

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СВЕРДЛІННЯ

© Панчук В.Г., Борушак Л.О., Онисько О.Р., 2013

**Розроблено конструкцію лабораторного стенду для дослідження процесів свердління, а вибір конструкції та оптимізацію розмірів пружного елемента стенда виконано за допомогою програм Solid Works та ANSYS.**

**The construction of laboratory stand for investigation of drilling processes was elaborated and choice of construction and optimisation of dimensions of elastic element of stand was performed using Solid Works and ANSYS soft ware**

**Постановка проблеми.** Аналіз фізичних явищ, що виникають при різанні, свідчить про складний характер процесів, які протікають у зоні обробки. Однією з основних характеристик при цьому є сила різання, що виникає внаслідок взаємодії інструмента і оброблюваної заготовки. Сила різання є інтегрованим параметром, що характеризує процес різання не тільки металів, але й інших матеріалів. Тому в сучасних дослідженнях питання вимірювання сили різання залишається актуальним [1–5].

Зважаючи на сказане, питанням вимірювань сил різання потрібно приділяти значну увагу в навчальному процесі підготовки студентів за напрямом «Інженерна механіка», зокрема в лабораторному курсі навчальної дисципліни «Теорія різання». У зв'язку з цим постає завдання технічного забезпечення лабораторних занять.

Існуюче сучасне науково-дослідне обладнання дозволяє вимірювати складові сили різання в широких межах і з достатньо високою точністю, проте його суттєвим недоліком є висока вартість, яка зумовлена використанням дорогих багатокомпонентних перетворювачів сигналу імпортного виробництва, електронним оснащенням та програмним забезпеченням вимірних комплексів. Тому важливим і актуальним питанням є розробка навчального лабораторного обладнання для дослідження сили різання відносно нескладної конструкції і невисокої вартості.

**Аналіз останніх досягнень за вказаною проблемою.** На даний час у вітчизняних наукових дослідженнях найбільше розповсюдження має багатокомпонентний універсальний динамометр (УДМ) серійного виробництва, який розроблений у Всесоюзному науково-дослідному інституті інструменту [2,3] і базується на використанні тензометричного методу вимірювань. В зарубіжних дослідженнях широко використовуються багатокомпонентні динамометри швейцарської фірми Kistler [5], в конструкції яких застосовуються п'єзокерамічні первинні перетворювачі.

Дія динамометра ґрунтується на перетворенні переміщення або деформації пружних ланок в електричний сигнал за допомогою перетворювачів, тобто механічний вплив сил різання перетворюється в легко вимірювані електричні величини. Електричні динамометри мають високу точність вимірювання, практично безінерційні, малогабаритні і мають високу жорсткість.

Відомо, що переважна більшість силовимірювальної апаратури базується на використанні тензорезисторного методу вимірювань. Основними причинами, які зумовлюють переважне становище тензометрії серед інших способів вимірювання сил, є висока точність перетворення (0,1-0,05%), невисока вартість виробництва тензорезисторних перетворювачів та виняткова гнучкість методу, що полягає в можливості створення пружного елемента практично будь-якої форми і будь-яких габаритних розмірів, в тому числі і мініатюрних. Останнє має велике прикладне значення, оскільки знижує витрати на вимірювання, а часто відкриває єдино можливий шлях для вимірювання сили в існуючих пристроях, дозволяючи у випадках, коли через нестачу місця

неможливо ввести датчик в конструкцію, використовувати як пружний елемент будь-яку деталь конструкції після незначної переробки.

**Формулювання мети дослідження.** Метою даної розробки є створення порівняно нескладного та недорогого стаціонарного лабораторного стану для виконання силових досліджень процесів свердління в навчальному процесі студентів-механіків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Враховуючи необхідність вимірювання при свердлінні осьової сили і крутного моменту постає завдання створення двокомпонентного вимірювального пристрою. В конструкції будемо використовувати тензорезисторні первинні перетворювачі.

