

УДК 669.017:539.4:538.951-405

ПРОЧНОСТЬ КАК ОСНОВА КОНСТРУКЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

МЕШКОВ Ю.Я., *д.т.н., член-кор. НАН Украины,*

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

Аннотация. Цель. Разработать методологию рационального использования комплекса механических свойств как средства повышения конструкционной надежности металлов и сплавов в изделиях и сооружениях. **Методика.** Развитие оригинальной концепции силовой надежности конструкционных сплавов, основанной на понятии резервов прочности и силовой выносливости как особых показателей механических свойств, ответственных за сопротивление охрупчиванию сплавов в изделиях. **Результаты.** Проведен анализ параметров охрупчивания сталей 40 и 30ХГСА на образцах с кольцевым надрезом в зависимости от уровня прочности сталей. Установлено существенное различие в закономерностях охрупчивания и потери механической выносливости сталей, связанное с различием природы защитной функции резервов прочности и выносливости при воздействии концентраторов напряжений на сталях разного класса прочности. **Научная новизна.** Методология оценки охрупчиваемости сплавов на основе анализа резервов прочности является оригинальной. **Практическая значимость.** Адекватный учет резервов прочности и выносливости сталей позволит уменьшить риск хрупких разрушений изделий от действия трещин и концентраторов напряжений.

Ключевые слова: сталь; прочность; резерв прочности; надрез; трещина; надежность

МІЦНІСТЬ ЯК ОСНОВА КОНСТРУКЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ

МЕШКОВ Ю.Я., *д.т.н., член-кор. НАН України,*

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

Анотация. Мета. Розробити методологію раціонального використання комплексу механічних властивостей як засобу підвищення конструкційної надійності металів і сплавів у виробах і спорудах. **Методика.** Розвиток оригінальної концепції силовій надійності конструкційних сплавів, заснованої на понятті резервів міцності і силовій витривалості як особливих показників механічних властивостей, відповідальних за опір окрихченню сплавів у виробах. **Результати.** Проведено аналіз параметрів окрихчення сталей 40 і 30ХГСА на зразках з кільцевим надрізом залежно від рівня міцності сталей. Встановлено істотну відмінність в закономірностях окрихчення і втрати механічної витривалості сталей, пов'язану з розходженням природи захисної функції резервів міцності і витривалості при впливі концентраторів напружень на сталях різного класу міцності. **Наукова новизна.** Методологія оцінки окрихчення сплавів на основі аналізу резервів міцності є оригінальною. **Практична значимість.** Адекватний облік резервів міцності і витривалості сталей дозволить зменшити ризик крихких руйнувань виробів від дії тріщин і концентраторів напружень.

Ключові слова: сталь; міцність; резерв міцності; надріз; тріщина; надійність

STRENGTH AS THE BASIS OF STRUCTURAL RELIABILITY OF STEEL AND ALLOYS

MESHKOV Yu. Ya., *Dr. of Tech. Sci., Corresponding Member of NAS of the Ukraine*

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: kotr@imp.kiev.ua

Abstract. Task of the work. This research is aimed at development of a methodology for the efficient use of the set of mechanical properties as a mean to increase the structural reliability of metals and alloys in products and structures. **Technique.** The development of the novel conception of force reliability of structural alloys, which is based on the concept of both strength margins and strength endurance as special mechanical properties responsible for resistance to embrittlement of alloys in products, is offered. **Results.** Analysis of the parameters of embrittlement of steels 40 and 30KhGSA on specimens with circular notches depending on strength of these steels was executed. A significant difference in regularities of embrittlement and loss of mechanical endurance of steels, which is related to difference in the nature of protective function of both strength and endurance margins under the effect of

stress raisers on steels of different strength, was established. *Scientific novelty.* Methodology for assessment of susceptibility to embrittlement of alloys based on the analysis of strength margin is novel. *Practical importance.* Adequate accounting for both strength and endurance margin of steels will reduce the danger of brittle fracture of products due to cracks and stress raisers.

