

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТАРИРОВАНИЯ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА ПО КРИТЕРИЮ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ МИКРОТВЕРДОСТИ

*Д-р техн. наук, проф. В.Н. СЫЗРАНЦЕВ, д-р техн. наук, проф. С.Л. ГОЛОФАСТ,
ст. препод. Т.Р. ЗМЫЗГОВА*

Предложен алгоритм построения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в материале датчиков деформаций интегрального типа (ДДИТ)- инструментальных средствах, позволяющих оценивать накопление усталостных повреждений в элементах машин при циклическом деформировании. Реализация алгоритма дает возможность адекватно интерпретировать экспериментальные данные тарированных испытаний датчиков, необходимые для реализации методик прогнозирования ресурса деталей и конструкций машин на ранних стадиях их эксплуатации.

The algorithm of construction of the mathematical models describing processes in the integral strain gages (ISG) - instruments allowing to evaluate accumulation of fatigue damages in machine elements at cyclic deformation. Realization of algorithm enables adequately interpret experimental data of calibration trials of the transmitters, necessary for realization techniques of failure prediction in details and constructions of machines at early stages of their maintenance.

При эксплуатации различных машин, аппаратов и конструкций в материале составляющих их элементов возникают необратимые усталостные повреждения, приводящие к отказам и авариям. Современные расчетные методы, ориентированные, прежде всего, на стадию проектирования, предсказывать индивидуальный ресурс элементов машин по критерию усталостной прочности не позволяют. Поэтому так актуальна проблема разработки инструментальных методов и средств оценки ресурса элементов в эксплуатационных условиях. Один из наиболее перспективных, обладающих большими потенциальными возможностями — это метод, основанный на использовании датчиков деформаций интегрального типа (ДДИТ) [1, 2].

ДДИТ представляют собой безбазовые датчики, изготавливаемые из металлической фольги, получаемой по специальной технологии, которая гарантирует метрологические свойства датчиков и обеспечивает их требуемую чувствительность к амплитуде циклических деформаций. Конфигурация датчиков определяется формой исследуемой поверхности детали и условиями их размещения. ДДИТ устанавливаются в местах наибольшей концентрации напряжений на поверхности исследуемой детали, после чего она подвергается нагружению в условиях эксплуатации. Процесс накопления повреждений в датчике, деформирующемся вместе с исследуемой деталью, является наблюдаемым (изменяется отражательная способность поверхности датчика и его микротвердость, смещаются границы реакции датчика и т.д.), ассоциируется с физическим процессом усталости материала датчика и доступен для измерения. Возможность количественной оценки реакции ДДИТ и его достаточная для практических приложений чувствительность к амплитуде циклических деформаций позволяют косвенно оценить усталостное повреждение материала конструкции уже на ранних стадиях ее нагружения [1, 2].

Для определения накопленных усталостных повреждений при прогнозировании долговечности несущих конструкций машин в эксплуатационных условиях в [1] предложено использовать результаты оценки реакции ДДИТ по критерию появления первых «темных пятен» на поверхности датчика (внешняя реакция датчика) совместно с данными изменения

его микротвердости H_{μ} (внутренняя реакция датчика). Ключевым моментом реализации этой методики является получение в процессе испытаний тарировочного образца с ДДИТ тарировочной зависимости вида

$$H_{\mu} = H_{\mu}(N),$$

где N — число циклов нагружения, при постоянной амплитуде циклических деформаций $\gamma_a = \text{const}$ и ее математическое описание. Одна из таких зависимостей, полученная в [1], представлена на рис. 1.

