = K_{ms} / K_{ms}^{\text{опт.}}, \quad (1)$$

где $K_{ms}^{\text{опт.}}$ — оптимальное (наивысшее) значение механической стабильности КС при заданной прочности $\sigma_{0,2}$ на кривой оптимизации [1].

Соответственно, для количественной оценки качества металла, охрупченного действием КН, целесообразно использовать меру качества μ_{Kmsc}^σ по механической стабильности K_{msc} при значении прочности $\sigma_{0,2c}$, полученной в условиях концентрации напряжений при критической температуре вязко-хрупкого перехода T_c или T_0 , в виде отношения:

$$\mu_{Kmsc}^\sigma = K_{msc} / K_{msc}^{\text{опт.}}, \quad (2)$$

где $K_{msc}^{\text{опт.}}$ — оптимальное (наивысшее) значение механической стабильности КС при заданной прочности $\sigma_{0,2c}$ на кривой оптимизации.

В [5] были получены зависимости $K_{ms}^{\text{опт.}} = f(\alpha_{0,2})$ для обоих видов поведения механических характеристик КС (понятие о видах поведения механических характеристик КС и условия их разделения на два вида (т. е. видовой принадлежности КС) сформулированы в работе [1]):

- для КС 1-го вида:

$$K_{ms}^{\text{опт.}} = a \cdot \ln \left[b + c / (1 + d \cdot \sigma_{0,2})^m \right], \quad (3)$$

где $a = -0,476$; $b = 2,87 \cdot 10^{-3}$; $c = 2,37 \cdot 10^{-3}$; $d = 5,40 \cdot 10^{-4}$ [МПа $^{-1}$]; $m = -4,673$ — эмпирические коэффициенты;

- для КС 2-го вида используют зависимость (3) с эмпирическими коэффициентами:

$$\begin{aligned} a &= -0,392; b = 1,60 \cdot 10^{-4}; c = 1,28 \cdot 10^{-5}; \\ d &= 6,72 \cdot 10^{-3} \text{ [МПа}^{-1}\text{]}; m = -2,886. \end{aligned} \quad (4)$$

Для получения зависимостей оптимального значения прочности $\sigma_2^{\text{опт.}}$ от условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ брали значения прочности σ_2 при критической деформации $e_c \approx 2\%$ для оптимизированных (наилучших) КС, используемых в [5] для построения кривых оптимизации. Анализ показал,

что зависимости $\sigma_2^{\text{опт.}} = f(\sigma_{0,2})$ аппроксимируются экспоненциальной функцией вида:

$$\sigma_2^{\text{опт.}} = A_{1,2} \cdot \exp(\sigma_{0,2} / B_{1,2}) - C_{1,2}, \quad (5)$$

где для КС 1-го вида: $A_1 = 5191,4$; $B_1 = 6144,3$; $C_1 = 5034,1$; а для КС 2-го вида: $A_2 = 5585,0$; $B_2 = 6519,3$; $C_2 = 5379,8$ — эмпирические коэффициенты.

Соответственно, для определения показателей $K_{msc}^{\text{опт.}}$ и $\sigma_2^{\text{опт.}}$, в зависимости (3)–(5) вместо значений прочности $\sigma_{0,2}$ следует подставлять значения критической прочности $\sigma_{0,2c}$ при T_c или T_0 .

В основу методики расчетного определения параметра охрупчиваемости КС положены закономерности изменения конструкционного качества металла в виде показателя отношения двух мер качества $\mu_{Kmsc}^\sigma / \mu_{Kms}^\sigma$ от отношения соответствующих двух показателей механической стабильности K_{msc} / K_{ms} , характеризующих металл при двух видах испытаний — с КН и без КН. Эти закономерности по своей сути являются закономерностями структурно-механического охрупчивания КС, а при их построении важно учитывать возможность изменения или сохранения принадлежности КС к определенному начальному (при $T_{\text{исп.}} = 293$ К) виду поведения механических характеристик и конечному (при T_c или T_0) виду. Таким образом, формируется четыре возможных комбинации поведения механических характеристик (видовых переходов): 1-1, 2-2 — в случае сохранения начального (без КН) вида КС (1-го или 2-го) в конечных критических условиях (под воздействием КН); 1-2, 2-1 — в случае изменения начальной видовой принадлежности в конечных условиях (рисунок 1).