Keywords: steel; strength; reserve strength; notch; crack; reliability

Введение

Характеристики механических свойств конструкционных сталей и сплавов, выраженные в стандартных показателях их прочности ($\sigma_{0,2}$) и пластичности (ψ_k), даже будучи дополненными другими показателями механических свойств (ударная вязкость KCV , трещиностойкость K_{Ic} и др.), совершенно недостаточны для исчерпывающего суждения о потенциальных служебных возможностях материала в данной конкретной конструкции, поскольку наличие неучтенных локальных особенностей напряженно-деформированного состояния (НДС) в местах разного рода неоднородностей НДС вызывает опережающее истощение внутренних защитных ресурсов металла, в результате чего возникает угроза катастрофического разрушения изделия.

В этой связи очевидной становится необходимость выделения специальной категории механических характеристик металла, ответственных за особый ресурс защиты металла от пагубного воздействия неоднородностей НДС – категории резервных свойств, дополняющих традиционный парк ординарных или первичных механических показателей ($\sigma_{0,2}$, ψ_k , KCV , K_{Ic} и др.). Простейшей иллюстрацией к высказанному положению может служить пример такого материала, как обычное стекло. Любой стеклянный стержень имеет вполне определенную (и порой весьма немалую) прочность на сжатие или на строго осевое растяжение (без перекосов), но при малейшей неоднородности в НДС, например, при изгибе, стеклянный стержень обнаруживает катастрофическое падение прочности, что означает полное отсутствие у данного материала какой-либо конструкционной надежности. Очевидной причиной этого является отсутствие у стекла такого резерва прочности, который позволил бы компенсировать неоднородности напряжений, возникающих при изгибе стержня. Именно пластичность металлических материалов придает им определенный резерв прочности, что формирует у них соответствующий ресурс конструкционной надежности.

Цель

Задача состоит в том, чтобы определить показатель такого резервного свойства, выяснить его возможности и особенности проявления в условиях охрупчивающего воздействия на примере, таких «возбудителей» неоднородностей НДС, как кольцевые надрезы на цилиндрических образцах. Конструкционная надежность металлов и сплавов, используемых в современной технике, неизбежно, так или иначе, вырисовывается как конечная цель во всех материаловедческих разработках по улучшению механических свойств материалов.

Результаты

1. Прочность и резервы прочности сталей

На рис. 1 схематически изображена диаграмма растяжения металлического образца, из которой видно, что, в принципе, у любой стали всегда можно обнаружить два вида резервов: в упругой области нагружения назначенный запас по уровню нагружения металла, выражаемый коэффициентом запаса прочности $K_{3П}$:

$$K_{3П} = \frac{\sigma_{0,2}}{[\sigma]} \quad (1)$$

где $\sigma_{0,2}$ - условный предел текучести, $[\sigma]$ - допустимое (безопасное по расчету) напряжение металла.

Пластическая область диаграммы на рис. 1 от $\sigma_{0,2}$ до S_k представляет собой интервал уровней макроскопического нагружения, возможного лишь в аварийных условиях экстремальной перегрузки металла, но никогда не реализуемого в штатных условиях эксплуатации.

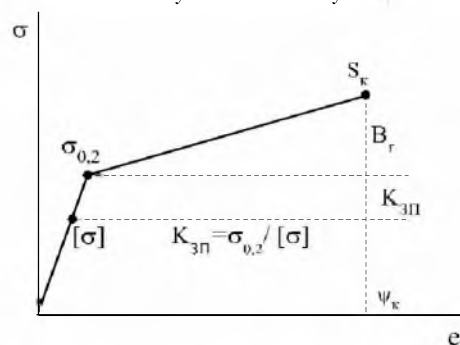


Рис. 1. Схематическое представление двух видов резервов свойств на диаграмме растяжения металла « $K_{3П}$ - запас прочности» по упругому нагружению образца: $B_r = S_k / \sigma_{0,2}$ - резерв по уровню механической выносливости при нагружении образца выше предела текучести $\sigma_{0,2}$ /

Schematic representation of the two types of properties on the diagram reserves stretch metal " $K_{3П}$ - a margin of safety" for elastic loading sample: $B_r = S_k / \sigma_{0,2}$ - reserve level of mechanical endurance during loading of the sample above the yield $\sigma_{0,2}$

Тем не менее, практическая ценность интервала $\sigma_{0,2} \dots S_k$, как характеристики резервных прочностных свойств несомненна, поскольку именно в нем заключается резерв силовой и пластической выносливости металла, способный «поглотить» возможные локальные пиковые перегрузки, создаваемые источниками разного рода неоднородностей НДС (надрезы, трещины, НДС изгиба и пр.).

