

УДК 621.983.44.01

О.В. ЧЕСНОКОВ, В.І. ЧОРНА, О.М. НАБОКІН

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Україна***ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ РОТАЦІЙНІЙ ВИТЯЖЦІ ОБОЛОНКОВИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ НАВМИСНОГО СТОНШУВАННЯ**

Наводиться огляд досліджень в області ротаційного витягу (РВ) оболонкових деталей без навмисного стоншування. Отримані залежності для визначення основних геометричних розмірів зони контакту давильного ролика з кінцевою оболонкою і параметри утвореної позаконтактної зони деформації. Приведені епюри дії елементарних сил, створених широтним і меридіональним напруженням. Площа контактної зони визначена при дослідженні деформації ідеально-пластичної оболонки. Величини деформації визначені без врахування пружних деформацій. У результаті створені передумови для уточненого прогнозування відмов при РВ.

Ключові слова: ротаційна витяжка, осередок деформації, позаконтактна деформація, напруження.

У авіаційно-космічній техніці та в інших галузях промисловості застосовуються деталі типу тонкостінні тіла обертання, які виготовляти штампуванням економічно не вигідно, враховуючи програму виготовлення та їх форму. Ротаційна витяжка дозволяє у стислий час виготовити деталі з високою точністю. Дослідження токарно-давильних процесів було розпочато В.Г. Кононенко у ХАІ.

Процес РВ занадто складний, повністю і достовірно описати його та явища, що відбуваються у системі заготівка-інструмент-обладнання поки-що неможливо [1]. Дослідження процесів РВ переважно велись для вирішення конкретних технологічних задач і у наступному систематизувались у вигляді емпіричних залежностей. Значною і найбільш цитованою роботою з описання процесів, що відбуваються при РВ є монографія М.І. Могільного [2].

На відміну від штампування РВ характеризується локальним застосуванням навантаження, що переміщується по гвинтовій лінії. І хоча швидкість обертання заготівки порівняно висока, у кожен момент часу має місце деформація лише обмеженого об'єму металу (осередку деформації). Локальне натискання деформує навантаження на заготівку не дозволяє для аналізу напружено-деформованого стану осередку застосовувати як осесиметричну задачу, що розглядається при формоутворенні аналогічних оболонок штампуванням.

Унаслідок зосередженості деформує зусиль на невеликій ділянці оболонки і складності явищ, теоретичні дослідження напруження і деформацій, а також розробка науково-обґрунтованого методу визначення силових і кінематичних параметрів цього процесу утруднені.

У роботах В.М. Моїсеєва [3] і П.Ф. Григорьєва [4] розглянута схема прикладання деформує зусиль

до заготівки в процесі формоутворення з урахуванням лише зони контакту заготівки і ролика. Зусилля ротаційної витяжки визначали на підставі методу балансу робіт, застосування якого стало можливе після визначення геометричних параметрів осередку деформації і визначення роботи деформації. Таким чином, теоретичні дослідження зводилися до рішення неосесиметричної задачі в площині обертання оболонки, що деформувалася.

Вказані дослідження дозволили наближено визначити деформації в площині обертання деталі і знайти зв'язок між напруженням і деформацією. Розроблена методика аналітичного визначення деформує зусиль у функціях основних технологічних чинників в першому наближенні.

У реальному процесі при деформації оболонки утворюється осередок деформації, що складається з двох ділянок: вільного вигину (позаконтактною деформацією) і контактної (деформація на поверхні, що контактує з давильним роликом).

Визначення енергосилових параметрів процесу РВ є важливим завданням, вирішення якого дозволяє точніше управляти процесом формоутворення оболонки в процесі витискування. При визначенні деформує зусиль точність рішення залежить від того, наскільки вірно визначені геометричні розміри осередку деформації. Особливе значення цих параметрів набувають при безпорному способі РВ, коли процес проводиться на граничних значеннях стійкості оболонки.

Мета роботи полягає в визначенні геометричних параметрів осередку деформації при формоутворенні оболонки під впливом локального натиску давильного ролика для створення передумов уточненого визначення напружено-деформованого стану металу у зоні деформації.

