

Сургутанов Н.А., Сургутанова Ю.Н., Сазанов В.В., Катанаева Ю.А., Неверов И.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ВЕРШИНЕ ТРЕЩИНЫ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЯХ

В современном авиамашиностроении одним из основных путей достижения высоких показателей по надёжности и ресурсу работы деталей является рациональное конструирование. Оптимизация конструкций приводит к наличию различных концентраторов напряжений, обычно являющихся местом локализации разрушений при циклическом нагружении. Основными методами, позволяющими значительно повысить сопротивление усталости в условиях концентрации напряжений, являются применяемые при изготовлении деталей способы упрочняющей технологии, в частности, широко используемое в современном машиностроении поверхностное пластическое деформирование (ППД) [1].

Работы последних лет в области механики остаточных напряжений позволили определить воздействие различных видов и режимов упрочняющей обработки на уровень остаточных напряжений. Однако влияние данных режимов на распространение и остановку усталостной трещины изучено недостаточно. Для определения критической глубины трещины усталости используется такая характеристика повреждённой нагруженной конструкции, как коэффициент интенсивности напряжений (КИН) K_I (индекс I обозначает тип разрушения – отрыв).

Проанализировать зарождение, развитие и остановку трещины усталости можно при помощи расчёта коэффициента интенсивности напряжений в деталях с концентраторами напряжений. Если известен коэффициент K_I , то поле напряжений в вершине трещины полностью определено. Данный коэффициент определяет также то, что происходит внутри зоны пластичности. K_I есть мера всех напряжений и деформаций. Расширение (рост) трещины происходит в том случае, когда напряжения и деформации при вершине трещины достигают критических значений.

В среде программного продукта ANSYS был проведён расчёт коэффициента интенсивности напряжений K_I для цилиндрических осесимметричных деталей, ослабленных круговым надрезом полукруглого профиля $R = 0,5$ мм. Решалась статическая упругая задача, напряжённое состояние принималось осесимметричным [2].

Геометрические параметры исследуемых образцов приведены в табл. 1. В силу симметрии детали и напряжённого состояния при решении задачи для уменьшения вычислительных затрат моделировалась не вся деталь, а лишь её четверть (рис.2).

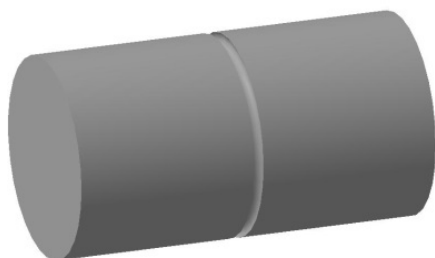


Рис.1. Цилиндрическая деталь с круговым надрезом полукруглого профиля

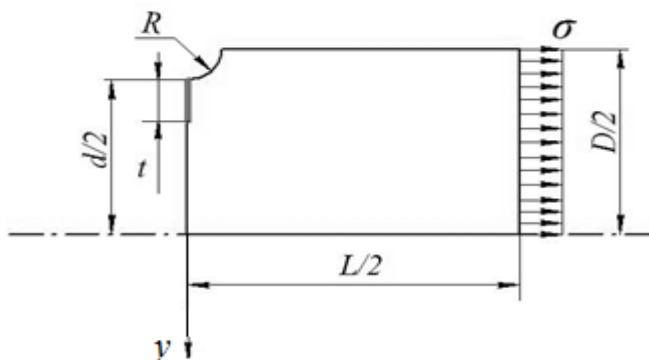


Рис. 2. Четверть цилиндрической детали

Таблица 1 – Геометрические параметры цилиндрических образцов

Образец, №	Радиус надреза R , мм	Длина L , мм	Диаметр D , мм	Диаметр d , мм
1	0,5	60	10	9,0
2			25	24
3			50	49

Конечно-элементная модель разбивалась сеткой конечных элементов типа *Plane 182*.

При построении модели учитывалось, что цилиндрическая деталь и нагрузка будут симметричны относительно оси y . На правом торце задавалась внешняя нагрузка в виде растягивающих напряжений $\sigma = 300$ МПа.

При помощи метода термоупругости [3] были введены остаточные напряжения в конечно-элементных моделях цилиндрических деталей и рассчитан КИН при увеличении глубины трещины. Толщина упрочнённого слоя принималась равной 0,5 мм и отсчитывалась от дна концентратора. Первоначальная деформация ε_0 на поверхности образца принималась равной 0,001 и равной нулю при толщине 0,5мм. Полукруглый надрез $R = 0,5$ мм наносился после операции упрочнения.

Графики зависимости $K_I(t)$ для упрочнённых цилиндрических деталей (с полем сжимающих остаточных напряжений) и без упрочнения приведены на рис. 3–5.