Следовательно, отношение показателей прочности $S_k / \sigma_{0,2}$ может служить своеобразным индикатором силовой выносливости металла, отражающим его «компенсирующие» возможности в части противодействия вредному влиянию неоднородностей напряжений:

$$B_r = \frac{S_k}{\sigma_{0,2}} \quad (2)$$

При деформировании изгибом стальной балки или стержня в зоне хрупкого состояния металла излом не наступает ранее, чем растягивающее напряжение σ в крайнем волокне пластически деформированной зоны изделия достигнет предельного значения S_k , т.е. пока локально не будет исчерпан резерв силовой выносливости B_r , который в данном случае выявляет себя в качестве показателя особого механического свойства металла – сопротивления излому или *изломостойкости* (B_r - break resistance). Как видим, свойство изломостойкости металла

количественно характеризует его силовую выносливость подобно тому, как свойство предела усталости σ_{-1} характеризует циклическую выносливость металла при соответствующем виде нагружения.

Таким образом, в формулах (1) и (2) отражены два принципиально разных вида механического резерва - $K_{ЭП}$ представлен так называемый «запас прочности» как резерв допустимого нагружения ниже уровня $\sigma_{0,2}$, т.е. по недогрузке металла в упругой области нагружения; в параметре B_r , напротив, запас прочности по допустимой перегрузке изделия в пластической области выше предела текучести $\sigma_{0,2}$. Понятно, что эти два вида резервов имеют разный смысл, и разное практическое значение для обеспечения силовой надежности используемой стали. «Упругий запас» $K_{ЭП}$ по (1) практически не защищает изделий от действия концентраторов напряжений, тогда как изломостойкость B_r по (2) в этом отношении вполне эффективна, что будет подробно рассматриваться ниже. В ряду известных резервов механических свойств необходимо отметить еще одну характеристику – коэффициент механической стабильности металла K_{ms} [2, 3]:

$$K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_2} \quad (3)$$

Несмотря на внешнее сходство параметры B_r в (2) и K_{ms} в (3) по своему смыслу и содержанию различаются принципиально. B_r есть резерв по силовой нагрузке изделия, защищающий его от разрушения, K_{ms} - резерв по показателю возможного уровня прочности (σ_2) данного сплава, защищающий его от хрупкости. Защита от хрупкости и защита от разрушения – принципиально разные функциональные назначения свойства прочности у металлических материалов. Очень важно разобраться с защитными возможностями резервных механических свойств потому, что именно резервы механических свойств и, в частности, резервы прочностных свойств металлических сплавов под воздействием факторов НДС изделия формируют тот конечный продукт материаловедения, которым является так называемая «конструкционная прочность» металла в изделии.

2. Эффективность защитной функции резервов прочности при охрупчивании сталей под действием концентраторов напряжений

Концентраторы напряжений (КН) в виде надрезов, трещин и других источников неоднородностей НДС в изделиях и элементах конструкций (ЭК) при определенных условиях могут приводить к потере пластичности металлов, что означает их охрупчивание [1, 4]. Непосредственной причиной охрупчивания является более или менее сильная локализация пластичности, либо в зонах концентрации напряжений, либо вообще вследствие структурных или иных неоднородностей в сплавах [6]. В зоне локальной пластичности остаточный ресурс пластичности металла под надрезом неизбежно окажется ниже, чем в гладком образце, из-за чего параметр изломостойкости B_r по (2) непременно уменьшится (B_r') и мера его относительного уменьшения Q_{Br} может служить своеобразным индикатором охрупчивающего действия надреза, отражающим эффект потери запаса изломостойкости металла B_r по (2):

$$Q_{Br} = \frac{B_r - B_r'}{B_r} \quad (4)$$

Таким образом, присутствие КН в пластичном сплаве проявляется в двух разных эффектах - в виде охрупчивания как потери пластичности и в утрате свойства

