

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СВАРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ ИЗГИБОМ

The opportunities of fatigue researches loading alternating bending welded models are present in this article. The principles of sampling preparations is described.

Введение. Работа большинства ответственных деталей лесных машин и элементов их конструкций связана с сочетанием статических, динамических и циклических нагрузок. Известно, что выход из строя элементов конструкций машин, прицепного и навесного оборудования нередко связан с разрушением различного вида соединений. Наиболее чувствительными к знакопеременным нагрузкам, широко применяемым при сборке прицепного и навесного оборудования, являются сварные соединения. Наиболее распространенный способ повышения долговечности данных соединений – применение различного рода дополнительных накладок и косынок, привариваемых в наиболее опасных местах конструкции, что увеличивает металлоемкость, энергозатраты и т. д. В связи с этим представляется интересным разработка рекомендаций или технологий, направленных на достижение более высокой долговечности таких соединений при использовании минимального числа дополнительных элементов, что связано со значительными материальными затратами на проведение большого объема усталостных испытаний.

1. Расчетная схема нагружения образцов.

Снижения трудоемкости усталостных испытаний можно достичь путем повышения частоты испытаний. Ранее на кафедре деталей машин и ПТУ велись работы, дававшие возможность прогнозировать характеристики низкочастотной усталости по результатам высокочастотных испытаний [1, 2], при этом высокочастотное нагружение консольно закрепленного образца с использованием резонансного режима работы установок способствует достижению повреждающих циклических напряжений в материале при минимальных энергетических затратах [3]. Полагая, что колебания образца в данном случае весьма близки к упругим, соотношение между амплитудами напряжений и деформаций записывается в соответствии с законом Гука.

Колеблющийся образец представляет собой однородную консольно закрепленную балку (расчетная схема приведена на рис. 1), расчет которой можно проводить по технической теории стержней, причем дифференциальное уравнение движения упругой балки рассматривается без учета деформаций сдвига, вызванных действием поперечных сил и инерции

вращения, что приводит к существенному его упрощению:

$$\frac{d^4 W}{dx^4} - k^4 W = 0,$$

где $k^4 = \frac{\omega^2 \rho F}{EJ}$ – волновой коэффициент; W – прогиб; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота колебаний; ρ – плотность материала; E – модуль Юнга; J – момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси; F – площадь поперечного сечения стержня.

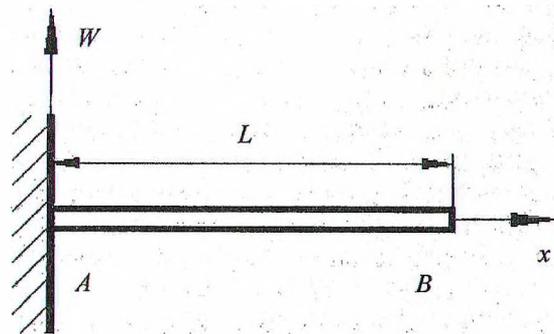


Рис. 1. Расчетная схема

Для консольной балки функция прогибов описывается зависимостью

$$W(x) = W_0 [S(kx) + \beta T(kx)],$$

где W_0 – амплитуда колебаний свободного конца образца; β – коэффициент, зависящий от формы колебаний; $S(x)$, $T(x)$, $U(x)$, $V(x)$ – функции Крылова.

Напряжения в балке определяются по выражению

$$\sigma(x) = W_0 \cdot \frac{6\rho}{h} \cdot \left(\frac{2\pi f}{k} \right)^2 (U(kx) + \beta V(kx)),$$

с помощью которого можно установить, что максимального значения их величина достигается в заделке, т. е. там, где действуют такие трудно поддающиеся учету факторы, как эффекты от зажима, контактная коррозия и т. д. Поэтому для смещения места усталостного разрушения от заделки используются образцы с

увеличенной площадью в месте крепления. Образцы, колеблющиеся по второй форме, имеют второй максимум напряжений, расположенный ближе к середине рабочей части, где при выбранных нами размерах образца и происходит усталостное разрушение.

