

УДК 624.

ИСПЫТАНИЯ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ РАСТЯНУТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ С НОРМАЛЬНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ТРЕЩИНОЙ

Стоянов В.В. , Мазин Ж. Алаид (ОГАСА)

Исследования проводились на серии металлических образцов с целью установления степени влияния их выносливости при “консервации трещины” (явной или скрытой) высоко-модульным и высокопрочным материалом [1-6].

Предложенные в [1] новые подходы по продлению срока эксплуатации конструкций при циклическом нагружении, в случае экспериментального подтверждения, открывают широкие возможности не только для ремонта конструктивных элементов с явными дефектами, но и для вновь проектируемых конструкций срок работы которых увеличивается более чем вдвое.

В процессе испытаний было использовано около 30-ти металлических образцов разных размеров. Остановимся на серии из 23-х образцов размером 250x50x3мм (рис.1), изготовленных из малоуглеродистой стали С235. Для трёх образцов без трещин определялась величина предела текучести металла. На двадцати образцах была сделана нормальная почти сквозная трещина длиной 15мм и шириной 0,5мм (рис.1), а на 17 из них устраивались накладки из (одного, двух или трёх) холстов углепластика толщиной 0,13мм.

При одинаковых вариантах нагружения было испытано девять образцов с накладками. Эталоном в процессе испытаний для сравнения величин вибрационной прочности служили Образцы с трещинами, но без накладок из углепластика.

Остановимся на некоторых особенностях материалов используемых в эксперименте.

Металл - низкоуглеродистая сталь* С235 характеризуется пределом текучести $\sigma_y = 23 \text{кН/см}^2$ и пределом пропорциональности $\varepsilon = 0,1\%$, [9], а протяжённость площадки текучести составляет $\varepsilon = 1,5-2,5\%$ (рис.2).

Примечание *

Содержание углерода здесь 3-4%. Так ли это мало? Ведь, если учесть что атом углерода почти в 5 раз легче атома железа, то содержание углерода в этой марки стали составит почти 20%.

Испытания образцов из стали используемой в наших экспериментах, позволили установить величину предела текучести - $\sigma_v = 22 \text{ кН/см}^2$.