изломостойкости B_r , т.е. в деградации силовой выносливости Q_{Br} . В общем случае, эффект охрупчивания или приближения хрупкости может оцениваться двояким образом – снижением показателя пластичности сплава (ψ_k), или уменьшением резерва прочности K_{ms} (механической стабильности K_{ms} по (3)). Физической причиной охрупчивания в обоих случаях служит увеличение прочности металла. Совсем иную природу имеет другой эффект, вызываемый действием КН, - потеря изломостойкости, который обусловлен фактором локальной пластичности и имеет иные закономерности. Эффективность таких негативных проявлений, вызванных действием концентраторов напряжений, систематически исследована в работах [1, 7].

В работе [1] охрупчивание сталей от КН рассматривалось как относительная мера (Q_{ψ}) уменьшения показателя пластичности образца с кольцевым надрезом ψ_N в сравнении с пластичностью гладкого образца ψ_k (относительное сужение в месте разрыва):

$$Q_{\psi} = \frac{\psi_k - \psi_N}{\psi_k} \quad (5)$$

Q_{ψ} - параметр охрупчивания стали по признаку потери пластичности.

По данным работы [7] эффект охрупчивания стали под действием надреза можно оценивать по величине критического коэффициента механической стабильности K_{msc} при критической температуре T_c вязко-хрупкого перехода для образца с надрезом. Этот эффект можно представить в относительном показателе Q_{ms} :

$$Q_{ms} = \frac{K_{msc}}{K_{ms}} \quad (6)$$

(K_{ms} - коэффициент механической стабильности стали при комнатной температуре +20°C).

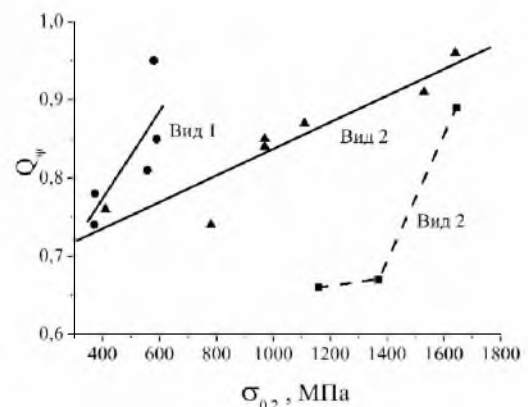


Рис. 2. Влияние прочности стали на параметр охрупчиваемости по потере пластичности Q_{ψ} под влиянием кольцевого надреза на образце для сталей вида 1 (●) и 2 (▲) для надреза радиусом $r=0,25$ мм и вида 2 (■) для $r=2$ мм [1] / Impact strength steel parameter embrittlement Q_{ψ} by loss of ductility under the influence of the annular notch on the sample for steels of type 1 (●) and 2 (▲) for notch radius $r=0,25$ mm and of type 2 (■) for $r=2$ mm

Заемствованные из работ [1] и [7] экспериментальные данные по зависимости параметров охрупчивания Q_{ψ} и Q_{ms} от прочности сталей приведены на рис. 2 и 3, из которых следует, что параметры охрупчивания, измеряемые как мера потери пластичности Q_{ψ} или как мера потери резерва прочности Q_{ms} непременно растут при увеличении

прочности конструкционной стали и, соответственно при уменьшении пластичности (ψ_k) и резерва прочности (K_{ms}) сталей. Таким образом, увеличение резервов прочности (K_{ms}) и пластичности (ψ_k) сталей снижает негативное воздействие КН в смысле уменьшения создаваемого ими эффекта охрупчивания.

