

УДК 669.01:539.4;539.2

ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИОННОГО КАЧЕСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПО ИХ СПОСОБНОСТИ СОПРОТИВЛЯТЬСЯ ХРУПКОСТИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

ШИЯН А.В., к.ф.-м.н.

Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, бульвар Вернадского, 36, 02142, Киев, Украина, тел. +38 (044) 452-13-52, e-mail: shvian_av@ukr.net

Аннотация. *Цель.* Традиционно используемый в материаловедении подход к оценке охрупчивающего действия концентраторов напряжений в виде изменения показателя хладостойкости должен быть дополнен параметром, отражающим остаточный резерв этого свойства в применении к титановым сплавам. Для оценки такого резерва, как показателя конструкционного качества титановых сплавов, необходим количественный параметр, отражающий остаточную сопротивляемость металла хрупкости в условиях воздействия концентраторов напряжений. *Методика.* В рамках концепции механической стабильности предложен новый параметр для оценки конструкционного качества титановых сплавов – мера конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} по остаточной механической стабильности P_{ms} , отражающая их остаточный резерв сопротивления хрупкости в условиях концентрации напряжений. *Результаты.* На основе результатов собственных экспериментов проведен анализ изменения конструкционного качества ряда сплавов под воздействием двух типов концентраторов напряжений в условиях одноосного растяжения. Установлены последствия действия различных концентраторов напряжений на величину меры конструкционного качества титановых сплавов с различными уровнями начальной прочности и механической стабильности. *Научная новизна.* Установлено, что величина меры конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} является сложной функцией таких факторов, как видовой переход, начальная $\sigma_{0,2}$ и конечная $\sigma_{0,2c}$ прочность, начальная σ_2 и конечная σ_{2c} прочность при деформации $\epsilon_c \approx 2\%$ и имеет различные проявления с точки зрения сопротивляемости охрупчиванию под действием концентраторов напряжений. *Практическая значимость.* Степень отличия меры конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} (при наличии концентраторов напряжений) от меры исходного механического качества μ_{Kms}^{σ} (без концентраторов напряжений) является наглядным и количественным показателем изменения конструкционного качества титановых сплавов, позволяющим проводить их ранжировку по признаку остаточной сопротивляемости хрупкости в условиях концентрации напряжений.

Ключевые слова: хрупкая прочность; концентраторы напряжений; механическая стабильность; охрупчивание; конструкционное качество

ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНОЇ ЯКОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ЗА ЇХ ЗДІБНІСТЮ ОПИРАТИСЯ КРИХКОСТІ В УМОВАХ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ

ШИЯН А.В., к.ф.-м.н.

Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, бульвар Вернадського, 36, 02142, Київ, Україна, тел. +38 (044) 452-13-52, e-mail: shvian_av@ukr.net

Анотація. *Мета.* Підхід до оцінки окрихчуючої дії концентраторів напружень у вигляді зміни показника хладостійкості, що традиційно використовується в матеріалознавстві, повинен бути доповнений параметром, який відображає залишковий резерв цієї властивості у застосуванні до титанових сплавів. Для оцінки такого резерву, як показника конструкційної якості титанових сплавів, необхідний кількісний параметр, що відображає залишкову опірність металу крихкості в умовах дії концентраторів напружень. *Методика.* В межах концепції механічної стабільності запропонований новий параметр для оцінки конструкційної якості титанових сплавів – міра конструкційної якості μ_{Pms}^{σ} за залишковою механічною стабільністю P_{ms} , що відображає їх залишковий резерв опору крихкості в умовах концентрації напружень. *Результати.* На основі результатів власних експериментів проведено аналіз зміни конструкційної якості ряду сплавів під дією двох типів концентраторів напружень в умовах одновісного розтягнення. Встановлені наслідки дії різних концентраторів напружень на величину міри конструкційної якості титанових сплавів з різними рівнями початкової міцності і механічної стабільності. *Наукова новизна.* Встановлено, що величина міри конструкційної якості μ_{Pms}^{σ} є складною функцією таких факторів, як видовий перехід, початкова $\sigma_{0,2}$ і кінцева $\sigma_{0,2c}$ міцність, початкова σ_2 і кінцева σ_{2c} міцність при деформації $\epsilon_c \approx 2\%$ та має різні проявлення з точки зору опірності окрихченню під дією концентраторів напружень. *Практична значимість.* Ступінь відмінності міри конструкційної якості μ_{Pms}^{σ} (при наявності концентраторів напружень) від міри вихідної механічної якості