Как видно из вышеприведенного, на достоверность результатов высокочастотных усталостных испытаний моделей, полученных сваркой, существенное влияние может оказывать отличие физико-механических характеристик материала образца и шва (динамический модуль упругости, плотность), а также различные дефекты сварки. С целью установления степени влияния сварного шва, выполненного в поперечном направлении на плоском балочном образце, на напряженное состояние был проведен ряд экспериментов.

2. Оборудование для проведения усталостных испытаний. Нагружение образцов знакопеременным изгибом производилось с помощью специально разработанного магнито-стрикционного ($F_{рез} = 8,8$ кГц) резонансного стенда. Испытательный стенд работал в автоколебательном режиме с автоматическим поддержанием амплитуды колебаний образцов, которое осуществлялось с помощью прибора стабилизации амплитуды ПСА, включающего в себя управляемый усилитель с использованием фазовращателя, ограничителя и фильтров, настроенных на собственные частоты колебаний преобразователей и образцов. Между преобразователем и образцом был установлен концентратор с коэффициентом усиления, позволявший достичь необходимого уровня циклических напряжений в материале образца. Измерение амплитуды колебаний образцов осуществлялось с помощью виброметра и контролировалось оптическим микроскопом [4].

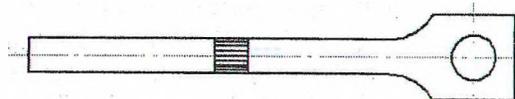
Образцы представляли собой консольные балочки из стали 20 толщиной $h = 2$ мм со сварным швом (рис. 2, а), выполненным в зоне одного из максимумов напряжений. Для испытаний было подготовлено две партии образцов:

- без дополнительной обработки зоны шва (т. е. в состоянии, полученном после сварки);
- с обработкой зоны шва (удаление следов окалины, шлифование зоны шва с целью получения одинаковой толщины образца по всей его длине).

3. Анализ результатов. Предварительно с помощью математического пакета MathCad была рассчитана резонансная длина, ожидаемое расположение усталостной трещины, узлы колебаний (рис. 2, б).

Сравнение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) показало, что наиболее близкие к результатам испытаний образцов, выполненных из того же материала без шва при одинаковой резонансной длине и других геометриче-

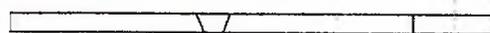
ских параметрах, получены результаты для образцов с дополнительной обработкой зоны шва (рис. 3).



Образец без дополнительной обработки зоны шва



Образец с дополнительной обработкой зоны шва



а

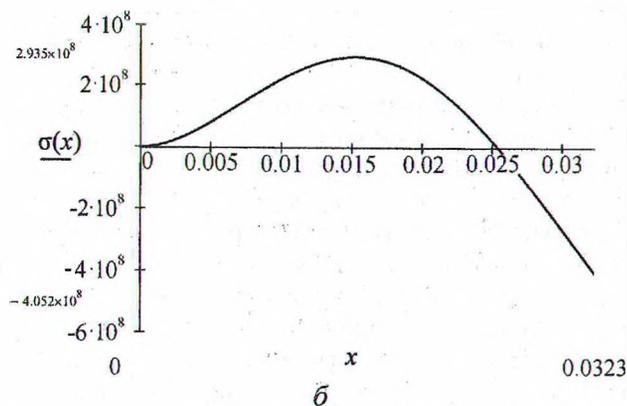
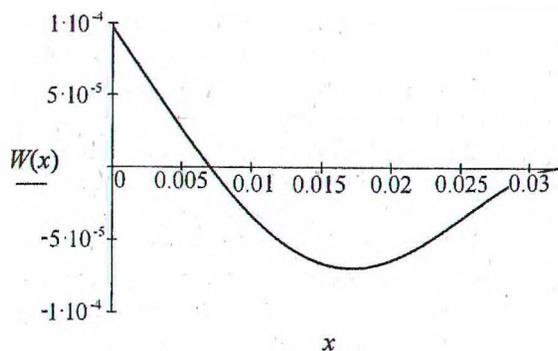


Рис. 2:

- а – образец со сварным швом;
- б – распределение прогибов и напряжений по длине образца

Выводы. Сохранение месторасположения узлов колебаний у образцов с дополнительной обработкой зоны шва позволяет говорить о неизменности характера напряженно-деформированного состояния

Таким образом, показано, что высокочастотные механические колебания могут быть успешно использованы для исследования усталостных характеристик сварных стыковых швов с выполнением дополнительной обработки зоны шва.