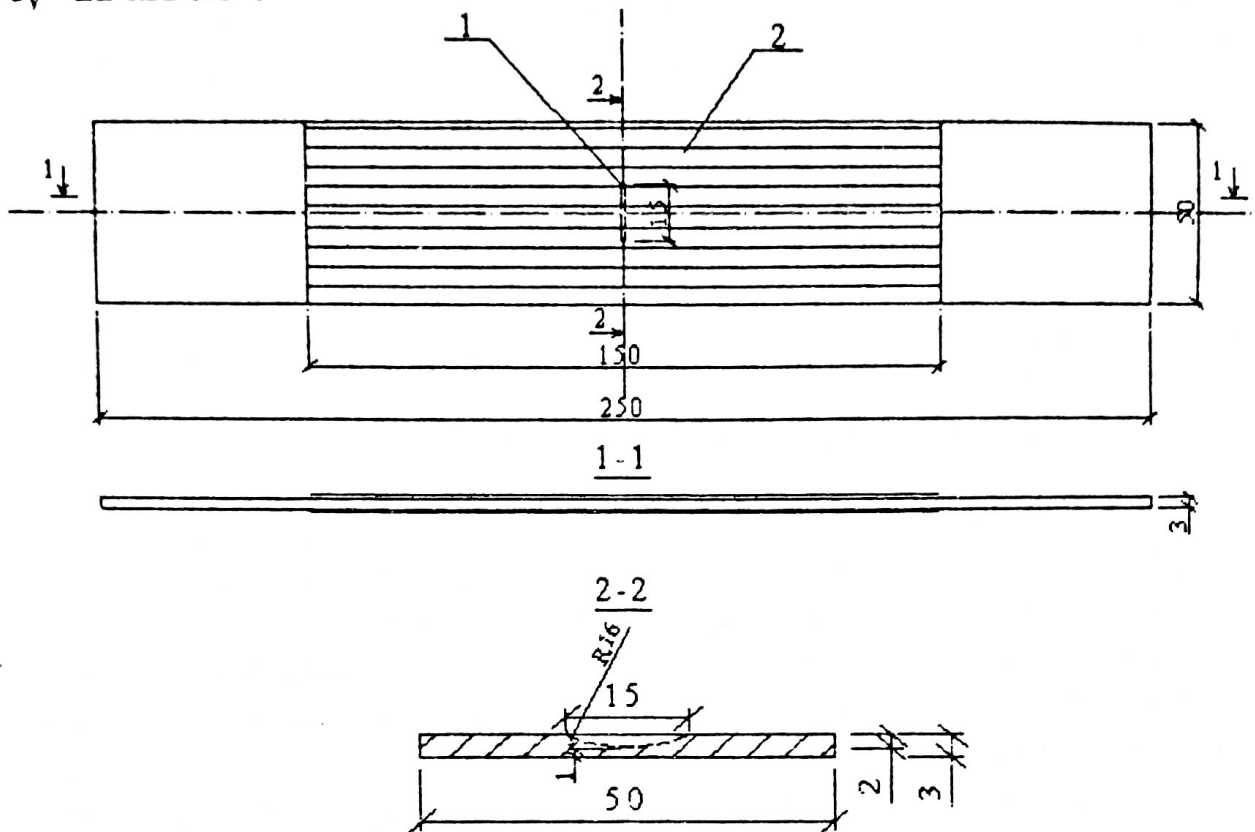


Рис. 1. Схема металлического образца с трещиной
 1- Трещина 15x0,5мм.
 2- Зона установки наклейки из холста углепластика.

Известно [2-3], что многократное повторное нагружение металла в упругопластической области может привести к разрушению при напряжениях гораздо меньших чем временное сопротивление (и даже предела текучести) т. е. наблюдается усталость металла [8].

Способность металла сопротивлению усталостному разрушению называют выносливостью, а напряжение при котором происходит разрушение вибрационной прочностью.

Усталостное разрушение происходит вследствие накопления определенного числа дислокаций при каждом нагружении и концентрации их около стыков зерен с последующим скоплением в большие группы, что способствует разрыхлению металла в этом месте и, наконец, образование трещины и разрыв [8,9].

Вибрационная прочность металлу зависит от числа циклов нагружения N и вида нагружений, которые характеризуются коэффициентом асимметрии ρ :

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

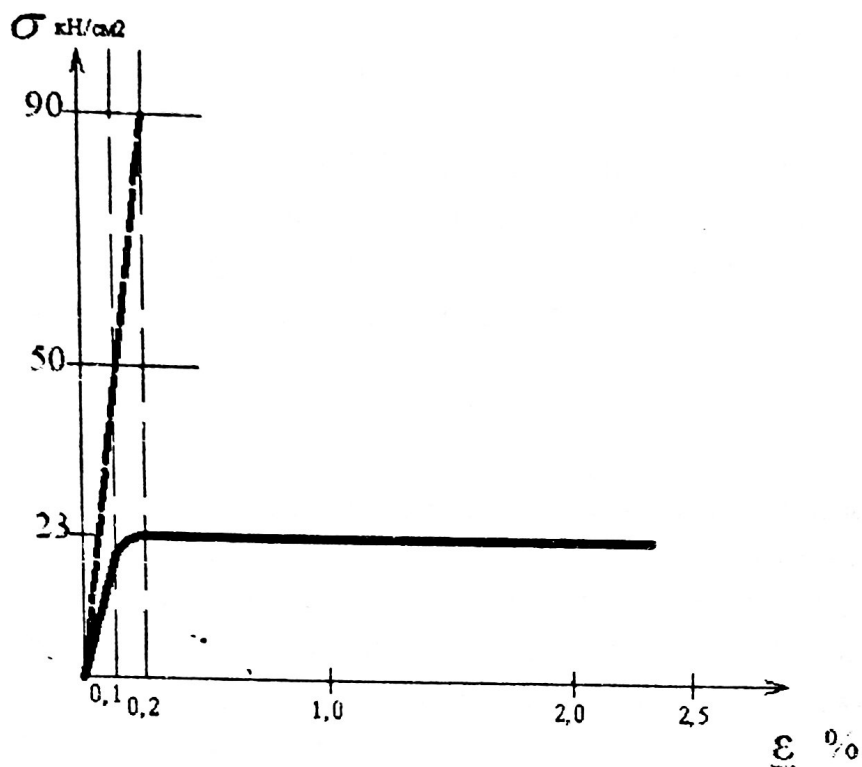


Рис. 2. График зависимости напряжений σ и относительных деформаций металла и углепластика. _____ металл, - - - - - углепластик.

