

Рисунок 4 – Влияние степени крутизны образующей гребня калибра на распределение Q-фактора вдоль зон обжатия и предотделки конуса деформации (маршрут – 38,1x2,2-32,1x1,47, величина подачи t составляет 5): а – $2t\alpha$ составляет 0,01; б – $2t\alpha$ составляет 0,008

Выводы. Представлен алгоритм программы «Q-Factor. Cold pilger tube rolling», позволяющий оптимизировать параметры калибровки инструмента станов ХПТ, для прокатки труб, используемых в гидравлических системах машин и механизмов. Анализ влияния степени крутизны образующей гребня калибра на распределение Q-фактора вдоль зон обжатия и предотделки конуса деформации (рис. 2) показывает, что для данного сортамента труб предпочтительным является использование степеней крутизны n , равных 1,5, т.е. меньших значений крутизны гребня калибра. В этом случае металл находится в более выгодных деформационных условиях, с точки зрения обеспечения необходимого типа структуры металла титановых труб из сплава Ti-3Al-2.5V, используемых в гидравлических системах машин и механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pilipenko, S. V. A deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy / S.V. Pilipenko, V.U. Grigorenko, V.A. Kozechko, O.O. Bohdanov / Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2021. – №1. – p. 78–83.
2. Bohdanov O. Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars / O. Bohdanov, V. Protsiv, V. Derbaba, S. Patsera Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2020. – №1. p. 41–45.
3. Пилипенко, С. В. Анализ влияния технологических факторов процесса холодной прокатки труб на изменение распределения Q-фактора вдоль конуса деформации / С. В. Пилипенко // Известия вузов. Цветная металлургия. – № 3. – 2019. – С. 30–35.
4. Forney, C.E. Ti 3Al 2,5V Seamless tubing engineering guide [Текст] / С.Е. Forney, S. E. Meredith. – Washington: Sandvik Special Metals Corp, 1990. – 144 p.
5. Forney, C.E. Ti 3Al 2,5V seamless tubing engineering guide [Текст] / С.Е. Forney, H. S. Schemel. – Washington: Sandvik Special Metals Corp, 1987. – 115 p.

УДК 539.3+539.389+620.17

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В СЕЧЕНИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ ПРИ РЕВЕРСЕ НАГРУЗКИ

Холодарь Б.Г.

Брестский государственный технический университет
г. Брест, Республика Беларусь

В большинстве случаев элементы конструкций или машин при эксплуатации не выходят за грань упругих деформаций, даже с некоторым наперед назначенным запасом. Материалы при этом рассматриваются как упругие, и наличие перемен знака нагружения (реверс нагрузки) не сказывается на работоспособности

системы или характере ее напряженно-деформированного состояния (накопление поврежденности материала с ростом числа циклов нагружения не учитываем). Ситуация кардинально меняется при выходе материала за предел упругости.

Для определенности будем рассматривать склерономный упруго-пластический материал, в котором деформации содержат только упругую и остаточную составляющие, а свойства не зависят от времени и скорости деформирования.

При деформациях, превосходящих упругие, приложение нагрузки обратного знака вызывает связь напряжений и деформаций, подчиняющуюся не первоначальной диаграмме растяжения $\sigma(\varepsilon)$ материала (ДР), а диаграмме обратного нагружения (ДОН) с проявлением эффекта Баушингера. Кривые ДОН зависят от величины деформации, достигнутой на момент реверса нагрузки.

Описание ДР не представляет трудности при любой ее форме. Кривые ДОН, соответствующие заданной ДР, описываются более сложно в связи с необходимостью учета ряда дополнительных условий.

В частности, использованная далее для описания ДР зависимость принята в виде:

$$\begin{aligned} \text{упругий участок } (0 \leq \varepsilon < \varepsilon_T): \quad & \sigma(\varepsilon) = E\varepsilon, \\ \text{площадка текучести } (\varepsilon_T < \varepsilon \leq \varepsilon_U): \quad & \sigma(\varepsilon) = \sigma_T, \\ \text{участок упрочнения } (\varepsilon_U < \varepsilon < \varepsilon_B): \quad & \sigma(\varepsilon) = \sigma_B - (\sigma_B - \sigma_T) \cdot ((\varepsilon_B - \varepsilon) / (\varepsilon_B - \varepsilon_U))^m. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом кривая ДОН, начинающаяся в точке $\sigma_0(\varepsilon_0)$, описывается выражениями:

$$\begin{aligned} \text{упругий участок:} \quad & \sigma_R(\varepsilon_R) = E\varepsilon_R, \\ \text{площадка текучести:} \quad & \sigma_R(\varepsilon_R) = \sigma_0 + \sigma_{TR}, \\ \text{участок упрочнения:} \quad & \sigma_R(\varepsilon_R) = (\sigma_0 + \sigma_{BC}) - (\sigma_{BC} - \sigma_{TR}) \cdot ((\varepsilon_{BC} + \varepsilon_0 - \varepsilon_R) / (\varepsilon_{BC} + \varepsilon_0 - (\sigma_0 + \sigma_{TR}) / E - \varepsilon_{UR}))^m, \end{aligned} \quad (2)$$

