

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

© 2006 С.А. Букатый, А.С. Букатый

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П. А. Соловьёва

Система предназначена для определения остаточных напряжений в поверхностном слое образцов механическим методом. Отличительными особенностями системы является литой корпус прибора и консольная схема крепления образцов. Разработанная методика позволяет определять остаточные напряжения в тонких и круглых образцах, а также в образцах с произвольным переменным поперечным сечением и закруткой.

Качество поверхностного слоя, наличие в нем сжимающих или растягивающих остаточных напряжений (ОН) является решающим фактором обеспечения надежности и циклической долговечности деталей ГТД. Растягивающие ОН являются инициатором образования и быстрого роста усталостных трещин, что значительно – в десятки раз уменьшает долговечность деталей. Для ответственных деталей разрабатываются технологические процессы (ТП) и режимы обработки, обеспечивающие наведение в поверхностном слое деталей сжимающих ОН. Однако, наряду с упрочнением, ОН могут привести к изменениям размеров и формы деталей, превышающим технологические допуски. Поэтому большое значение приобретают методы контроля режимов обработки и качества ТП. В настоящее время наиболее надёжным и достоверным методом контроля качества поверхностного слоя деталей является определение ОН путем послойного травливания поверхностных слоев образца, вырезанного из исследуемой детали.

В большинстве лабораторий ОН определяют на устаревших приборах ПИОН по методике [1], выпущенной в 1965г. Процесс определения ОН состоит из регистрации перемещений (деформаций) образца в процессе его травления и последующей математической обработки полученной кривой. До сих пор во многих лабораториях этот процесс осуществляется вручную с графическим дифференцированием деформационной кривой. На практике, в силу значительной трудоёмкости расчёта, из трёх составляющих ОН учитывают только одну

составляющую, соответствующую первой производной от деформационной кривой. Такое упрощение приводит к существенной погрешности при определении ОН в тонких образцах, у которых глубина залегания ОН a соизмерима с толщиной образца h , т.е. $a/h > 0,05$. К ещё большей погрешности приводит отклонение формы поперечного сечения образца от прямоугольной, т.к. традиционная методика справедлива только для образцов с прямоугольным и постоянным по длине поперечным сечением. Очень часто образцы, вырезаемые из лопаток ГТД, имеют трапециевидальное и переменное по длине образца поперечное сечение. В таких случаях расчет ОН ведут по т.н. «среднему» сечению, что наряду с погрешностями ручного расчета приводит к большим ошибкам.

В данной автоматизированной системе (АС) используются методики и программное обеспечение (ПО), разработанные на основе теории остаточных напряжений и деформаций естественно закрученных стержней с произвольным поперечным сечением:

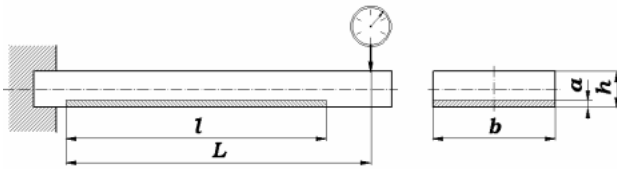
$$f_y = \int_0^l (-\kappa_\eta \sin \alpha + \kappa_\xi \cos \alpha)(l - z) dz,$$

$$\kappa_\eta = \frac{M_\xi}{EI_\xi} - \frac{d\varphi}{dz} \frac{\theta I_{p\xi}}{I_\xi},$$

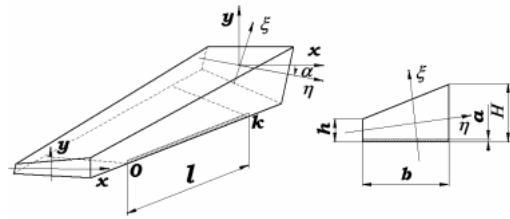
$$\kappa_\xi = \frac{M_\eta}{EI_\eta} - \frac{d\varphi}{dz} \frac{\theta I_{p\eta}}{I_\eta},$$

$$M_\eta = -\oint_S \int_0^a \xi (\sigma_\xi - \mu \sigma_s) dnds$$

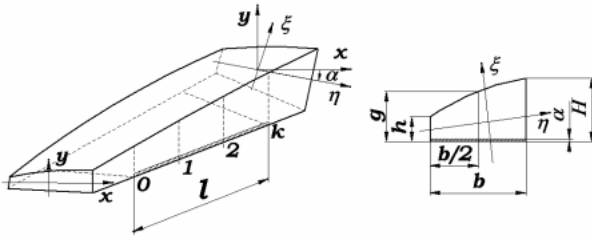
№1. Прямоугольное постоянное сечение



№2. Трапецидальное клиновидное сечение



№3. Трапецидальное переменное сечение



№4. Круглое постоянное сечение

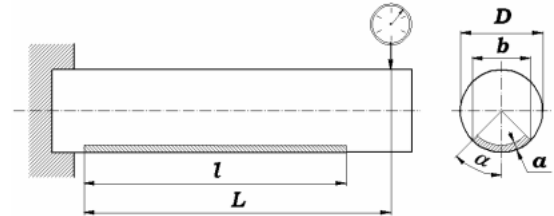


Рис.1. Типы образцов, вырезаемых из деталей для определения ОН

$$M_{\xi} = -\oint_S \int_0^a \eta (\sigma_{\xi} - \mu \sigma_s) dn ds,$$

где f_y – прогибы образца; M_{ξ} , M_{η} – эквивалентные изгибающие моменты, обусловленные действием ОН; φ , θ – абсолютный и относительный угол закрутки образцов соответственно.