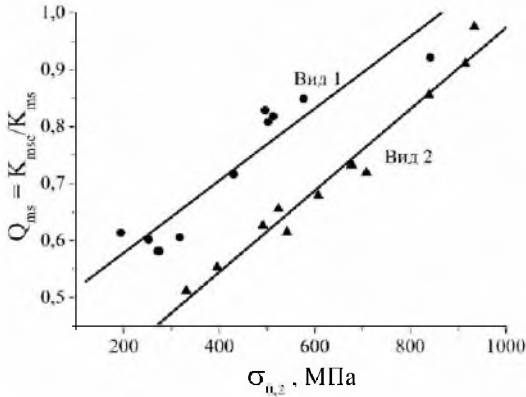


Рис. 3. Влияние прочности на охрупчивание сталей по признаку потери резерва прочности K_{ms} [7] / Impact strength embrittlement of steels on the basis of loss of reserve strength K_{ms} [7]

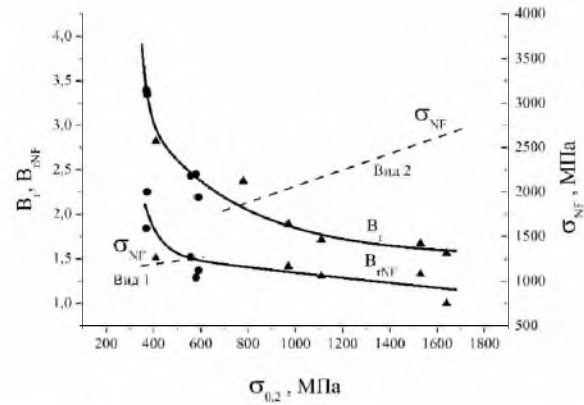
Однако, в отношении резерва силовой выносливости (изломостойкости) B_r эффект влияния КН не столь однозначен [1]. Рис. 4 иллюстрирует, что увеличение прочности $\sigma_{0.2}$ сопровождается снижением, как параметра исходной силовой выносливости стали B_r , так и остаточного, после нанесения надреза, показателя B_{rNF}

$$B_{rNF} = \frac{\sigma_{NF}}{\sigma_{GY}} \quad (7)$$

где σ_{NF} - номинальное (среднее) напряжение разрыва образца с надрезом, σ_{GY} - напряжение общей текучести в нетто-сечении надрезанного образца. Мера относительной потери B_r измеряется параметром деградации силовой выносливости Q_{Br} , что также можно трактовать как эффект негативного проявления присутствия КН:

Зависимость Q_{Br} от прочности $\sigma_{0.2}$, в отличие от Q_ψ и Q_{ms} , немонотонна (рис. 5) и обнаруживает явный минимум в области прочностей среднего уровня (1000–1100 МПа). Наличие такого минимума Q_{Br} означает, что для конструкционных сталей существует оптимальный для конструкционного применения умеренно высокий интервал прочностей $\sigma_{0.2} \approx 1000 \dots 1100$ МПа, в котором стали проявляют наименьшую чувствительность к таким вредным последствиям, вызываемым присутствием разного рода КН в стальных изделиях, как потеря резерва силовой выносливости стали B_r , т.е. ее изломостойкости, несмотря на то, что негативный эффект по потере пластичности (Q_ψ) и механической стабильности (Q_{ms}) для них достаточно высок (см. рис. 2 и 3).

Здесь выявляются существенные различия в том, как реализуют свою защитную функцию в конструкциях такие разные виды резервов механических свойств как резерв прочности K_{ms} и резерв силовой выносливости B_r . С ростом прочности сталей $\sigma_{0.2}$ стабильность (резерв прочности) K_{ms} падает [2, 3] и относительная потеря резерва прочности Q_{ms} увеличивается (рис. 3), но при этом несмотря на падение абсолютной величины резерва силовой выносливости B_r (рис. 4) сам относительный эффект падения B_r от действия КН заметно уменьшается (рис. 5). Это различие требует объяснения.



$$Q_{Br} = \frac{B_r - B_{rNF}}{B_r} \quad (8)$$

Рис. 4. Влияние прочности сталей на параметры механической выносливости: исходной (B_r) и после нанесения надреза (B_{rNF}), σ_{NF} – напряжение разрушения образцов с надрезом [1] / Impact strength steels for mechanical endurance parameters: initial (B_r) and after application of the notch (B_{rNF}), σ_{NF} - notched fracture stress [1]

