

**Висновки.** При утворенні мікрорельєфу розміщення контуру бруска під кутом до напрямної оброблюваного отвору дає змогу збільшити густину (сітка слідів) точок перетину, що забезпечує зниження шорсткості оброблюваного отвору.

Оптимальним кутом розміщення алмазно-абразивного бруска є  $\varphi=45^\circ$ , що дає можливість збільшити густину отриманої сітки слідів в двічі.

## Список літератури

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Изд-8е. / Н.М. Беляев. – М.: Машиностроение, 1953. – 856 с.
2. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. Изд. 2-е доп. и перераб./ А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 407 с.
3. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів: пат. 101565 С2, Україна: МПК В23 D 77/00, В24В 33/00/ Підгаецький М.М., Щербина К.К. (Україна); заявник і власник Кіровоградський національний технічний університет. – заявл. 19.12.11.; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7. – 4 с.
4. Подгаецкий М.М. Особенности обработки прецизионных отверстий упруго-винтовым хонем// М.М. Подгаецкий, К.К. Щербина// Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета «Машиностроение, материаловедение». –2013. – Т.15 №2. – С. 30-39.

**Michael Podgaetski, Kirill Scherbina**

*Kirovograd National Technical University*

**Kinematics of cutting holes in honing spiral spring hone**

The study of the formation of micro relief and macro relief treated surface with consideration of the trajectory of the diamond abrasive grain placement and angle of diamond abrasive bar.

Considered the interaction of the treated surface with diamond-abrasive bars for traditional designs honing heads, and for the spiral spring hone the results based schemes and models. The scheme of interaction of spiral spring hone at the stage of preliminary and final passages from the work surface The influence of the angle of inclination of diamond abrasive formation macro relief bar on the work piece. The influence of diamond abrasive bar on the formation of precious geometric lines.

Dependences impact angle of inclination of diamond abrasive bar on the density of the grid formed by the track. Effect of transfer of own geometrical deviations honing heads on the work surface.

**micro relief, macro relief, the grid formed by the track, precious geometric lines, spiral spring hone, the trajectory of the diamond abrasive grain**

Одержано 20.04.15

**УДК 621.7.044**

**Р.Г. Пузырь, доц., канд.техн.наук**

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,*

*г. Кременчуг (Украина)*

## Анализ распределения напряжений при радиально-ротационном профилировании ободьев колес

Вопросы определения поля напряжений при формоизменении ободьев колес из стальных заготовок на первом переходе радиально-ротационного профилирования являются актуальными.

© Р.Г. Пузырь, 2015

Интерес представляет определение напряжений на радиусе закругления профилирующего ролика, так как именно места сопряжений различных элементов профиля обода испытывают во время эксплуатации наибольшие нагрузки. Результаты теоретического исследования позволяют анализировать возникающие в процессе деформирования напряжения и определять совокупность технологических и конструкторских параметров процесса профилирования, которые оказывают значительное влияние на величину и распределение нормальных и касательных напряжений.

**обод, профилирование, заготовка, радиус закругления, деформация**

**Р.Г. Пузир, доц., канд.техн.наук**

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук (Україна)*

**Аналіз розподілу напружень при радіально-ротаційному профілюванні ободів коліс**

Питання визначення поля напружень при формозміні ободів коліс із сталевих заготовок на першому переході радіально-ротаційного профілювання є актуальними. Интерес представляє визначення напружень на радіусі закруглення профілюючого ролика, так як саме місця сполучень різних елементів профілю обода відчують під час експлуатації найбільші навантаження. Результати теоретичного дослідження дозволяють аналізувати виникаючі в процесі деформування напруження і визначити сукупність технологічних і конструкторських параметрів процесу профілювання, які роблять значний вплив на величину і розподіл нормальних і дотичних напружень.

**обід, профілювання, заготівля, радіус заокруглення, деформація**

**Анализ последних исследований и публикаций.** Как показывают исследования по теории и эксперименту радиально-ротационного профилирования [1–3], а также расчеты на прочность обода колеса во время эксплуатации [4, 5], наибольший интерес вызывают публикации, направленные на установление поля напряжений и деформаций, действующих на радиусах закругления профиля колеса в процессе радиально-ротационного профилирования и в готовом изделии при его эксплуатации.

Поэтому исследования, связанные с определением компонент тензора напряжений и деформаций на радиусах закругления полуфабриката в процессе деформации являются наиболее актуальными.

**Изложение основного материала.** Для решения задачи по определению компонент тензора напряжений на радиусах закругления ободьев колес исходили из гипотез и допущений безмоментной технической теории оболочек вращения [6]. Профиль обода рассекали сечениями, перпендикулярными и параллельными к оси заготовки, для получения простых геометрических тел.

