

Вакулюк В.С., Михалкина С.А., Анохин Д.В., Чуриков Д.С.

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В КОРОТКИХ ЗОНАХ УПРОЧНЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛИ

Образование коротких зон упрочнения возможно при обкатке роликом или шариком гладких деталей и деталей с концентраторами без продольной подачи, а также при химико-термической обработке малых участков деталей [1].

При изучении распределения остаточных напряжений в коротких зонах упрочнения в случае плоской деформации рассматривались детали со следующими параметрами: $\frac{2c}{D} = 6,25$; $\varphi_0 = 60^\circ$ и $\frac{2c}{D} = 4,0$ при относительных толщинах упрочнённого

слоя $\frac{2\delta}{D} = 0,05$; $0,1$; $0,2$ и, соответственно, при этом $\frac{\rho_0}{\delta} = 10$; $5,0$; $2,5$ и $\frac{t}{\rho_0} = 3,0$. Угол φ

изменялся от 20° до 60° , для гладкой детали $\frac{S_{\text{упр}}}{\delta} = 0,5 - 80$ (рис. 1).

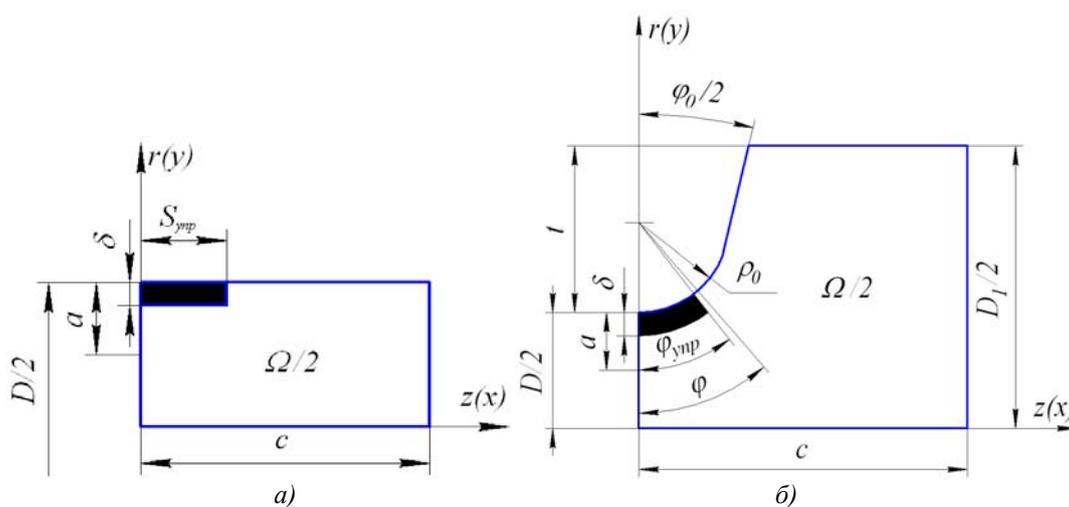


Рис. 1. Расчётная область гладкой детали (а) и с концентратором напряжений (б)

Результаты расчётов в среднем сечении на поверхности приведены на рис. 2, где показано изменение отношения меридиональных остаточных напряжений σ_φ для детали с концентратором и осевых остаточных напряжений σ_z или σ_x для гладкой детали к величине σ_0 в зависимости от $\frac{S_{\text{упр}}}{\delta}$.

