

ДИАГНОСТИКА ПРОЧНОСТИ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ПАРАМЕТРА –  
ТЕРМОБАРОСТОЙКОСТИ

Босый С.И., Белозеров В.В.

«Научный производственно-технологический центр ОКТАЭДР»,

Ростов-на-Дону, Россия

При исследовании надежности и долговечности материалов и при испытаниях изделий из них, традиционно используются термостаты, криостаты, термобарокамеры и способы термоциклирования и термобаронагружения в них соответственно, в т.ч. для ускорения испытаний [1].

Основными параметрами материалов для конструкций ответственного назначения является их термостойкость ( $T_T, T_{Ц}$ ) - стандартизованная температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) термостойкости и число (const) термоциклов соответственно, при которых образец сохраняет свои характеристики, а также его прочность, характеризуемая пределами ползучести ( $\sigma_V$  и  $\sigma_T$ ) при кратковременном и длительном (час.) нагружении (МПа) соответственно и при определенной температуре ( $^{\circ}\text{C}$ ).

В отличие установок термического анализа (ТА), выпускаемых за рубежом, в первом отечественном дериватографе «ОКТАЭДР», вместо обычно применяемых линейных температурных режимов и постоянного давления или вакуума в рабочем объеме источника тепла/холода, введён адаптивный режим термобароциклирования (от минус  $70^{\circ}\text{C}$  до плюс  $70^{\circ}\text{C}$  в термокриостате) и термобаронагружения (от 20 до  $1000^{\circ}\text{C}$  в электропечи) образца с заданным шагом в интервале давлений  $P$  (от 0,001 до 1 МПа), что позволяет реализовать квази-изотермические и квази-изобарические участки в окрестностях «особых точек» (нано-, микро- и макроизменений в образце), чем повысить точность и достоверность определения и вычисления изменений в этих точках всех определяемых параметров [2].

Адаптивность режима заключается в изменении давления скачком на участках с постоянной температурой, и в линейном изменении температуры на участках с постоянным давлением, что осуществляется программно-логическим автоматом (ПЛА), в состав которого входит вакуумный насос и компрессор с прецизионной схемой контроля и управления термокриостатом и электропечью, по командам компьютера.

Это позволяет определить и вычислить все калорические и термические коэффициенты образца и построить их зависимости от изменения давления и температуры:

$$\begin{aligned} C_V = dQ_V./dT; \quad \xi = dQ_T./dV; \quad C_P = dQ_P./dT; \quad h = dQ_T./dP; \quad \chi = dQ_P./dV; \quad \psi = dQ_V./dP; \\ \beta = -(\partial V/\partial P)/V; \quad \gamma = (\partial P/\partial T)/P, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C_V$  - теплоемкость при постоянном объеме;  $dQ_V$  – изменение тепла при постоянном объеме ( $T$  - температуре,  $P$  - давлении);  $dT$  – изменение температуры ( $V$  - объема,  $P$  - давления);  $\xi$  - коэффициент изотермического изменения внутренней энергии;  $C_P$  - теплоемкость при постоянном давлении;  $h$  – теплота изотермического возрастания давления;  $\chi$  – коэффициент изобарического изменения внутренней энергии;  $\psi$  – теплота изохорического возрастания давления;  $\beta$  - изотермический коэффициент сжатия;  $\gamma$  – изохорный коэффициент давления.

Используя связь  $\beta$  с модулем объемной упругости ( $K=1/\beta$ ), «ОКТАЭДР» вычисляет остальные модули упругости, а также определяется второй критерий подобия упругих деформаций равный  $\rho g \ell / E$  и коэффициент Пуассона:

$$E = P \cdot \ell / \Delta \ell; G = 3E / (9 - \beta \cdot E); \mu_c = G; \lambda_\lambda = (1 - 2\beta \cdot \mu) / 3\beta \quad \text{и} \quad \nu = (E - 2G) / 2G, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $P$  – давление,  $\ell$  - линейный размер образца, определяемый dilatометром,  $\Delta \ell$  - изменения линейного размера,  $G$  – модуль сдвига;  $\mu_c$ ,  $\lambda_\lambda$  - постоянные Ламе;  $\rho$  – плотность образца, определяемая по измерениям его массы и объема;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Технология термобароциклирования позволяет годовой цикл эксплуатации образца (8760 часов) имитировать за несколько часов, с колебаниями температур в диапазоне эксплуатации от «полюса до экватора» и давлений - от земных до ионосферных. Это дает возможность **ввести новый параметр – термобаростойкость** (по аналогии с термостойкостью), как стандартизованную температуру термостойкости ( $T_t$ ), стандартизованное давление ( $P_t$ ) и число термобароциклов ( $\chi_{\text{Ц}}$ ), а также **осуществить его ускоренное «старение»**, которое позволит **количественно определить долговечность** образца -  $t_p$ , как стандартизованный средний ресурс, **и вычислить факторы опасности**, возникающие при эксплуатации образца в исследованных интервалах ( $P, T$  и  $t_p$ ), **как соответствующие вероятности  $P_i$**  (например, опасности механического разрушения, пожарной опасности и т.д.). При этом становятся очевидными, например, понижение показателей прочности «состарившихся» материалов, повышение их пожарной опасности и т.д., что существующими стандартными методами не определяется.

В методологии применения «ОКТАЭДРа» используется понятие долговечности по ГОСТ 27.002, как среднего ресурса, обозначаемого  $t_p$ , определяющего время достижения предельного характеристического параметра в течение срока эксплуатации (установленных параметров прочности, например, модуля Юнга –  $E$ , коэффициента Пуассона –  $\nu$ , или теплоизоляционной способности, тогда коэффициентов теплопроводности -  $\lambda$  и температуропроводности –  $a$ , и т.д.).

С точки зрения безопасности, например механической, в методологии применения «ОКТАЭДРа» используются параметры ползучести, как вероятности разрушения образца в начале срока его эксплуатации  $P_0$  из условия, что при достижении предельных значений давлений и температуры в термобароцикле, по истечении его ресурса  $t_p$ , вероятность

разрушения образца является нормативной ( $P_{t_p} = 0,2$  при  $\sigma_{0,2/t_{ц}/T_{т}} = P_{т}$ ) и можно вычислить значение интенсивности разрушения, логарифмируя уравнение  $P_{t_p} = 1 - e^{-\lambda t_p}$ :

$$\lambda = \text{Ln}(0,8) / t_p; \quad (3)$$

после чего подставляя полученное значение в то же уравнение, но с годовым ресурсом времени, получим:

$$P_0 = 1 - e^{-8760\lambda} \quad (4)$$

#### Литература

1. Буловский П.И., Зайденберг М.Г. Надежность приборов систем управления /Справоч. пособ./, Л., Машиностроение, 1975, с.266-273, с.289-298.
2. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Видецких Ю.А., Викулин В.В., Прус Ю.В. ОКТАЭДР: метод и комплекс термоакустметрии с синхронным термическим анализом веществ и материалов – в жур. «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ», № 11, 2005, М.,РАЕ, с.26-27.