Розробка методики визначення геометричних параметрів осередку проводилася для випадку деформації конічної заготовки, у якій кут нахилу створюючої φ_0 до деформації, як і кут нахилу φ_1 створюючої, після деформації, залишається незмінним протягом всього проходу давильного ролика.

Деформація конічної заготовки є окремим випадком деформації оболонки з криволінійною створюючою, тобто оболонки, біля якої кути нахилу створюючої φ_0 і φ_1 змінні по мірі просування давильного ролика до периферії оболонки.

Вважатимемо, що деяка меридіональна площина, що проходить через контактну зону осередку в перетині його найбільшої ширини, залишає слід перетину з позаконтактною зоною найбільшої довжини зі всіх довжин слідів від перетинів іншими меридіональними площинами, а перетин – перетином головного меридіану.

Аналогічним чином, провівши через осередок низку перетинів, перпендикулярних осі обертання, виділимо з них те, яке проходить через контактну зону в перетині найбільшої його довжини. Вважатимемо, що цей перетин (перетин головної широти) ділить площу контактної зони і ширину її на дві рівні частини. Відстань від точки перетину головної широти з головним меридіаном до осі обертання дорівнює r' .

На рис. 1. зображена конічна оболонка, що деформується, в перетині головного меридіану. Осередок деформації в цьому перетині розділене на дві ділянки: позаконтактну зону, обмежену координатами R і r' , і контактну зону, обмежену координатами r' і r , від осі обертання. Всі вказані координати відлічуються від осі обертання. Як і в листовому штампуванні, при витягу в штампі на другій і подальших операціях радіус кривизни позаконтактною зоною R_{Π} можна прийняти постійним уздовж головного меридіану.

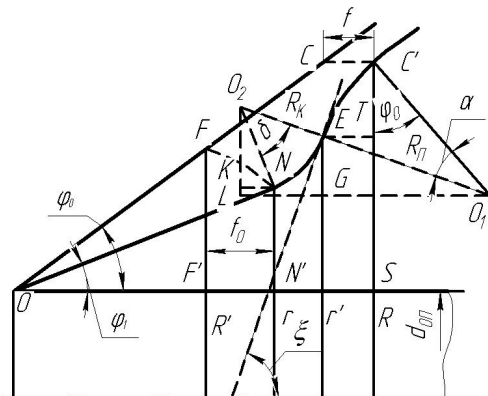


Рис. 1. Перетин оболонки у головному меридіані

При РВ попередньо визначені геометричні параметри процесу: d_{on} - діаметр циліндрового обля-

мовування, r - координата нижньої межі контактної зони осередку деформації визначається за схемою програмування обробки, R_K - радіус контактної зони рівний радіусу давильного ролика. Із геометричних залежностей (рис. 1) додатково отримуємо наступні рівняння:

$$\begin{aligned} r' &= r + R_K (\cos \varphi_1 - \cos \xi), \\ R &= r' + R_{\Pi} (\cos \varphi_0 - \cos \xi), \\ OS &= \frac{r - \frac{d_{on}}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} + R_K (\sin \xi - \sin \varphi_1) + \\ &+ R_{\Pi} (\sin \xi - \sin \varphi_0). \end{aligned}$$

У основу визначення радіусу кривизни позаконтактної зони R_{Π} покладена методика [5].

При виведенні значення R_{Π} , як і в роботі [5], напрям дії $\sigma_{p_{cp}}$ узятий негативним, а чисельні значення середнього напруження беруться без врахування знаку мінус.

