

УДК 669.66-96

ББК 34.2.34.3.95

Д 39

Д 39 VII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 7-10 ноября 2017 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2017, 951с.

ISBN 978-5-4465-1624-7

Организаторы конференции:

- Федеральное агентство научных организаций
- Российская Академия наук
- Российский фонд фундаментальных исследований
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
- INSTRON (ООО "ИнтелТест")
- Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности
- Журнал «Деформация и разрушение материалов»

Информационный партнеры конференции:

- Экспир - экспертная площадка для ученых, и предпринимателей

Конференция поддержана РФФИ: грант 17-08-20555

грант 17-38-10313

Материалы публикуются в авторской редакции.

Сборник материалов доступен на сайте <http://dfmn.imetran.ru/>

© ИМЕТ РАН 2017

ISBN 978-5-4465-1624-7



9 785446 516247 >

**СЕКЦИЯ 14: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ И
МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И
НАНОМАТЕРИАЛОВ**

После начала локализации истинные диаграммы деформирования существенно отличаются, причем для оболочки рост упрочнения практически соответствует уровню до потери устойчивости, для сплошного стержня упрочнение снижается и диаграмма стремится к идеальной пластичности;

В сплошном стержне рост шаровой составляющей значительно выше, чем в оболочке; Отклонение диаграмм обратно пропорционально степени объемности НДС в центре шейки сплошных образцов.

4. Заключение

Исследование деформационных и прочностных свойств упругопластических материалов необходимо осуществлять на основе экспериментально-расчетного подхода. Разработанный подход позволяет проводить исследования закономерностей процессов деформирования и разрушения с учетом всех необходимых факторов. В частности, разработанные ранее методики позволили впервые определить степень влияния вида НДС на построение истинной диаграммы деформирования вплоть до разрушения для цилиндрической оболочки и сплошного стержня, выполненных из ряда конструкционных материалов. Экспериментально-расчетные методы исследования в этой области необходимо развивать, т.к. они являются основой для определения параметров и верификации моделей деформирования и разрушения материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-19-10039).

Литература:

- [1]В.П. Радченко, Е.В. Небогина, М.В. Басов // Изв. вуз. Машиностроение 5-6 (2000) 3.
- [2]В.Г. Баженов, С.В. Зефилов, Л.Н. Крамарев, С.Л. Осетров, Е.В. Павленкова // *RU Патент* 2324162. (2008).
- [3]В.Г. Баженов, С.В. Зефилов, С.Л. Осетров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов 9 (2006) 39.
- [4]В.Г. Баженов, С.В. Зефилов, С.Л. Осетров // Доклады академии наук 2 (2006) 183.
- [5]В.Г. Баженов, С.В. Зефилов, С.Л. Осетров // Деформация и разрушение материалов 3 (2007) 43.
- [6]В.Г. Баженов, В.К. Ломунов, С.Л. Осетров, Е.В. Павленкова // Прикладная механика и техническая физика 1 (2013) 116.
- [7]В.Г. Баженов // Физическая мезомеханика 10 (5) (2007) 91.

MODELS OF COHESIVE AND BRIDGED CRACK FOR EVALUATION OF MATERIALS SELF-HEALING

Perelmuter M.

Institute for Problems in Mechanics of RAS, Moscow, Russia, e-mail: perelm@ipmnet.ru

Models of a crack with interaction of its surfaces make it possible to combine approaches of mechanics, physics and chemistry while analyzing processes of fracture. Different versions of such models (cohesive or bridged) for analyzing brittle, elastic-plastic and viscoelastic fracture were proposed. In this paper the models of cohesive and bridged cracks are used for the efficiency evaluation of healing and self-healing of cracked structures.

During healing and self-healing of materials the following stages of these processes can be considered:

- 1) formation and growth flaws/cracks under external loading and aggressive environment;
- 2) activation of healing or self-healing mechanisms under external influence or internal agents;
- 3) healing of flaws/cracks with partial or total restoration of bonds between crack surfaces.

In the frames of cohesive/bridged approach is assumed: there are artificial bonds between crack surfaces (the interface layer); any zone of these bonds is considered as a crack process zone (cohesive or bridged) with distributed nonlinear spring-like ligaments between the crack surfaces. The bonds properties variation define the stress state at the crack process zone and, hence, the fracture toughness of the material. In a general case, the size of process zone of the crack is comparable to the whole crack size. The choice of the process zone model (cohesive or bridged) depends on the materials type and the self-healing mechanism. The transition between cohesive and bridged models is considered.

