

## Анотований звіт

за 2015 рік

Цільова комплексна програма НАНУ з наукових космічних досліджень  
на 2012 – 2016 рр.

Тема № 08/068 «Створення та дослідження конструкцій перетворюваного об'єму (КПО) космічного призначення». Етап №4 - «Розроблення комплексу формуючого обладнання, дослідження інваріантності властивостей базових структурних елементів багатоконусної КПО»

У відповідності до задачі проекту, при виконанні четвертого етапу роботи (2015 р.) проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу фізико-механічних характеристик використовуваних конструкційних матеріалів на функціональні властивості перетворюваної оболонки, а також дослідження сталості демпфувальних властивостей багатосекційної КПО та стійкості її окремих структурних елементів у розкритому стані при зміні профілю меридіану вихідної оболонкової поверхні. Виконано моделювання технології перетворення конічних оболонок КПО та розроблено комплекс обладнання для холодного об'ємного деформування конічних заготовок у відповідності з отриманим на попередніх етапах роботи алгоритмом формозміни. Досліджено залежність умов формування плоских дисків КПО та їх наближення до ізометричного процесу перетворення від геометричних особливостей вихідних конічних оболонок.

Відповідно до аналітичної моделі деформування пластичної конічної оболонки, на початковому етапі формування складки гофрованого диска реальна оболонка деформується по радіусу вільного вигину, при цьому виникають найбільші кільцеві (в окружному напрямку) зусилля і напруження, викликані максимальним радіальним зсувом ділянки поверхні, що згинається. Мінімізація кільцевих деформацій дозволяє знизити стиснення та розтягнення матеріалу і наблизити процес перетворення до умови ізометричності. Так, при кутах конусності оболонки  $\alpha < 25^{\circ} \div 27^{\circ}$  (Рис.1,а) величини відносних кільцевих деформацій в матеріалі перевершують допустимі значення, і близькість до

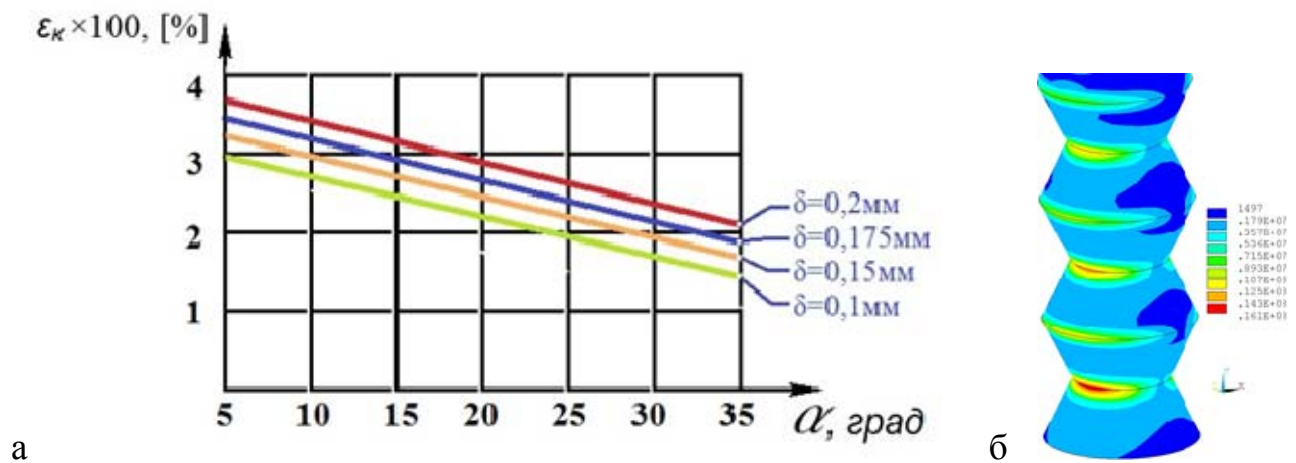


Рис.1 Графіки залежності відносної кільцевої деформації  $\varepsilon_k$  при згинанні усіченої конічної оболонки з товщиною  $\delta$  від кута її конусності  $\alpha$  (а) та значення максимальних напружень ( $\sigma_{e \max}$ , МПа) в КПО при  $\alpha = 25^\circ$  (б)

ізометрії не може бути реалізована. Відповідно, при  $\alpha > 27^\circ$  деформація в вершинах складок є пружною, остаточного формування гофрів не відбувається і спостерігаються зворотні пружні деформації. Моделювання величин напружено-деформованого стану конструкції при куті конусності  $\alpha = 25^\circ$  наведено на Рис.1,б. В якості критерія міцності використано досягнення еквівалентними напруженнями в матеріалі оболонки значень межі плинності  $\sigma_T$  конструкційного матеріалу оболонки (сталь AISI 321). Згідно з розрахунковими даними зроблено коригування алгоритму перетворення конічної оболонки та, відповідно, розрахункової схеми ротаційного пристосування (матриці) для згинання гладкою конічної заготовки (Рис.2,а). Зокрема, використання в отриманій на попередньому етапі роботи математичній моделі руху нейтральної поверхні оболонки оптимальних кутів конусності дозволило скоригувати відносні значення висоти  $a$  та кроку  $b$  гофрів плоского диску, радіусів верхівок гофрів  $r$  та відповідних до них радіусів та висоти  $a'$  ребер ротаційного пристосування (Рис.2,а). У відповідності до отриманої розрахункової схеми виготовлено дослідний зразок матриці (Рис.2,б).

