

**М.М. ПІДГАЄЦЬКИЙ**, канд. техн. наук; доц.; КНТУ, Кіровоград.  
**К.К. ЩЕРБИНА**, асп.; КНТУ, Кіровоград.

## **ГІДРОСТАТИЧНИЙ ХОН ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ МАЛИХ ДІАМЕТРІВ**

У статті розглядається гідростатичний хон для обробки отворів малих діаметрів, а саме представлено його конструктивне виконання, математична модель роботи в статистиці, яка підтверджується результатами дослідження твердотільної моделі, на основі методу кінцевих елементів в середовищі SolidWorks Simulation. Також висвітлено переваги та недоліки гідростатичного хону.

**Ключеві слова:** гідростатичний хон, алмазно-абразивний інструмент для обробки отворів, пружна лінія балки, твердо тільна модель.

**Вступ.** Сучасні конструкції деталей керуючої гідроапаратури, гідравлічних машин та інших виробів вимагають підвищеної точності та якості, особливо в отворах діаметром від 2 до 10 мм, тобто малих діаметрів. На основі проведеного дослідження існуючих алмазно-абразивних інструментів (хонінгувальна головка та алмазна розвертка) для обробки отворів малих діаметрів [1,2,3], виявлено ряд недоліків.

По-перше, хонінгувальна головка не дозволяє чітко відреагувати на зміну сили різання, яка пов'язана з геометричними відхиленнями оброблюючого отвору, як в повздовжньому, так і в поперченому перерізі. Даний негативний ефект пов'язаний з наявністю статичного та кінематичного тертя в ланках хонінгувальної головки. Також, обробка шліцевих та переривчастих отворів малих діаметрів призводить до ускладнення конструкції хонінгувальної головки та обмежень по величині діаметру оброблюючого отвору.

По-друге алмазна розвертка не дозволяє використання її в умовах автоматизованого виробництва, що обумовлено ручним налаштуванням необхідного розміру на обробку та вимагає постійного контролю за процесом зношування. Також, існує обмеження по оброблюючому діаметру, а саме не менше 6 мм [3], що пов'язано з конструктивним виконанням самої розвертки.

Отже, в основу дослідження поставлена мета створити алмазно-абразивний інструмент, який не матиме обмежень по оброблюючому діаметру та дозволить чітко реагувати на зміни в процесі обробки для отримання оптимальних показників точності та якості оброблюючого отвору.

**Аналіз гідростатичного хону.** На основі виявлених недоліків існуючих алмазно-абразивних інструментів запропоновано конструкція гідростатичного хону див. рис.1.

Гідростатичний хон виконаний у вигляді полого циліндричного тіла, який перетинають кільцеві пази.

Кільцеві пази утворюють поле циліндричне тіло перемінного перерізу. Гідростатичний хон працює за наступним принципом. Тиск, який утворюється в внутрішній порожнині полого циліндричного тіла перемінного перерізу за рахунок стиснення робочої рідини, призводить до деформації в радіальному напрямку та збільшення початкового діаметру.

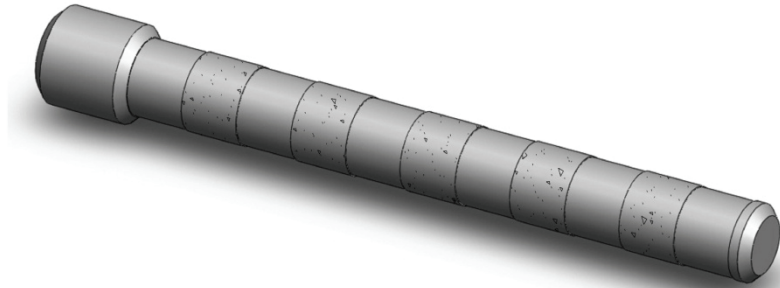


Рис. 1 – Гідростатичний хон

Таким чином, запропонована конструкція гідростатичного хону забезпечить регулювання розміру за рахунок пружних деформацій без будь-яких проявів статичного і кінематичного тертя в процесі регулювання.