Вважаємо, що кривизна серединної поверхні визначається дією моментів M і сил, утворених середнім напруженням $\sigma_{p_{cp}}$ і $\sigma_{\theta_{cp}}$, тобто меридіональним і широтним напруженням, і, що величина цієї кривизни визначається умовою рівності моментів, що діють по межах ділянки вільного вигину і моментів, створених елементарними силами, вказаним напруженням $\sigma_{p_{cp}}$ і $\sigma_{\theta_{cp}}$, тобто моментами ΔM_{θ} і ΔM_p . Моменти, що діють у межах ділянки вільного вигину, як і в роботі [5] приймемо як дію одного моменту, що вигинає, на ширину елементарної смужки $d\gamma$, тобто:

$$M = M_i R \cdot d\gamma = \frac{1}{4} \sigma_s \cdot R \cdot d\gamma.$$

Напруження σ_p на верхній межі контактної зони осередку деформації може бути прийнята для практичних розрахунків рівним σ_s , а напруження σ_{θ} близьким до нуля. Відповідно на головному меридіані на верхній межі осередку напруження $\sigma_p \cong 0$, а напруження $\sigma_{\theta} \cong -\sigma_s$. Відповідно до цього, середнє тангенціальне напруження виразиться як середньоарифметичне крайніх значень $\sigma_{\theta_{cp}} = -\frac{\sigma_s}{2}$,

аналогічно $\sigma_{p_{cp}} = \frac{\sigma_s}{2}$.

Розглянемо елементарну смужку шириною $R \cdot d\gamma$ головного меридіану. Елементарна смужка, утворена двома меридіональними перетинами, що проходять нескінченно близько ліворуч і праворуч від головного меридіану зображена на рис. 2, а.

Верхня і нижня межа позаконтактної зони обмежені відповідно перетинами 0-0 і 0'-0'. З рис. 2, а видно, що елементарна сила від широтного напруження має максимальне значення біля верхньої межі осередку деформації, де $\sigma_\theta = -\sigma_s$, а мінімальне - біля нижньої, де $\sigma_\theta \approx 0$. З рис. 2, б можна зробити висновок про величину цієї сили

$$dP_\theta = 2\sigma_\theta \cdot S \cdot R_\Pi \cdot d\alpha_\rho \cdot \frac{\Delta\gamma}{2},$$

де S - товщина оболонки.

У цьому співвідношенні в правій частині дві змінні $d\alpha_\rho$ і σ_θ . Застосовуючи теорему про середнє значення для напруження, маємо:

$$\int_0^{\Delta\rho_\theta} dP_\theta = 2\sigma_{\theta_{cp}} \cdot S \cdot R_\Pi \cdot \frac{\Delta\gamma}{2} \int_0^{\alpha_\rho} d\alpha_\rho.$$

Згідно епюрі напруження σ_θ , точка застосування сумарної елементарної сили $\Delta P_{\theta_{cp}}$ знаходиться

на відстані $R_\Pi \cdot \frac{2}{3} \alpha_\rho$ від перетину 0'-0'. Момент відносно перетину 0'-0' від сили $\Delta P_{\theta_{cp}}$ рівний:

$$\Delta M_\theta = \Delta P_{\theta_{cp}} \cdot \frac{2}{3} R_\rho \cdot L_\rho.$$

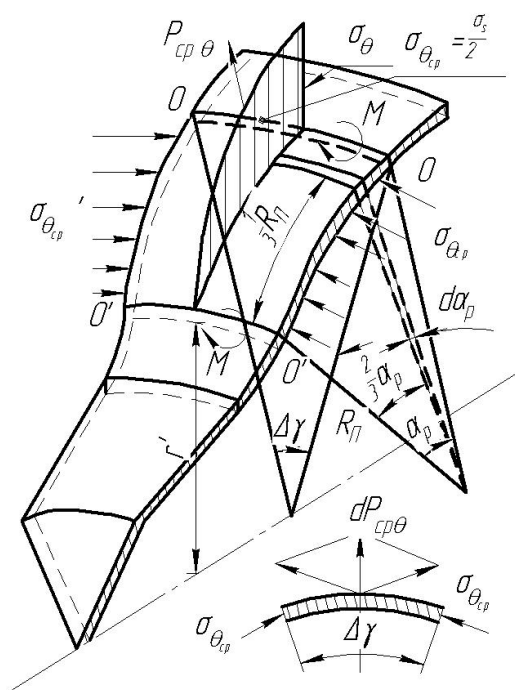


Рис. 2. Елементарні сили у широтному напрямі

Елементарні зусилля уздовж меридіану від меридіонального напруження σ_ρ змінні і мають найбільше значення біля перетину 0'-0', а найменше верхньої межі осередку деформації (рис. 3), де