При конструюванні багатокомпонентних динамометрів виникають труднощі при досягненні необхідної точності, у зв'язку з виникненням так званих «паразитних» навантажень, що є наслідком взаємного впливу різних складових сили різання. Із цих міркувань осьову силу та крутний момент доцільно вимірювати окремо. Тобто розділити конструкцію вимірного вузла на дві незалежні частини, які не будуть чинити вплив одна на іншу. Це дозволить значно збільшити точність вимірювання та спростити конструкцію пружних елементів, тобто зробити їх більш технологічними. На підставі викладених вище міркувань запропоновано конструкцію стану, що зображена на рис.1.

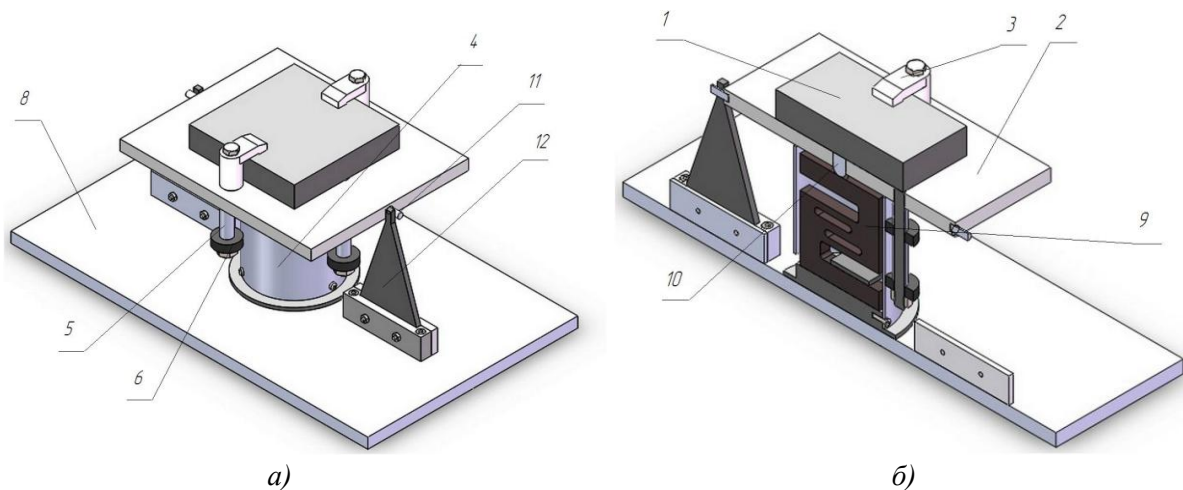


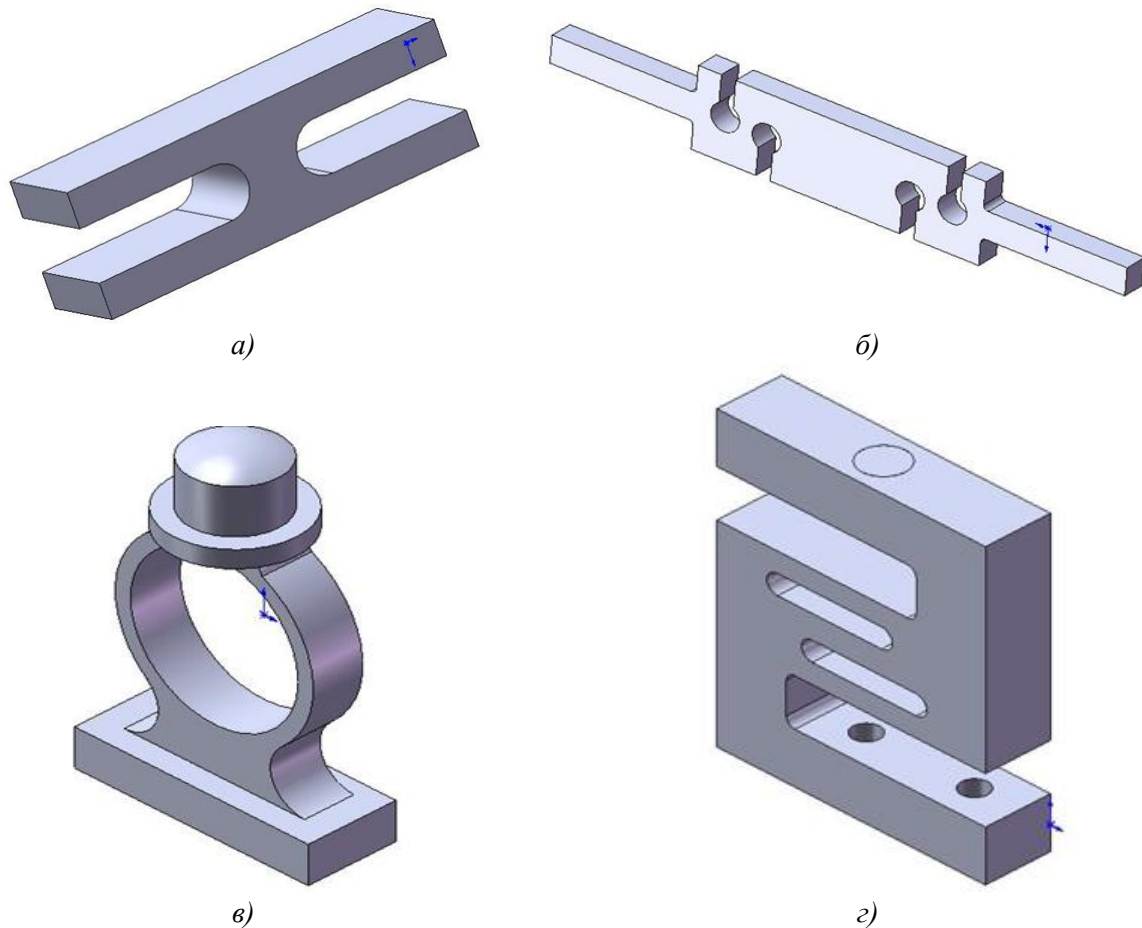
Рис. 1. Конструкція вимірного стану –  
а) загальний вигляд; б) переріз.

Лабораторний стан складається з двох функціональних частин, які сприймають відповідно навантаження від осьової сили та крутного моменту. Взірець 1 кріпиться на плиті 2 прихватами 3. Плита має можливість рухатися вздовж вертикальної осі та повертатися навколо неї. Навантаження від осьової сили передається через палець 10 на пружний елемент 9. Нижній торець пальця сферичної форми, що зменшує сили тертя в місці контакту з пружним елементом. Пружний елемент 9 знаходиться в корпусі 4. Корпус захищає активні деталі від прямого доступу ззовні, впливу зовнішнього середовища та служить для розміщення елементів електричної схеми. Між корпусом 4 та плитою 2 передбачений регульований зазор для захисту давача осьової сили від перевантаження. В даному випадку корпус служить упором, який обмежує вертикальне переміщення плити.

