

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПОКРЫТИЕ-ОСНОВА ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ

При определении остаточных напряжений в системе покрытие-основа принята следующая модель процесса: длина заготовки достаточно велика по сравнению с ее диаметром и при наплавке возникает подвижное квазистационарное температурное поле; напряжения в слое в момент его формирования отсутствуют; напряжения в системе покрытие-основа возникают в результате охлаждения заготовки до температуры окружающей среды. Наплавленное покрытие рассматривали как сплошную среду, что позволило решать задачу в рамках феноменологических теорий теплообмена и механики сплошной среды.

Физическую сторону задачи описывали обобщенным законом Гука с появлением температурных деформаций.

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 2G(\epsilon_z + \frac{3M}{1-2M}\epsilon_{\varphi}) - \frac{E}{1-2M}\alpha T(z); \\ \sigma_t &= 2G(\epsilon_t + \frac{3M}{1-2M}\epsilon_{\varphi}) - \frac{E}{1-2M}\alpha T(z); \\ \sigma_r &= 2G(\epsilon_r + \frac{3M}{1-2M}\epsilon_{\varphi}) - \frac{E}{1-2M}\alpha T(z),\end{aligned}$$

где  $\sigma_z$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_r$  - радиальное, тангенциальное и осевое напряжения соответственно;  $G$  - модуль сдвига;  $\epsilon_z$ ,  $\epsilon_t$ ,  $\epsilon_r$  - радиальная, тангенциальная и осевая деформация соответственно;  $M$  - коэффициент Пуассона;  $E$  - модуль упругости;  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения;  $T$  - температура заготовки;  $z$  - текущий радиус цилиндрической заготовки.

Проведенные опыты показали, что с достаточной точностью распределение температуры по радиусу можно представить зависимость  $T(z) = T_0 + T_1 z^k + (z/2k)^k$ , где  $T$  - температура в центре цилиндрической заготовки ( $z = 0$ );  $z$  - внешний радиус заготовки;  $k$  - положительное число; Так как толщина покрытия небольшая, то температуру его считали постоянной по толщине.

О наступлении предельного состояния покрытия судили по эквивалентным напряжениям, определяемым по энергетической теории прочности

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{0,5[(\sigma_z - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2]}.$$

Полученные расчетные соотношения позволили разработать алгоритм и составить программу для численных исследований остаточных напряжений с применением ЭВМ в системе покрытие-основа на поверхностях тел вращения.