$dP_\rho = 0$. Величина цієї сили виразиться залежністю:

$$dP_\rho = \sigma_\rho \cdot R \cdot \Delta\gamma \cdot S.$$

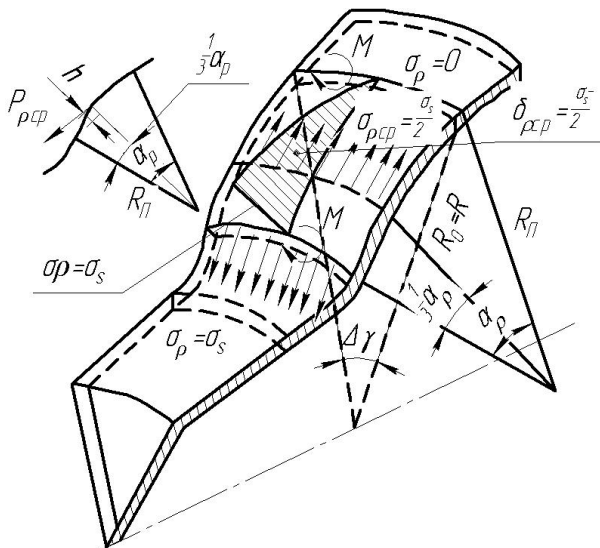


Рис. 3. Елементарні сили у меридіональному напрямі

Результуючу елементарну силу знайдемо інтеграцією із застосуванням теореми про середній:

$$\int_0^{\Delta\rho_\rho} dP_\rho = \sigma_{\rho_{cp}} \cdot R \cdot \Delta\gamma \cdot S,$$

Сила $\Delta P_{\rho_{cp}}$ дає момент відносно перетину 0'-0', рівний (рис.3, б):

$$\Delta M_\rho = \Delta P_{\rho_{cp}} \cdot h = \Delta P_{\rho_{cp}} \cdot R_\Pi \left(1 - \cos \frac{\alpha_\rho}{3} \right).$$

Рівняння рівноваги відносно перетину 0'-0' :

$$\Delta M_\theta - \Delta M_\rho = 2M_1 \cdot R \cdot \Delta\gamma.$$

Після скорочень і спрощень отримаємо:

$$R_\Pi = \frac{3R}{2\alpha_\rho^2} + \frac{S}{1 - \cos \frac{\alpha_\rho}{3}}.$$

Для визначення площі контактної зони поперечно розглянемо деформацію ідеально-пластичної оболонки, тобто повністю нехтуємо впливом пружних деформацій. Оскільки ми розглядаємо довжину контактної зони осередку в головному широтному перетині (рис. 4), а саме в цьому перетині контактна зона має найбільшу довжину. У $\Delta A O_\rho O_0$ (рис. 4) відомо всі три сторони, координата r_c ділить по напрямку меридіану дугу обхвату $\rho_{cp} \cdot \sigma$ навпіл, висота L трикутника $\Delta A O_\rho O_0$ легко визначається.

На ділянці BC широтної позаконтактної зони осередку деформації (рис. 4) діє напруження $\sigma_\rho \approx \sigma_s$; $\sigma_\theta \approx 0$. Спираючись на методику виведення параметра R_Π , складемо рівняння рівноваги для елементарної смужки, виділеної на оболонці двома

