

Вакулюк В.С., Ковалкин Ю.П., Бурнаев С.С., Матвеева К.Ф.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНЦЕНТРАТОРЕ

В настоящее время выбор методов и режимов поверхностного упрочнения проводится, как правило, без учёта формы, размеров концентратора и вариантов упрочнения поверхностного слоя деталей, что не обеспечивает полной реализации эффекта той или иной упрочняющей обработки. В надлежащем учёте указанных факторов содержится резерв увеличения прочности деталей. Поэтому использование данных о распределении остаточных напряжений в наиболее нагруженных зонах концентраторов на этапе выбора технологии поверхностного упрочнения представляется весьма важным.

В настоящем исследовании рассматривалось влияние основных размеров концентратора, упрочнённого слоя и вариантов деформирования поверхности плоских и цилиндрических деталей на распределение остаточных напряжений в области концентратора. Изучены следующие варианты упрочнения (рис. 1) [1]:

- равномерное упрочнение всей поверхности детали (рис. 1,а),
- равномерное упрочнение поверхности детали без упрочнения впадины (рис. 1,б).

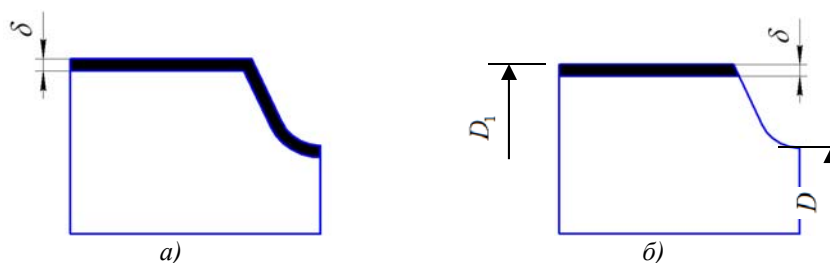


Рис. 1. Варианты упрочнения детали с концентратором

Рассматривались две группы концентраторов: глубокие и мелкие. Расчёты показали, что для всех вариантов упрочнения одним из основных параметров, определяющих концентрацию остаточных напряжений, является отношение ρ_o/δ , где ρ_o – радиус кривизны впадины концентратора, δ – толщина упрочнённого слоя. В качестве параметра, характеризующего концентрацию остаточных напряжений, была выбрана величина $\frac{\sigma_\varphi - \sigma_x^o}{\sigma_o}$, где σ_x^o – остаточные напряжения гладкой детали с аналогичными геометрическими данными, σ_o – остаточные напряжения гладкой детали

при $\delta \rightarrow 0$.

На рис. 2,а приведены зависимости $\frac{\sigma_\varphi - \sigma_x^o}{\sigma_o}$ на поверхности в среднем сечении плоской детали от ρ_o/δ для глубокого концентратора. Оказалось, что параметр $2\delta/D$ в рассматриваемом случае упрочнения детали не влияет на величину $\frac{\sigma_\varphi - \sigma_x^o}{\sigma_o}$ и поэтому в дальнейшем не принимается во внимание. В этом сказывается преимущество выбранной характеристики напряжённости по сравнению с более показательной величиной σ_φ/σ_o . Из данных рис. 2,а видно, что при равномерном упрочнении всей поверхности детали величина $\frac{\sigma_\varphi - \sigma_x^o}{\sigma_o}$ определяется, в основном, параметром ρ_o/δ . При этом его увеличение приводит к снижению остаточных напряжений в наименьшем сечении детали, которые стремятся к напряжениям аналогично обработанной гладкой детали.

Для детали с мелким концентратором (рис. 2,б), наряду с описанными выше закономерностями, необходимо отметить влияние на $\frac{\sigma_\varphi - \sigma_x^o}{\sigma_o}$ отношения t/δ , причём с уменьшением φ_0 это влияние увеличивается. Кроме того, увеличение φ_0 в достаточно мелком концентраторе при малых значениях радиуса вначале вызывает увеличение остаточных напряжений, а затем их уменьшение, то есть при некотором значении угла φ_0 наблюдается экстремальное значение напряжений.

Для глубокого концентратора упрочнение по варианту (б) не представляет практического интереса ввиду малого влияния упрочнения периферийной части детали на область концентратора с криволинейной поверхностью. Поэтому глубокий концентратор не рассматривался. При изучении распределения остаточных напряжений в детали с мелким надрезом рассматривалась величина σ_φ/σ_o , так как напряжение σ_x^o для рассматриваемого варианта теряет первоначальный смысл. Влиянием параметра $2\delta/D_1$ в мелком концентраторе можно пренебречь, так как в исследуемом диапазоне величина $2\delta/D_1$ мала и её учёт, как было установлено для гладкой детали, практически не влияет на результаты расчёта.