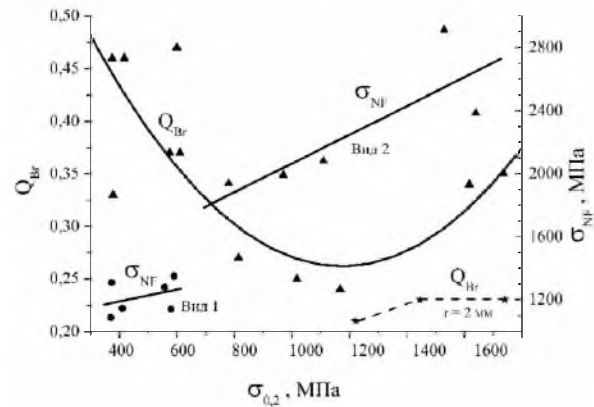


Рис. 5. Влияние прочности сталей на степень деградации механической выносливости Q_{Br} и предельную прочность образца с надрезом σ_{NF} [7] / Impact strength steels on the degree of degradation of mechanical endurance limit strength and Q_{Br} notched σ_{NF} [7]

3. Обсуждение природы защитной функции резервов прочности и выносливости при воздействии концентраторов напряжений

Полезная функция резервов прочности (K_{ms}) и выносливости (B_r) состоит в том, что они восполняют роль демпфера, «гасящего» локальные «всплески» прочности (задача K_{ms}) и пластичности (задача B_r), порождаемые концентраторами напряжений. Но эффективность этой полезной функции резервных свойств очень сильно зависит от уровня прочности стали, что существенно отражается на проявлении типичных признаков охрупчивания металлов – снижения пластичности, повышении температуры вязко-хрупкого перехода T_c , падении несущей способности металла ниже температуры T_c и др. Общеизвестная тенденция усиления склонности сталей к хрупкости с увеличением их прочности, в целом, вполне закономерно ассоциируется со

снижением фактора механической стабильности K_{ms} [5], однако уменьшение резерва выносливости B_r (рис. 4) сопровождается заметным падением охрупчивающего эффекта от действия КН (Q_{Br} на рис. 5), что на первый взгляд, выглядит неправдоподобным. Причина кажущегося противоречия в поведении параметров, измеряющих степень деградации резервов прочности (Q_{ms}) и выносливости (Q_{Br}) лежит в различии природы характеристик K_{ms} и B_r , как показателей двух совершенно различных механических резервов конструктивных сплавов. Механическая стабильность K_{ms} отвечает за способность материала с данной структурой сопротивляться переходу в хрупкое состояние в определенном интервале уровней прочности $\sigma_{0,2} \dots R_{MC}$ данной стали [2, 3], отчего этот интервал обретает смысл «резерва прочности» стали. При этом K_{ms} никак не реагирует на присущие данной стали закономерности деформационного изменения структуры и свойств стали, непременно сопутствующие ее пластическому деформированию вплоть до разрушения образца. K_{ms} всего лишь индикатор резерва прочности данного вида исходной структуры стали, резерва той прочности ($\sigma_{0,2}$), которая может измениться под влиянием сторонних факторов внешнего воздействия на металл без изменения его структуры – температуры, скорости деформирования, механических факторов стеснения деформации (т.е. действия КН) и др. В пределах этого резерва прочности K_{ms} данная сталь обязательно сохраняет ту или иную меру пластичности, т.е. не переходит в хрупкое состояние в рамках используемого критерия хрупкости. В отличие от K_{ms} у параметра B_r (по (2)) совершенно иная природа и характер поведения. Параметр B_r включает в себя интервал показателей уровней нагружения металла, охватывающий весь интервал реально происходящего пластического деформирования от начала текучести $\sigma_{0,2}$ до разрушения S_k . Параметр B_r по (7) охватывает весь интервал нагрузок с пластическим поведением металла от начала общей текучести σ_{GF} (для образца с надрезом) до его разрыва σ_{NF} . Т.е. характеристики B_r и B_{rNF} есть силовые показатели «живого нагружения» металла, его непосредственной деформационной выносливости под нагрузкой, по сути, мерой его механической выносливости в процессе продолжающейся пластической деформации, сопровождающейся соответствующими изменениями структуры металла и его механических свойств, в частности, деформационным упрочнением металла. На рис. 6 видно, что показатель деформационного упрочнения n однозначно контролирует степень деградации параметра выносливости стали Q_{Br} . Естественно, поэтому в этих показателях B_r и B_{rNF} определенным образом находит свое отражение сложная картина внутренних деформационных изменений в металле, согласованных с особенностями локального НДС в зоне действия КН, после чего, в конечном счете, формируется тот искомый «продукт» материаловедения, который принято называть «конструкционной прочностью». В нашем конкретном случае это есть напряжение разрыва образца с надрезом σ_{NF} , входящее в параметры B_{rNF} (7) и Q_{Br} (8). Таким образом, в отличие от параметра охрупчиваемости металла Q_{ms} (7), означающего меру потери резерва прочности K_{ms} под действием КН, параметр потери (или деградации) механической выносливости Q_{Br} (8) гораздо ближе к описанию конструкционной служебной функции металла (σ_{NF}) и, в частности, непосредственно отражает такую важную сторону силового поведения металла в изделии,