В нашем случае для низкоуглеродистой стали, предел усталости равен пределу текучести а нагрузка задавалась по синусоидальному закону с асимметрией цикла $\rho=0$ (рис. 3).

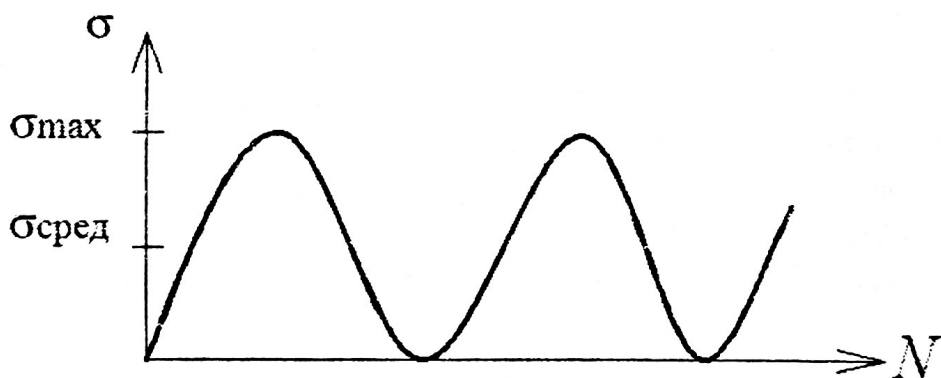


Рис. 3 Полный пульсационный цикл нагружения

Большое влияние на усталостную прочность оказывает концентрация напряжений. (например, при остром надрезе напряжения могут возрасти в 3,5 раза). Различают многоцикловую усталость когда конструкция испытывает миллионы циклов нагружений и малоцикловую, когда разрушение может произойти при числе циклов в несколько тысяч. Последнее происходит в случае превышения

величины циклических напряжений предела текучести. Заметим, что проблема малоциклового усталости малоизученна [7].

В нормативных документах расчёт на выносливость прописан отдельным параграфом (Например в [9] §9).

Углепластик - многослойный композиционный материал, обладает многими уникальными физико-механическими характеристиками, в том числе по продолжительности работы в условиях цикловой нагрузки. Так, для стали предел выносливости составляет $2 \cdot 10^6$ циклов загрузений, а в случае, когда циклическое напряжение превышает предел текучести, то разрушение может произойти раньше при числе циклов порядка нескольких тысяч [7]. Углепластик способен выдержать вдвое больше чем сталь циклов загрузений без видимых признаков усталости. В этой связи, для целого ряда металлических конструкций (составные подкрановые балки, резервуары различного типа и др.) возникает возможность повысить усталостную прочность используя углепластик [3], [5]. Для этого, например, в составных подкрановых балках в местах стыка стенки с полками и ребрами жесткости устанавливают многослойные углепластиковые накладки.

Материалом для накладки, соответствующим обозначенным выше требованиям, может быть выбран углепластик, обладающий временным пределом прочности $\sigma_{пч} = 3,5 \cdot 10^3$ МПа и модулем упругости $2,3-3,0 \cdot 10^5$ МПа [10].

Процессу устройства накладки должен предшествовать анализ работы конструктивного элемента на базе опытных и расчетных данных с целью выявления проблемных мест, где возможна опасная концентрация напряжений и появление трещин. Затем определяются габариты накладки - $l_{н,х} b_{н,х} \delta_n$. Углепластиковая накладка формируется из многослойных углеродных холстов типа Sika Wrap на базе клея Sikadur 330 [10]. Такой же клей используется для крепления накладки к металлу.

