

УДК 621.983

## СИЛОВІ РЕЖИМИ ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗДЕФОРМОВАНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИТЯГУВАННІ ТРАДИЦІЙНИМ ПУАНСОНОМ ТА ПУАНСОНОМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

Калюжний В.Л., Калюжний О.В., Редька К.К.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація.** Методом скінченних елементів проведений аналіз витягування традиційним пуансоном та пуансоном спеціального профілю вісесиметричних порожнистих виробів із нержавіючої сталі. Встановлені залежності зусилля витягування та зусилля на притискачі від переміщення пуансона. Виявлений напружений стан здеформованих заготовок при максимальній величині зусилля витягування, кінцевий деформований стан та форма і розміри виробів. Проведене порівняння отриманих результатів. Використання пуансона спеціального профілю приводить до збільшення зусилля витягування та зменшення величини осьових розтягувальних напружень у здеформованій заготовці при витягуванні. Вказані переваги дозволяють зменшити величини зазорів між заготовкою і притискачем, між пуансоном та матрицею та підвищити точність форми і розмірів виробів.*

***Ключові слова:** витягування, метод скінченних елементів, порожнистий виріб, пуансон традиційний, пуансон спеціального профілю, зусилля витягування, напруження, деформації.*

Витягування вісесиметричних порожнистих виробів із листових заготовок пуансоном з притискачем є широко розповсюджений процес для отримання порожнистих виробів різноманітної конфігурації. Одним із способів інтенсифікації витягування полягає в зниженні зусилля деформування, що забезпечує зменшення осьових розтягувальних напружень в стінці здеформованої заготовки при формоутворенні, які є причиною відриву донної частини вказаної заготовки. Використання деформуючого інструменту спеціального профілю приводить до зменшення сил тертя на формозміну витягуванням та збільшити ступінь деформації за один перехід [1-2].

Метою роботи є встановлення і порівняння параметрів витягування вісесиметричних порожнистих виробів традиційним пуансоном та пуансоном спеціального профілю.

Схема витягування порожнистого виробу пуансоном спеціального профілю та знімання виробу з пуансона зображені на рис. 1. На рис. 1а приведена схема витягування. Ліворуч від вісі симетрії показане положення на початку витягування, праворуч - після витягування. Вихідна листова заготовка 1 діаметром  $D_0$  і товщиною  $S_0$  розміщена між матрицею 2 та притискачем 3. Матриця 2 встановлена на нижній плиті 4 штампа. Також в нижній плиті штампа розміщені знімачі 5, які спираються на пружини 6, та вкручена втулка 7. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 8. Величина зазору між пуансоном і матрицею  $z_m = S_0$ . Бокова поверхня пуансона діаметром  $D_p$  утворена перетином торів, що мають перерізі діаметр  $d_p$ . Пуансон має радіус заокруглення  $r_p$ . Крок розташування торів має величину  $t_p$ . При витягуванні відбувається потовщення стінки здеформованої заготовки. Завдяки цьому в зазорі  $z_m$  при формоутворенні метал заповнює впадини на боковій поверхні пуансона і створюються тягуче зусилля за стінку здеформованої заготовки, що забезпечує зниження розтягувальних напружень в небезпечному перерізі стінки та отримання виробу 9, який має товщину стінки  $S_k = S_0$ . Знімання виробу з пуансона виконується при його зворотному переміщенні (рис. 1б). При цьому проходить вирівнювання виступів на внутрішній поверхні виробу, оскільки деформація зовнішньої поверхні виробу обмежена втулкою 7. Виштовхування виробу із втулки 7 відбувається при витягуванні наступної заготовки.

Встановлення параметрів проводили шляхом моделювання методом скінченних елементів з використанням програми DEFORM. Витягуванню із коефіцієнтом тертя  $\mu = 0,08$

по Кулону та швидкістю деформування  $V_0=7$  мм/сек підлягали листові заготовки із сталі AISI 304. Розміри вихідної заготовки:  $D_0=199$  мм,  $S_0=1$  мм. Розміри пуансона та матриці при витягуванні