как его конструкционную надежность. В этом смысле величина отношения

$$K_H = \frac{\sigma_{NF}}{\sigma_{0,2}} \quad (9)$$

в отличие от остаточной изломостойкости B_{rNF} (7), может рассматриваться как мера максимально возможной неразрушающей силовой перегрузки (при $K_H > 1$) изделия, нагруженного свыше нормативного предела текучести $\sigma_{0,2}$ металла, или как коэффициент конструкционной надежности металла в данном изделии. В хрупком состоянии металла (ниже T_c) коэффициент K_H может быть меньше 1 и никакой конструкционной надежности у такого металла не будет. Из (9) следует, что мера конструкционной надежности прямо связана с резервами механической выносливости металла B_r и B_{rNF} степенью его деградации Q_{Br} под действием КН.

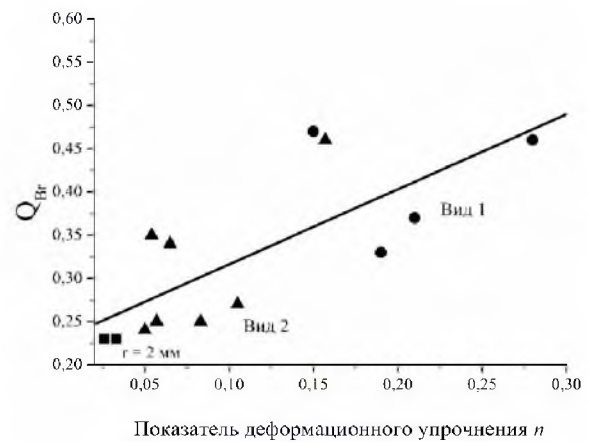


Рис. 6. Влияние деформационного упрочнения (показателя Холломоны n) на потерю механической выносливости сталей Q_{Br} под действием надреза / The effect of strain hardening (Hollomon index n) the loss of mechanical endurance Q_{Br} steels under the influence of the notch

Научная новизна и практическая значимость

Предложенная методология оценки охрупчиваемости сплавов на основе анализа резервов прочности не имеет аналогов. Адекватный учет резервов прочности и выносливости сталей позволит уменьшить риск хрупких разрушений изделий от действия трещин и концентраторов напряжений.

Выводы

Эксплуатационная силовая надежность нагруженных металлоизделий и элементов конструкций во многом зависит от гармоничного сочетания комплекса механических свойств металла с конкретными особенностями НДС элемента конструкции, которые особенно ярко проявляются в зонах локальной пластичности, создаваемых разного рода концентраторами напряжений. Зоны локальной пластичности металла служат потенциальными очагами возможного разрушения, поэтому необходимость эффективного блокирования зарождения локального разрушения является актуальной инженерной задачей в части обеспечения конструкционной надежности металла в изделии. Выше было показано, что

вся «блокирующая» роль механических свойств металла сосредоточена в резервах механических свойств – резерве прочности (K_{ms}) и резерве пластичности (изломостойкости или выносливости B_r). Эффективность «блокирующего противодействия» разных видов резервов различна и зависит от уровня прочности стали, что связано с различием физической природы самих резервных свойств – K_{ms} и B_r . Низкопрочные стали обладают большими резервами свойств, но и в большей мере подвержены охрупчиванию от действия КН, как по абсолютной потере пластичности (ψ_k), так и по относительной потере резерва выносливости B_r .

