

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛЬЦАХ ПОДШИПНИКОВ НА АВТОМТИЗИРОВАННОМ ПРИБОРЕ АСБ-1

Букатый С.А.^{1,2}, Букатый А.С.^{1,2}

¹Самарский университет, г. Самара, bukaty@inbox.ru

²АО «Авиаагрегат», г. Самара

Ключевые слова: определение остаточных напряжений, кольца подшипников, исследовательское оборудование

Совершенствование методов определения остаточных напряжений является актуальной задачей машиностроения [1, 2]. Одним из факторов повышения ресурса авиационных двигателей и газотурбинных установок является повышение надёжности и долговечности подшипников. В процессе изготовления и на финишных операциях упрочнения методами поверхностного пластического деформирования в тонком поверхностном слое колец подшипников образуются остаточные напряжения (ОН). Растягивающие ОН являются инициатором образования и быстрого роста усталостных трещин, что значительно – в десятки раз уменьшает долговечность деталей. Поэтому для ответственных деталей разрабатываются технологические процессы (ТП) и режимы обработки, обеспечивающие наведение в поверхностном слое деталей сжимающих ОН. Но сжимающие ОН обеспечивают не только увеличение усталостной контактной выносливости и сопротивление износу, но при определённых условиях могут привести к существенным деформациям – изменению размеров и формы колец, превышающим технологические допуски. Поэтому вопросы обеспечения геометрической точности деталей в авиационном и точном машиностроении на основе прогнозирования деформаций и нормирования ОН, создание новых технологий, обеспечивающих, наряду с высоким качеством поверхности, устранение недопустимых деформаций, становятся всё более актуальными.

Для решения указанных задач необходим контроль ОН на каждом этапе изготовления колец подшипников. В настоящее время для определения ОН используют кольцевые образцы-свидетели с прямоугольным поперечным сечением. Однако условия реализации режимов обработки на прямой и криволинейной поверхностях беговых дорожек различные, что приводит к значительному различию определяемых ОН в образцах-свидетелях и реальных кольцах. Поэтому необходимо определять ОН непосредственно в кольцах подшипников. С этой целью на основе теории технологических остаточных деформаций колец с произвольным поперечным сечением [3] разработана методика и получено общее выражение для определения ОН в кольцах подшипников

$$\sigma_{\theta} - \mu \sigma_s = - \frac{E}{2R \left[R \left(\frac{S_v}{I_v} \cos \alpha + \frac{S_u}{I_u} \sin \alpha \right) - \frac{L}{F} \right]} \cdot \frac{d(\Delta D)}{da}. \quad (1)$$

В зависимости от геометрии поперечного сечения кольца на основе выражения (1) получают результаты для различного типа колец. Если финишной операцией было упрочнение микрошариками, то следует принять равенство $\sigma_{\theta} = \sigma_s = \sigma_{\text{ост}}$ и в знаменатель выражения (1) вводят множитель $(1-\mu)$, где μ – коэффициент Пуассона. Следует отметить, что наличие в поверхностном слое a касательных остаточных напряжений $\tau_{s\theta}$, появляющихся, например, после операции шлифования, не повлияет на конечный результат.

Разработанная нами Автоматизированная система (АС) на базе прибора АСБ-1 предназначена для определения ОН в поверхностном слое деталей, изготовленных из различных металлов и сплавов. В отличие от штативной конструкции существующих приборов ПИОН и др. в приборе АСБ-1 (рис. 1) массивный литой корпус существенно повышает жёсткость конструкции и помехозащищённость от внешних вибраций. Модульный принцип конструкции прибора позволяет определять ОН не только в прямолинейных

стержневых образцах, но и в образцах-кольцах, полукольцах, галтелях и других криволинейных образцах с большой и малой кривизной и произвольным поперечным сечением. Если диаметр колец подшипников превышает 100 мм, то кольцо разрезают на полукольца или более мелкие части, которые рассматривают как криволинейные стержни.



Рисунок 1 – Прибор АСБ-1 для автоматизированного определения остаточных напряжений

Датчик перемещений обеспечивает измерение перемещений образца в диапазоне ± 200 мкм с дискретностью 0,1 мкм и в диапазоне ± 1000 мкм с дискретностью 1 мкм. Измерительное усилие датчика не более 1 Н. При необходимости дискретность измерений может быть повышена до 0,01 мкм, а измерительное усилие приближено к нулевому. Исследуемый образец закрепляется в установке по консольной схеме, что также повышает разрешающую способность установки.