Программное обеспечение позволяет определять ОН с учётом всех трёх составляющих в образцах с прямоугольным и трапецидальным переменным поперечным сечениями и закруткой, длиной от 20 до 80 мм (рис. 1). Наряду с указанными, модульный принцип, реализованный в системе, позволяет также реализовать определение ОН в образцах-кольцах, полукольцах, галтелях и других криволинейных образцах с большой и малой кривизной и с произвольным поперечным сечением.

Проверка методики осуществлялась на клиновидных и плоских образцах из сплава ВТ-20. Степень клиновидности характеризуется отношением 2:1, т.е. как в продольном, так и в поперечном направлении концевые размеры образцов отличались в 2 раза. Все образцы обрабатывали гидродробеструйным способом на одном режиме: давление жидкой рабочей среды $P_{ж} = 0,5$ МПа, диаметр шариков $\phi = 2$ мм, длительность обработки $\tau = 2$ мин. Результаты расчета ОН показаны на рис. 2.

Здесь кривые 1 и 2 соответствуют расчету ОН по изложенной методике в клиновидных и плоских образцах. Результаты рас-

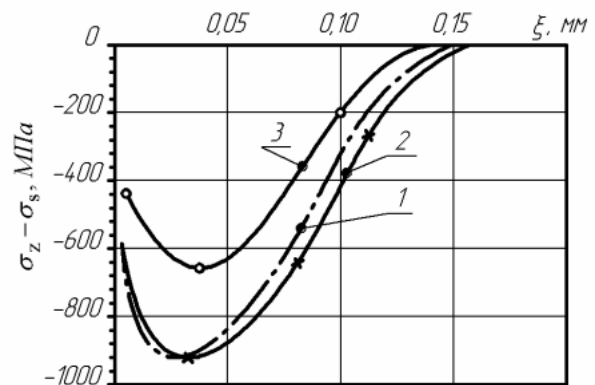


Рис. 2. Остаточные напряжения в опытных образцах

чета ОН в клиновидных образцах по «среднему» сечению (кривая 3), существенно отличаются от первых двух. Следовательно, расчет по «среднему» сечению, обычно практикуемый при отсутствии методик, учитывающих геометрию образца, дает заниженные в 1,3–1,5 раза результаты.

Основу АС составляет установка для определения ОН, показанная на рис. 3. В отличие от штативной конструкции существующих приборов ПИОН и др. в нашей установке массивный литой корпус существенно повышает жесткость конструкции и помехозащищенность от внешних вибраций.

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



Рис.3. Установка для автоматизированного определения остаточных напряжений

жено к нулевому. Исследуемый образец закрепляется в установке по консольной схеме, что также повышает разрешающую способность установки.

Программное обеспечение АС включает в себя управляющую программу и расчетный блок, работающий в интерактивном режиме – в процессе травления образца и в автономном режиме при окончательном расчете ОН. Управляющая программа на основе последовательного интерфейса RS-485 позволяет в многозадачном режиме и реальном масштабе времени управлять работой и осуществлять сбор данных с 8–10 установок с непрерывным выводом на экран монитора деформационных кривых и эпюр ОН (рис. 4). Аппроксимация исходных данных, получаемых в автоматическом режиме в процессе травления образцов, осуществляется сглаживающими сплайнами 3 степени. Построение деформационной кривой $f(a)$ и вычисление производной df/da осуществляется по специальной методике, учитывающей точность датчиков перемещений. Результаты расчета