Все лабораторные образцы по цельному сечению подвергались силовому воздействию из условия создание трёх уровней напряжений 150 МПа, 200 МПа, 250 МПа. Напряжения в ослабленном сечении (по линии трещин) были выше номинального для каждого уровня: $\sigma_n = 150$ МПа (170 МПа, 190,2 МПа). $\sigma_n = 200$ МПа (235 МПа, 244 МПа). $\sigma_n = 250$ МПа (280,6 МПа, 320 МПа).

Вблизи вершины трещин наблюдалась концентрация напряжений 1,5-3,0 раза выше, чем в ослаблении сечения но, как видно из рис.4, это происходит на небольшом участке вблизи вершины трещины шириной 1-2мм.

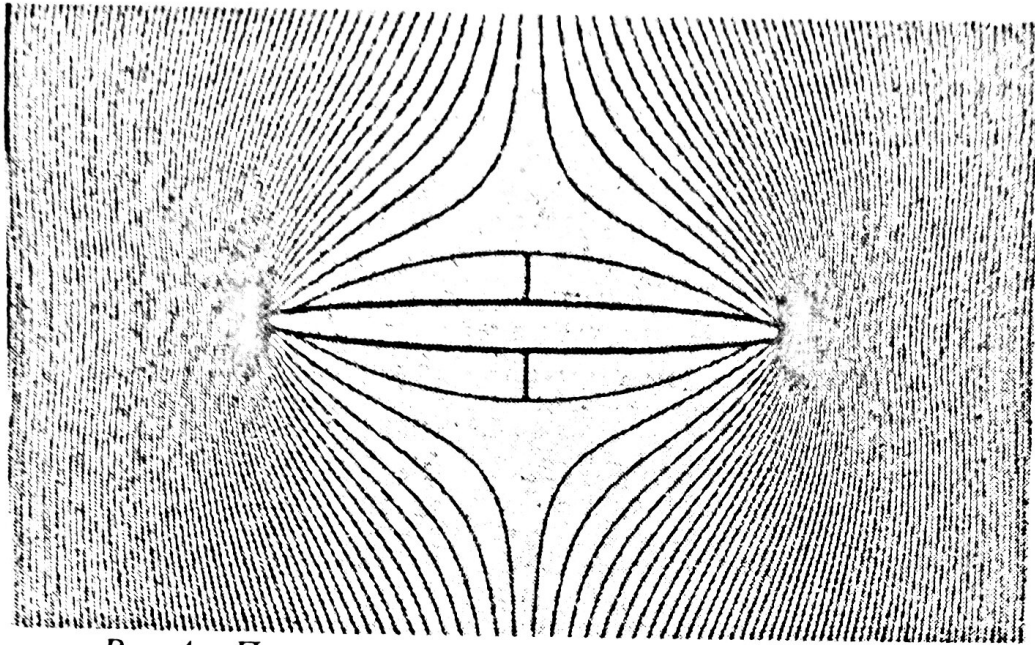


Рис.4. Поле напряжений вблизи поперечной трещины в процессе эксперимента

Численный расчёт по определению поля напряжений выполнялся на базе вычислительных комплексов «Лира windows» и «SCAD office» с максимальным размером сетки конечных элементов в районе трещины равным 1мм, т.е. с использованием метода суперэлементов рис.5.