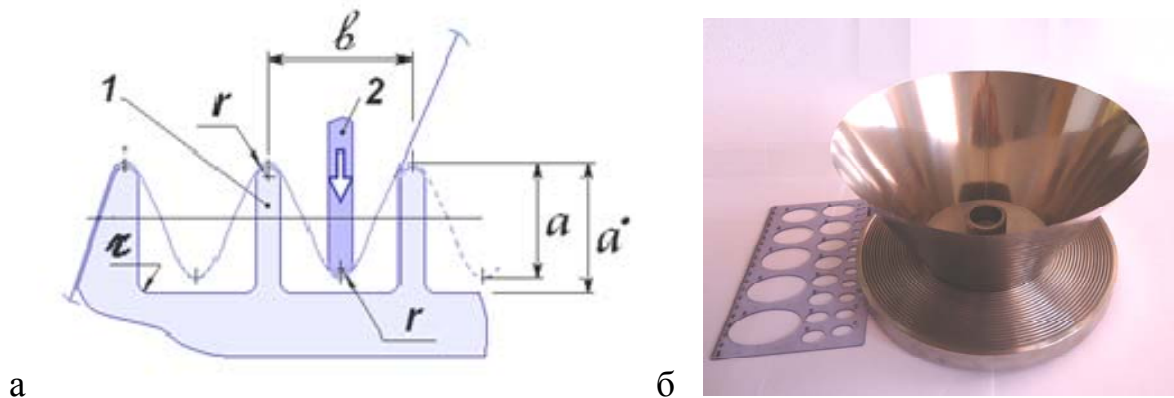


Рис.2 Розрахункова схема ротаційного пристосування (матриці) для згинання гладкою конічної заготовки (а) та дослідний зразок матриці (б); 1 - опорні ребра матриці, 2 – фрагмент формувального пуансона

Для експериментального підтвердження теоретичної моделі перетворення і розрахункових оцінок оптимального кроку гофрів, виконаних на попередніх етапах роботи, була проведена серія експериментів по об'ємному деформуванню конічних оболонок з розрахункового матеріалу (сталь AISI 321 / 12X18H10T) з геометричними розмірами, зменшеними в пропорції 1:2, що дало змогу суттєво скоротити матеріаломісткість дослідних зразків оснащення при незначній зміні кільцевих і мембранних напружень, що виникають у процесі формування гофрованих дисків і здатних внести похибку в експериментальний результат. Відповідно, після кожної групи експериментів, відповідних певному кроку  $b$  (Рис.2,а), починаючи з його найменшого значення, даний параметр матриці змінювався шляхом механічної обробки в бік збільшення. При експериментах фіксувалося фактичне значення глибини формування гофрів  $a$ , а також розрахункова  $l_{\text{РОЗР}}$  і фактична  $L_{\text{ФАКТ}}$  довжина конічної твірної, відповідні до сформованого гофру. Результати експерименту продемонстрували повну відповідність отриманого раніш теоретичного співвідношення шагу гофрів до товщини конструкційного матеріалу оболонки  $b / \delta$ , і дозволили зробити висновок про можливість подальшого формування оболонок КПО з досліджуваними параметрами на штатному комплекті ротаційного пристосування.

У 2015 р. по тематиці проекту презентовано 3 роботи у міжнародній науковій періодиці аерокосмічного напрямку:

1. Boris E. Paton, Leonid M. Lobanov, Valentin S. Volkov, Metal transformable-volume structures for space engineering, Acta Astronautica, №110(2015), 50–57  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.01.005>
2. Leonid M Lobanov, Valentin S. Volkov et.al, Functional characteristics improvement of metal transformable-volume structures for space applications, Journal of Aerospace Technology and Management (Scopus Sourced record ID 19700188347)-acc. manuscr.
3. Leonid M Lobanov, Valentin S. Volkov, Prospects for application of transformable-volume structure technologies in the designing of space vehicles, Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering 2015, Vol3, Issue3, <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9792.S1.008>

#### ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. При виконанні четвертого етапу роботи створено та апробовано комплекс технологічного обладнання, що забезпечує процес холодного об'ємного деформування отриманих зварних оболонок з мінімізацією пластичних деформацій конструкційного матеріалу.
2. Досліджено залежність алгоритму ізометричного формування плоских дисків КПО від геометричних особливостей вихідних конічних оболонок.
3. Виконано оптимізацію конструктивних параметрів конічних секцій КПО, коригування алгоритму перетворення конічної оболонки та, відповідно, розрахункової схеми ротаційного пристосування (матриці) для згинання гладкої конічної заготовки.

Науковий керівник роботи

д.т.н., академік НАН України

Л.М. Лобанов

Відп. вик. наук. співр. Волков В.С.

E-mail: ValentinVolkov@ukr.net

тел. (044) 205-24-81; моб. (050) 311-31-42