μ_{Kms}^{σ} (без концентраторов напряжений) с наочным та кількісним показником зміни конструкційної якості титанових сплавів, що дозволяє проводити їх ранжування за ознакою залишкової опірності крихкості в умовах концентрації напружень.

Ключові слова: крихка міцність, концентратори напружень, механічна стабільність, окрихчення, конструкційна якість

EVALUATION OF STRUCTURAL QUALITY TITANIUM ALLOYS FOR THEIR ABILITY TO RESIST THE FRAGILITY UNDER STRESS CONCENTRATION

SHIYAN A.V., *Cand. Sc.(Phys. and Math.)*

G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of NAS of the Ukraine, 36, Vernadsky av., 02142, Kyiv, Ukraine, phone: +38 (044) 452-13-52, e-mail: shvian_av@ukr.net

Abstract. Purpose. Traditionally used in materials science approach to the assessment of embrittling action of stress concentrators as a variation of the cold resistance should be supplemented by a parameter that reflects the residual reserve this property is applied to titanium alloys. To assess such a reserve, as an indicator of structural quality titanium alloy, it is necessary quantitative parameter reflecting the fragility of the residual resistance of the metal under conditions of stress concentrators. **Methodology.** Within the concept of the mechanical stability of a novel parameter for evaluating the quality of structural titanium alloys – measure of the structural quality μ_{Pms}^{σ} of the residual mechanical stability P_{ms} , reflecting their residual reserve fragility resistance under stress concentration.

Findings. Based on the results of our experiments analyzed structural changes in the quality of a number of alloys under the influence of two types of stress concentrators in uniaxial tension. Set effects, both hubs of different stresses on the structural measures of quality titanium alloys with different levels of initial strength and mechanical stability. **Originality.** It has been established that the value of structural quality measures μ_{Pms}^{σ} is a complex function of such factors as the species transition, initial $\sigma_{0,2}$ and final $\sigma_{0,2C}$ strength, initial σ_2 and final σ_{2C} strength at the critical degree of deformation of $e_c \approx 2\%$ and has various manifestations in terms of resistance to embrittlement under the influence of stress concentrators. **Practical value.** The degree of structural measures of quality μ_{Pms}^{σ} (if any stress concentrators) from the initial steps of the mechanical quality μ_{Kms}^{σ} (no stress concentrators) is a clear and quantitative indicators of structural changes in the quality of titanium alloys, allowing to perform their ranking on the residual resistance of fragility in terms of stress concentration.

Keywords: fragile strength, stress concentrators, mechanical stability, embrittlement, structural quality

Введение

Изложенный в работе [1] феноменологический подход к трактовке состояния хрупкости металла, разработанный на основе концепции механической стабильности и эффекта охрупчивания в результате воздействия различных факторов, в том числе концентраторов напряжений (КН), дал возможность установить, что в условиях концентрации напряжений три характеристики прочности: R_x – хрупкая прочность, σ_2 – прочность образца без КН при критической деформации $e_c \approx 2\%$ и σ_{2C} – прочность образца с КН при критической температуре вязко-хрупкого перехода T_c в различных состояниях формируют три различных параметра сопротивляемости хрупкости (механической стабильности) – K_{ms} , P_{ms} и K_{msc} , каждый из которых несет свою собственную функцию в сфере защиты металла от хрупкости:

K_{ms} – отражает общий (исходный) запас сопротивления хрупкости металла как такового:

$$K_{ms} = R_x / \sigma_2, \quad (1)$$

где: R_x – хрупкая прочность металла в условиях одноосного растяжения образца без КН;