Аналитическое описание закономерностей структурно-механического охрупчивания КС достаточно громоздко и, поэтому, выходит за рамки настоящей работы. Заметим лишь, что для решения задачи по определению характеристик прочности металла ($\sigma_{0,2c}$, σ_{2c}) при критической температуре вязко-хрупкого перехода T_c или T_0 , была найдена связь показателя изменения конструкционной прочности КС при критической деформации $e_c \approx 2\%$ в виде отношения σ_2 / σ_{2c} с соответствующим показателем изменения условного предела текучести $\sigma_{0,2} / \sigma_{0,2c}$, нормированным на оптимальные значения прочности при $e_c \approx 2\%$ этого сплава в виде отношения $\sigma_2^{\text{опт.}} / \sigma_{2c}^{\text{опт.}}$ (рисунок 2).

Зависимости, представленные на рисунках 1 и 2, дают возможность получить систему уравнений, решение которой позволяет определять критические параметры прочности $\sigma_{0,2c}$ и σ_{2c} при T_c или T_0 . На рисунке 3 приведен пример определения параметра σ_{2c} для одной из исследуемых КС (хромо-никелевая сталь CrNi, обозначенная в [1, 3] буквой «Т» и имеющая следующие базовые механические характеристики: $\sigma_{0,2} = 396$ МПа, $\sigma_B = 628$ МПа, $\psi_K = 66,1\%$) путем решения следующей системы уравнений численными методами:

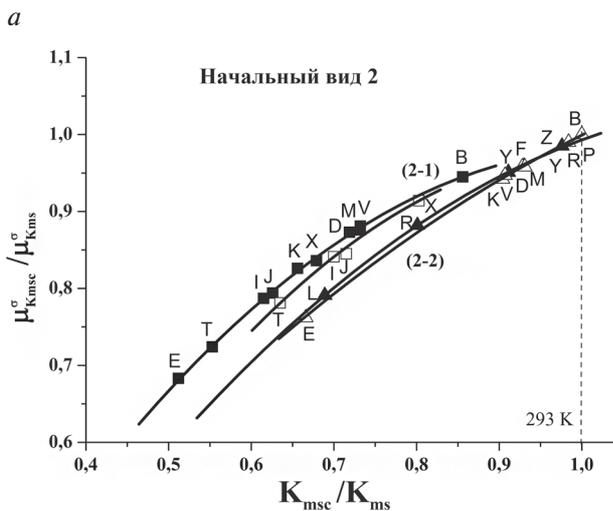
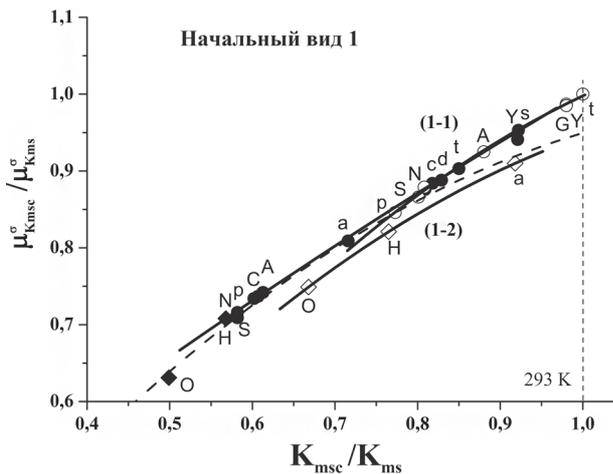


Рисунок 1 — Закономерности структурно-механического охрупчивания. Отношения мер качества $\mu_{Kmsc}^\sigma / \mu_{Kms}^\sigma$ от отношения соответствующих характеристик механической стабильности K_{msc} / K_{ms} для КС двух начальных видов поведения механических характеристик: *a* — 1-го вида; *b* — 2-го вида; экспериментальные данные (темные знаки — КН типа К1; светлые знаки — КН типа К2); 1-1, 1-2, 2-2, 2-1 — видовые переходы; сплошные линии — экспериментальные зависимости; штриховая линия — расчетная зависимость; латинские буквы — обозначение КС в [1, 3] и таблице)

$$A = K_{ms}^{\text{опт.}};$$

$$B = K_{msc}^{\text{опт.}} \cdot \sigma_{2C} \cdot (A + B \cdot X - C \cdot X^2) / \sigma_2, \quad (6)$$

где $X = \sigma_2 / \sigma_{2C}$; $\sigma_{2C} = \sigma_2 / (a + b \cdot Y - c \cdot Y^2)$; $Y = (\sigma_{0,2} - \sigma_{0,2C}) \cdot (\sigma_2^{\text{опт.}} / \sigma_{2C}^{\text{опт.}})$; *A, B, C, a, b, c* — эмпирические коэффициенты.

