

К основным общим требованиям к системам технической диагностики клееных конструкций из полимерных композиционных материалов следует отнести:

-простоту в управлении при практической эксплуатации в условиях сложности обработки диагностической информации, иерархическую организацию накопления, хранения и обработки диагностической информации разных

физических представлений в разных информационных окнах;

-способность к накоплению и хранению сведений о дефектах, а также измерительной информации и режимных параметрах, возможность ретроспективного анализа значений измеряемых величин, а также расчетных параметров, определяющих оценку технического состояния и ее надежность.

УДК 539.376

### **ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РЕЛАКСАЦИЮ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Радченко В.П., Саушкин М.Н.

Самарский государственный технический университет

#### **INFLUENCE OF ANISOTROPY OF SURFACE PLASTIC HARDENING ON THE FORMATION AND RESIDUAL STRESSES RELAXATION**

Radchenko V.P., Saushkin M.N. *The scheme fields of residual stresses and plastic deformation in the surface layer of cylindrical samples calculations offered. Technological factors hardening procedures taken into account. Analysis of the held calculations completed.*

При классическом подходе в качестве основной гипотезы для расчёта полей остаточных напряжений и пластических деформаций использовалось предположение, что поля окружной  $q_q$  и осевой  $q_z$  компонент остаточных пластических деформаций (в цилиндрической системе координат) после процедуры ППД удовлетворяют условию  $q_q = q_z$ . Процедуры упрочнения, удовлетворяющие этому условию, получили название изотропного упрочнения (в направлении осей  $Oz$  и  $Oq$  в цилиндрической системе координат). К таким упрочняющим технологиям относятся гидро- и пневмодробеструйная обработки, ТПУ, азотирование и некоторые другие. Однако для ряда технологий (обкатка роликом, алмазное выглаживание, дорнование и других)  $q_q$  и  $q_z$  могут быть связаны более общим соотношением:

$$q_z(r) = a q_q(r) \quad (0 < a < \infty, a \neq 1). \quad (1)$$

Процедуры упрочнения, для которых выполняется гипотеза (1), получили название анизотропного упрочнения. Детальное теоретическое исследование напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом слое при выполнении (1) в научной литературе не приводилось.

Авторами разработана методика расчёта полей остаточных напряжений и пластических деформаций в цилиндрическом образце, которая сводится к решению системы дифференциальных уравнений в частных производных относительно остаточных напряжений при заданных условиях (1) на компоненты остаточных пластических деформаций.

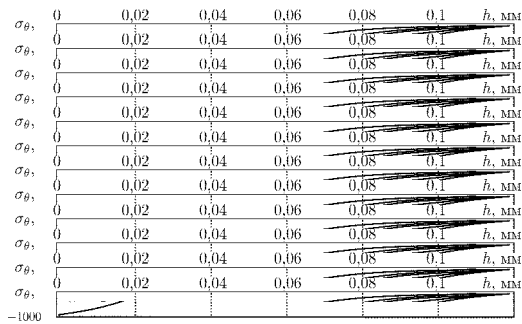


Рис. 1. Распределение осевой компоненты тензора остаточных напряжений  $s_z(h)$  в зависимости от параметра  $a$  для одной и той же компоненте  $s_q(h)$

В качестве примера на рис. 1 показаны зависимости распределения осевой компоненты остаточных напряжений  $s_z(h)$  в зависимости от параметра  $a$  по глубине слоя  $h$  для образца радиуса 3,76 мм из сплава ЭИ 698. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что можно существенно увеличить максимальную величину осевой компоненты сжимающих напряжений  $s_z(h)$  за счёт управления технологией упрочнения (математически – за счёт выбора параметра  $a$ ).

Рассмотрены вопросы релаксации остаточных напряжений в упрочнённом цилиндрическом образце при продольном растягивающем усилии  $F(t)$  в условиях ползучести с учётом гипотезы (1).

В силу того, что толщина поверхностного слоя мала по сравнению с радиусом цилиндрического образца, то упрочнённый слой не оказывает существенного влияния на жёсткость и деформируемость самого цилиндра. Поэтому тонкий поверхностный слой можно представить «наклеенным» на цилиндр и деформирующимся с ним в режиме «жёсткого» нагружения под действием силы  $F(t)$ . Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо иметь решение краевой задачи о неупругом деформировании цилиндра при действии растягивающей силы  $F(t)$ , из которой определяются деформации ползучести  $e_r(t)$ ,  $e_q(t)$ ,  $e_z(t)$  на поверхности цилиндра. Эти три величины являются входными данными для решения краевой задачи о релаксации остаточных напряжений в тонком поверхностном слое.

Выполнен обстоятельный численный анализ релаксации остаточных напряжений на фоне ползучести цилиндрического образца в зависимости от первоначального напряжённо деформированного состояния, определяемого на основании гипотезы (1).

В качестве примера на рис. 2 приведена типичная картина кинетики остаточных напряжений  $s_q$  на поверхности упрочнённого цилиндрического образца растягиваемого нагрузкой  $s = 300$  МПа в зависимости от  $a$ .

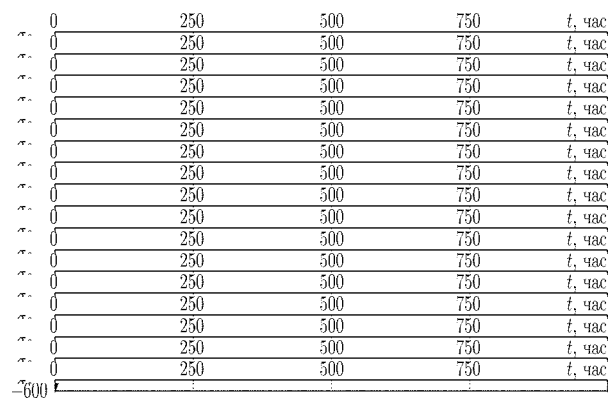


Рис. 2. Кривые релаксации остаточных напряжений  $s_q(a, t)$  для цилиндрического образца в условиях ползучести при растягивающей нагрузке (сплав ЭИ 698,  $T = 700^\circ\text{C}$ ): 1 –  $a = 4$ ; 2 –  $a = 2$ ; 3 –  $a = 1$ ; 4 –  $a = 0,5$ ; 5 –  $a = 0,25$

Выполненный анализ позволяет сделать следующие выводы: 1) начальное напряжённо-деформированное состояние в упрочнённом слое после процедуры ППД и кинетика остаточных напряжений в процессе ползучести существенно зависят от параметра  $a$  (исходной технологии наведения остаточных напряжений); 2) показано, что имеется возможность повысить эффективность упрочнённого слоя за счёт выбора параметра  $a$ : при  $a > 1$  релаксация напряжений  $s_q$  и  $s_z$  идёт медленнее, чем в «классическом» случае  $a = 1$ , поэтому величина исчерпания ресурса (по величине остаточных сжимающих напряжений) при  $a > 1$  наступает гораздо позже, чем в случае  $a = 1$ .

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВИЦП “Развитие научного потенциала высшей школы” (проект 2.1.1/13944).