P_{ms} – выявляет остаточный резерв сопротивления хрупкости металла, находящегося под действием КН:

$$P_{ms} = K_{ms} / K_{msc} = \sigma_{2C} / \sigma_2, \quad (2)$$

K_{msc} – является мерой охрупчиваемости металла и представляет собой часть запаса сопротивления хрупкости, потерянного в результате присутствия в образце КН:

$$K_{msc} = R_x / \sigma_{2C} \quad (3)$$

Исходя из этого, в работе [2] была разработана система оценки эффективности охрупчивающего действия КН на конструкционные титановые сплавы (КТС) с различным уровнем прочности $\sigma_{0,2}$, пластичности ψ_K и исходной механической стабильности K_{ms} в виде конкретной методологии.

Определенный интерес для инженерной практики может представлять также и методика оценки конструкционного качества КТС на основе показателя P_{ms} , отражающего остаточный резерв сопротивления хрупкости металла в условиях воздействия КН.

Цель

Целью данной работы является разработка методики оценки конструкционного качества конструкционных титановых сплавов на основе показателя остаточной механической стабильности P_{ms} , отражающего резерв сопротивления хрупкости металла в условиях воздействия концентраторов напряжений.

Методика

Разработку принципов оценки конструкционного качества КТС проводили на основе собственных экспериментальных данных, исследованных в работе [2]. При этом использовали данные испытаний на одноосное растяжение образцов с кольцевыми КН (радиус $r = 0,25$ мм.; угол раскрытия $w = 45^\circ$; внешний диаметр $D = 8$ мм., диаметр под КН $d = 5,2$ мм. – далее КН типа К1; $D = 12$ мм., $d = 8$ мм. – далее КН типа К2) и, соответственно, данные критических температур хрупкости T_c , полученные по условию деградации характеристики пластичности (относительного сужения в момент разрушения ψ_N образца с КН) до критического уровня $\psi_N \approx 2\%$ [1], а также данные испытаний гладких цилиндрических образцов при комнатной температуре испытаний (293 К) и температуре T_c . В работе использовали также характеристики и параметры, суть которых изложена в работах [1, 2].

Следует напомнить, что конструкционное качество КТС в части склонности к охрупчиванию под действием КН отражено в параметре охрупчиваемости K_{msc} , что в относительной мере выражается показателем $\mu_{K_{msc}}^\sigma = K_{msc} / K_{msc}^{omn.}$ [2], при этом, чем меньше $\mu_{K_{msc}}^\sigma$, тем меньше охрупчиваемость сплава и выше его качество по охрупчиваемости.

Поскольку согласно (2) характеристика остаточной механической стабильности есть отношение $P_{ms} = K_{ms} / K_{msc}$, можно для оптимизированных сплавов, по аналогии с параметрами $K_{ms}^{omn.}$ и $K_{msc}^{omn.}$ [2], определить величину оптимальной (наилучшей) величины остаточной механической стабильности сплава $P_{ms}^{omn.}$ в условиях концентрации напряжений в виде подобного соотношения:

$$P_{ms}^{omn.} = K_{ms}^{omn.} / K_{msc}^{omn.} \quad (4)$$

Таким образом, по аналогии с мерой механического качества $\mu_{K_{ms}}^\sigma$ по механической стабильности K_{ms} при заданной прочности $\sigma_{0,2}$ и мерой качества по охрупчиваемости $\mu_{K_{msc}}^\sigma$, т.е. по доле механической стабильности K_{msc} , потерянной в результате охрупчивания образца с КН, мерой конструкционного качества металла целесообразно назвать меру $\mu_{P_{ms}}^\sigma$ по доле остаточной механической стабильности P_{ms} ,

соотнесенной к ее оптимальной (наилучшей) величине $P_{ms}^{omn.}$, сохраненной после охрупчивания образца с КН:

$$\mu_{P_{ms}}^\sigma = P_{ms} / P_{ms}^{omn.} = (K_{ms} / K_{msc}) \cdot (K_{msc}^{omn.} / K_{ms}^{omn.}) = \mu_{K_{ms}}^\sigma / \mu_{K_{msc}}^\sigma \quad (5)$$

Таким образом, мера конструкционного качества КТС $\mu_{P_{ms}}^\sigma$ отражает степень превышения исходного уровня механического качества $\mu_{K_{ms}}^\sigma$ над качеством $\mu_{K_{msc}}^\sigma$, потерянным за счет охрупчиваемости, т.е. остаточное качество металла в условиях концентрации напряжений.