Зная расчетное значение характеристики σ_{2C} , можно по ее температурной зависимости для данной КС определить величину критической температуры хрупкости T_c или T_0 для образца с КН [1], используя при этом такие характеристики, как $\sigma_{0,2}$ и σ_2 для гладкого образца при $T_{\text{исп.}} = 293\text{ K}$, а также информацию о видовом переходе для данного сплава.

Методика определения принадлежности КС к данному виду по результатам испытаний гладких образцов на одноосное растяжение при $T_{\text{исп.}} = 293\text{ K}$

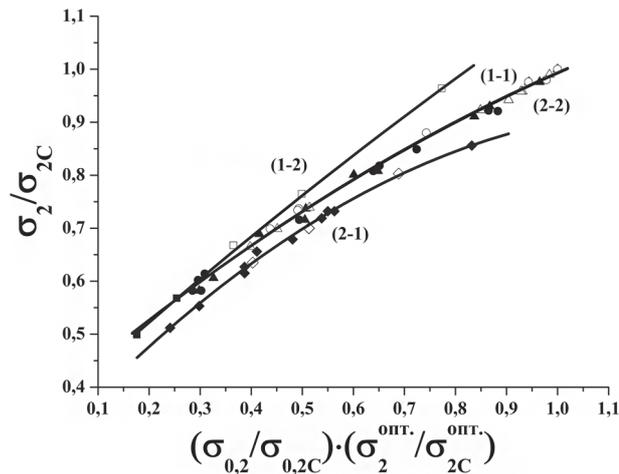


Рисунок 2 — Зависимости соотношения показателей прочности σ_2 / σ_{2C} при $e_c \approx 2\%$ с соотношением показателей условного предела текучести $\sigma_{0,2} / \sigma_{0,2C}$, нормированных на соответствующие оптимальные значения прочности при $e_c \approx 2\%$ для видовых переходов 1-1, 1-2, 2-2, 2-1

или при T_c (случай с КН типа К1) предложена в [6], однако для прогнозирования видовой принадлежности сплава при температурах T_c или T_0 в случае отсутствия таких результатов (например, в случае образцов с КН типа К2) необходим дополнительный анализ. Исходя из этого, требуется дополнительный способ для определения конечного (например, при T_0) вида сплава и, соответственно, в целом видового перехода. Такая методика основана на использовании особых характеристик критической прочности $\sigma_{0,2}^{\text{кр.}}$ и пластичности $\psi_{\text{К}}^{\text{кр.}}$, определяющих прочностные и деформационные условия разделения сплавов на виды [1, 6].

В результате анализа, проведенного в [6], была установлена зависимость $\sigma_{0,2}^{\text{кр.}} = f(K_{ms})$, использование которой в обращенном виде позволило описать связь граничного уровня механической стабильности K_{ms} , разделяющего КС на виды, с прочностью

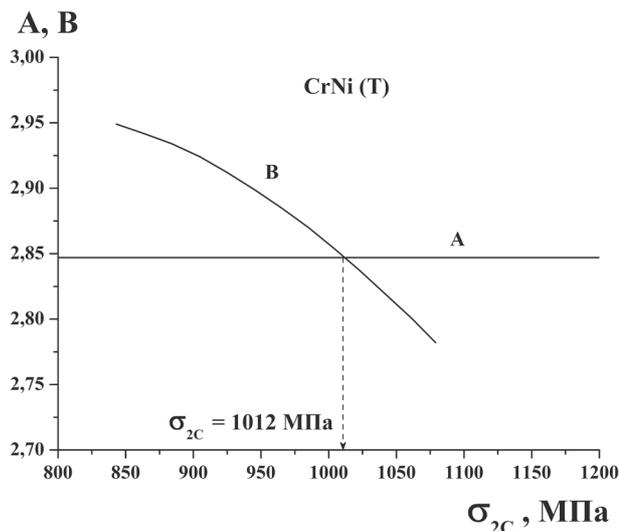


Рисунок 3 — Определение прочности σ_{2C} образца с КН из стали CrNi (Т) [1, 3] при критической температуре вязко-хрупкого перехода T_c в результате решения системы уравнений (6) численными методами