Для підтвердження даних припущень необхідно побудувати математичну модель роботи гідростатичного хону на основі статичного аналізу. Тому, потрібно визначити сили необхідні і достатні для регулювання радіального розміру гідростатичного хону та забезпечення процесу різання. Розглянемо одну секцію гідростатичного хону перемінного перерізу затиснуту в отворі деталі див. рис. 2,а.

Для визначення сил та реакцій діючих в одній секції гідростатичного хону видалимо елемент двома сумісними меридіанними перерізами і двома перерізами, нормальними до меридіану див. рис.2,б [4,5].

В зв'язку з тим, що отриманий елемент має перемінну товщину стінки, це унеможливорює його розрахунок як оболонкової форми та визначення реакцій, які виникають в точках переходу однієї товщини до іншої див. рис.2, в [4,6].

Припустимо, що найбільш вдалим способом розрахунку подібного елементу є представлення його у вигляді балки перемінного перерізу див. рис.2, г.

Отримана балка буде статично невизначеною, тому необхідно привести її до балки з єдиним перерізом. На кінці балки накладемо моменти затиску, це пов'язано з конструктивною особливістю ГСТХ. Місця зміни величини перерізу замінимо опорами див.3,а.

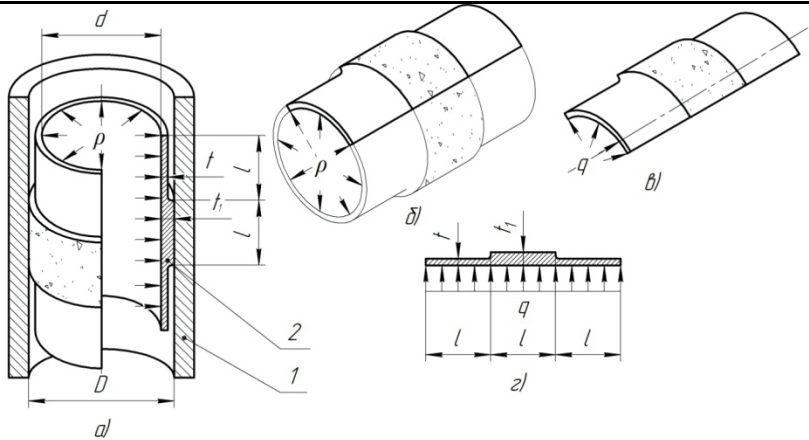


Рис. 2 – Схема дії навантажень на одну секцію гідростатичного хону: а – схема дії навантажень на одну секцію ГСТХ; б – схема видалення елемента ГСТХ; в – видалений елемент ГСТХ під дією навантажень г – схема дії навантажень на одну секцію ПГХ в поперечному перерізі; 1 – оброблюєма деталь; 2 – одна секція ГСТХ; d – діаметр внутрішньої порожнини ГСТХ; D – діаметр отвору, що оброблюється; t – товщина стінки меншого перерізу; t<sub>1</sub> – товщина стінки більшого перерізу; ρ – тиску у внутрішній порожнині ГСТХ; q – постійне навантаження; l – довжина ребра;

Після перетворень отримаємо трисекційну балку див. рис.3, б. У відповідності до вимог рівноваги складемо рівняння опорних реакцій.

$$\sum M_A = 0; \quad -1.5ql + R_B l - M_1 + M_2 = 0 \quad (1)$$

де l – довжина секції;  
 q – постійне навантаження;  
 M<sub>1</sub> – моменти затиску;  
 M<sub>2</sub> – моменти затиску;  
 R<sub>B</sub> – реакція опори в точці B;

$$\sum M_B = 0; \quad -1.5ql + R_A l - M_1 + M_2 = 0 \quad (2)$$

де R<sub>A</sub> – реакція опори в точці A;