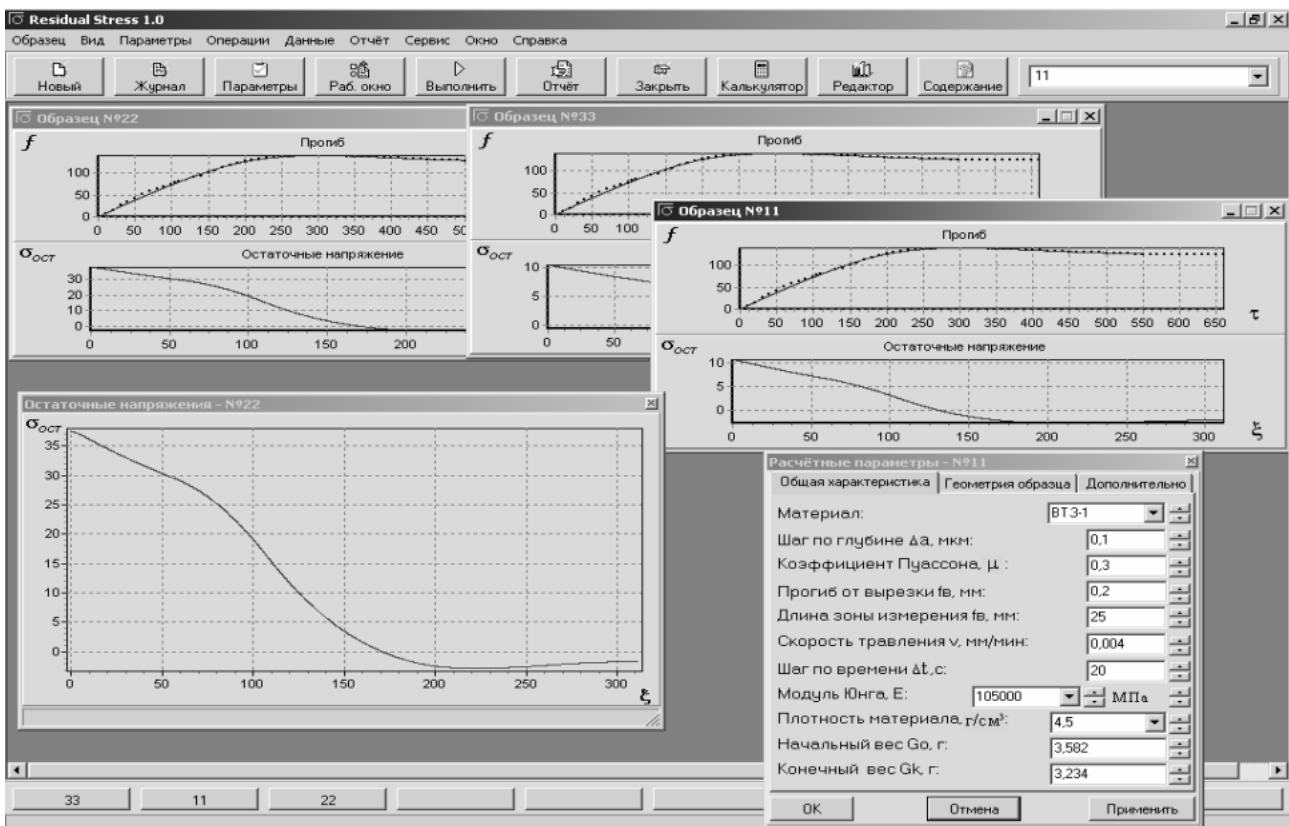


Рис. 4 Вид панели управляющей программы АС

измерений может быть повышена до 0,01 мкм, а измерительное усилие прибли-

ОН выводятся на экран и по решению оператора на принтер в табличной и графиче-

ской форме. В ПО системы предусмотрены три критерия контроля, позволяющие оператору своевременно принимать решение о прекращении процесса травления соответствующего образца. Графический редактор АС обеспечивает также вывод и обработку информации в стандартных приложениях Word, Excel, Access и Notepad. Возможна разработка новых форм, более удобных для представления и анализа ОН, расширяющих возможности при проведении исследовательских работ: автоматизированный анализ эпюр ОН, определение интегральных величин

$$N = \oint_S \int_0^a (\sigma_\theta - \mu\sigma_s) d\xi ds,$$

$$M_x = \oint_S \int_0^a y(\sigma_\theta - \mu\sigma_s) d\xi ds,$$

$$M_y = \oint_S \int_0^a x(\sigma_\theta - \mu\sigma_s) d\xi ds,$$

необходимых для прогнозирования технологических остаточных деформаций упрочняемых 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 на базе процессора P3 или P4, принтер, блок стабилизированного питания Б5-47, приспособления для монтажа образцов и подогрева защитного покрытия, а также комплект оснастки для проверки измерительных датчиков и регулировки системы.

Использование АС позволит существенно повысить точность, увеличить производительность и уменьшить трудоемкость определения ОН в образцах простой и сложной формы, расширить номенклатуру контролируемых деталей.

Список литературы

1. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое пера лопаток двигателей. Методические материалы / НИИТ. – 1965. – 20 с.

AUTOMATIC SYSTEM FOR DETERMINATION THE RESIDUAL TENSIONS IN THE SEGMENTS OF COMPLEX FORMS

© 2006 S.A. Bukaty, A.S. Bukaty

The system is designed for the residual tensions determination in the superficial stratum of segments by means of mechanical method. Distinguishing singularities of this system are foundry body of apparatus and console scheme of fixing the segments. Invented methods enable the capability of the residual tensions determination in the segments of thin, round, random, variable and involute forms of cross sections.