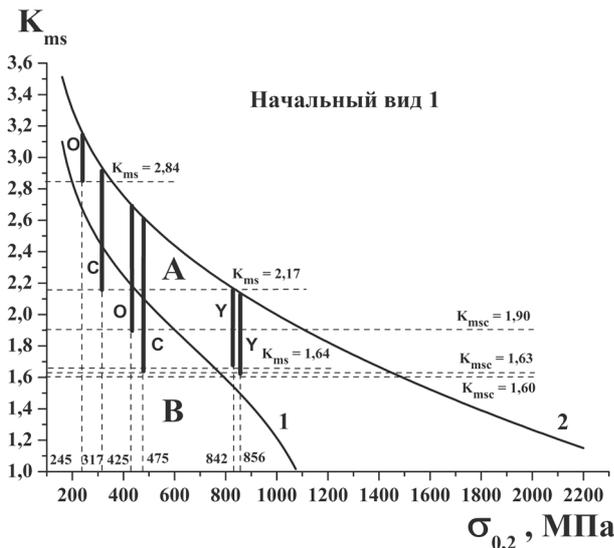


Рисунок 4 — Зависимости механической стабильности критического уровня K_{ms}^{kp} (кривая 1) и оптимальной K_{ms}^{opt} (кривая 2) от прочности $\sigma_{0,2}$ для определения видового перехода образцов начального 1-го вида КС, содержащих КН: *A, B* — области изменения конструкционного качества; «*O*», «*C*», «*Y*» — исследуемые сплавы [1, 3]; темные полосы — отображение мер качества μ_{Kms}^σ , μ_{Kmsc}^σ по (1) и (2)

сплава $\sigma_{0,2}$. В такой интерпретации упомянутый уровень K_{ms} целесообразно назвать критическим — K_{ms}^{kp} :

$$K_{ms}^{kp} = \lg \left[b / (\sigma_{0,2} - a) - 1 \right] - c, \quad (7)$$

где $a = 107,40$; $b = 1128,80$; $c = 1,79$.

Принцип определения видового перехода выбранного сплава представлен на рисунке 4 для КС 1-го начального вида.

На рисунке 4 приведены: зависимость (7) — кривая 1, которая является ключевой для определения видового перехода КС; зависимость (3) — кривая оптимизации 2, которая является опорной для определения мер качества сплава μ_{Kms}^σ , μ_{Kmsc}^σ и, поэтому, удобна для демонстрации изменения его конструкционного качества при воздействии КН. Из рисунка 4 следует, что видовой переход сплава зависит от изменения его конструкционного качества (структурно-механического охрупчивания) в условиях концентрации напряжений: сохранение вида сплава (видовой переход 1-1 или 2-2) происходит при условии, если уровни начальной $\mu_{Kms}^\sigma = K_{ms} / K_{ms}^{opt}$ и конечной $\mu_{Kmsc}^\sigma = K_{msc} / K_{msc}^{opt}$ мер качества по механической стабильности при заданной прочности, соответственно $\sigma_{0,2}$ и $\sigma_{0,2c}$, находятся в одной и той же области изменения конструкционного качества — выше *A* (случай «*Y*») или ниже *B* (случай «*C*») критического уровня, обусловленного зависимостью $K_{ms}^{kp} = f(\sigma_{0,2})$. Другими словами, обе указанные меры качества \geq или $<$ соответствующих мер $\mu_{Kms}^\sigma = K_{ms}^{kp} / K_{ms}^{opt}$ и $\mu_{Kmsc}^\sigma = K_{msc}^{kp} / K_{msc}^{opt}$ при тех же соответствующих уровнях прочности $\sigma_{0,2}$ и $\sigma_{0,2c}$. В этих случаях не происходит изменения уровня конструкционного качества сплава в результате воздействия КН (видовые переходы 1-1 или 2-2). Если же

уровни начальной и конечной мер качества находятся в разных областях *A* и *B* (случай «*O*»), то такое изменение происходит, что приводит к изменению конечного вида сплава (видовые переходы 1-2 или 2-1) (см. рисунок 4).