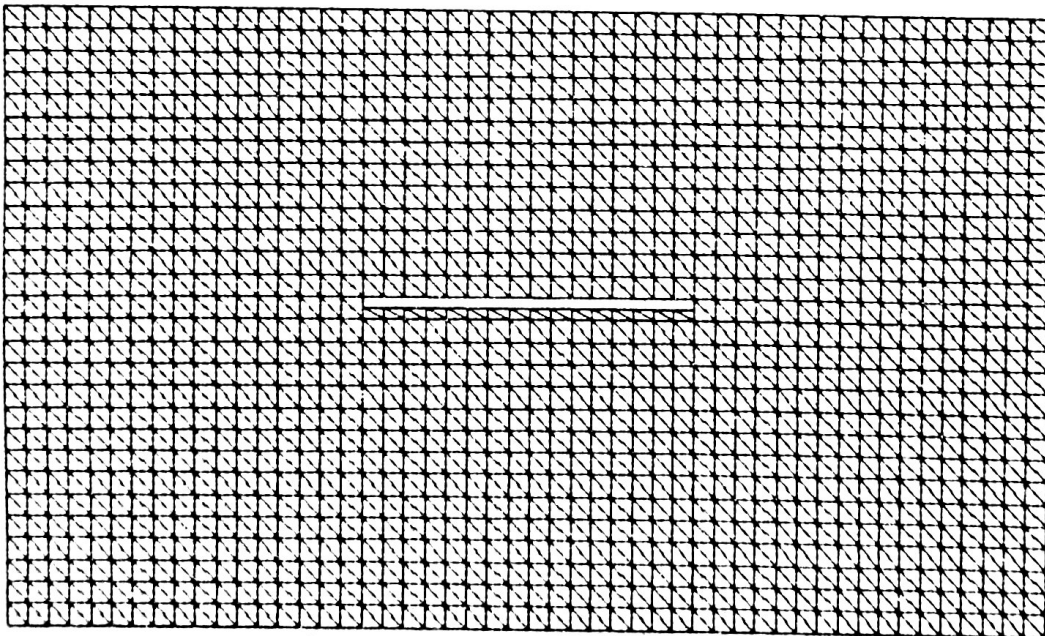


Рис.5. Общий вид суперэлемента.

Поле напряжений вблизи трещины по результатам численного расчёта показано на рис. 6 (при $\sigma_n = 150$ МПа) для образца с трещиной без усиления углепластиком.