Научная новизна и практическая значимость

Здесь важно отметить, что согласно (5) величина параметра $\mu_{P_{ms}}^\sigma$ определяется не только начальной прочностью данного сплава $\sigma_{0,2}$ (через $K_{ms}^{omn.}$), но и его конечной прочностью $\sigma_{0,2c}$ (через $K_{msc}^{omn.}$ с заменой параметра $\sigma_{0,2}$ на $\sigma_{0,2c}$ [2]), поэтому верхний индекс в обозначении $\mu_{P_{ms}}^\sigma$ имеет вышеуказанный смысл, в отличие от соответствующего индекса в обозначении параметра $\mu_{K_{ms}}^\sigma$, где он носит смысл только заданной начальной прочности $\sigma_{0,2}$, а у параметра $\mu_{K_{msc}}^\sigma$ – конечной прочности $\sigma_{0,2c}$. Таким образом, согласно (5) указанное свойство параметра $\mu_{P_{ms}}^\sigma$ зависит от отношения конечной $\mu_{K_{msc}}^\sigma$ (с КН) и исходной $\mu_{K_{ms}}^\sigma$ (без КН) мер качества КС – чем ближе величина $\mu_{K_{ms}}^\sigma / \mu_{K_{msc}}^\sigma$ к единице, тем ближе критическая температура хрупкости T_c к комнатной (293 К), а величина параметра $\mu_{P_{ms}}^\sigma \rightarrow 1$, что означает падение уровня качества сплава до его полной потери.

В работе [3] было установлено, что КТС можно разделить на два вида поведения механических характеристик в зависимости от типа экстремума (минимум или максимум) на параболических зависимостях $\psi_K = f(\sigma_{0,2})$ при условии $K_{ms} = \text{const}$, которые описывают взаимосвязь свойств «пластичность – прочность – механическая стабильность» этих сплавов, а в работе [2] было введено понятие видового перехода (ВП), отражающее сохранение или изменение принадлежности сплава определенному виду в конечном состоянии (с КН при критической температуре хрупкости T_c) по отношению к начальному состоянию (без КН при 293 К). При этом следует помнить, что переход сплава из 1-го вида во 2-ой (видовой переход 1-2) при условии $\sigma_{0,2} > \sigma_{0,2}^{кр.}$ (где $\sigma_{0,2}^{кр.}$ – критическая величина прочности, определяющая условие разделения сплавов на виды [1, 3]) отражает повышение степени его

о хрупчиваемости K_{msc} и свидетельствует о существенной потере пластических свойств ψ_K , что, естественно, ведет к снижению уровня остаточной механической стабильности P_{ms} . В итоге, это приводит к снижению меры конструкционного качества μ_{Pms}^σ по (5) и отражает снижение качества сплава, находящегося под действием КН. Если же видовой переход 1-2 происходит при условии $\sigma_{0,2} \leq \sigma_{0,2}^{кр.}$ (характерно для КТС низкой прочности), то имеет место обратная ситуация – уровень P_{ms} растет, а параметр μ_{Pms}^σ по (5) отражает повышенное качество КТС в условиях концентрации напряжений. Подобным образом трактуется видовой переход 2-1, с тем лишь отличием, что происходит обратная ситуация: при $\sigma_{0,2} > \sigma_{0,2}^{кр.}$ (характерно для КТС средней и высокой прочности) параметры P_{ms} и μ_{Pms}^σ растут, что отражает повышение качества сплава, находящегося под действием КН, а при $\sigma_{0,2} \leq \sigma_{0,2}^{кр.}$ имеет место падение качественных показателей, что связано со снижением величин параметров P_{ms} и μ_{Pms}^σ . Конкретные примеры таких сложных, но связанных между собой изменений свойств сплавов, находящихся в различных условиях (без КН и под действием КН), будут рассмотрены ниже.