Суть способа прогнозирования видового перехода механического поведения КС в условиях концентрации напряжений (т. е. при критической температуре хрупкости T_c или T_0) заключается в следующем:

1) принцип определения конечного вида механического поведения КС не зависит от способа определения критической температуры хрупкости (T_c , T_0 и т. п.) и начального вида сплава при $T_{исп.} = 293$ К; 2) проводят расчет характеристик $\sigma_{0,2c}$, σ_{2c} и K_{msc} для видового перехода 1-1 или 2-2 в зависимости от начального вида механического поведения сплава, определенного согласно методике [6];

3) если по результатам расчета имеем $K_{ms} \geq K_{ms}^{kp}$ и $K_{msc} \geq K_{msc}^{kp}$ (см. случай «*Y*» на рисунке 4) или $K_{ms} < K_{ms}^{kp}$ и $K_{msc} < K_{msc}^{kp}$ (см. случай «*C*» на рисунке 4), то видовая принадлежность сплава сохранилась, т. е. конечный вид механического поведения сплава соответствует начальному и расчет для видового перехода 1-1 или 2-2 верен;

4) если же по результатам расчета по п. 2 имеем $K_{ms} \geq K_{ms}^{kp}$, а $K_{msc} < K_{msc}^{kp}$ (см. случай «*O*» на рисунке 4), то видовая принадлежность сплава изменилась и расчет следует повторить для видового перехода 1-2 или, в случае принадлежности КС ко 2-му начальному виду — 2-1 (для случая $K_{ms} < K_{ms}^{kp}$, а $K_{msc} \geq K_{msc}^{kp}$ определение видового перехода проводится аналогично).

В заключение следует заметить, что область применения изложенных методик ограничивается температурным интервалом ≤ 293 К и диапазоном прочности $190 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 950 \text{ МПа}$ исследованных КС.

Оценка точности предлагаемой методики, обсуждение результатов. Результаты использования вышеизложенной методики для определения расчетных значений прочности $\sigma_{2c}^{расч.}$ при критических температурах хрупкости T_c и T_0 образцов с КН типа К1 и К2, соответствующих этим значениям прочности температур $T_c^{расч.}$ и $T_0^{расч.}$, определенным по температурным зависимостям данной КС [1], а также оценки точности методики представлены в таблице для ряда исследуемых КС [1, 3].

Из таблицы видно, что точность расчетного определения прочности металла $\sigma_{2c}^{расч.}$, при которой выборочный стандарт составляет: при воздействии КН типа К1 1,97 % с достоверностью 0,958 в доверительном интервале $\pm 4,0$ %, а при воздействии концентратора типа К2 3,06 % с достоверностью 0,950 в доверительном интервале $\pm 6,0$ %, достаточна для практического использования. При этом абсолютное отклонение расчетных значений критических температур хрупкости ΔT от экспериментальных для КН типа К1 не превышает ± 10 К, а для КН типа К2 —

Таблица — Результаты определения характеристик прочности $\sigma_{2C}^{расч.}(T_c)$, $\sigma_{2C}^{расч.}(T_0)$, критических температур хрупкости $T_c^{расч.}$, $T_0^{расч.}$ для КН типа К1, К2 и оценки точности предлагаемой методики

КС* [1, 3]	КН типа К1 (T_c)						КН типа К2 (T_0)					
	$\sigma_{2C}^{экс.}$, МПа	$\sigma_{2C}^{расч.}$, МПа	δ , %	$T_c^{экс.}$, К	$T_c^{расч.}$, К	ΔT , К	$\sigma_{2C}^{экс.}$, МПа	$\sigma_{2C}^{расч.}$, МПа	δ , %	$T_0^{экс.}$, К	$T_0^{расч.}$, К	ΔT , К
J	950	978	2,9	103	97	-6	832	861	3,5	148	133	-15
X	1042	1023	-1,8	93	99	6	882	886	0,5	158	154	-4
M	1095	1106	1,0	103	98	-5	860	874	1,6	242	230	-12
V	1090	1101	1,0	108	104	-4	882	869	-1,5	206	216	10
H	1115	1114	-0,1	78	78	0	828	861	4,0	153	140	-13
I	1047	1011	-3,4	68	78	10	920	893	-2,9	108	117	9
T	1012	1012	0,0	68	68	0	881	883	0,2	108	107	-1
A	446	452	1,3	173	170	-3	311	329	5,8	261	245	-15
C	720	723	0,4	98	97	-1	584	569	-2,6	148	156	8
E	880	873	-0,8	78	81	3	677	686	1,3	143	141	-2
N	609	635	4,3	123	114	-9	454	478	5,3	198	182	-15
O	764	752	-1,6	103	107	4	570	583	2,3	173	162	-11
p	688	678	-1,5	98	101	3	518	520	0,4	170	166	-4
S	663	655	-1,2	108	109	1	482	500	3,7	188	176	-12
P	1336	1319	-1,3	168	178	10	1237	1238	0,1	263	256	-7