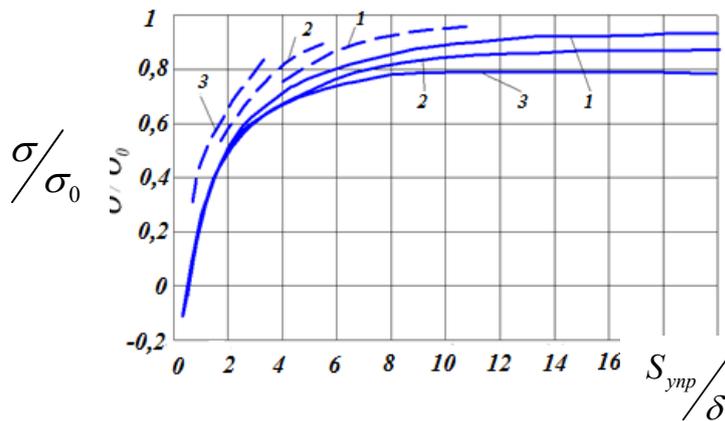


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в среднем сечении *thick* и плоской детали:
 1 – $2\delta/D = 0,05$; 2 – $2\delta/D = 0,10$; 3 – $2\delta/D = 0,20$; — гладкая деталь, σ_x/σ_0 ; - - -
 деталь с концентратором, σ_ϕ/σ_0

Из приведённых на рис. 2 данных следует, что при уменьшении длины упрочнённого участка сжимающие остаточные напряжения на поверхности в среднем сечении деталей по абсолютной величине уменьшаются, а при $S_{упр} < \delta$ становятся даже растягивающими.

Образование в коротких зонах сжимающих остаточных напряжений, меньших по величине, чем в равномерно упрочнённой детали, снижает эффект упрочнения, а появление растягивающих напряжений в средней части короткой зоны приводит к снижению сопротивления усталости детали даже по сравнению с неупрочнённой [2, 3].

Более подробно были рассмотрены короткие зоны упрочнения в цилиндрической детали при малых значениях $S_{упр}/\delta$, когда отсутствует влияние отношения $\frac{2\delta}{D}$.

На рис. 3, 4 показано распределение остаточных напряжений по длине детали при $S_{упр}/\delta = 0,9$ и $1,5$. Можно видеть, что уменьшение $S_{упр}/\delta$ вызывает падение сжимающих остаточных напряжений в зоне упрочнения и некоторое увеличение вне этой зоны (рис. 3), при этом наибольшее напряжение удаляется от зоны упрочнения. Образование растягивающих и заниженных сжимающих остаточных напряжений происходит в довольно тонком поверхностном слое, значительно меньшем, чем толщина упрочнённого слоя δ .

С увеличением же расстояния a от поверхности (рис. 4) величина сжимающих остаточных напряжений возрастает, приближаясь к их значению в равномерно упрочнённой детали, при этом увеличивается переходный скачок на границе зоны упрочнения.

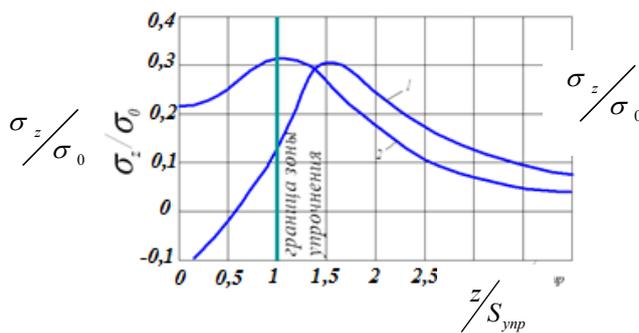


Рис.3. Распределение остаточных напряжений на поверхности цилиндрической детали:

$$1 - \frac{S_{упр}}{\delta} = 0,9;$$

$$2 - \frac{S_{упр}}{\delta} = 1,5$$

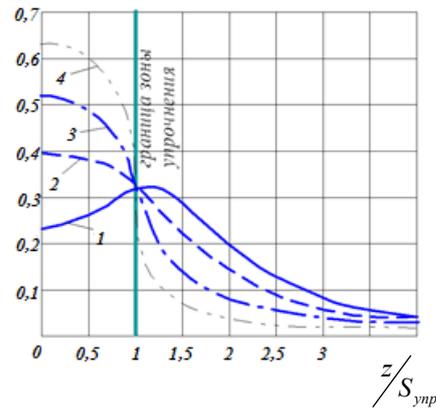


Рис. 4 – Распределение остаточных напряжений в цилиндрической

детали при $\frac{S_{упр}}{\delta} = 1,5$:

$$1 - \frac{a}{\delta} = 0,125; \quad 2 - \frac{a}{\delta} = 0,375;$$

$$3 - \frac{a}{\delta} = 0,625; \quad 4 - \frac{a}{\delta} = 0,825$$

Следовательно, при таком упрочнении уменьшается вероятность зарождения усталостной трещины в подслое. Кроме того, при малых зонах упрочнения наблюдается явно выраженный подслоный экстремум сжимающих остаточных напряжений, в отличие от равномерного упрочнения по всей поверхности детали, когда напряжения постоянны по всему слою с первоначальными деформациями.

Для подтверждения изложенного расчётного исследования коротких зон упрочнения были проведены испытания на усталость гладких образцов диаметром 10 мм из стали 45. Было изготовлено пять партий образцов, характер и режимы упрочнения (усилие накатывания Q, продольная подача S, число оборотов n), а также результаты испытаний на усталость представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Режимы упрочнения образцов и результаты испытаний на усталость

Партия	Характер обработки образцов	Режимы упрочнения			σ_{-1} , МПа	$S_{\sigma_{-1}}$, МПа
		Q, Н	S, мм/об	n, об/мин		
1	исходное состояние	–	–	–	272	8,6
2	равномерное упрочнение всей поверхности	0,5	0,11	400	343	4,1
3	равномерное упрочнение всей поверхности	1,0	0,11	400	358	16,4
4	одиночный кольцевой след от обкатного ролика	0,5	0	12,5	264	6,5
5	одиночный кольцевой след от обкатного ролика	1,0	0	12,5	255	4,5

Первая партия образцов испытывалась после точения (исходное состояние). Вторая и третья партии подвергались равномерному упрочнению по всей поверхности рабочей части образца. На образцы четвёртой и пятой партий за один оборот наносились одиночные следы упрочняющим роликом без продольной подачи.

Равномерное упрочнение образцов приводит к существенному увеличению предела выносливости, которое составляет, соответственно, 26 и 32% при $Q = 0,5$ и $1,0$ кН. Предел выносливости четвёртой и пятой партий несколько снизился по сравнению с исходным состоянием, причём при $Q = 1,0$ кН снижение более значительно, чем при $Q = 0,5$ кН. Необходимо отметить, что все поломки образцов этих партий произошли по середине следа от упрочняющего ролика. Для образцов с одиночным кольцевым следом выполняется условие $S_{yup} < \delta$. Поэтому, как это следует из расчётного исследования, в среднем сечении образца возникают растягивающие остаточные напряжения, чем и объясняется уменьшение предела выносливости четвёртой и пятой партий образцов по сравнению с первой.

Таким образом, проведённые исследования коротких зон упрочнения показывают, что при выборе упрочняющих обработок и их режимов необходимо учитывать размеры зон упрочнения (особенно параметр $\frac{S_{yup}}{\delta}$), избегая малых значений $\frac{S_{yup}}{\delta}$, так как это может привести к снижению сопротивления усталости детали после упрочнения.

Библиографический список

1. Туровский, М.Л. Контроль режимов обкатки роликами [Текст] // М.Л. Туровский, И.М. Шифрин // Вестник машиностроения. – 1969. – №6. – С. 55-58.
2. Кудрявцев, И.В. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклёпом [Текст] // И.В. Кудрявцев, Я.Л. Минков, Е.Э. Дворникова. – М.: НИИинформтяжмаш, 1970. – 144с.
3. Белозеров, В.В. Остаточные макронапряжения при обкатывании без продольной подачи [Текст] / В.В. Белозеров, А.И. Махатилова, М.Л. Туровский, А.М. Шифрин // Вестник машиностроения. – 1986. – №10. – С. 59-61.