Результаты

На рис. 1 представлена общая схема изменения характеристик механической стабильности K_{ms} , P_{ms} и меры конструкционного качества μ_{Pms}^σ наиболее показательных из исследованных в [2] КТС под воздействием КН – типа К1 и К2 в условиях одноосного растяжения, а также некоторые зависимости, необходимые для анализа.

Для удобства анализа сплавы на рис. 1 обозначены буквенными символами согласно [2], а в табл. 1 приведены значения их характеристик механической стабильности K_{ms} , K_{msc} и P_{ms} , а также меры конструкционного качества μ_{Pms}^σ по (5).

Анализ результатов исследований КТС, представленных на рис. 1 и в табл. 1, показал, что, как и в случае с КС [3], мера конструкционного качества μ_{Pms}^σ по (5) является сложной функцией таких факторов, как ВП, начальная $\sigma_{0,2}$ и конечная $\sigma_{0,2c}$ прочность, начальная σ_2 и конечная σ_{2c} прочность при деформации $\epsilon_c \approx 2\%$ и имеет различные проявления с точки зрения сопротивляемости охрупчиванию под действием КН:

– КТС «б» и «с» являются наилучшими по показателю K_{ms} при примерно одинаковых уровнях начальной прочности $\sigma_{0,2}$ в условиях отсутствия КН [2]. Последствия действия КН типа К2 на эти сплавы различны – сплав «с» остается в ряду высококачественных, тогда как для сплава «б» эти

действия являются более действенными и переводят его на более низкий уровень остаточной механической стабильности по показателю $P_{ms} = 2,212$. При этом, показатели конструкционного качества для обоих сплавов находятся на достаточно высоком уровне, а повышенная величина $\mu_{Pms}^\sigma = 1,91$ для сплава «б» в сравнении с $\mu_{Pms}^\sigma = 1,74$ для сплава «с» объясняется значительно меньшим значением критической прочности этого КТС (сравнить $\sigma_{0,2c} = 677$ МПа для «б» и $\sigma_{0,2c} = 987$ МПа для «с») – показано пунктирными стрелками на рис. 1;

– КТС «д», «е» и «м» имеют достаточно высокий (но не высший) уровень K_{ms} в условиях отсутствия КН, но только сплавы «д» и «е» после действия КН типа К1 сохраняют определенный уровень остаточной механической стабильности $P_{ms} = 1,027 \div 1,054$ и конструкционного качества $\mu_{Pms}^\sigma = 1,02$ тогда, как влияние более «жесткого» КН типа К2 на сплав «м» является пагубным и приводит к полной потере конструкционного качества до уровня $\mu_{Pms}^\sigma = 1,0$ (показано пунктирными стрелками на рис. 1);

– высокопрочный сплав «п» с высоким уровнем механического качества при отсутствии КН в достаточной мере сохраняет уровень остаточной механической стабильности по P_{ms} и уровень конструкционного качества по μ_{Pms}^σ под действием КН типа К2, что выводит его на лидирующую позицию по свойству сопротивляемости охрупчиванию в выборке исследованных КТС (показано пунктирными стрелками на рис. 1).

Таблица 1

Значения характеристик механической стабильности K_{ms} , K_{msc} , P_{ms} и меры конструкционного качества μ_{Pms}^σ при воздействии КН типа К1 и К2 для КТС / Characteristic values of mechanical stability K_{ms} , K_{msc} , P_{ms} and measures of structural quality μ_{Pms}^σ under the influence of stress concentrators types K1 and K2 for titanium alloys

