

Сазанов В.П., Сургутанов Н.А., Письмаров А.В., Пилипив О.М., Чигищев В.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ И РАЗВИТИЕ ТРЕЩИНЫ

При проектировании современных элементов инженерных конструкций, узлов и деталей машин большое внимание уделяется их конструкционной прочности. Под действием внешних нагрузок в процессе эксплуатации в деталях накапливаются дефекты, которые приводят к образованию трещин и последующему нарушению работоспособности деталей. Анализ характера разрушений показывает, что большинство следует отнести к классу усталостных разрушений деталей, имеющих концентраторы напряжений.

Основными методами, позволяющими значительно повысить сопротивление усталости в условиях концентрации напряжений, являются применяемые при изготовлении деталей способы упрочняющей технологии. Особенно широко используется в современном машиностроении поверхностное пластическое деформирование (ППД).

После ППД в поверхностном слое деталей возникают сжимающие остаточные напряжения, улучшающие свойства поверхностного слоя, поскольку повышается его твёрдость, прочность, сопротивление отрыву. В результате ППД происходит существенное повышение сопротивления усталости [1,2].

В данном исследовании было изучено влияние остаточных напряжений на закономерности изменения коэффициента интенсивности напряжений K_I (индекс I обозначает тип разрушения – отрыв) с увеличением глубины трещины. В среде программного продукта ANSYS был проведён расчёт коэффициента интенсивности напряжений K_I для цилиндрических осесимметричных образцов, ослабленных круговым надрезом полукруглого профиля с $R = 0,5$ мм. Решалась статическая упругая задача, напряжённое состояние принималось осесимметричным. Длина цилиндра принималась $L = 60$ мм с диаметрами D и d в наименьшем сечении (рис. 1).

Геометрические параметры исследуемых образцов приведены в табл. 1. В силу симметрии при решении задачи для уменьшения вычислительных затрат моделировался не весь образец, а лишь его четверть (рис. 2).

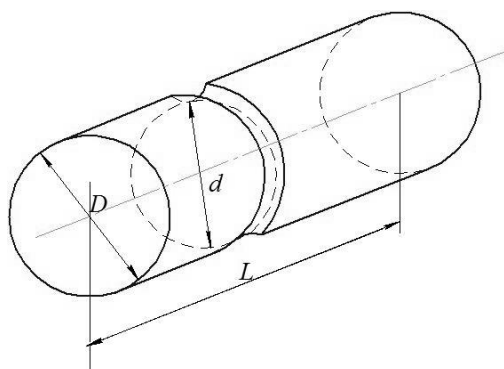


Рис. 1. Цилиндрический образец с круговым надрезом полукруглого профиля

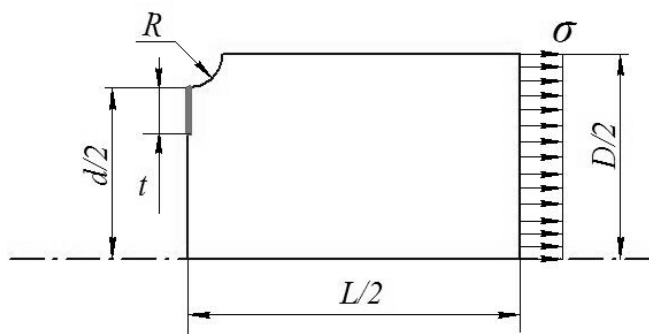


Рис. 2. Цилиндрический образец с концентратором

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 цилиндрический образец и нагрузка будут симметричны относительно оси Y . На правом торце задавалась внешняя нагрузка в виде растягивающих напряжений с $\sigma = 300$ МПа.

При помощи метода термоупругости [3] были введены остаточные напряжения в конечно-элементных моделях цилиндрических образцов и вычислен КИН с увеличением глубины трещины. Толщина упрочнённого слоя принималась равной 0,5 мм и отсчитывалась от дна концентратора. Первоначальная деформация $\varepsilon_0 = 0,001$ принималась на поверхности образца и $\varepsilon_0 = 0$ на расстоянии 0,5 мм от поверхности. Полукруглый надрез радиусом $R = 0,5$ мм наносился после операции упрочнения.

Графики изменения КИН в зависимости от глубины трещины t для цилиндрических образцов с полем остаточных напряжений (упрочнённых образцов) приведены на рисунках 3-5.

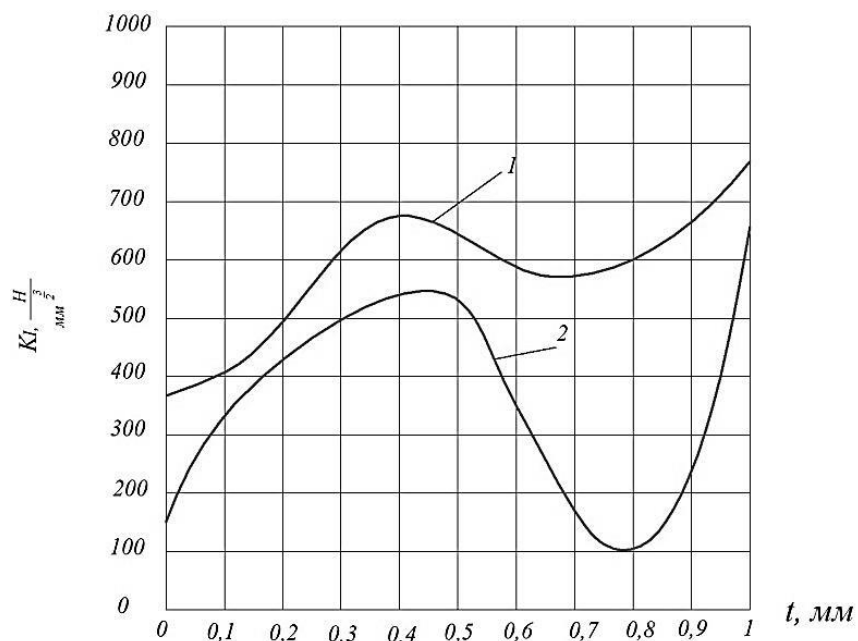


Рис. 3. Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении глубины трещины в образцах диаметром $D = 10$ мм с надрезом $R = 0,5$ мм:
1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