При сопряжении цилиндрической оболочки с оболочками другого профиля необходимо выполнение граничных условий: равенство радиальных перемещений или равенство окружных деформаций; равенство углов поворота нормали; равенство моментов; равенство сил распора, т. е. радиальных составляющих внутренних сил.

Рассмотрим верхнюю тороидальную поверхность, которая образована вследствие раздачи части цилиндрической заготовки нижним роликом. Используем для решения задачи общие уравнения равновесия оболочек вращения. Обозначим через  $a$  радиус сечения и через  $R$  – расстояние от оси до центра сечения. Введем криволинейные координаты  $\theta$  и  $\varphi$ ; под  $\theta$  понимается полярный угол в плоскости меридиана, под  $\varphi$  – угол в плоскости параллельного круга. Один из главных радиусов кривизны, соответствующий меридиану, совпадает с радиусом сечения и равен  $R_2 = a$ ;

второй, отвечающий параллельному кругу, по теореме Менье равен  $R_1 = \frac{r}{\sin \theta}$ , где  $r$  –

расстояние от оси симметрии до некоторой точки срединной поверхности [7],

$r = R + a \sin \theta = a \frac{(1 + k \sin \theta)}{k}$ , где  $k = \frac{a}{R}$ .

В общих уравнениях равновесия не учитываем изгибающие и крутящие моменты, и перерезывающие усилия, а также поверхностную нагрузку, тогда они в проекциях на касательные  $\theta$  и  $\varphi$  примут вид [7]

$$\begin{aligned} a \frac{\partial N_1}{\partial \varphi} + 2a \cos \theta \cdot S + \frac{a}{k}(1 + k \sin \varphi) \frac{\partial S}{\partial \theta} &= 0, \\ a \cos \theta \cdot N_2 + \frac{a}{k}(1 + k \sin \varphi) \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + a \frac{\partial S}{\partial \varphi} - a \cos \theta \cdot N_1 &= 0, \\ \frac{k \sin \theta \cdot N_1}{a(1 + k \sin \theta)} + \frac{N_2}{a} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Выразим из третьего уравнения системы  $N_2$  и подставим его во второе уравнение равновесия. Проведя не сложные преобразования, получим, возьмем решение уравнений в виде

$$N_1 = T_\theta \cos \varphi \text{ и } S = T_{\varphi\theta} \sin \varphi, \quad (2)$$

где  $T_\theta$  и  $T_{\varphi\theta}$  – функции одного  $\theta$ .

После подстановки их в уравнения системы (1) получим для определения этих функций обыкновенные дифференциальные уравнения. Складывая и вычитая эти уравнения и вводя обозначения  $L_1 = T_{\varphi\theta} + T_\theta$  и  $L_2 = T_{\varphi\theta} - T_\theta$ , после некоторых преобразований получим два следующих обыкновенных дифференциальных уравнения, каждое из которых содержит одно неизвестное

$$\begin{aligned} \frac{dL_2}{d\theta} \left( \frac{1}{2k} + \sin \theta \right) + L_2(2 \cos \theta + 1) &= 0, \\ \frac{dL_1}{d\theta} \left( \frac{1}{2k} + \sin \theta \right) + L_1(2 \cos \theta - 1) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Интегрирование уравнений (3) производим с помощью разделения переменных и подстановки  $u = tg \frac{\theta}{2}$ , при этом интегралы рационализируются и, опуская не нужные выкладки, окончательно получим

$$\begin{aligned} N_1 &= \left[ \left( tg^2 \frac{\theta}{2} + 4ktg \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left( \frac{e^{-A} C_1}{2} - \frac{e^{-B} C_2}{2} \right) \right] \cos \varphi, \\ S &= \left[ \left( tg^2 \frac{\theta}{2} + 4ktg \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left( \frac{e^{-A} C_1}{2} + \frac{e^{-B} C_2}{2} \right) \right] \sin \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{где } A = \frac{4k}{\sqrt{1-4k^2}} \operatorname{arctg} \frac{tg \frac{\theta}{2} + 2k}{\sqrt{1-4k^2}} (4k+1);$$

$$B = \frac{4k}{\sqrt{1-4k^2}} \operatorname{arctg} \frac{tg \frac{\theta}{2} + 2k}{\sqrt{1-4k^2}} (4k+3).$$

Левый конец тороидальной оболочки сопрягается с цилиндром, значит, должны выполняться равенства:  $N_1 = N_x, S_u = S_T$ , где  $N_x, S_u$  - решения для меридиональных и касательных усилий, полученные для цилиндрической заготовки [8]. Граничные условия на левом торце: при  $\theta = 0, \varphi = 0, x = 0$

$$N_1 = \sum_m \sum_n \frac{\sigma_s l}{m\pi R_0} \left( \frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n,$$