У плиті закріплені три вісі 5, на яких попарно встановлені підшипники 6. Останні забезпечують можливість повороту візця 1 в горизонтальній площині під дією крутного моменту. На плиті 2 в двох протилежних торцях встановлені два горизонтальні пальці 11, які передають навантаження на пружні елементи 12 у формі балок рівного опору. На пружному елементі 9 і балках рівного опору 12 наклеєні тензорезистори.

Важливим завданням при конструюванні стенду є вибір типу і розмірів пружних елементів для вимірювання осьової сили та крутного моменту. Для конструювання стенду використано редактор 3D-моделювання Solid Works, а для вибору та оптимізації конструкції пружних елементів — програма ANSYS WORKBENCH.

Розглянувши конструкції пружних елементів [1,3], для аналізу вибираємо два балкових (рис.2,а,б), кільцевий (рис.2,в) та Z-подібний (рис.2,г) пружні елементи (ПЕ) для вимірювання осьової сили..



*Рис. 2. Пружні елементи  
а, б) балкові; в) кільцевий; г) Z-подібний*

Перша конструкція (рис. 2,а) є досить простою. Також даний елемент є симетричним відносно точки прикладання сили, що перешкоджає відходу вбік та повороту місця прикладання навантаження. Друга конструкція (рис.2,б) є піддатливою у повздовжньому напрямку завдяки наявності отворів та пазів. Через це в даному ПЕ не виникають повздовжні напруження, які могли б викликати додаткові похибки. Кільцевий елемент (рис.2,в) має більші похибки лінійності, ніж балки через накладення поля поздовжніх напружень, але може бути виготовлений для ширшого діапазону номінальних сил. Z-подібний ПЕ (рис.2,г) може бути виготовлений для необхідного діапазону сил і володіє необхідними метрологічними характеристиками.