$$\sum y = 0; \quad R_A + R_B - 3ql - M_1 + M_2 = 0 \quad (3)$$

З рівняння 1 визначимо значення реакцію опори R<sub>B</sub>

$$R_B = \frac{1.5ql + M_1 - M_2}{l} \quad (4)$$

А з рівняння.2 визначимо значення реакції опори  $R_A$

$$R_a = \frac{1.5ql + M_1 - M_2}{l} \quad (5)$$

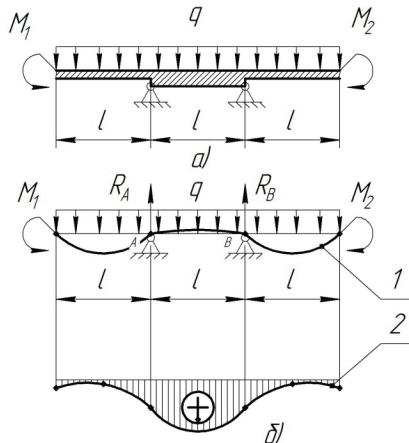


Рис. 3 – Проекція поперечного перерізу ГСТХ у вигляді балки з діючими силами: а – схема сил діючих в поперечному перерізі ГСТХ б – проекція поперечного перерізу ГСТХ у вигляді балки; 1 – пружна лінія балки; 2 – еюра моменту вигину;  $M_1, M_2$  – моменти затиску;  $R_A$  – реакція опори в точці А;  $R_B$  – реакція опори в точці В;  $l$  – довжина секції;  $q$  – постійне навантаження;

Далі, для побудови епюру моменту вигину  $M_x$  розділимо балку умовно на три секції. Отже, рівняння першої частини буде мати наступний вигляд:

$$M_{x1} = R_A x_1 - \frac{q(l-x_1)^2}{2} - M_1 \quad (6)$$

де  $x_1$  – довільна точка в першій секції;

Далі визначимо момент вигину на другій секції.

$$M_{x2} = R_A x_2 + R_B x_2 - \frac{q(l-x_2)^2}{2} \quad (7)$$

де  $x_2$  – довільна точка другої секції;

Визначимо момент вигину третьої секції.

$$M_{x3} = R_B x_3 - \frac{q(l-x_3)^2}{2} - M_2 \quad (8)$$

де  $x_3$  – довільна точка в третій секції;

На основі отриманих рівнянь побудуємо епюру моментів вигину див. рис. 3, в. На основі рівнянь моментів вигину визначимо рівняння пружної лінії кожної секції. Визначимо рівняння першої секції.

$$EJy_1 = \int dx_1 \int R_A x_1 - \frac{q(l-x_1)^2}{2} - M_1 dx_1 + C \quad (9)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу;

$J$  – момент інерції;

$C$  – постійна змінна;

$y_1$  – значення зміни положення секції в напрямку вісі  $Y$ .

Після математичних перетворень і підстановки значення реакції  $R_A$  та моменту  $M_1$  отримаємо наступне рівняння пружної лінії першої секції.

$$y_1 = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{1.5ql}{24} x_1^3 - \frac{q(l-x_1)^4}{24} - \frac{ql}{4} x_1^2 \right] \quad (10)$$

Визначимо рівняння пружної лінії другої секції.

$$EJy_2 = \int dx_2 \int R_A x_2 + R_B x_2 - \frac{q(l-x_2)^2}{2} dx_2 + C \quad (11)$$

Так само перетворимо отримане рівняння та підставимо значення реакцій опор.

$$y_2 = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{1.5ql}{24} x_2^3 + \frac{1.5ql}{24} x_2^3 - \frac{q(l-x_1)^4}{24} \right] \quad (12)$$

Рівняння пружної лінії третьої секції буде ідентичним до рівняння першої секції. Це пов'язано тим, що момент  $M_1$  дорівнює моменту  $M_2$  а реакція в точці А  $R_A$  дорівнює реакції опори в точці В  $R_B$ .

На основі отриманих рівнянь побудуємо пружну лінію балки див. рис. 3, в.

