



Список литературы

1. Влияние модифицирования на механические свойства аустенитного чугуна / В. Н. Бондаревский, Б. Г. Зеленый, В. П. Латенко и др. // Литейн. пр-во. – 2003. – № 8. – С. 16-19.
2. Шейко А. А., Зеленый Б. Г., Латенко В. П. Маломагнитный высокопрочный чугун ЧН10Г6Ш для деталей электромашин и электрооборудования // Металл и литье Украины. – 1995. – № 5. – С. 13-18.
3. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 359 с.

Поступила 08.12.2010

УДК 669.162.275: 620.17

И. Г. Неижко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ВОЗЛЕ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЧУГУНАХ

Анализ взаимосвязи деформаций и напряжений показал, что при одноосном растяжении в области упругих деформаций в материале возле трещин, полостей и неметаллических включений не могут возникнуть деформации и напряжения, существенно превышающие приложенные (в несколько раз). Это противоречит выводам многих работ по расчету концентрации напряжений в данных участках упругих материалов. При переходе в область упруго-пластических деформаций трещины, полости и неметаллические включения (графит) играют первостепенную роль в деформациях, напряжениях и разрушении материалов, анализ их существенно сложнее, чем в области только упругих деформаций.

Ключевые слова: *чугун, прочность, упругая деформация, концентрация напряжения, графитные включения.*

Аналіз взаємозв'язку деформацій та напруження дав можливість встановити, що при одноосному розтяганні на ділянці пружних деформацій в матеріалі біля тріщин, порожнин та неметалевих включень не можуть формуватися деформації і напруження, суттєво більші, ніж прикладені (в декілька разів). Цей висновок не співпадає з результатами багатьох робіт по розрахунку концентрації напруження в цих місцях матеріалу. При пружно-пластичних деформаціях тріщини, порожнини та неметалеві включення (графіт) в деформаціях, напруженнях та руйнуванні матеріалів грають важливу роль, їх аналіз суттєво більш складніший, ніж в області тільки пружних деформацій.

Ключові слова: *чавун, міцність, пружна деформація, концентрація пружності, графітні включення.*

Analysis of relation between deformation and stresses allowed to establish that under uniaxial tension in the region of elastic deformation of material near cracks, cavities and non metallic inclusions deformation and tensions significantly exceeding applied ones (more then in few times) can not

be appeared and create concentration of tension. The above contradicts with the conclusions of many authors on the tension calculations in this region of elastic materials. At the transition to elastic-plastic deformations cracks, cavities and non metallic inclusions (graphite) play a primary role in deformation, tensions and fracture of materials and their analysis is much complicated then in the elastic region only.

Keywords: iron, strength, elastic deformation, concentration, tensions, graphite inclusions.

При анализе роли графитных включений в формировании прочностных характеристик чугунов исследователи используют наработки теории упругости, опубликованные во многих работах. Так, в работе [1] было использовано выведенное в классической теории упругости для одноосного растяжения значение концентрации напряжения, согласно которому максимальное значение напряжения в точках пересечения контура отверстия (эллипса) с осью приложенного усилия при интенсивности напряжения p , перпендикулярного к большой оси эллиптического отверстия $2b$, равно $\sigma_{\text{макс}} = k p$. Коэффициент k рассчитывают по формуле

$$k = 1 + 2 \sqrt{b/r}, \tag{1}$$

где r – радиус кривизны контура отверстия или меньший радиус эллипса; b – половина длины отверстия или больший радиус эллипса.

Разрушение хрупкого материала наступает при

$$\sigma_{\text{отр}} = k p^*,$$

где p^* – предельное напряжение нагрузки, при котором наступает разрушение хрупкого образца.

В работе [2] приведена схема образования пиков у надрезов (рисунок), которые формируются в чугуне с графитными включениями. Коэффициент концентрации напряжения α_σ определяется в зависимости от длины l и кривизны r острия надреза или графитного включения.

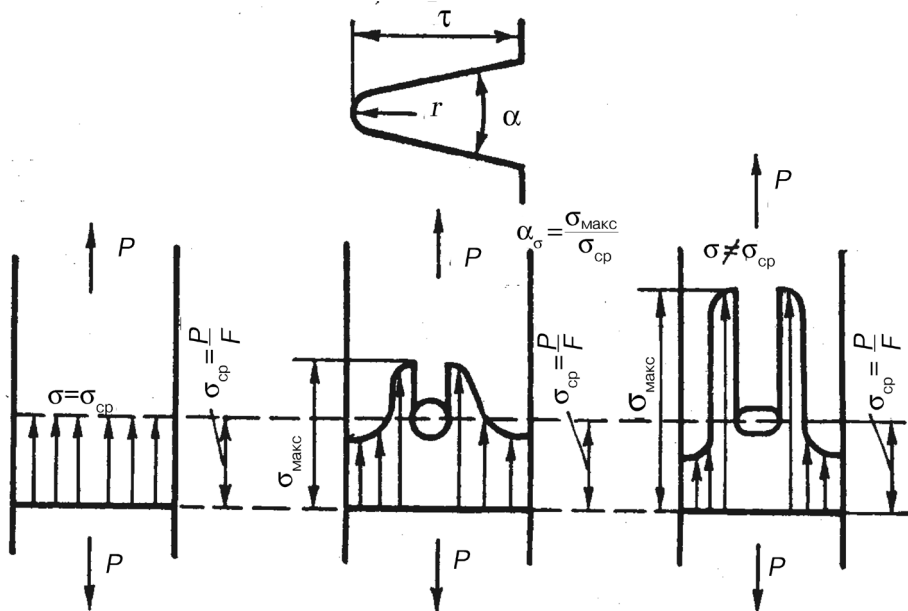


Схема образования пиков напряжений (σ) у надрезов: l – глубина надрезов; r – радиус кривизны острия надреза; α – угол надреза; P – растягивающее усилие

$$k = \sigma_{\text{макс}} / \sigma_{\text{отп}} = 1 + 2 l/r. \quad (2)$$

У графита шаровидной формы $a_{\sigma} = 3$, так как $l = r$ и не зависит от величины шаровидного графита.