Тип КН	Параметр	Обозначение в [2]					
		b	c	d	e	m	n
гладкий образец (при 293 К)	K_{ms}	2,385	2,631	1,56 5	1,71 6	1,58 3	2,007
К1 (при T_c)	K_{msc}	--	--	1,52 4	1,62 8	--	--
К2 (при T_c)		1,078	1,062	--	--	1,58 3	1,407
К1 (при T_c)	P_{ms}	--	--	1,02 7	1,05 4	--	--
К2 (при T_c)		2,212	2,477	--	--	1,0	1,426
К1 (при T_c)	μ_{Pms}^σ	--	--	1,02	1,02	--	--
К2 (при T_c)		1,91	1,74	--	--	1,0	1,25

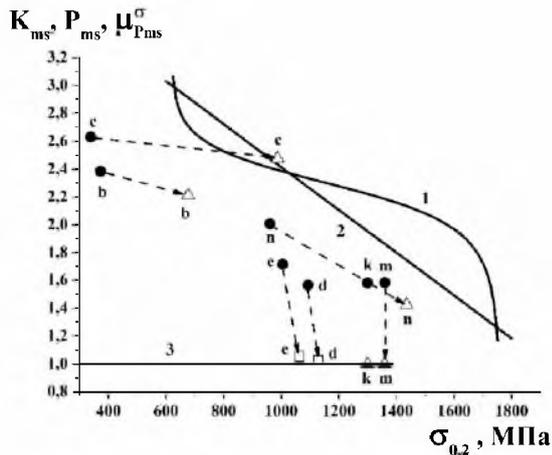


Рис. 1. Зависимости от прочности $\sigma_{0,2}$: 1 – оптимальных значений механической стабильности K_{ms}^{om} для КТС 1-го вида; 2 – та же для КТС 2-го вида; 3 – нижняя граница меры конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} под действием КН типа К2; латинские буквы – обозначения КТС в [2] и табл. 1; пунктирные стрелки – траектории изменения конструкционного качества КТС; экспериментальные данные: ● – $(\sigma_{0,2}, K_{ms})$ без действия КН; □ – $(\sigma_{0,2C}, P_{ms})$ под действием КН типа К1; Δ – $(\sigma_{0,2C}, P_{ms})$ под действием КН типа К2 /

Depending on the strength $\sigma_{0,2}$: 1 – ptimal values for the mechanical stability K_{ms}^{om} of titanium alloys 1st species; 2 – the same for the titanium alloys of the 2nd species; 3 – the lower limit of the structural measures of quality μ_{Pms}^{σ} under the influence of stress concentrator type K2; letters – indications of titanium alloys in [2] and Table 1; dotted arrows – change the trajectory of structural quality; Experimental data: ● – $(\sigma_{0,2}, K_{ms})$ without stress concentrators; □ – $(\sigma_{0,2C}, P_{ms})$ with stress concentrators type K1; Δ – $(\sigma_{0,2C}, P_{ms})$ with stress concentrators type K2

Проведенный анализ позволил обозначить границу, которая характеризует нижний предельный уровень конструкционного качества КТС по показателю μ_{Pms}^{σ} в условиях действия концентрации напряжений для области изменения прочности в исследованном интервале $313 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 1359 \text{ МПа}$ под действием КН типа К2 – это постоянный нижний предельный уровень (кривая 3 на рис. 1):

$$\mu_{Pms}^{\sigma} = \text{const} = 1, \quad (6)$$

который обуславливает равенство $T_c = 293 \text{ К}$.

Исходя из вышесказанного, наивысшими величинами конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} в исследованной выборке КТС обладают следующие сплавы под действием КН типа К1: низкой прочности – «b» ($\sigma_{0,2} = 373 \text{ МПа}$) и высокопрочный «n» ($\sigma_{0,2} = 961 \text{ МПа}$).

В заключение важно подчеркнуть, что традиционно используемый в материаловедении подход к оценке охрупчивающего действия КН на металл в виде изменения температуры вязко-

хрупкого перехода T_c или в виде изменения показателя хладостойкости ($\Delta T = T_k - T_c$, где T_k – комнатная температура [4]) может быть дополнен изложенным выше анализом изменения количественной характеристики конструкционного качества μ_{Pms}^{σ} . Степень отличия параметра P_{ms} (с КН) от параметра K_{ms} (без КН) является не только наглядной, но и количественной мерой особого механического свойства КТС – свойства охрупчиваемости от действия КН, равно как и степень отличия меры конструкционного качества μ_{Kms}^{σ} (без КН) является наглядным и количественным показателем изменения конструкционного качества КТС, позволяющим проводить их ранжировку по остаточной сопротивляемости хрупкости в условиях концентрации напряжений.