The main task of the modeling consists of the computational analysis of the bridging stresses distribution and in the computing of the stress intensity factors which are the main characteristics of healing

and self-healing efficiency. The mathematical background of the stresses problem solution is based on the singular integral-differential equations (SIDE) and the boundary element methods (BEM) [1-3]. Different self-healing methods (microcapsules filled with a self-healing agent, microvascular fibers, mendable polymers) with various mechanisms of self-healing are analyzed. The thermo-fluctuation kinetic model [4, 5] is used to evaluate the time of the crack bridged zone formation and regeneration. The healing time and efficiency are dependent on the chemical reaction rate of the healing agent, the crack size and the external loads. The non-local fracture criterion [1, 6, 7] is used to evaluate the fracture toughness and the critical external loading in the frames of the bridged crack model. The model can be used for the evaluation of composite materials healing and durability. Some results of self-healing processes analysis are presented and discussed.

A straight crack on the interface between different materials under the external tension σ_0 (normal to the crack plane) was considered, see Fig. 1. It was assumed that at the initial time instant (when the surfaces of a crack are free of constraints) some healing process is activated inside of a crack and ligaments between crack surfaces are building, see Fig. 2, where d - is the built bridged zone size, $u_{x,y}$ - are the components of the crack opening at the bridged zone edge.

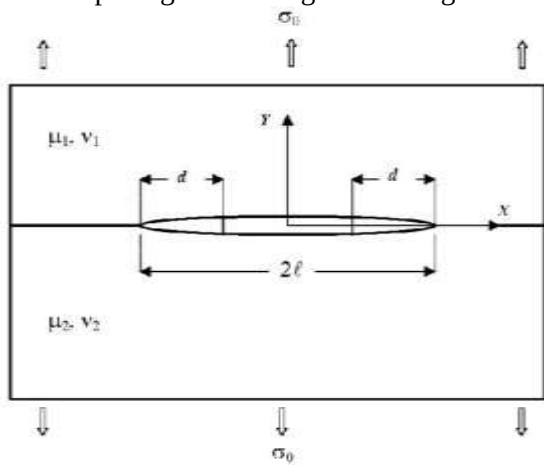


Fig.1 A crack on the interface between different materials

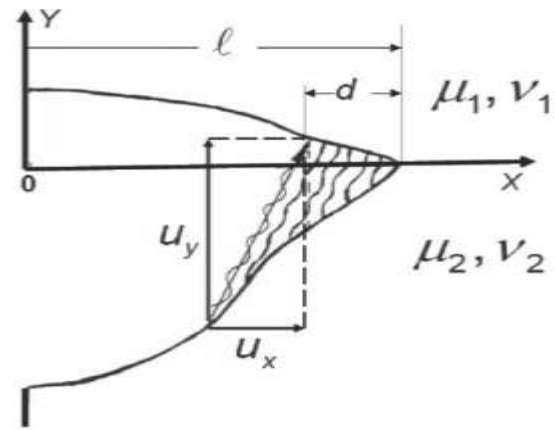


Fig.2 Ligaments between crack surfaces

The numerical calculations were performed for plane strain conditions and the following elastic constants of the joint materials and bonds (Cu-epoxy polymer): $E_1 = 25GPa$, $E_2 = 135GPa$; $E_b = E_1$ (elastic modulus of bonds), $\nu_1 = 0.35$, $\nu_2 = 0.3$. The purpose of calculations is the dependence analysis of the self-healing process efficiency (the measure of efficiency is the level of SIF at the crack tip) on the bridged zone length (the crack filling with bonds) and on the bonds stiffness.

In Fig. 3 the dependencies of the SIF module versus the relative bridged zone length are shown for different values of the relative bonds stiffness $\kappa = \ell/H$ (here ℓ - is the crack half length, H - is the thickness of the interfacial layer between materials). For bonds with relative stiffness more than 10 the healing efficiency reaches the saturation if the crack has filled with bonds more than on the half of its length. The saturated bridged zone size here is defined as the zone size above that the SIF is changed less than 5%.

The evolution of the healing process as the dependence of SIF module versus a relative bond stiffness (in logarithmic scale) is shown in Fig. 4, where d - is the built bridged zone size. Saturation of the healing effect is observed for bonds with rather big stiffness. In Fig. 3 and Fig. 4 values of SIF for cracks with bonds were scaled by SIF for the same crack length without bonds, $K_0 = \sigma_0 \sqrt{\pi \ell}$.