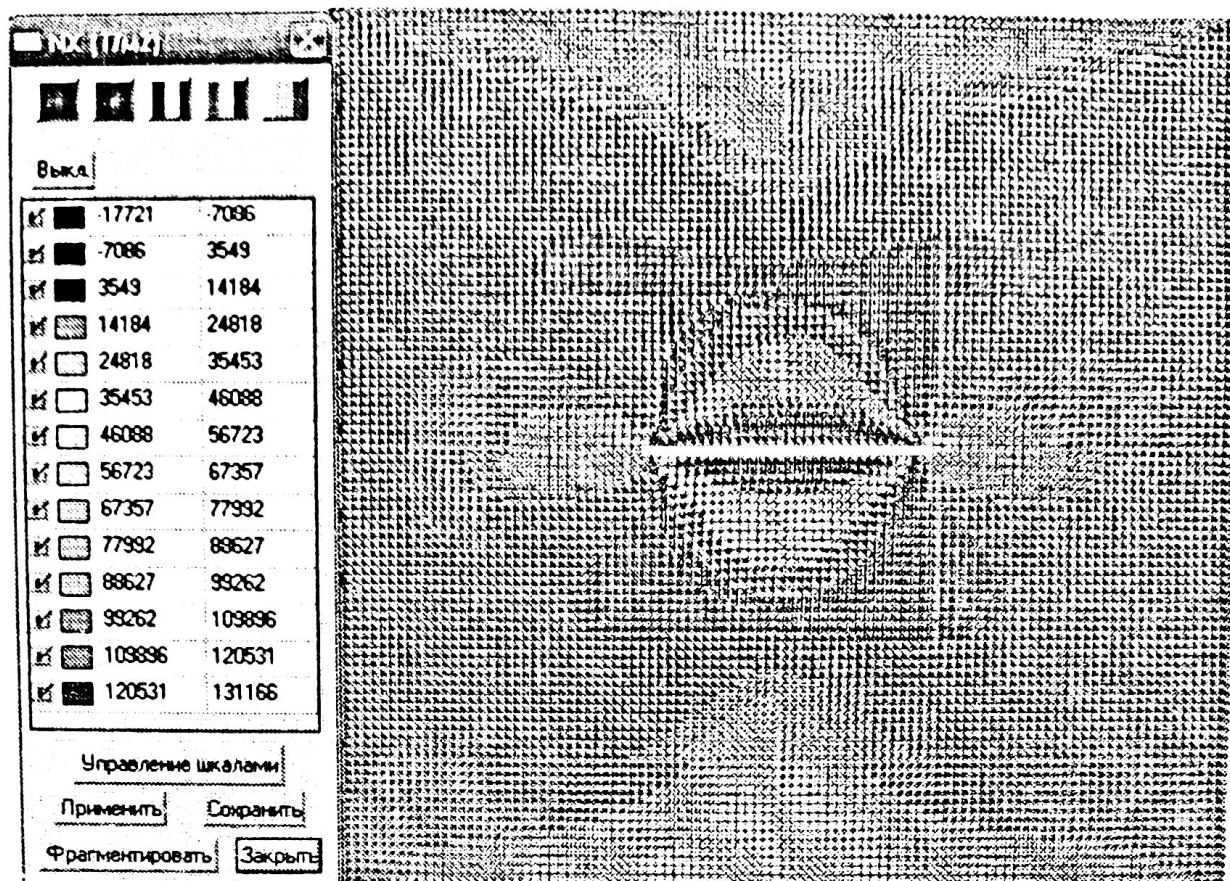


Рис.6. Поле напряжений(по численному расчёту $\sigma_n = 150$ МПа).

Усталостные испытания проводились в лабораторных условиях на машине MTS 318.25 в институте электросварки им. Патона (г. Киев). В процессе испытаний установлено, что характерным для всех испытанных образцов является ускорение процесса усталости по мере возрастание напряжений выше предела текучести и наоборот замедление этого процесса при напряжении ниже предела текучести. Устройстве углепластиковых холстов на трещинах в испытываемых образцах, как и предполагалось, значительно увеличило их выносливость. На рис.7. показана динамика повышение усталостной прочности образцов с трещинами по мере увеличение усиления их углепластиком, замедляющих на определенное время раздвижение берегов трещины (эффект “консервации трещины”). Загрузка всех типов образцов по результатам эксперименте приведены к величине предела текучести (222 МПа). Как следует из, рис.7 установка лишь одного холста с одной стороне образца позволило почти вдвое увеличить число циклов загрузений, а двойные холсты на обеих сторонах образца позволили повысить число циклов с 27 000 до 160 000, т.е. в шесть раз. Накладки с тремя холстами углепластика (толщиной $0,13 \times 3 = 0,39$ мм) с обеих сторон образца позволили довести число циклов загрузение до 245 000, т.е. более чем в девять раз больше эталонного образца. К тому же образец с тремя холстами углепластика был перед этим испытанием предварительно загружен

напряжением выше предела текучести: - $\sigma_1 = 235,2$ МПа (200 000 циклов) и $\sigma_2 = 280,6$ МПа (41 000 циклов). В целом, этот образец выдержал 241 000 циклов выше предела текучести и 383 000 циклов при нагрузке $\sigma_3 = 183,2$ МПа. Общее число составляет 624 000 циклов. В принятом здесь сравнение на уровне напряжений равных по величине пределу текучести число циклов для этого образца составляло 490 000, что более чем в 18 раз больше показателя эталонного образца.