Для вимірювання крутного моменту в якості пружного елемента будемо використовувати балку рівного опору. Основною перевагою балки такого типу є наявність великих ділянок з однорідною деформацією.

Вибір конструкції пружного елемента здійснено за наступними критеріями:

- забезпечення у місцях розташування тензорезисторів однорідного поля деформації достатньої величини при заданих межах вимірюваної сили;

- максимальна технологічність конструкції з точки зору механічної обробки, монтажу та наклеювання тензорезисторів;
- метрологічні характеристики, такі як похибки нелінійності; гістерезису; «паразитних» навантажень – поперечних сил, згинаючих і крутних моментів і т.п.

За результатами виконаних досліджень в системі ANSYS WORKBENCH були отримані характеристики розподілу напружень у пружних елементах вибраних конструкцій.

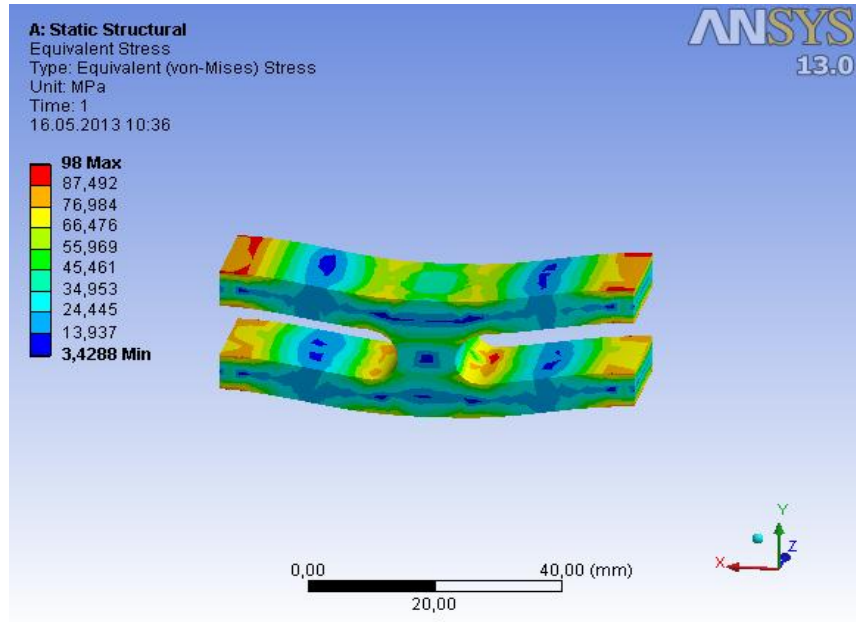


Рис. 3. Еквівалентні напруження балкового елемента (рис. 2, а).