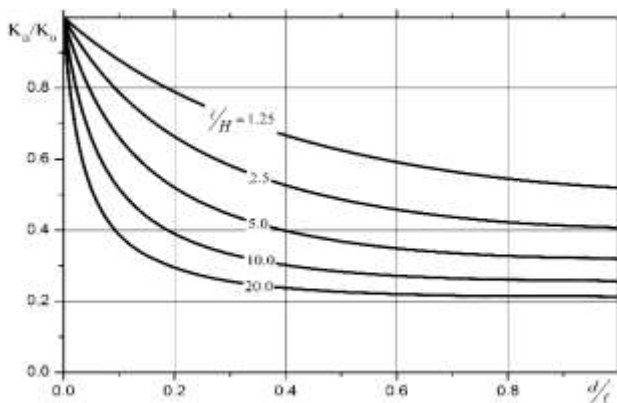


Fig 3. SIF module vs relative bridged zone length

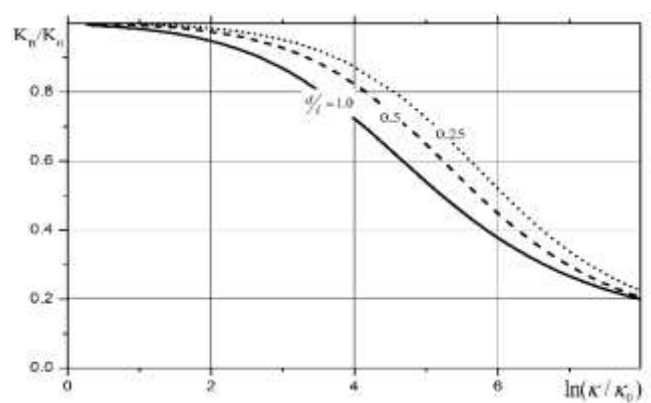


Fig.4. SIF module vs relative bond stiffness

Analysis of the healing process in finite size structures can be performed by boundary elements method [4]. Growth prediction of healed cracks can be performed on the basis of the bridged cracks growth criterion [5].

Aknowledgements

This research was partially supported by Russian Foundation for Basic Research, research project No. 17-08-01312.

References

1. R.V.Goldstein, M.N.Perelmutter, Modeling of bonding at the interface crack, Intern. J. of Fracture, 1999. V.99. no.1/2, P.53-79.
- 2.Perelmutter M. An interface crack with non-linear bonds in bridged zone, Journal of Applied Mathematics and Mechanics (PMM), 2011, V. 75. no.1, P.151-172 (in English).
- 3.Perelmutter M. Boundary element analysis of structures with bridged interfacial cracks // Computational Mechanics, 2013, V. 51. no. 4. P.523-534.
- 4.Goldstein R.V., Perelmutter M.N. Kinetics of interface cracks formation and growth, Mechanics of Solids, 2012, V.47, no.3. P.87-102 (in English).
- 5.Perelmutter M. Kinetics of interfacial crack bridged zone degradation, Journal of Physics: Conference Series. 2013. V. 451, no 1. P. 012–020.
- 6.Perelmutter M. Nonlocal criterion of bridged cracks growth: Weak interface, Journal of the European Ceramic Society. 2014. V. 34. no. 11. P. 2789–2798.
- 7.Perelmutter M. Nonlocal criterion of bridged cracks growth: analytical analysis, Acta Mechanica. 2015. V. 226, no. 2. P. 397–418.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ СТАЛИ 20Х13 С ПОКРЫТИЯМИ

Библик И.В., Вакуленко К.В., Казак И.Б.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины,
Харьков, Украина, miles@ipmach.kharkov.ua

Хорошо известно, что основной причиной разрушения вследствие кавитационной эрозии являются многократно повторяющиеся гидравлические удары, возникающие при «схлопывании» пузырьков, которые образуются вблизи поверхности твердого тела, омываемого потоком жидкости. Актуальным в настоящее время является изучение начальных процессов кавитационного изнашивания, установление закономерностей разрушения материалов с целью оценки их кавитационной стойкости и разработки рекомендаций по ее повышению.

Исследовались образцы из стали 20Х13 с вакуумно-плазменными покрытиями многослойной конструкции трех составов: на основе Cr+CrN; α Ti+TiN и Cr+(TiCr)N. Определение результатов кавитационного воздействия на образцы осуществлялось несколькими методами: по параметру