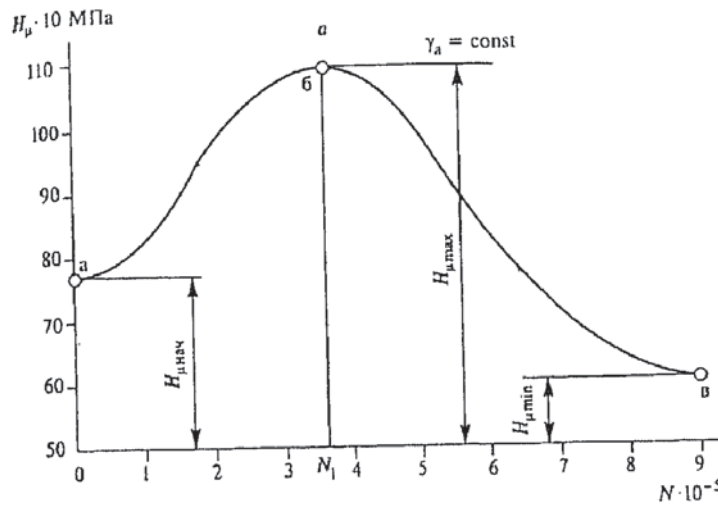


Рис. 1. Изменение микротвердости ДДИТ в зависимости от числа циклов нагружения

Анализ данной зависимости показывает, что практически с первых циклов деформирования ДДИТ происходит увеличение микротвердости его материала, которое свидетельствует о протекании в нем неупругих процессов [3]. В начальный период циклического нагружения происходит генерирование дислокаций и последующее их движение. Дислокации внутри благоприятно ориентированных зерен скользят до ближайших барьеров и тормозятся, образуя скопления. Эти скопления приводят к упрочнению в локальных объемах материала датчика. По мере увеличения числа циклов нагружения или уровня циклических деформаций эти процессы распространяются на соседние зерна структуры датчика. В результате этого микротвердость датчика возрастает (участок a — b , рис. 1). Отметим, что датчики, закрепленные на поверхности исследуемой детали, испытывают такие же суммарные циклические деформации, что и поверхностные слои самой детали, т.е. имеет место процесс совместного деформирования системы «датчик—деталь». После достижения максимальной величины микротвердости $H_{\mu \max}$ при продолжении циклического нагружения $N > N_1$ наблюдается обратный процесс разупрочнения материала ДДИТ (участок b — v , рис. 1). На этом этапе процесс движения дислокаций заканчивается выходом их на поверхность датчика («темные пятна» — внешняя реакция датчика). В результате этого в зернах с наиболее развитой дислокационной структурой появляются линии скольжения. По мере увеличения числа циклов нагружения количество линий скольжения увеличивается, образуются полосы скольжения, приводящие к разрыхлению поверхностного слоя ДДИТ и снижению его микротвердости. Этот процесс наблюдается до тех пор, пока поверхность датчика не будет полностью покрыта полосами скольжения, воспринимаемыми при осмотре под микроскопом с прямым освещением как «темные пятна» (рис. 2).



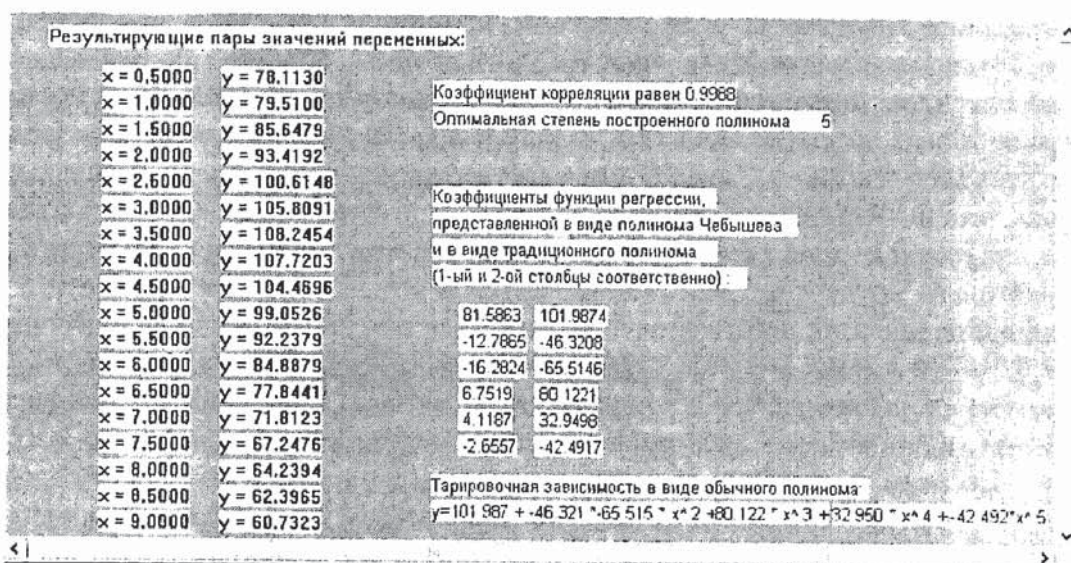
Рис. 2. Внешняя реакция («темные пятна») на поверхности ДДИТ

Процессы, происходящие в ДДИТ при его циклическом деформировании вместе с исследуемой деталью, приводят к усталости материала датчика на более ранних (на один — три порядка), нежели материал исследуемой детали, числах циклов нагружения. Именно это обстоятельство использовано в методиках прогнозирования ресурса по показаниям ДДИТ, разработанных в [1, 2].