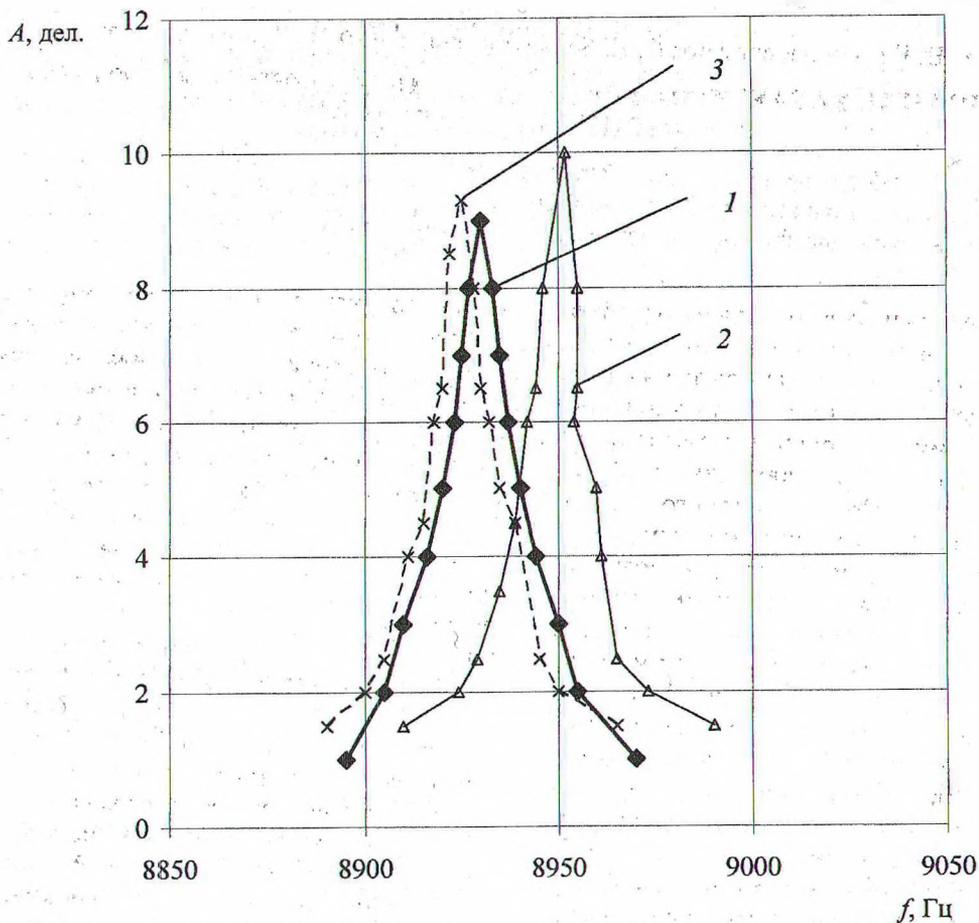


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики колебательной системы с различными образцами: 1 – стальной образец без сварного шва; 2 – стальной образец со сварным швом без дополнительной обработки; 3 – стальной образец со сварным швом с дополнительной обработкой

Литература

1. Высокочастотные колебания как метод ускорения усталостных испытаний элементов конструкций / Ф. Ф. Царук [и др.] // Повышение технического уровня и надежности машин: тез. докл. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 октября 1993 г. – Минск: ИНДМАШ, 1993. – С. 47–48.

2. Tsaruck F., Novitskiy A.. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III

international symposium on tribo-fatigue ISTF 2000, Hunan University Press, China. – P. 193–195.

3. К расчету напряженного состояния пластин, колеблющихся на низких ультразвуковых и звуковых частотах / В. Б. Немцов [и др.] // Теоретическая и прикладная механика. – 1989. – Вып. 16. – С. 113–117.

4. Царук, Ф. Ф. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования / Ф. Ф. Царук, А. В. Блохин, Н. А. Гайдук // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2002. – Вып. X. – С. 213–215.