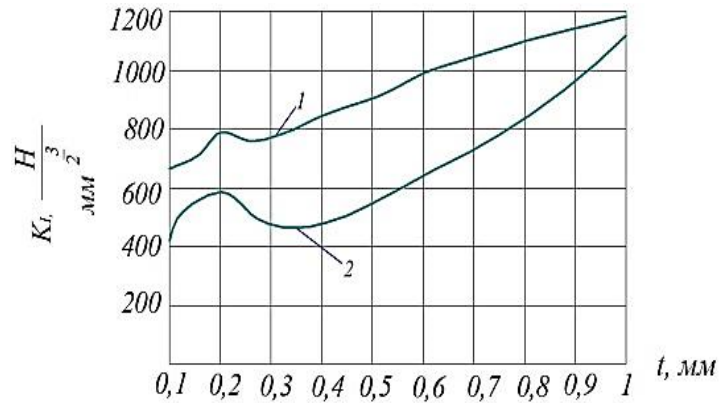


Рис. 3. Изменение $K_I(t)$ в упрочнённых цилиндрических деталях с $D = 10$ мм, $d = 9$ мм, $R = 0,5$ мм: 1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

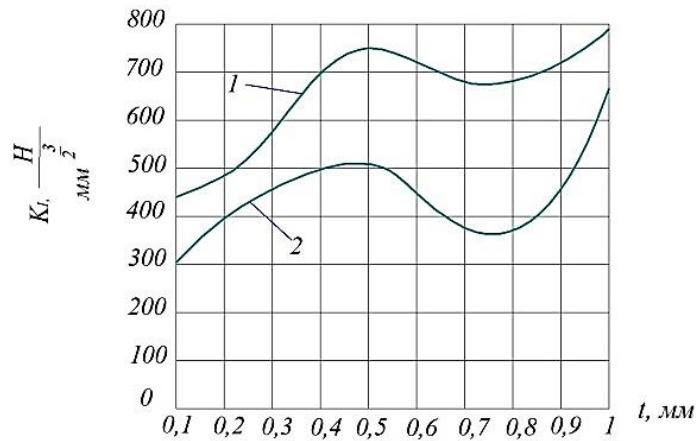


Рис. 4. Изменение $K_I(t)$ в упрочнённых цилиндрических деталях с $D = 25$ мм, $d = 24$ мм, $R = 0,5$ мм: 1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

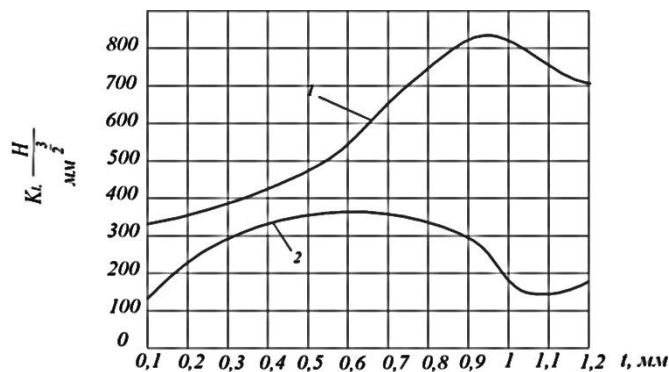


Рис. 5. Изменение $K_I(t)$ в упрочнённых цилиндрических деталях с $D = 50$ мм, $d = 49$ мм, $R = 0,5$ мм: 1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

Анализируя результаты, представленные на рис. 3–5, можно заключить, что при наличии сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом слое цилиндрических

деталей график зависимости $K_I(t)$ не только принимает экстремальное значение при достижении глубины трещины $t=0,02 d$ (где d – наименьший диаметр детали), но и резко убывает вблизи этой глубины.

Вывод

Явление немонотонного увеличения КИН при увеличении глубины усталостной трещины на начальном этапе её роста можно объяснить наличием особой краевой зоны вблизи концентратора напряжений. Для упрочнённых деталей при дальнейшем росте трещины на характер зависимости $K_I(t)$ оказывают существенное влияние сжимающие остаточные напряжения, за счёт которых и происходит резкое падение КИН.

Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали [Текст]/ В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №12. – С. 37-40.
2. Кирпичёв, В.А. О связи коэффициента интенсивности напряжений и нераспространяющейся трещины усталости [Текст]/ В.А. Кирпичёв, В.П. Сазанов, Н.А. Сургутанов, В.К. Шадрин // Материалы X Всероссийской научной конференции по механике деформируемого твёрдого тела. СамГТУ. – 2017. – С. 23-26.
3. Сазанов, В.П. Математическое моделирование первоначальных деформаций в поверхностно упрочнённых деталях при выборе образца-свидетеля [Текст]/ В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т.18. – № 3(63). – С. 1-7.