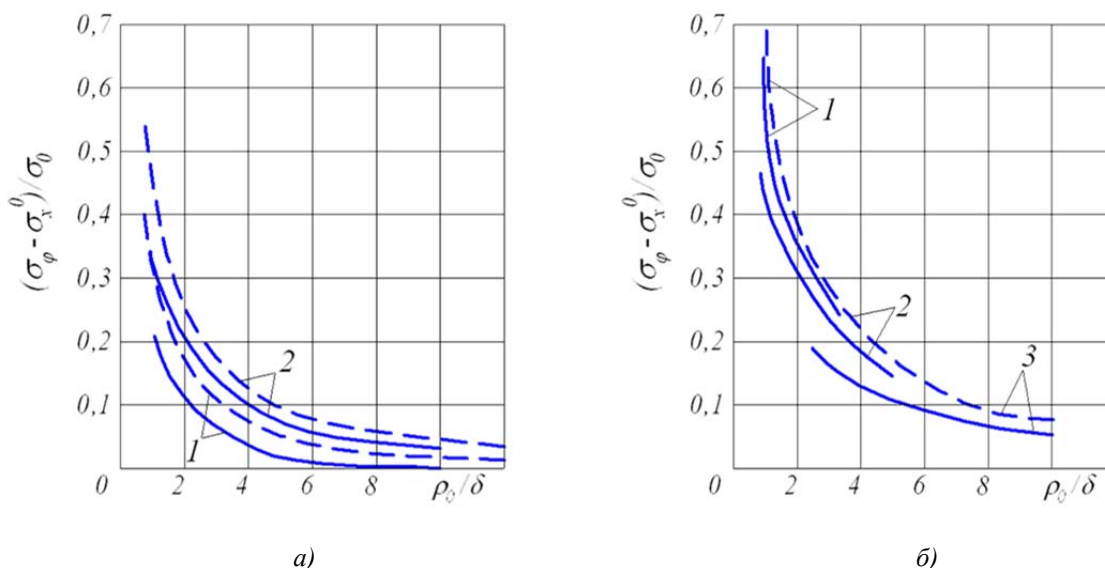


Рис. 2. Остаточные напряжения в среднем сечении плоской детали:

а – $t/\delta \geq 7$: 1 – $\varphi_0 = 60^\circ$, 2 – $\varphi_0 = 120^\circ$; — $2t/D_1 = 0,6$; - - $2t/D_1 = 0,5$;

б – $2t/D_1 = 0,18$: 1 – $t/\delta = 0,18$; 2 – $t/\delta = 4,5$; 3 – $t/\delta = 9,0$; — $\varphi_0 = 60^\circ$;

- - $\varphi_0 = 120^\circ$

На рис. 3 приведены графики изменения σ_φ/σ_0 в зависимости от ρ_0/δ на поверхности в среднем сечении плоской детали с концентратором. Можно видеть, что ρ_0/δ оказывает влияние на остаточные напряжения, как и при равномерном упрочнении всей поверхности детали с той лишь разницей, что в рассматриваемом варианте влияние t/δ проявляется в большей мере. Практически не проявляется роль относительной глубины концентратора $2t/D_1$. Следует отметить и более заметное влияние угла раскрытия φ_0 , но в отличие от варианта (а), увеличение φ_0 приводит к уменьшению σ_φ/σ_0 во всём исследуемом диапазоне.

Результаты расчётов указывают на возможность получения достаточно высоких значений напряжений на дне концентратора при малых ρ_0/δ и t/δ , то есть на дне впадины концентратора можно получить значительные сжимающие остаточные напряжения в ненаклёпанном материале. Это особенно важно для повышения сопротивления усталости деталей газотурбинных двигателей, работающих при повышенных температурах, где наклёп оказывает отрицательное влияние на прочность [2].

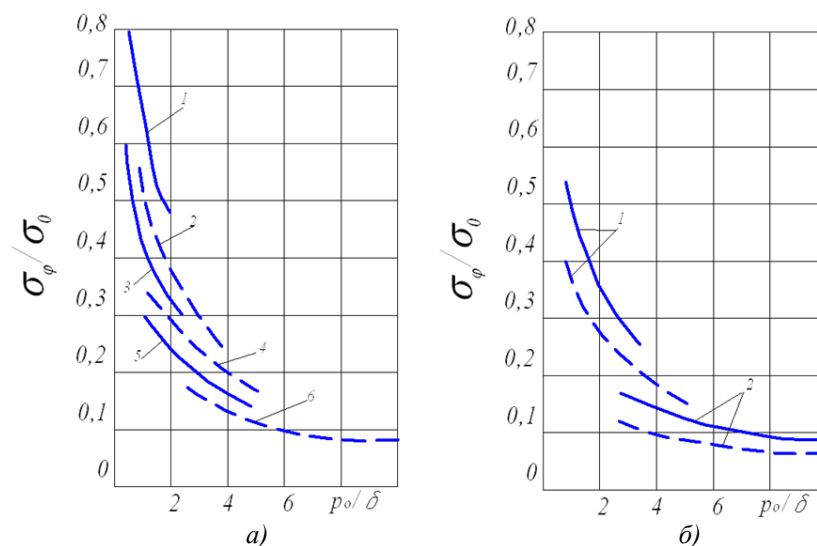


Рис. 3. Остаточные напряжения на поверхности в среднем сечении плоской детали:
 а – $\phi_0 = 60^\circ$: 1 – $t/\delta = 2,3$; 2 – $t/\delta = 3,0$; 3 – $t/\delta = 3,5$; 4 – $t/\delta = 4,5$; 5 – $t/\delta = 7,0$;
 6 – $t/\delta = 9,0$; — $2t/D_1 = 0,14$, - - - $2t/D_1 = 0,18$;
 б – $2t/D_1 = 0,18$: 1 – $t/\delta = 3,0$, 2 – $t/\delta = 9,0$; — $\phi_0 = 60^\circ$, - - - $\phi_0 = 120^\circ$

В заключение следует отметить, что проведённое исследование распределения остаточных напряжений в деталях с концентраторами позволяет проводить выбор видов и параметров упрочнения с учётом целенаправленного формирования напряжений в области концентратора. Это даёт возможность более эффективно использовать различные виды упрочняющих обработок для повышения сопротивления деталей усталости.

Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Изд-во СамНИЦ РАН, 2012. – 125 с.
2. Биргер, И.А. Расчёт на прочность деталей машин [Текст] / И.А. Биргер, Б.Ф. Шоор, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.