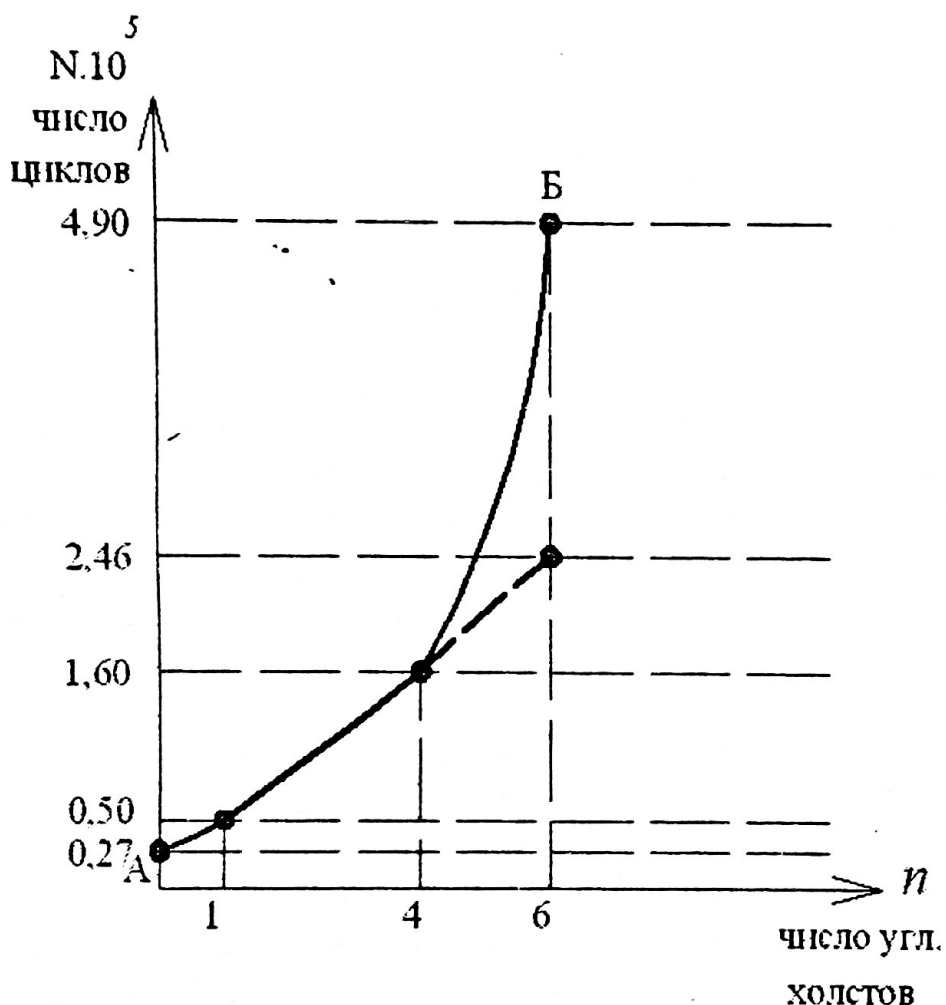


Рис. 7. Кривая усталости всех типов образцов по результатам эксперимента при напряжении равные величине предела текучести А- эталонный образец, Б- образец с 3-х слойными накладками

Следует отметить одинаковый характер разрушения всех образцов. Наблюдается участок хрупкого усталостного разрушения и долом в вязком виде. При этом, в определенной степени, выносливость работы углепластиковой наклейки определяется возможностью длительностью работы клеевого состава, так как в отдельных случаях первоначальной причиной разрушения является скалывание клеевого шва. Очевидно, что необходимо в процессе испытаний работу клеевых

соединение углепластика с металлом при действии многоцикловых нагрузок.

Выводы

Испытание малогабаритных образцов с искусственными трещинами убедительно показали действенность предлагаемого метода “консерваций трещин”, так как имеем в виду не ремонт изделий, а предупреждение развития таких трещин, что позволит значительно увеличить ресурс конструкций. Для этого необходима продолжить исследование в этой области.

Литература

1. Стоянов В.В. Новые подходы к продлению срока работоспособности конструкции в сб. «Современные строительных конструкций из металла и древесины часть 2» Одесса, Врс,2008с.41-47
2. Стоянов В.В. «Новое в управлении несущей способности конструкций». В сб.; Совр. Стр. констр. Одесса , Врс,2001, с. 164-167.
3. Стоянов В.В. «Проблемы совершенствование комбинированных строительных конструкции с целью повышение их несущей способности» В сб.; Совр. Стр. констр. Одесса, Врс,2003,с. 4-11.
4. Стоянов В.В. «Новые подходы обеспечение несущей способности строительных металлических конструкций в полном объеме срока эксплуатации » В сб. VII Украинской НТК;Металлические конструкция, К. Сталь, с. 286-292.
5. Стоянов В.В. «Металлические резервуары – некоторые проблемы проектирование реконструкции» в сборнике Металлические конструкция,Д, УАМК2007,с. 45-49.
6. Давиденко А.И., Стоянов В.В. «Исследование методом математического моделирование трещиностойкости подкрановой балки в районе трещины с углепластиковой накладкой », в сборнике Металлические конструкция, Д, УАМК,2008,с. 245-252.
7. Горв В.В. Металлические конструкции т.1., М.,”В. Ш.” 2002, 541с.
8. Стремцкий Н.С. Курс металлических конструкций часть 1. Числ, м.л., 1940, 843с.
9. Стальные конструкции СНиП II-23-81* М.2005
10. Strengthening of structures with CERP strips Sika Carbo Dur Convention, 1997.