Примечание: * — латинские буквы — обозначение С в [1, 3]; δ — погрешность расчетного определения прочности $\sigma_{2C}^{расч.}$ относительно экспериментального значения $\sigma_{2C}^{экс.}$; ΔT — абсолютное отклонение расчетных значений $T_c^{расч.}$, $T_0^{расч.}$ от экспериментальных $T_c^{экс.}$ и $T_0^{экс.}$; КС: «J» — 10Ch2MFA, о.б.; «X» — 15Ch2NMFAA, о.б.; «M», «V» — 20CrNiMoV, о.б.; «H» — CrMoV, о.б.; «I», «T» — CrNi, о.б.; «A» — Fe, ф.; «C», «E», «N», «O», «p», «S» — FeMn, ф.; «P» — Lo8CrNiM, о.б.; о.б. — отпущенный бейнит; ф. — феррит; б. — бейнит

± 15 К, что также является достаточно высоким показателем точности для использования на практике.

Важно также отметить, что точность регрессии базовых расчетных закономерностей $\mu_{Kmsc}^\sigma / \mu_{Kms}^\sigma = f(K_{msc} / K_{ms})$ и $\sigma_2 / \sigma_{2C} = f[(\sigma_{0,2} / \sigma_{0,2C}) \times (\sigma_2^{опт.} / \sigma_{2C}^{опт.})]$, при которой остаточная дисперсия не выше $3 \cdot 10^{-5}$, а коэффициент корреляции не ниже 0,996, позволяет считать эти зависимости функциональными.

Авторы работы [3] ставили задачу установить корреляционную зависимость между критическими температурами T_0 и T_c с целью заменить испытания образцов по методике Мастер кривой (T_0) [7] на более простые испытания в условиях растяжения образцов с КН типа К1 (T_c).

В настоящей работе показано, что та же цель может быть достигнута более простым, чисто расчетным путем, исходя лишь из известных величин базовых механических свойств КС $\sigma_{0,2}$, σ_B и ψ_K на основе ранее разработанных методов расчета характеристик R_x и K_{ms} [8], а также предлагаемой в настоящей работе

методике расчета критических значений характеристик прочности $\sigma_{0,2C}$, σ_{2C} при T_c или T_0 и, соответственно, самих значений температур T_c или T_0 .

Заключение. Для определения значения критической температуры хрупкости T_c или T_0 образца конструкционной стали, содержащего концентратор напряжений определенной геометрии и находящегося в данных условиях напряженно-деформированного состояния (НДС), достаточно знать величины условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и прочности σ_2 при критической степени деформации $e_c \approx 2\%$, определяемые по результатам испытаний гладких образцов на одноосное квазистатическое растяжение при $T_{исп.} = 293$ К, а также информацию о видеом переходе для данного сплава. При этом необходимо также знать закономерности структурно-механического охрупчивания КС для данной геометрии КН и данных условий НДС.

Авторы выражают надежду, что предлагаемая ими новая методика определения критических параметров прочности и механической стабильности, а также критической температуры хрупкости в условиях

концентрации напряжений станет полезным дополнением к применяемому ныне арсеналу методов оценки сопротивляемости конструкционных сталей хрупкости и, тем самым, будет способствовать повышению эксплуатационной надежности стальных изделий, конструкций и сооружений, нередко несущих в себе те или иные концентраторы напряжений.

Список условных обозначений:

КС — конструкционные стали;
 КН — концентраторы напряжений;
 К1, К2 — типы концентраторов напряжений;
 НДС — напряженно-деформированное состояние.