Сумістимо отриману пружну лінію балки з профілем поперечного перерізу див. рис.4 та побудуємо її еквідистанту до профілю.

При побудові еквідистанти пружної лінії 3, будемо її відкладати від нейтральної вісі 4. Нейтральна вісь 4 в кожному перерізі від котрого відраховують пружну лінію, проходить через центр ваги 5.

Для того щоб отримати еквідистанту до пружної лінії 2, необхідно розділити профіль поперечного перерізу гідростатичного хону на три частини в залежності від товщини. Для кожної секції будемо еквідистанту.

Враховуючи отриману еквідистанту до пружної лінії можливо припустити, що це буде контур поверхні поперечного перерізу гідростатичного хону після деформації.

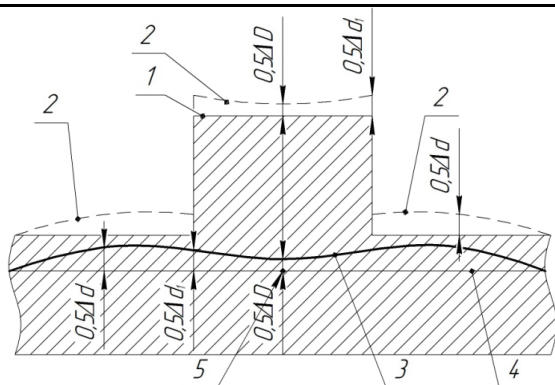


Рис. 4 – Схема суміщення пружної лінії з профілем поперечного перерізу гідростатичного хону; 1 - контур поверхні до деформації; 2 – еквідистанта до пружної лінії; 3 - пружна лінія; 4 – нейтральна вісь; 5 – центр ваги;  $\Delta d$  - приріст діаметру меншого перерізу;  $\Delta d$  - приріст діаметру в точці зміни величини перерізу;  $\Delta D$  - приріст діаметру більшого перерізу

Отже для підтвердження отриманого профілю гідростатичного профілю після деформації проведемо дослідження твердотільної моделі гідростатичного хону див. рис. 1 з використанням програмного продукту SolidWorks.

На твердотільній моделі необхідно визначити поверхні, які будуть зафіксовані та поверхні, на які буде діяти тиск  $p$  див. рис. 5. Значення тиску приймемо  $p=1,5$  МПа та матеріал гідростатичного хону Сталь 60С2 ГОСТ 14959-79.

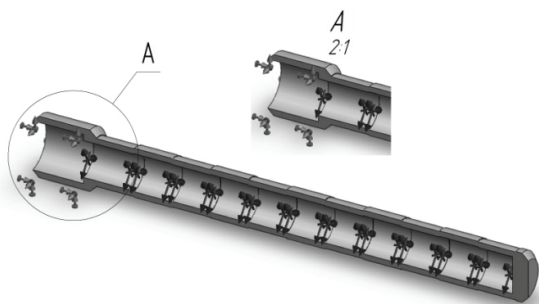


Рис. 5 – Схема прикладення тиску до твердотільної моделі: 1 – зафіксована поверхня; 2 – поверхні до яких прикладений тиск.

Далі побудуємо сітку кінцевих елементів за допомогою SolidWorks Simulation див. рис. 6. [7]. Як відомо, чим вона щільніша, тим ближче отримані результати відповідають дійсності [7].

Після побудови сітки проведемо дослідження. Результати деформації твердотільної моделі гідростатичного хону див. рис. 7.

У відповідності до рис.7. максимальної деформації зазнає дно гідростатичного хону. Деформація гідростатичного хону проходить і у відповідності до отриманих теоретичних математичних моделей викладених вище, що підтверджує рис. 7.