при  $\theta = 0, \varphi = 90^\circ, x = 0$ .

$$S = 0.$$

Подставляем данные граничные условия в (4) и получим

$$\begin{aligned} C_1 &= \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left( \frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \frac{\text{Sin}\phi_0 n}{e^{-A_1}}, \\ C_2 &= \sum_m \sum_n -\frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left( \frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \frac{\text{Sin}\phi_0 n}{e^{-B_1}}, \end{aligned} \quad (5)$$

Значения усилий будут иметь вид

$$\begin{aligned} N_1 &= \left[ \left( \text{tg}^2 \frac{\theta}{2} + 4\text{ktg} \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left( \frac{e^{-A}}{2e^{-A_1}} + \frac{e^{-B}}{2e^{-B_1}} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left( \frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n \right] \cos \phi, \\ S &= \left[ \left( \text{tg}^2 \frac{\theta}{2} + 4\text{ktg} \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left( \frac{e^{-A}}{2e^{-A_1}} - \frac{e^{-B} e^{-A_1}}{2e^{-B_1}} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left( \frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n \right] \sin \phi. \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения величины тангенциальных напряжений в очаге деформации используем условия перехода в пластическое состояние по гипотезе максимальных касательных напряжений

$$\sigma_y = \sigma_x - \sqrt{\sigma_s^2 - 4\tau^2}. \quad (7)$$

За пределами очага деформации тангенциальные напряжения находим из третьего уравнения системы (1).

**Выводы.** Обобщая полученные результаты, можно сказать, что на распределение и величину меридиональных напряжений на закругленных участках профиля обода в процессе деформирования оказывают влияние угол охвата радиуса закругления ролика

материалом заготовки  $\theta$  и показатель  $k = \frac{a}{R}$ , который равен отношению радиуса закругления профиля к радиусу заготовки. Поэтому, при радиально-ротационном профилировании для снижения величины меридиональных напряжений на закругленных участках необходимо стремиться к увеличению показателя  $k$  и уменьшению угла  $\theta$  для участка раздачи и обжима заготовки.

## Список литературы

1. Потекушин Н.В. Исследование напряжений при радиальном профилировании заготовок на первых переходах / Н.В. Потекушин, Э.З. Сайфулин. – В кн.: Обработка металлов давлением. Свердловск, УПИ.– 1974. – Вып. 2. – С. 111–114.
2. Чигиринский В.В. Современное производство колес автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники: [Монография] / В.В. Чигиринский, В.Л. Мазур, С.В. Беликов и др. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2010. – 309 с.
3. Мосьпан Д.В. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес / Д. В. Мосьпан, В.В. Драгобецкий, Р.Г. Пузырь // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6(53), Ч. 2. – С. 64-66.
4. Guo Y.Q. Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach / Y.Q. Guo, et al // Comput. Struct. 2000. – 78. – P. 133–148.
5. Балабин И.В. Расчет напряженного состояния ободьев колес / И.В. Балабин, В.Г. Бондарь, Л.Г. Сухомлинов // Тр. НАМИ, 1983. – Вып. 189. – С. 24–43.
6. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 635 с.
7. Филин А.П. Элементы теории оболочек / А.П. Филин. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975.– 256 с.
8. Пузырь Р.Г. Установление поля напряжений при радиально-ротационном профилировании цилиндрической заготовки без учета радиусов закругления деформирующего инструмента / Р.Г. Пузырь, Е.Н. Сосенушкин, Е.А. Яновская // Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. М.: МГТУ «Станкин», 2013. - №4 (27). – С. 42-47.

**Ruslan Puzyr,**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*

### **Analysis of stress distribution at the radial rotary profiling rim**

The problems of determining the stress field at forming rim of steel billets at the first transition angular rotational profiling. Interest is the determination of the stresses on the radius of curvature of the profiling roller, as it places the coupling of different elements of the rim profile test during operation to maximum loads. The results of theoretical studies allow to analyze the deformation occurring during stress and to determine a set of technological and design parameters of the profiling process, which have a significant influence on the magnitude and distribution of normal and tangential stresses. Obtained according to different view of the blank deformation of the wheel rim as the design and not the sheet metal that can reveal an increasing amount of the profiling process, and keep a more accurate calculation of stresses and strains. It is shown that the radii of curvature of the wheel profile during the tensile deformation occur meridional stress that can lead to a dramatic thinning the blank that are not acceptable.

**rim, profiling, blank, radius of curvature, distortion**

Одержано 31.10.14