До настоящего времени вследствие особой геометрической формы тарировочной зависимости $H_{\mu} = H_{\mu}(N)$ при $\gamma_{\mu} = \text{const}$ (или $H_{\mu} = H_{\mu}(\sigma)$ при $N = \text{const}$) ее аппроксимация осуществлялась преимущественно графическими методами, что, в свою очередь, требует от исследователя не только навыков и знаний, но и определенного искусства в построении алгоритмов решения подобных задач. Впервые математическое описание зависимости $H_{\mu} = H_{\mu}(\sigma)$ предложено в [2]. Полученная функция представляет собой непрерывную достаточно сложную унимодальную зависимость, заданную двумя различными выражениями относительно точки экстремума. В настоящей работе использование алгоритма полиномиальной регрессии, основанного на методе структурной минимизации среднего риска [4], для определения функциональной связи $H_{\mu} = H_{\mu}(N)$ позволило получить аналитическое описание зависимости, изображенной на рис. 1. На рис. 3 представлены результаты компьютерной реализации этого алгоритма, на основании которых искомую функцию можно записать в виде разложения по полиномам Чебышева или в виде обычного полинома 4-ой степени

$$H_{\mu} = 0101,987446,3208x - 65,5146x^2 + 80,121x^3 + 32,9498x^4 - 42,4917x^5.$$

Данные для аппроксимации представлены в масштабе $y = H_{\mu} \cdot 10$ МПа, $x = N \cdot 10^5$. Коэффициент корреляции экспериментальных данных равен 0,9988.

Рис. 3. Коэффициенты аппроксимирующей полиномиальной зависимости $H_{\mu} = H_{\mu}(N)$

Разработанный алгоритм восстановления одномерных полиномиальных зависимостей на основе ограниченного объема экспериментальных данных позволяет решать проблему построения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в материале датчиков при циклическом деформировании, и дает возможность адекватно интерпретировать экспериментальные данные тарировочных испытаний, необходимые для реализации методик прогнозирования ресурса деталей и конструкций машин на ранних стадиях их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л. Измерение циклических деформаций и прогнозирование долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. — Новосибирск: Наука, 2004. — 206 с.
2. Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л., Сызранцева К. В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. — Новосибирск: Наука, 2004. — 188 с.
3. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. — М.: Наука, 1976. — 230 с.
4. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. Вапника В. Н. — М.: Наука, 1984. — 816 с.

621.7:536.2

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ НАГРЕВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛИТ

Канд. техн. наук, доц. П.Б. ФЕДОРОВ

Рассматривается динамическая трехмерная модель упругопластического случайно неоднородного тела. Исследовано влияние толщины плиты, размера источника и учета пластических деформаций на значения прогиба и интенсивности напряжений с целью подобрать толщину, при которой в рабочем диапазоне температур плита будет находиться в пределах упругости.

A dynamic three-dimensional model of elastoplastic occasionally non-heterogeneous body has been considered. Influence of thickness of a plate, the size of a source and the account plastic deformations on values of a deflection and intensity of stress with the purpose to pick up thickness at which in a working range of temperatures the plate will be within the limits of elasticity is investigated.

Наиболее перспективными материалами, обладающими высокими прочностью, жесткостью, жаропрочностью и выносливостью, созданными человеком, в настоящее время становятся композиционные материалы. Одним из способов их создания является набор из чередующихся фольг алюминия и стали.

Нами был выбран материал, составленный из сплава на основе алюминия АД1 и стали 12Х18Н10Т, используемый при изготовлении деталей газотурбинных двигателей самолетов и других летательных аппаратов в пределах рабочих температур до 723 К. При обработке этих материалов концентрированными потоками энергии внутри элементов конструкций появляются источники тепла, что требует создания трехмерной модели термоупругости с учетом зависимости характеристик материала от температуры. Причем интенсивность термоупругих напряжения, как это показано в [1], может превышать предел текучести, даже в диапазоне рабочих температур.

Рассмотрим плиту со сторонами L_x, L_y, L_z , нагретую движущимся со скоростью V по поверхности $z = L_z$ вдоль стороны с размером L_x плоским, с размерами L_{xq} и L_{yq} , источни-