Список литературы

1. Мешков, Ю.Я. Проблема хрупкости конструкций // Механика машин, механизмов и материалов / Ю.Я. Мешков, А.В. Шиян. — 2015. — № 1. — С. 30–36.
2. Котречко, С.А. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции / С.А. Котречко, Ю.Я. Мешков. — Киев: Наук. думка, 2008. — 295 с.
3. Smida, T. Prediction of fracture toughness temperature dependence from tensile test parameters / T. Smida, J. Babjak, I. Dlouhy // Kovove Mater. — 2010. — 48. — Pp. 1–8.
4. Новый подход к оценке качества конструкционных сталей / Ю.Я. Мешков [и др.] // Сталь. — 2012. — № 8. — С. 66–71.
5. Шиян, А.В. Взаимосвязь свойств прочности, пластичности и механической стабильности конструкционных сталей / А.В. Шиян [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2013. — № 4. — С. 12–30.
6. Методические основы оценки качества конструкционных сталей по их способности сопротивляться хрупкому разрушению при одноосном растяжении / А.В. Шиян [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2014. — № 2. — С. 5–28.
7. ASTM E 921: Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range. — 2005.
8. Шиян, А.В. Определение характеристик хрупкой прочности и механической стабильности конструкционных сталей / А.В. Шиян // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2012. — № 3–4. — С. 29–56.

SHYIAN Artur V., Cand. Phys.-Math. Sc.

Senior Researcher, Department of Physics of Strength and Fracture¹

E-mail: shyian_av@ukr.net

MESHKOV Yuriy Ya., Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Dr. Techn. Sc.

Chief Researcher, Department of Physics of Strength and Fracture¹

E-mail: meshkov100@gmail.com

SOROKA Ekaterina F.

Graduate Student¹

E-mail: katerok@imp.kiev.ua

¹Kurdyumov Institute of Metal Physics, Ukrainian Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

Received 29 August 2014.

METHODOLOGICAL BASIS TO DETERMINE THE TRANSITION TEMPERATURE OF STEELS UNDER THE STRESS CONCENTRATION

Based on the concept of mechanical stability, the calculation technique is developed, which enables to predict the value of critical temperatures of brittleness T_c or T_0 depending on the effect of different stress raisers at uniaxial tension and static bending for wide range of structural steels. Only the findings of standard uniaxial tests are used at that. The accuracy of suggested technique is evaluated.

Keywords: brittle strength, stress raisers, mechanical stability, tendency to embrittlement, structural quality

References

1. Meshkov Yu.Ya., Shiyani A.V. Problema hrupkosti konstrukcij [The problem of brittleness of structures]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2015, no. 1, pp. 30–36.
2. Kotrechko S.A., Meshkov Yu.Ya. *Predel'naya prochnost'. Kristally, metally, konstruksii* [Limiting Strength of Crystals, Metals, and Structures]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2008. 295 p.
3. Smida T., Babjak J., Dlouhy I. Prediction of fracture toughness temperature dependence from tensile test parameters. *Kovove Mater*, 2010, no. 48, pp. 1–8.
4. Meshkov Yu.Ya., Kotrechko S.A., Shiyani A.V., Bol'shakov V.I., Nosenko O.P., Murashkin A.V. Novyj podhod k ocenke kachestva konstrukcionnyh stalej [Assessing the quality of structural steels]. *Stal'* [Steel], 2012, vol. 42, no. 8, pp. 663–668.
5. Shiyani A.V., Kotrechko S.A., Meshkov Yu.Ya. [et al.]. Vzaimosvjaz' svoystv prochnosti, plastichnosti i mehanicheskoi stabil'nosti konstrukcionnyh stalej [Relation between strength, ductility and mechanical stability of structural steels]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals], 2013, no. 4, pp. 12–30.
6. Shiyani A.V., Kotrechko S.A., Meshkov Yu.Ya. [et al.]. Metodicheskie osnovy ocenki kachestva konstrukcionnyh stalej po ih sposobnosti soprotivljat'sja hrupkomu razrusheniju pri odnoosnom rastjazhenii [Methodological principles for the assessment of quality of structural steels by their ability to resist brittle fracture at uniaxial tension]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals], 2014, no. 2, pp. 5–28.
7. ASTM E 921: Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range. 2005.
8. Shiyani A.V. Opredelenie harakteristik hrupkoj prochnosti i mehanicheskoi stabil'nosti konstrukcionnyh stalej [Determination of brittle strength and mechanical stability of structural steels]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals], 2012, no. 3–4, pp. 29–56.