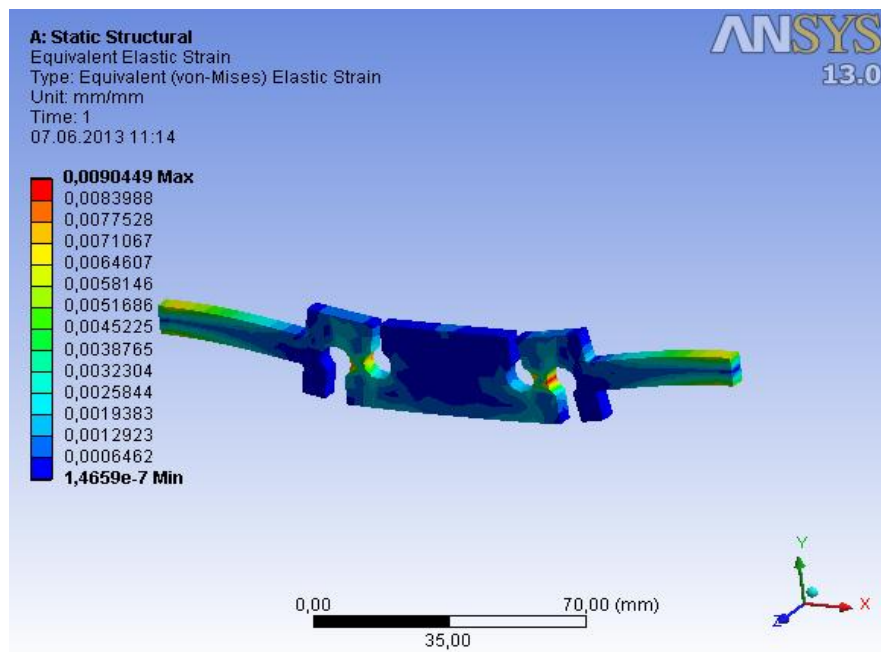


Рис. 4. Еквівалентні напруження балкового елемента (рис. 2, б).

Проаналізувавши результати моделювання (рис. 3 і 4) можна виділити ряд недоліків балкових пружних елементів. По-перше, області з однорідною деформацією є недостатніми для наклею тензорезисторів з довжиною робочої зони 8мм і більше. По-друге в пружних елементах є значні поздовжні деформації, що негативно впливає на метрологічні показники давачів та спричинює

похибки нелінійності. Це пов'язане з тим, що кінці балки жорстко защемлені. Крім того друга балкова конструкція має суттєву довжину, що є небажаним. Тому вказані пружні елементи недоцільно використовувати в лабораторному стенді.

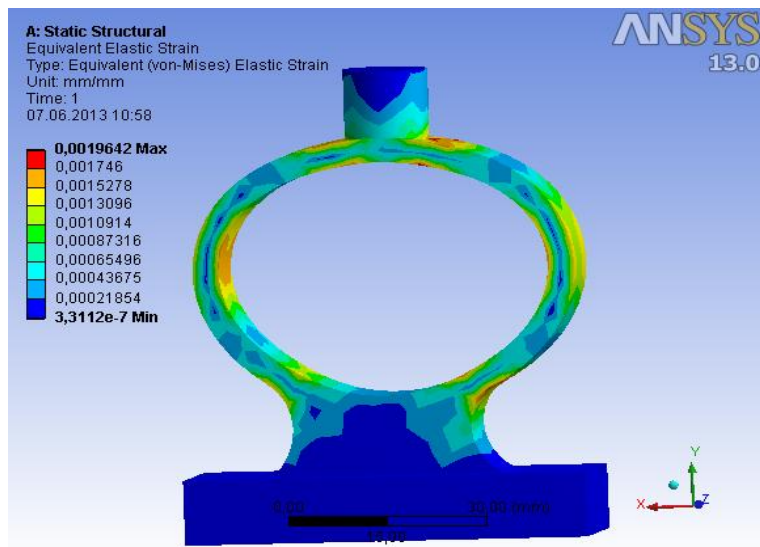
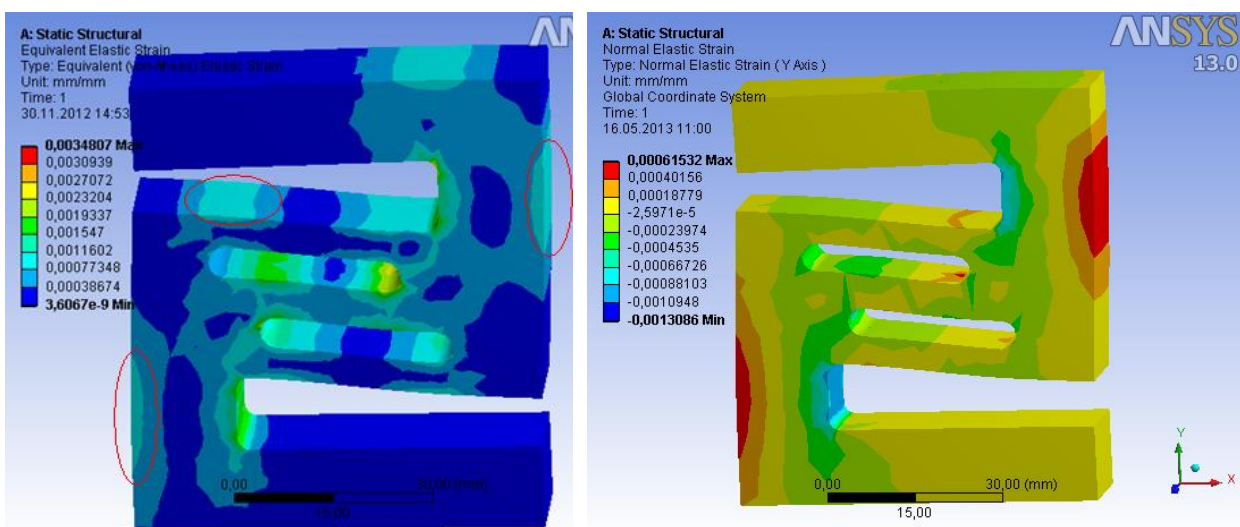


