Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. С. Вакулюк, Исследование влияния толщины упрочнённого слоя на остаточные напряжения во впадине концентратора методом первоначальных деформаций, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2010, выпуск 1(), 222–225

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu782>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.85.7.115

26 апреля 2023 г., 08:14:55

УДК 539.4.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЁННОГО СЛОЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ВО ВПАДИНЕ КОНЦЕНТРАТОРА МЕТОДОМ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

В. С. Вакулюк

Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С. П. Королёва, 443086, Самара, Московское ш., 34.

E-mail: sopromat@ssau.ru

Методом первоначальных деформаций изучено влияние толщины упрочнённого слоя на распределение остаточных напряжений в области концентратора. Установлено, что толщина деформированного слоя оказывает существенное влияние на распределение остаточных напряжений в концентраторе.

Ключевые слова: остаточные напряжения, первоначальные деформации, поверхностное упрочнение, плоская деталь с концентратором.

В настоящем исследовании методом первоначальных деформаций изучалось влияние толщины деформированного (упрочнённого) поверхностным упрочнением слоя на остаточные напряжения в детали с глубокими симметричными надрезами (рис. 1).

Рис. 1. Исследуемая деталь

Рис. 2. Область детали, разбиваемая на конечные элементы

Расчёт остаточных напряжений проводился методом конечных элементов (МКЭ) по изотропным первоначальным деформациям поверхностного слоя детали [1] в предположении плоской деформации. В силу симметрии исследуемой детали на конечные элементы треугольной формы разбивалась область (рис. 2), соответствующая четвертой части детали. На рис. 2 указаны размеры детали и концентратора, а также толщина упрочнённого слоя δ (на рис. 2 этот слой затемнён).

В расчётах принималось: величина первоначальной деформации $\varepsilon_0 = 1,56 \times 10^{-3}$, модуль продольной упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. Геометрические параметры: наименьший поперечный размер $d = 1,0$ мм и $d = 1,5$ мм; наибольший поперечный размер $D = 2,5$ мм и $D = 3,0$ мм; угол раскрытия концентратора $\beta = 60^\circ, 90^\circ$ и 120° ; радиус впадины концентратора $R = 0,25 \div 1,25$ мм; толщина упрочнённого поверхностного слоя $\delta = 0,1, 0,2$ и $0,3$ мм; длина детали $2c = 12,5$ мм. Размер c вы-

бран из условия отсутствия краевого эффекта на распределение остаточных напряжений в области концентратора.

Результаты расчётов главных остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении детали приведены на рис. 3, где показана зависимость σ_3 от величины дуги впадины

Владимир Степанович Вакулюк (к.т.н., доц.), доцент, каф.сопротивления материалов.

концентратора $S_0 = R(\pi - \beta)/2$ при $\beta = 60^\circ$ на расстоянии 0,025 мм от поверхности для различных толщин упрочнённого слоя δ и одинаковой глубины концентратора ($d = 1,5$ мм, $D = 3,0$ мм и $d = 1,0$ мм, $D = 2,5$ мм). Обращает на себя внимание тот факт, что независимо от наименьшего размера детали d пересечение кривых для различных δ происходит при напряжении, близком к напряжению $(\sigma_3)_{\delta \rightarrow 0}$, соответствующего упрочнению бесконечно тонкого слоя и вычисленного по формуле работы [1]

$$\sigma = \frac{E\varepsilon_0}{1 - \mu^2} \left(1 - \frac{\delta}{d} \right). \quad (1)$$

Несовпадение ординаты точек пересечения кривых с $(\sigma_3)_{\delta \rightarrow 0}$ в нашем случае вызвано тем, что приведённые на рис. 3 значения σ_3 вычислены МКЭ на расстоянии 0,025 мм от поверхности. Если полученные результаты экстраполировать на поверхность концентратора, то ордината точек пересечения кривых будет равна $(\sigma_3)_{\delta \rightarrow 0}$. Следовательно, существует некоторый критический размер $S_{0кр}$ ($R_{кр}$), при котором в исследованных пределах изменения δ увеличение толщины упрочнённого слоя не будет вызывать изменения сжимающих остаточных напряжений у поверхности детали. Определение $S_{0кр}$ ($R_{кр}$) для различных видов концентраторов позволяет выявить влияние площади (полноты) эпюры сжимающих остаточных напряжений при их постоянной величине у поверхности на повышение сопротивления усталости деталей с концентраторами [2, 3].

Из приведённых на рис. 3 данных следует, что для деталей с концентраторами напряжений при $S_0 < S_{0кр}$ увеличение толщины упрочнённого слоя вызывает повышение остаточных напряжений на поверхности дна концентратора и, наоборот, при $S_0 > S_{0кр}$ увеличение δ вызывает снижение напряжений на поверхности. Независимо от толщины упрочнённого слоя увеличение S_0 при неизменных других параметрах приводит к уменьшению остаточных напряжений у поверхности детали в наименьшем сечении. При достаточно больших значениях длины дуги впадины концентратора S_0 остаточные напряжения на дне надреза уменьшаются, приближаясь к остаточным напряжениям гладкой детали, вычисленным по формуле (1). Уменьшение минимальной толщины детали d при неизменных толщине упрочнённого слоя и глубине концентратора также ведёт к уменьшению остаточных напряжений.

