

## Механика материалов: прочность, ресурс, безопасность

### ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ДЕТАЛЕЙ И КОНСТРУКЦИЙ

© Н. А. Махутов

Статья поступила 22 марта 2016 г.

Наш раздел на протяжении многих десятилетий уделяет большое внимание развитию методов и систем исследований, контроля, диагностики конструктивных материалов (рисунок). Цель этих методов — определение базовых, стандартных характеристик на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях:

структурного состава и состояния структурных элементов;

физико-механических свойств при вариации технологий размеров.

Испытания и диагностика материалов позволяют определить базовые характеристики физико-химических и механических свойств, являющихся основой математического моделирования материалов (их структур, размеров  $p_c$  и формы  $f_c$  структурных составляющих, локальных свойств структурных элементов  $\sigma_c$ , дефектов структур  $l_c$ ). С позиций физики прочности, физического материаловедения, конструктивно-материаловедения, теории дислокаций, нано- и микроструктурного анализа были развиты и используются следующие функциональные зависимости:

$$\{E, \mu, \alpha, \rho, \sigma_T, \sigma_B, \psi_k, S_k\} = F\{p_c, f_c, \sigma_c, l_c\}, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль упругости;  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $\alpha$  — коэффициент линейного температурного расширения;  $\rho$  — плотность;  $\sigma_T$  — предел текучести;

$\sigma_B$  — предел прочности;  $\psi_k$  — относительное сужение в шейке;  $S_k$  — сопротивление разрыва в шейке.

В рамках технической диагностики несущих элементов конструкций и деталей машин решаются следующие основные задачи — определяются напряженно-деформированные состояния, а также базовые параметры прочности, долговечности и надежности. Научной основой этой диагностики являются методы сопротивления материалов, теории упругости, пластичности, ползучести, усталости, механики разрушения, трибологии, фрактографии.

Параметры напряженно-деформированных состояний ( $\sigma^3, e^3$ ) оцениваются через базовые характеристики физико-механических свойств ( $E, \mu, \alpha, \rho, \sigma_T, m$ ) с учетом внешних и внутренних эксплуатационных воздействий  $Q^3$ , способов и видов напряжения, геометрических размеров  $S^3$  и форм  $F^3$ :

$$\{\sigma^3, e^3\} = F\{E, \mu, \alpha, \rho, \sigma_T, m, (Q^3, S^3, F^3, \alpha_\sigma)\}, \quad (2)$$

где  $m$  — показатель упрочнения конструкционного материала в упругопластической области;  $\alpha_\sigma$  — теоретический коэффициент концентрации напряжений.

С использованием выражений (1), (2) проводится диагностика предельных состояний (по параметрам прочности, жесткости, долговечности и надежности наиболее ответственных деталей машин и элементов