Выводы

1. Для оценки категории качества конструкционных титановых сплавов в различных условиях неоднородных силовых полей предложены три количественных параметра:

μ_{Kms}^{σ} – мера исходного механического качества по механической стабильности K_{ms} , соотнесенной с оптимальной величиной K_{ms}^{om} , при заданной прочности $\sigma_{0,2}$;

μ_{Kmsc}^{σ} – мера качества по охрупчиваемости, отражающая долю механической стабильности K_{msc} , потерянной в результате охрупчивания образца с концентратором напряжений, соотнесенную с оптимальной величиной этого показателя K_{msc}^{om} . В отличие от меры исходного механического качества μ_{Kms}^{σ} , мера качества по охрупчиваемости μ_{Kmsc}^{σ} содержит противоположный смысл – качество сплава по охрупчиваемости тем выше, чем меньше показатель μ_{Kmsc}^{σ} ;

μ_{Pms}^{σ} – мера конструкционного качества, отражающая долю механической стабильности P_{ms} , сохраненную после охрупчивания образца с концентратором напряжений, соотнесенную с оптимальной (наилучшей) величиной этого показателя P_{ms}^{om} .

2. Мера конструкционного качества сталей μ_{Pms}^{σ} является сложной функцией таких факторов, как видовой переход, начальная $\sigma_{0,2}$ и конечная $\sigma_{0,2C}$ прочность, начальная σ_2 и конечная σ_{2C} прочность при деформации $\epsilon_c \approx 2 \%$.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES**

1. Механическая стабильность металлов и сплавов / Мешков Ю.Я., Котречко С.А., Шиян А.В. – К.: Наукова думка, 2014. – 278 с.

Meshkov Yu.Ya., Kotrechko S.A., Shiyan A.V. Mehanicheskaya stabilnost metallov i splavov [The mechanical stability of metals and alloys]. Kiev, Naukova Dumka, 2014. 278 p.

2. Шиян А.В. Структурно-механическое охрупчивание титановых сплавов в условиях концентрации напряжений // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов.

Shiyan A.V. Strukturno-mechanicheskoe ohрупchivanie titanovyh splavov v usloviyah kontsentratsii napryazheniy [Structural and mechanical embrittlement of titanium alloys under conditions of stress concentration]. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, materials science, mechanical engineering].

3. Шиян А.В. Оценка качества конструкционных сталей по их способности сопротивляться хрупкому разрушению в условиях концентрации напряжений // Строительство,

материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 74, Серия «Стародубовские чтения 2014», – Днепропетровск, ПГАСА, 2014. – С. 8-15.

Shiyan A.V. Otsenka kachestva konstruktsionnyh staley po ih sposobnosti soprotivlytsya hrupkomu razrusheniyu v usloviyah kontsentratsii napryazheniy [Evaluation of the quality of structural steels by their ability to resist brittle fracture under stress concentration]. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, materials science, mechanical engineering]. In: Handbook of Scientific works. vol. 74 Series "Starodubovskie reading 2014", Dnepropetrovsk, DSACA, 2014, pp. 8-15.

4. Котречко, С.А. Пластичность и хладостойкость конструкционных сталей / С.А. Котречко, Ю.Я. Мешков, А.В. Шиян // Проблемы прочности. – 2010. – № 1. – С. 112–119.

Kotrechko S.A., Meshkov Yu.Ya., Shiyan A.V. Plastichnost i hladostoykost konstruktsionnyh staley [Ductility and cold resistance of structural steels]. Problemu prochnosti [Problems of Strength], 2010, no. 1, pp. 112–119.

Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); докт. техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015