нескінченно близькими широтними перетинами. З рівняння моментів, що діють на межах елемента знайдемо:

$$R_{\theta} \cdot \alpha_{\theta} = \sqrt{\rho_{cp} \cdot S}.$$

Не знаходячи окремо значення R_{θ} і α_{θ} використовуємо їх для знаходження максимальної довжини контактної зони осередку деформації для випадку деформації оболонки з ідеально-пластичного матеріалу:

$$L_{\kappa} = L \sqrt{\frac{\rho_{cp} \cdot S}{2}}.$$

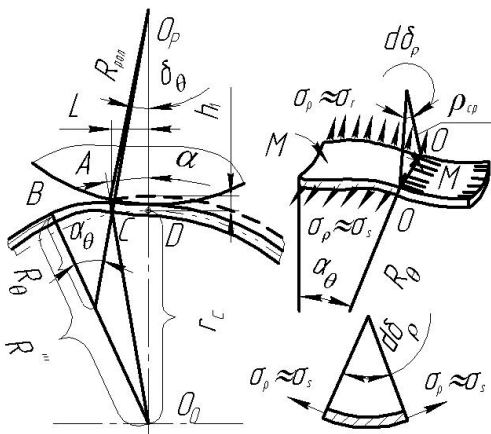


Рис. 4. Перетин оболонки у головній широті при деформації ідеально-пластичної оболонки

Проекцію площі контактної зони на площину, перпендикулярну деформуючому зусиллю, можна розглядати як частку площі еліпсу. Оскільки площина ролика збігається з бісектрисою кута δ обхвату заготівлю ролика по меридіану, проекція виглядатиме як основа еліпсу з піввісями L_{κ} і $\frac{\rho_{cp} \cdot \delta}{2}$. Всі проміжні значення площі контакту можна інтерполювати.

Елементарним процесом деформації (нехтуючи пружною деформацією) можна вважати такий процес, при якому матеріальне волокно, увійшовши по широті у осередок деформації, опуститься під ролик і покине осередок деформації як тільки ролик минатиме над ним.

На рис. 5 зображена деяка матеріальна частка M , яка в наслідок обертання оболонки навколо осі O_0 увійшла до заштрихованої зони осередку пластичної деформації по широті і з положення M зайняла положення M' . Виберемо переміщувану систему координат так, як вона показана на малюнку.

Оскільки при РВ відсутнє скручування оболонки по широті, приймемо напрям головних осей результуючої деформації співпадаючими:

- з напрямом лінії меридіана в даній матеріальній точці для деформації розтягування;
- з напрямом перпендикулярним осі обертання для деформації стиснення;
- з напрямом нормалі до серединної поверхні в даній матеріальній точці для деформації по товщині.

Таким чином, переміщувана система координат РNT збігається з напрямом головних осей результуючих деформації. В той же час деформація у вибраних напрямках відповідає першій умові монотонності деформації, і меридіональний напрям є напрямом найбільш швидкого подовження волокна.

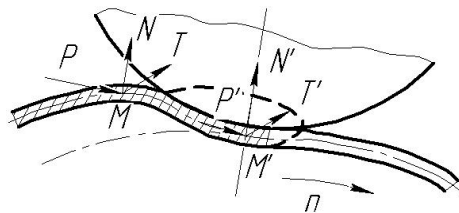


Рис. 5. Монотонність деформації при РВ

Таким чином, перша умова монотонності процесу при РВ дотримана. Візьмемо без доведення, що при РВ дотримується і друга умова монотонності деформації. Умова нестискуваності об'єму, застосована в скінчених деформаціях при РВ, виглядатиме у логарифмічних деформаціях:

$$\ln \frac{l_1}{l_{i-1}} + \ln \frac{Z_i}{Z_{i-1}} + \ln \frac{S_i}{S_{i-1}} = 0;$$

де l_{i-1} і l_i - відповідно довжини елемента оболонки, виміряні уздовж меридіана до і після деформації за один оберт оболонки;

Z_{i-1} і Z_i - відстані від осі обертання елемента оболонки до і після деформації за один оберт оболонки;

S_{i-1} і S_i - товщина елемента до і після деформації за один оберт оболонки.

Точка F (рис. 1) зазнає n деформацій, перш ніж займе положення в точці N . Таким чином, сумарна деформація дорівнюватиме сумі n членів, скінчених деформацій, що отримає елемент на кожному із обертів, перш ніж осередок деформації переміститься вгору по меридіану, рухаючись по гвинтовій лінії, і елемент вийде за його межі. Таким чином $\delta_p = \ln \frac{l_1}{l_0}$; $\delta_{\theta} = \ln \frac{r}{R}$ і $\delta_Z = \ln \frac{S_1}{S_0}$.