Программное обеспечение (ПО) АС включает в себя управляющую программу и расчётный блок, работающий в интерактивном режиме – в процессе травления образца и в автономном режиме при окончательном расчёте ОН. Управляющая программа на основе последовательного интерфейса RS-485 позволяет в многозадачном режиме и реальном масштабе времени управлять работой (опускание и подъём образцов) и осуществлять сбор данных с нескольких приборов с непрерывным выводом на экран монитора деформационных кривых и эпюр ОН. Для повышения точности определения ОН построение деформационной кривой $\Delta D(a)$ и вычисление производной $d\Delta D/da$ осуществляется в автоматическом режиме

в процессе травления образцов на основе аппроксимации исходных данных по специальной сглаживающей методике, учитывающей рассеивание результатов измерений. Результаты расчёта ОН выводятся на экран и по решению оператора на принтер в табличной и графической форме. В ПО предусмотрены три критерия контроля, позволяющие своевременно принимать решение о прекращении процесса травления образца в автоматическом режиме или по решению оператора. Графический редактор АС обеспечивает также вывод и обработку информации в стандартных приложениях Word, Excel и Notepad. Возможна разработка различных форм, удобных для представления и анализа ОН, расширяющих возможности при проведении исследовательских работ: автоматизированный анализ эпюр ОН, определение интегральных величин, необходимых для прогнозирования технологических остаточных деформаций высокоточных деталей, сравнение нормируемых параметров с заданными допусками, создание баз данных с изменяемым количеством контролируемых параметров и их предельных значений (по материалам, технологиям, типам деталей и др.). В состав АС входят также компьютер с системой защиты данных от потерь, лазерный принтер, блок стабилизированного питания для обеспечения работы прибора АСБ-1, приспособления для измерения геометрии и монтажа образцов, а также комплект оснастки для поверки измерительных датчиков и регулировки системы.

Использование АС позволит существенно повысить точность, увеличить производительность и уменьшить трудоёмкость определения ОН в образцах простой и сложной формы, увеличить номенклатуру контролируемых деталей серийного и опытного производства. АС расширяет возможности проведения опытных работ по совершенствованию ТП высокоточных деталей, а также обеспечивает возможность осуществлять тарировку приборов (например, типа СИТОН) для неразрушающего контроля ОН в ответственных деталях ГТД.

Список литературы

1. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое пера лопаток двигателей. Методич. материалы / НИАТ, 1965. 20 с.
2. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.
3. Букатый С.А. Определение остаточных напряжений в образцах переменного сечения. КуАИ, 1978. 8 с. Деп. в ВИНТИ. № 2023-78.

Сведения об авторах

Букатый Станислав Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов Самарского университета, ведущий инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: механика разрушения и малоцикловая усталость, остаточные напряжения и деформации.

Букатый Алексей Станиславович, доктор технических наук, начальник лаборатории технологических проблем АО «Авиаагрегат», профессор кафедры сопротивления материалов Самарского университета. Область научных интересов: упрочняющие технологии и покрытия, остаточные напряжения и деформации.

INVESTIGATION OF RESIDUAL STRESSES IN BEARING RINGS ON THE AUTOMATED EQUIPMENT ASB-1

Bukatyi S.A.^{1,2}, Bukatyi A.S.^{1,2}

¹Samara University, Samara, Russia, bukatyi@inbox.ru

²JSC Aviaagregat, Samara

Keywords: residual stress determination, bearing rings, research equipment.

Improvement of methods for determining residual stresses is an actual issue of mechanical engineering. One of the factors of increasing the life of aircraft engines and gas turbine is to increase the reliability and durability of bearings. During the manufacturing process and at the finishing operations of hardening by methods of surface plastic deformation, residual stresses are formed in the thin surface layer of the rings of the spines. Tensile forces are the initiator of the formation and rapid growth of fatigue cracks, which significantly reduces the durability of parts. Therefore, for critical parts, technological processes and processing regimes are being developed that ensure the compressive residual stresses in the surface layer of the parts. The accuracy of its determination significantly affects the efficiency of a large number of key technological processes. This paper shows the results of improving methods for determining residual stresses based on the theory of technological residual deformations of rings with an arbitrary cross-section, a technique has been developed and a general expression for determining of residual stresses in bearing rings has been obtained. The results obtained have significantly improved the accuracy of residual stresses determining.