Рис. 6 – Сітка кінцевих елементів

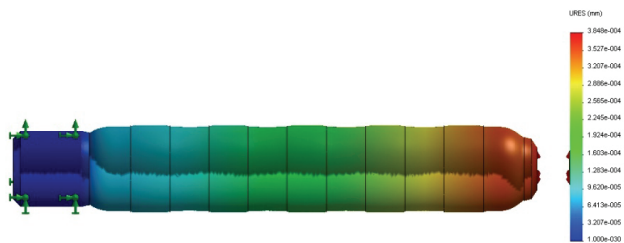


Рис. 7 – Результат деформації твердотільної моделі гідростатичного хону

Результати напружень, які виникають в процесі деформації твердотільної моделі гідростатичного хону див. рис. 8.

У відповідності до рис. 8. напруження, які виникають в процесі деформації дна мають рівномірний характер і знаходяться в межах від 2,957 до 4.140 Мпа, що відповідає умовам міцності.

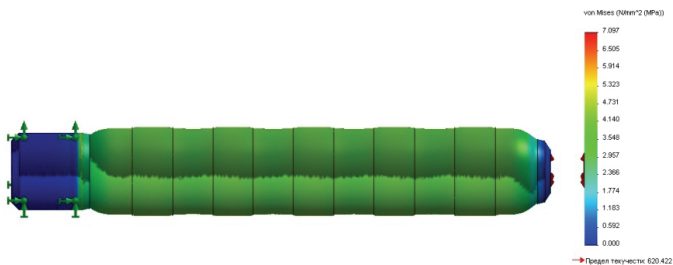


Рис. 8 – Напруження, які виникають в процесі деформації гідростатичного хону

**Висновки.** Отже запропонований гідростатичний хон дає можливість швидко та точно реагувати на зміни в процесі різання, а саме на зміну сил різання. Це стало можливо за рахунок переходу від статичного та кінематичного тертя. Тобто, від мікропереміщення до пружних деформацій поверхні. Також, обумовлений хон дає можливість обробляти отвори діаметром від 2 мм.

Отримані математичні моделі роботи хону та теоретичні припущення підтвердженні результатами досліджень в SolidWorks Simulation, які виявили певний недолік у конструкції гідростатичного хону, а саме в конструкції дна, так як воно слугує концентратором напружень, що може призвести до його руйнування.

**Список літератури:** 1. *С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук* Прогрессивные методы хонингования. - М.: Машиностроение, 1983. – 134 с. 2. *И.Е. Фрагин.* Новое в хонинговании. Москва. Машиностроение. 1980. 3. *Богородицкий Н.Н., Чубаров К.К., Лебедев Б.А.,* Технологическое оснащение хонингования – Л. Машиностроение 1984 – 237 с. 4. *Бидерман В.Л.* Механика тонкостенных конструкций. Москва. М.: Машиностроение. 1977. с.488. 5. *Беляев Н.М.* Сопrotивление материалов. Изд-8е; М. 1953. 6. *Авдонин А.С.* Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций. 1969. с.400. 7. *Алямовский А.А.* Инженерный расчет в SolidWorks Simulation М.: ДМК Пресс. 2010. 462с.

Надійшла до редколегії 29.10.2012

УДК 621.923.5

**Гідростатичний хон для обробки отворів малих діаметрів / М.М. Підгасцький, К.К. Щербина** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.3-10. – Бібліогр.: 7 назв.

В статье рассматривается гидростатический хон для обработки отверстий малых диаметров, а именно представлено конструктивное его исполнение, математическая модель работы в статике, которая подтверждена результатами исследования твердотельной модели, на основе метода конечных элементов, в среде SolidWorks Simulation. Также подчеркнуты достоинства и недостатки гидростатического хона.

**Ключевые слова:** гидростатический хон, алмазно-абразивный инструмент для обработки отверстий, гидростатическое давление, упругая линия балки, твердотельная модель.

In article is considered considered hydrostatic honing for processing of bores of small diameters, namely the design, mathematical model of work in a statics which is confirmed with results of probe of solid-state model, on the basis of a method of final elements, in the environment of SolidWorks Simulation is presented. Merits and demerits hydrostatic honing are also underlined.

**Keywords:** hydrostatic honing, the diamond and abrasive tool for processing of bores, hydrostatic pressure, the elastic line of a beam, solid-state model.