Напряжения у графитных включений при показателях предела текучести σ_{02} , равного 850 МПа, применительно к чугунам с шаровидным графитом (по данным этих расчетных формул) должны быть равны значениям, близким 2000-2500 МПа. Эту характеристику прочности должна иметь сталь с этой же структурой металлической основы, что и чугун, только без графитных включений шаровидной формы, но такие данные в практике не наблюдались.

В чугунах с пластинчатой формой графита отношение l/r приобретает такие значения, при которых коэффициент k согласно формулам (1) и (2) может иметь очень большие значения, соответственно разрушающие напряжения $\sigma_{\text{в}}$ должны быть в десятки раз меньше реальных, определяемых на образцах. Этот факт подтверждает необоснованность предлагаемых формул и расчетов концентрации напряжений у неметаллических включений, графита и полостей, а также трещин.

Об этом несоответствии выводов, вытекающих из теории упругости и получаемых данных в результате испытания хрупких (и упругих) материалов, отмечалось на практике и в работе [1] без указания границ к использованию классической теории упругости и выражения (1).

Можно утверждать, что вывод классической теории упругости (формулы (1) и (2)) не соответствует экспериментальным данным концентраций напряжений в чугунах у включений графита, в том числе согласно расчетам, приведенным на рисунке и вокруг отверстий разной формы [1]. Это утверждение классической теории упругости противоречит и многим положениям о напряжениях на торцах микротрещин, формируемых на атомном уровне в кристаллической решетке.

Более сложным является анализ концентрации напряжений у торцов пластинчатого графита серых чугунов, где уже при относительно небольшом общем напряжении (в образцах) у отдельных графитных включений могут возникать изгибающие напряжения и напряжения, превышающие предел текучести. В этих случаях деформация является результатом совместного действия как упругих напряжений, так и пластического течения материалов. Но при этом необходимо отметить, что конструкционные материалы, какими являются все графитизированные чугуны, эксплуатируются только в условиях нагрузки ниже предела текучести, так как после более высоких нагрузок материал или разрушается, или деформируется, а изделие (деталь) становится непригодным к дальнейшей эксплуатации.

Приведенные выше данные и многие другие требуют в дальнейшем проведения более глубоких анализов формирования деформаций и концентрации напряжений, механизма роста трещин и механизма разрушения как чисто упругих (хрупких), так и упруго-пластичных материалов, какими являются и графитизированные чугуны.

В работе [3] было предложено рассматривать и определять степень концентрации напряжений у торца трещины или торца пластинчатого графита по величине деформаций в этих участках. Было отмечено, что упругие деформации и напряжения не могут быть существенно больше приложенных в анализируемых участках (при одноосном растяжении). Этот вывод следует из характеристики упругого состояния материала, при котором упругие деформации (в отличие от пластических) не могут концентрироваться в отдельных участках, а свободно рассредотачиваются.

В доказательство этого положения проведем краткий анализ деформаций и напряжений в образце из идеально упругого материала и с одной округлой трещиной в его центральной части, расположенной нормально (перпендикулярно) к оси образца и прилагаемых деформаций. Деформации и напряжения в образце в сечении трещины увеличатся пропорционально

$$\frac{S_{\text{обл}}}{S_{\text{обл}} - S_{\text{тр}}},$$

где $S_{\text{обл}}$ и $S_{\text{тр}}$ – площади сечения образца и трещины соответственно.

Если бы по краям трещины возникали напряжения большие, чем в слоях поверхности образца в этом же сечении (то есть формировалась концентрация напряжения), то и деформация, и удлинение образца в этом же сечении должны быть большими, чем всего образца в целом. При этом в каком-то сечении удлинение образца должно быть соответственно меньшим. В действительности такое сочетание деформаций несовместимо. Следовательно, существенных изменений концентрации напряжений, как следствие деформации в упругом материале в этих условиях испытаний, не должно быть. Эта особенность взаимосвязи деформации и напряжений вообще и, в частности, в чугунах с пластинчатым графитом, которые рассматриваются многими исследователями как полости и трещины в металлической основе сплава, объясняет причину, почему в чугуне не срабатывают правило высокой концентрации напряжений и классическая теория упругих напряжений.

Приложение напряжений к материалам, превышающих уровень максимальных упругих ($\sigma_{\text{т}}$), и анализ их влияния на рост трещин требуют учета этой особенности взаимосвязи деформаций и напряжений.

Выводы, сделанные в этой работе, применимы только к области упругих деформаций. В области упруго-пластических деформаций трещины, полости и неметаллические включения (графит) играют существенную роль в формировании деформации, напряжений и разрушении материала.



Список литературы

1. Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий. – Киев: Наук. думка, 1977. – 656 с.
2. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
3. Неижко И. Г. Графитизация и свойства чугуна. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с.

Поступила 14.09.2010

Вниманию авторов!

*В соответствии с требованиями ВАКа все статьи, поступающие в редакции научных журналов, должны обязательно проходить рецензирование, иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи – не более **10 стр.**, рисунков – не более **5**.*

*Статьи в редакции поступают как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.*