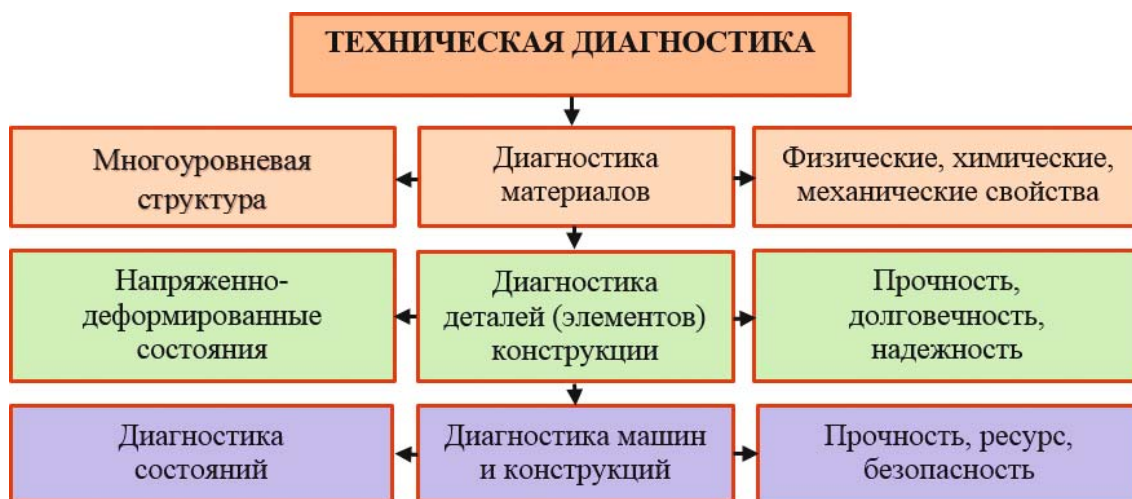


Схема технической диагностики материалов и конструкций

конструкций с учетом определяющих факторов эксплуатационных воздействий (времени  $\tau^3$ , температуры  $t^3$ , числа циклов  $N^3$ , физико-химических сред  $\Phi^3$ ), предельных характеристик сопротивления материалов разрушению (предела прочности  $\sigma_B$ , длительной прочности  $\sigma_T$ , циклической прочности  $\sigma_N$ ) и предельных характеристик пластичности ( $e_B, e_T, e_N$ ):

$$\{\sigma^3, e^3\} \leq F\{\sigma, [e]\} = \min\left\{\frac{(\sigma_B, e_B)}{n_B}, \frac{(\sigma_T, e_T)}{n_T}, \frac{(\sigma_N, e_N)}{n_N}\right\}, \quad (3)$$

где  $[\sigma], [e]$  — допускаемые напряжения и деформации;  $n_B, n_T, n_N$  — запасы прочности и долговечности для однократного статического, длительного и циклического нагружения. При этом учитывается влияние  $\Phi^3$  на предельные характеристики.

Для деталей машин и элементов конструкций с реальными технологическими и эксплуатационными дефектами  $l^3$  техническая диагностика с реализацией выражения (3) дополняется диагностикой дефектности на основе уравнений линейной и нелинейной механики разрушения (по критериям коэффициентов интенсивности напряжений  $K_{Ic}^3$  и деформаций  $K_{Iec}^3$ ):

$$\{K_I^3, K_{Ie}^3\} = F\{(\sigma^3, e^3), l^3\} = \min\left\{\frac{K_{Ic}}{n_k}, \frac{K_{Iec}}{n_{ke}}\right\}, \quad (4)$$

где  $n_k, n_{ke}$  — коэффициенты запаса по критическим значениям коэффициентов интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  и деформаций  $K_{Iec}$ .

В случаях статического, длительного и циклического нагружения учитывается рост трещин  $l^3$  при увеличении  $Q^3, \tau^3, N^3$ .

Для машин и конструкций, состоящих из набора деталей и элементов, техническая диагностика вклю-

чает анализ состояний конструкционных материалов по выражению (1), изменения состояния деталей и элементов по (2), (3), (4) с учетом накопления в них повреждений, изменения взаимодействия между деталями и элементами (приводящее к изменению  $Q^3$ ). В этом случае техническая диагностика становится многофакторной и многоцелевой. В соответствии с требованиями современного законодательства, стандартов, норм и правил расчетными для машин и конструкций становятся параметры прочности, ресурса и безопасности. В теории безопасности важнейшим параметром становится риск  $R(\tau^3)$ , формирующийся во времени  $\tau^3$  и зависящий практически от всех параметров выражений (1)–(4). При этом важнейшее значение приобретает интегральное условие безопасности

$$R(\tau^3) \leq [R(\tau)] = \frac{R_c(\tau)}{n_R}, \quad (5)$$

где  $[R(\tau)]$  — приемлемый риск для данного времени  $\tau$ ;  $n_R$  — запас по рискам.

В реальной практике технической диагностики на основе выражений (1)–(5) для обеспечения прочности, ресурса и безопасности наряду с традиционными методами и системами используют магнитную, токовихревую, вибрационную, визуальную, оптическую, акустическую, ультразвуковую диагностику, все большее применение получают новые методы — акустоэмиссионные, голографические, томографические, тензотермовиброметрические.

Публикуемая ниже статья А. Л. Назолина открывает цикл работ, посвященных комплексным взаимосвязанным проблемам технической диагностики конструкционных материалов, деталей машин и элементов конструкций.