С ростом прочности абсолютная деградация пластичности ψ_k почти не меняется (относительная Q_ψ нарастает), зато деградация выносливости (резерва

изломостойкости Q_{Br}) заметно снижается, что наделяет класс сталей умеренной прочности ($\sigma_{0.2} \approx 1000...1100$ МПа) минимальной подверженностью к вредному влиянию концентраторов напряжений по признаку потери силовой выносливости.

Осуществленный выше анализ проблемы конструкционной надежности стальных изделий, содержащих КН, с использованием новых показателей резервных механических свойств сталей (K_{ms} и B_r), носит предварительный характер и, по-видимому, заслуживает своего дальнейшего анализа и более глубокого внимания специалистов в области материаловедения и термической обработки.

Meshkov Yu.Ya., Kotrechko S.A., Shiyani A.V. *Mehanicheskaya stabilnost metallov i splyavov* [The mechanical stability of metals and alloys]. Kiev, Naykova Dumka, 2014. 278 p.

4. Механические свойства металлов. Том 2. Механические испытания. Конструкционная прочность / Фридман Я.Б. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.

Fridman Ya.B. *Mehanicheskie svoystva metallov. Tom 2. Mehanicheskie isputaniya. Konstryktsionnaya prochnost* [Mechanical properties of metals. vol. 2. Mechanical tests. Structural strength]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1974. 368 p.

5. Шиян, А.В. Физическое обоснование критерия классификации конструкционных сталей по прочности // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2011. – Вып. 33, № 12 – С. 1703-1716.

Shiyani A.V. *Fizicheskoe obosnovanie kriteriya klasifikatsii konstryktsionnykh staley po prochnosti* [Physical justification classification criterion of structural steel for strength]. *Metallofizika i noveyshye tehnologii* [Metal Physics and Advanced Technology], 2011, vol. 33, no. 12, pp. 1703-1716.

6. Gavrilyuk, V.G., Tens S.M. Hydrogen embrittlement of austenitic steels: electron approach (Review paper) / Gavrilyuk V.G., Shanina V.D., Shivanuyuk V.N. // *Corrosion Reviews*. – 2013, vol. 31, – p. 33-50.

7. Meshkov Yu.Ya. and Shiyani A.V. *Embrittlement of Structural steel by Stress Concentrators / Steel in Translation*, 2014, vol. 44, № 11 pp. 857-866 (русский вариант “Сталь”, 2014, № 11, с. 72-81).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Грищенко, В.Н. Влияние прочности на охрупчиваемость сталей под действием концентраторов напряжений / Грищенко В. Н., Мешков Ю.Я., Полушкин Ю.А., Шиян А.В. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2015 (в печати).

Grischenko V.N., Meshkov Yu.Ya., Polushkin Yu.A., Shiyani A.V. *Vliyaniye prochnosti na ohrupchivaemost staley pod deystviem kontsentratyrov napryazheniy* [Influence of strength embrittlement steels under the influence of stress concentrators]. *Metallofizika i noveyshye tehnologii* [Metal Physics and Advanced Technology], 2015, (in publish).

2. Котречко, С.А. Концепция механической стабильности конструкционных сталей / Котречко С.А., Мешков Ю.Я. // *Проблемы прочности*. – 2009. – № 2. – С. 35-78.

Kotrechko S.A., Meshkov Yu.Ya. *Kontseptsiya mehanicheskoy stabilnosti konstryktsionnykh staley* [The concept of the mechanical stability of structural steels]. *Problemy prochnosti* [Problems of Strength], 2009, no. 2, pp. 35-78.

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

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

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015