Зависимость предела текучести $\sigma_{TR}(\varepsilon_0)$ на ДОН получаем в виде:

$$\sigma_{TR}(\varepsilon_R) = \sigma_{TC} \cdot (k_{TR} + (1 - k_{TR}) \cdot ((\varepsilon_{BU} - (\varepsilon_0 - \varepsilon_U)) / \varepsilon_{BP}))^m, \quad (3)$$

В (1)-(3) обозначено:

$\sigma_T = \sigma_{TP}$, σ_{TC} , $\sigma_B = \sigma_{BP}$, σ_{BC} – пределы текучести и прочности на растяжение и сжатие,

$\varepsilon_T = \varepsilon_{TP}$, ε_{TC} , $\varepsilon_B = \varepsilon_{BP}$, ε_{BC} – деформации начала текучести и предельные деформации при растяжении и сжатии,

ε_P , $\varepsilon_U = \varepsilon_T + \varepsilon_P$ – длина площадки текучести и деформация начала участка упрочнения,

$\varepsilon_{BU} = \varepsilon_{BP} - \varepsilon_U$ – длина участка упрочнения,

$\sigma_{TR}(\varepsilon_0)$ – предел текучести на ДОН, соответствующий точке ε_0 ,

$\varepsilon_{UR} = \varepsilon_P \cdot \sigma(\varepsilon_0) / \sigma_T$ – длина площадки текучести на ДОН,

$k_{TR} = \sigma_{TR}(\varepsilon_B) / \sigma_{TC}$ – параметр снижения предела текучести на ДОН для точки $\varepsilon_0 = \varepsilon_B$,

m – параметр упрочнения материала,

E – модуль упругости.

Важной особенностью такого материала является наличие прямолинейной зависимости $\sigma(\varepsilon)$ на всем участке $\sigma_0 - \sigma_{TR}$.

Вид кривых показан на рисунке 1 (σ_R и ε_R – положительные направления напряжений и деформаций обратного нагружения) при значениях констант $\sigma_{TR}=\sigma_{TC}=\sigma_T=10^2\text{МПа}$, $\sigma_{BP}=\sigma_{BC}=\sigma_B=2\cdot 10^2\text{МПа}$, $\varepsilon_{BP}=\varepsilon_{BC}=\varepsilon_B=0.50$, $\varepsilon_P=4\varepsilon_T$, $E=10^4\text{МПа}$, $m=3$, $k_{TR}=0.25$.

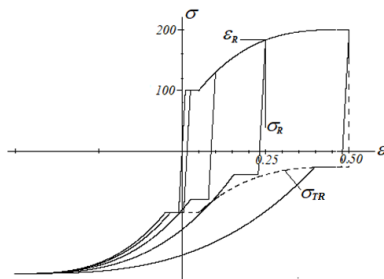
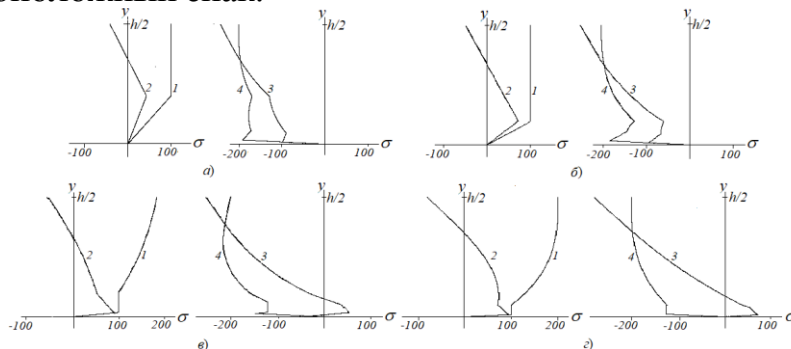


Рисунок 1 – Диаграммы растяжения – сжатия и обратного нагружения (показаны ДОН для $\varepsilon_0=0,025; 0,05; 0,25; 0,5$)