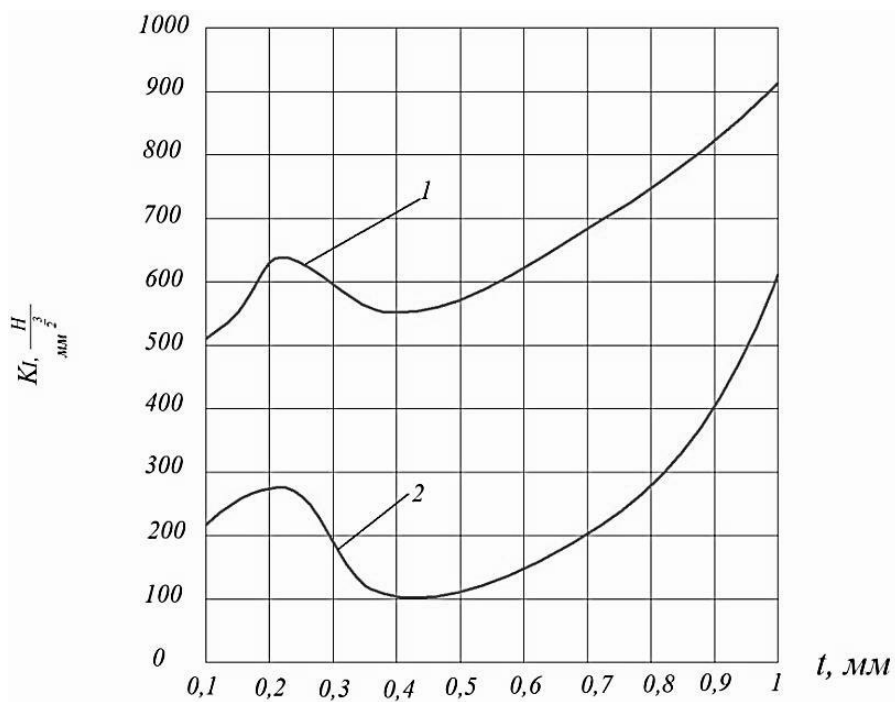


Рис. 4. Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении глубины трещины в образцах диаметром $D = 25$ мм с надрезом $R = 0,5$ мм:
1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

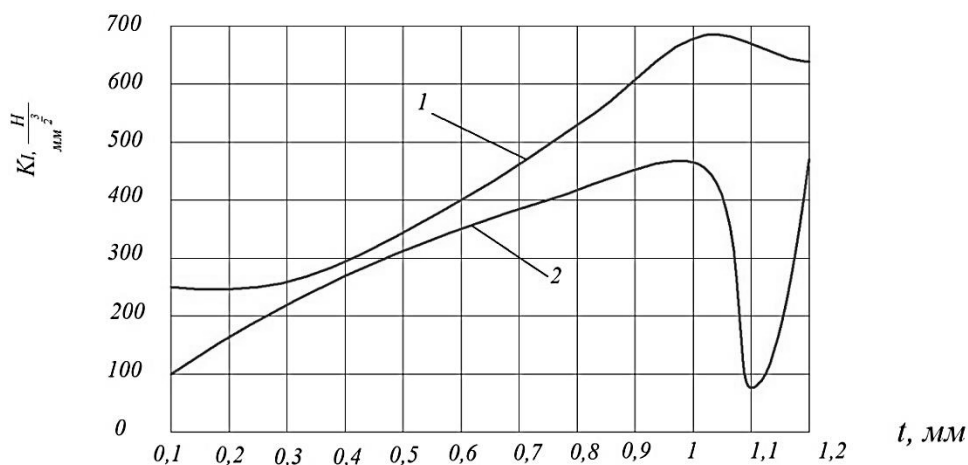


Рис. 5. Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении глубины трещины в образцах диаметром $D = 50$ мм с надрезом $R = 0,5$ мм: 1 – без упрочнения, 2 – с упрочнением

Анализируя результаты, представленные на рис. 3-5, можно сделать вывод, что при наличии сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом слое цилиндрических образцов зависимость $K_I(t)$ принимает экстремальное значение при достижении глубины трещины $t=0,02 d$ и резко убывает вблизи этого значения. Явление немонотонного изменения КИН при увеличении глубины усталостной трещины на начальном этапе её развития можно объяснить наличием особой краевой зоны вблизи концентратора напряжений.

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. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулук. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
3. Вакулук, В.С. Применение метода термоупругости при конечно-элементом моделировании остаточного напряжённого состояния в поверхностно упрочнённых деталях [Текст] / В.С. Вакулук, В.П. Сазанов, В.К. Шадрин, Н.Н. Микушев, А.С. Злобин // Известия СНЦ РАН. – 2014. – Т.16. – № 4. – С. 168-174.