Распределение остаточных напряжений по толщине детали a в наименьшем её сечении при различных R и β для $\delta = 0,2$ мм показано на рис. 4. Можно видеть, что при равномерной деформации всего поверхностного слоя детали экстремум сжимающих остаточных напряжений находится на поверхности впадины концентратора, а с увеличением расстояния от поверхности остаточные напряжения уменьшаются. С увеличением минимального размера d остаточные напряжения по толщине детали увеличиваются примерно на одну и ту же величину. Для всех рассмотренных значений β эпюры остаточных напряжений при различных R пересекаются в точке, ордината которой равна напряжениям гладкой детали толщиной d , вычисленным по формуле (1) для заданного значения δ . Следует отметить, что точка пересечения эпюр с увеличением угла β перемещается вглубь детали.

Рис. 3. Зависимость остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении детали от координаты S_0 (сплошная линия — $d = 1,5$ мм, $D = 3,0$ мм, $\beta = 60^\circ$; штриховая линия — $d = 1,0$ мм, $D = 2,5$ мм, $\beta = 60^\circ$) на расстоянии 0,025 мм от поверхности при толщине упрочнённого слоя: 1 — $\delta = 0,1$ мм; 2 — $\delta = 0,2$ мм; 3 — $\delta = 0,3$ мм; 4 — $\delta \rightarrow 0$, вычислено по формуле (1)

Рис. 4. Распределение остаточных напряжений σ_3 в наименьшем сечении по толщине детали a (сплошная линия — $d = 1,5$ мм, $D = 3,0$ мм; штриховая линия — $d = 1,0$ мм, $D = 2,5$ мм) при $\delta = 0,2$ мм, $\beta = 60^\circ$ (а), 90° (б), 120° (в): 1 — $R = 0,25$ мм, 2 — $R = 0,5$ мм, 3 — $R = 1,0$ мм

Рис. 5. Распределение остаточных напряжений σ_3 по координате $S = R\varphi$ (сплошная линия — $\beta = 60^\circ$; штрихпунктирная линия — $\beta = 90^\circ$; штриховая линия — $\beta = 120^\circ$) при толщине упрочнённого слоя $\delta = 0,3$ мм (а), $\delta = 0,1$ мм (б) на расстоянии $0,025$ мм от поверхности детали: 1 — $R = 0,25$ мм, 2 — $R = 0,5$ мм, 3 — $R = 1,0$ мм

Распределение остаточных напряжений по координате $S = R\varphi$ впадины концентратора при $\beta = 60^\circ$, 90° и 120° , $R = 0,25$ мм от поверхности показано на рис. 5. Из приведённых на рис. 5 данных следует, что с уменьшением толщины упрочнённого слоя δ уменьшается влияние радиуса R и угла раскрытия β на остаточные напряжения, действующие по контуру криволинейной части впадины концентратора. При достаточно больших R независимо от δ влияние угла β на главное остаточное напряжение σ_3 в области наименьшего сечения детали незначительно, хотя и при приближении к точке перехода криволинейной части концентратора в прямолинейную это влияние увеличивается. Необходимо обратить внимание на то, что толщина упрочнённого слоя наиболее существенно влияет на распределение остаточных напряжений при малых радиусах концентратора. Так, например, для $\delta = 0,3$ мм, $R = 0,25$ мм и $\beta = 120^\circ$ при приближении к точке перехода криволинейной части концентратора в прямолинейную наблюдается падение сжимающих остаточных напряжений на 20%, поэтому зона зарождения трещины при действии переменных напряжений может переместиться из наименьшего сечения детали.

Таким образом, результаты проведённых расчётов показывают, что на концентрацию остаточных напряжений значительное влияние оказывают не только геометрические параметры детали и концентратора, но и толщина деформированного упрочнением слоя.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию (проект РНП 2.1.1/3397).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения. — М.: Машгиз, 1963. — 232 с.
2. Павлов В. Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине

поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // *Извест. вузов. Машиностроение*, 1987. — № 7. — С. 3–6.

3. Павлов В. Ф., Кирпичёв В. А., Иванов В. Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. — Самара: СНЦ РАН, 2008. — 64 с.

Поступила в редакцию 26/II/2010;
в окончательном варианте — 15/III/2010.

MSC: 74A10, 74C05

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THICKNESS HARDENED LAYER ON THE REDISUAL STRESSES IN BASIN CONCENTRATOR USING INITIAL STRAIN

V. S. Vakuljuk

S. P. Korolyov Samara State Aerospace University,
34, Moskovskoe sh., Samara, 443086.

E-mail: sopromat@ssau.ru

The method of initial strains studied the effect of the thickness of the hardened layer on the distribution of residual stresses in the hub. It is discovered that the thickness of the deformed layer has a significant influence on the distribution of residual stresses in the stress concentrator.

Key words: *residual stress, initial deformation, surface hardening, a flat detail with stress concentrator.*

Original article submitted 26/II/2010;
revision submitted 15/III/2010.

Vladimir S. Vakuljuk (Ph. D. (Techn.)), Associate Professor, Dept. of Resistance Materials.