Ситуация существенно осложняется, когда при работе конструкции имеет место неоднородное напряженное состояние материала, например, при изгибе стержня за пределом упругости. В этом случае при реверсе нагрузки в ее объеме происходит перераспределение напряженно-деформированного состояния, обеспечивающее минимум запасенной материалом энергии. Если нагрузка от некоторого достигнутого уровня просто сбрасывается до нуля (разгрузка), то в конструкции появляются взаимноуравновешенные в сечении стержня остаточные напряжения, распределенные кусочно-линейным (если деформации в точке разгрузки не выходили за площадку текучести) или нелинейным образом на соответствующих участках высоты сечения. Определение напряжений производится в соответствии с теоремой теории пластичности о разгрузке [1, 2]. Если же обратное нагружение идет непрерывно (без остановки), то возникает более сложная ситуация и напряжения в сечении меняются в соответствии с изменением внешнего момента. В обоих случаях при определении напряжений принимается выполняющейся кинематическая гипотеза плоских сечений.

Для случая чистого изгиба стержня прямоугольного сечения на рисунке 2 для деформаций в поверхностном слое ε_0 , отмеченных на рисунке 1, приведены графики распределения по высоте сечения исходных и остаточных напряжений, а также напряжений при обратном нагружении до предельной деформации сжатия ε_{BC} с промежуточной разгрузкой и без нее. На рисунке 3 показано изменение напряжений при обратном нагружении до различных последовательно возрастающих уровней. На обоих рисунках показана половина высоты прямоугольного сечения размерами $b \times h=1.0 \times 0.25$ см, в которой исходные напряжения были растягивающими. На другой части сечения напряжения аналогичны по форме, но имеют противоположный знак.



а) $\varepsilon_0=0,025$; б) $\varepsilon_0=0,05$; в) $\varepsilon_0=0,25$; г) $\varepsilon_0=0,50$

Рисунок 2 – Распределение напряжений по высоте сечения при разгрузке из разных точек ДР

Обозначения: 1 – исходные, 2 – остаточные, 3 – с разгрузкой, 4 – без разгрузки

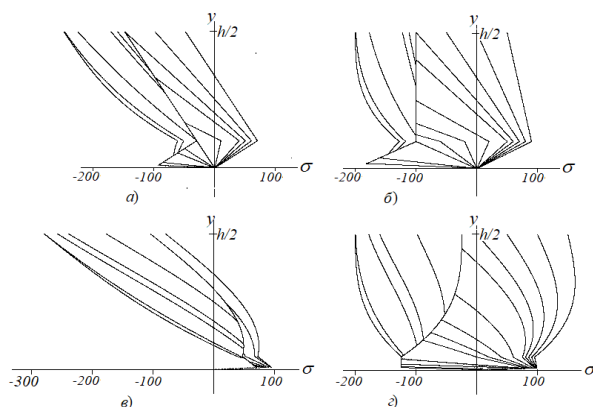


Рисунок 3 – Эпюры напряжений при разных уровнях обратной деформации ε_0 :
 а), б) $\varepsilon_0=0,05$; в), г) $\varepsilon_0=0,50$.

Обозначения: а), в) – с разгрузкой, б), г) – без разгрузки

Приведенные результаты показывают, что при обратном нагружении с промежуточной разгрузкой возникают более высокие уровни напряжений, чем при непрерывном нагружении. Сами распределения напряжений по высоте сечения являются достаточно сложными и труднопредсказуемыми по форме, зависят от величин исходной и обратной деформаций и содержат линейные и криволинейные участки. В слоях стержня, наиболее удаленных от нейтральной оси, расчетные напряжения могут достигать значений, которые превосходят предел прочности материала на растяжение, но вследствие нелинейности исходных диаграмм деформирования могут реализоваться и случаи возникновения такого уровня напряжений во внутренних слоях, что указывает на возможность образования в них трещин при деформациях наружного слоя, не достигших своего предельного значения ε_B .

Естественно, что при других формах сечения проявятся дополнительные особенности распределения напряжений.

Решение и анализ задач, аналогичных рассмотренным, способствует более глубокому пониманию вопросов деформирования и разрушения материалов и конструкций при повторных нагружениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Качанов, Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М. : ГИТТЛ, 1969. – 420 с.
2. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. Н. Малинин. – М. : Машиностроение, 1968. – 400 с.

УДК 621.762.2

ПРАВЯЩИЕ АЛМАЗНЫЕ КАРАНДАШИ С МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ МЕДНО-ОЛОВЯННОЙ СВЯЗКОЙ

Шелег В. К.¹, Жорник В. И.^{1,2}, Ковалева С. А.²

1) Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
 Республика Беларусь

2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск,
 Республика Беларусь

Повышение эксплуатационной стойкости и работоспособности правящего алмазного инструмента является актуальной задачей и определяет производительность и экономические характеристики абразивной обработки в целом [1].