Логарифмічна деформація по товщині у точці N після деформації складатиме:

$$\delta_{Z_N} = \ln \frac{R'^2 - R^2}{(r+r')\rho_{cp}\delta \cdot \sin \varphi_0}.$$

Висновки

Визначені основні геометричні розміри осередку контактної зони деформації при РВ конічної оболонки одним роликом та радіус кривизни позаконтактної зони осередку деформації в перетині головного меридіану на підставі аналізу епюр від елементарних сил, спричинених широтним та меридіональним напруженням. Визначено площу контактної зони при деформації ідеально-пластичної оболонки та деформації при РВ, нехтуючи пружною деформацією. Отримані результати створюють передумови для уточненого визначення напружено-деформованого стану металу у зоні деформації і точнішого визначення технологічних параметрів РВ.

Література

1. Корольков, В.И. Математическое, методическое и программное обеспечение процессов ротационной вытяжки из листа и труб [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук В.И. Корольков. - Воронеж, 1997. - 460 с.
2. Могильный, Н.И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках [Текст] / Н.И. Могильный. - М.: Машиностроение, 1983. - 190 с.
3. Моисеев, В.М. Исследование процесса многопереходной ротационной вытяжки из конических заготовок [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. / В.М. Моисеев. - Ворошиловград, 1979. - 188 с.
4. Григорьев, П.Ф. Исследование процесса тепловой ротационной вытяжки оболочек из нержавеющей сталей аустенитного класса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. / П.Ф. Григорьев. - Ворошиловград, 1980. - 222 с.
5. Сторожев, М.В. Теория обработки материалов давлением. Учебник для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. - М.: Машиностроение. 1977, - 423 с.

Надійшла до редакції 12.09.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедри В.О. Вітренко, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, г. Луганськ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ОБЛАСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ ОБОЛОЧКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ ПРЕДНАМЕРЕННОГО УТОНЕНИЯ

А.В. Чесноков, В.И. Чорная, А.Н. Набокин

Приводится обзор исследований в области ротационной вытяжки (РВ) оболочковых деталей без преднамеренного утонения. Получены зависимости для определения основных геометрических размеров зоны контакта давящего ролика с конической оболочкой и параметры образующейся внеконтактной зоны деформации. Приведены эпюры воздействия элементарных сил созданных широтными и меридиональными напряжениями. Площадь контактной зоны определена при рассмотрении деформации идеально-пластичной оболочки. Величины деформации определены без учета упругих деформаций. Созданы предпосылки для уточненного прогнозирования отказов при РВ.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, область деформации, внеконтактная деформация, напряжения.

DETERMINATION OF GEOMETRY OF AREA OF DEFORMATION AT ROTARY EXTRACTION OF THECAL DETAILS WITHOUT INTENTIONAL THINNING

A.V. Chesnokov, V.I. Chornaya, A.N. Nabokin

A review over of researches is brought in area of rotary extraction (RE) of thecal details without intentional thinning. Dependences for determination of basic geometrical sizes of area of contact of pressure roller with a conical shell and parameters of appearing out of contact area deformation are got. The epures of influence of elementary forces, created latitudinal and meridional tensions are resulted. Area of contact zone determination at consideration of deformation to ideally-plastic shells. The sizes of deformation are certain without the account of resilient deformations. Pre-conditions are created for the specified prognostication of refuses at RE.

Key words: rotary extraction, area of deformation, outside contact deformation, tensions.

Чесноков Олексій Вікторович – д-р техн. наук, доцент, проф. кафедри технології машинобудування та інженерного консалтингу, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, Україна, e-mail: chesnokov@snu.edu.ua.

Чорна Валентина Ігорівна – аспірант кафедри технології машинобудування та інженерного консалтингу, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, Україна.

Набокін Олександр Миколайович – магістр кафедри технології машинобудування та інженерного консалтингу, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Луганськ, Україна.