Рис. 5. Еквівалентні напруження у кільцевому елементі

Результати комп'ютерного дослідження кільцевого пружного елемента представлені на рис. 5. Очевидно, що даний пружний елемент має кращі метрологічні характеристики, ніж попередній. Він може бути виготовлений для необхідного діапазону сил. На зовнішній частині кільця є зони однорідної деформації необхідної величини, які можуть бути використані для наклеювання тензорезисторів. Проте зсувні деформації у площині давача є одного порядку з нормальними, що призводить до збільшення похибки нелінійності. Суттєвим недоліком даного елемента є складність виготовлення (низька технологічність). Для отримання оптимальних вимірних характеристик пружний елемент необхідно виготовити суцільним. Кожне порушення суцільності у силовому потоці спричинює додаткові похибки пов'язані з виникненням тертя. У зв'язку з цим вважаємо недоцільним його використання у лабораторному стенді.

На рис.6 показано розподіл деформацій на поверхні Z-подібного пружного елемента після підбору його необхідних розмірів. Конструкція пружного елемента дозволяє використовувати два



а) б)  
Рис. 6. Розподіл напружень в Z-подібному пружному елементі  
а) еквівалентні напруження; б) нормальні напруження

типи вимірних мостів для отримання значень сили різання — на горизонтальних та вертикальних ділянках (див. рис. 6, а). За лінійною шкалою розміри ділянок цілком достатні для наклеювання тензорезисторів з базою до 20 мм.

Загальний вигляд Z-подібного елемента з наклеєними тензорезисторами показано на рис. 7, а вигляд стану без верхньої плити, встановленого на столі вертикально-свердлильного верстату, показано на рис. 8.



Рис. 7. Z-подібний пружний елемент з наклеєними тензорезисторами



Рис. 8. Вимірний стенд (без верхньої плити) на столі вертикально-свердлильного верстату

**Висновки.** В результаті виконаних досліджень була створена конструкція лабораторного стану для дослідження процесів свердління, яка використовується в навчальному процесі при проведенні лабораторних робіт, зокрема з дисципліни «Теорія різання», за програмою підготовки бакалаврів напряму «Інженерна механіка». Використання комп'ютерного моделювання дозволило оптимізувати конструкцію пружної системи динамометра та скоротити час проектування і витрати при виготовленні лабораторного стану.

#### Література

1. Бауман Э. Н. Измерение сил электрическими методами. М., Мир, 1978. – 430с.
2. Электрические тензометры сопротивления. Под ред. Н. П. Раевского – М., Энергия, 1961, 254с.
3. Упругие элементы тензорезисторных датчиков силы / Под ред. Соколова С. А. – М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1976, 56с.
4. Панчук В.Г. Комп'ютеризований комплекс для дослідження та моделювання процесу відрізування заготовок фрезами / В.Г.Панчук // Вісник Тернопільського національного технічного університету. –2012. - №3. – С. 236-241.
5. KISTLER measure. analyse. Innovate [Електронний ресурс] / Catalog – 2013 // <http://www.kistler.com/ua/en/kistlergroup/contact/overview>