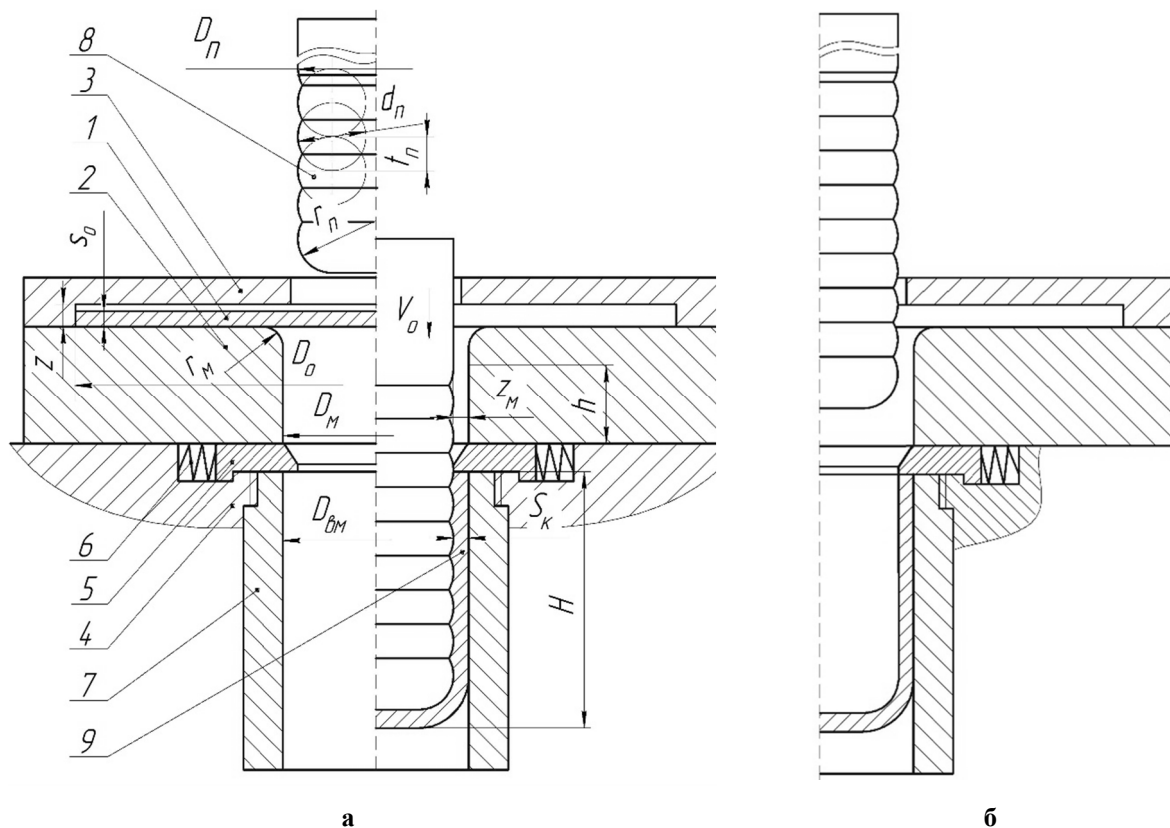


Рис. 1 – Схеми витягування порожнистого виробу пуансоном спеціального профілю та знімання виробу з пуансона: а – схема витягування, б – схема знімання

традиційним циліндричним пуансоном були наступні (див. рис. 1):  $D_{\text{п}}=106,1$  мм,  $r_{\text{п}}=10$  мм,  $D_{\text{м}}=108,5$  мм,  $r_{\text{м}}=10$  мм,  $h=20$  мм. При цьому величини зазорів між матрицею і притискачем та пуансоном і матрицею складали відповідно  $z=1,3$  і  $z_{\text{м}}=1,2$  мм. Бокова поверхня пуансона спеціального профілю утворена перетином торів діаметром  $d=8$  мм з кроками розташування  $t_{\text{п}}=2$  мм. Діаметр пуансона спеціального профілю  $D_{\text{п}}=106,5$  мм, радіус  $r_{\text{п}}=10$  мм.

На рис. 3 зображені в розрізі розрахункові положення деформуючого інструмента при витягуванні зпрофільованим пуансоном. Положення на початку витягування показано на рис. 2а. Вихідна заготовка 1 між матрицею 2 та притискачем 3. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 4. На рис. 2б показано положення при максимальному значенні зусилля витягування. Положення в кінці витягування з отриманням виробу 5 наведено на рис. 2в. На рис. 2б зображене після знімання виробу з пуансона за допомогою знімача 6. Виріб залишається у втулці 7 та виштовхується з неї наступною zdeформованою заготовкою.

На рис. 4 показані залежності зусиль витягування від переміщення пуансонів. На початку формоутворення вигляд залежностей для витягування різними пуансонами практично однаковий. При витягуванні традиційним пуансоном зусилля досягає максимальної величини 190 кН при переміщенні пуансона 32 мм, а при витягуванні пуансоном спеціального профілю отримана максимальне значення 404 кН при переміщенні 58 мм. Залежності зусиль, що сприймають притискачі при витягуванні різними пуансонами, зображені на рис. 5. Величини цих зусиль протягом витягування однакові. Максимальні значення зусиль 28 кН отримані при переміщенні пуансонів на 57 мм.

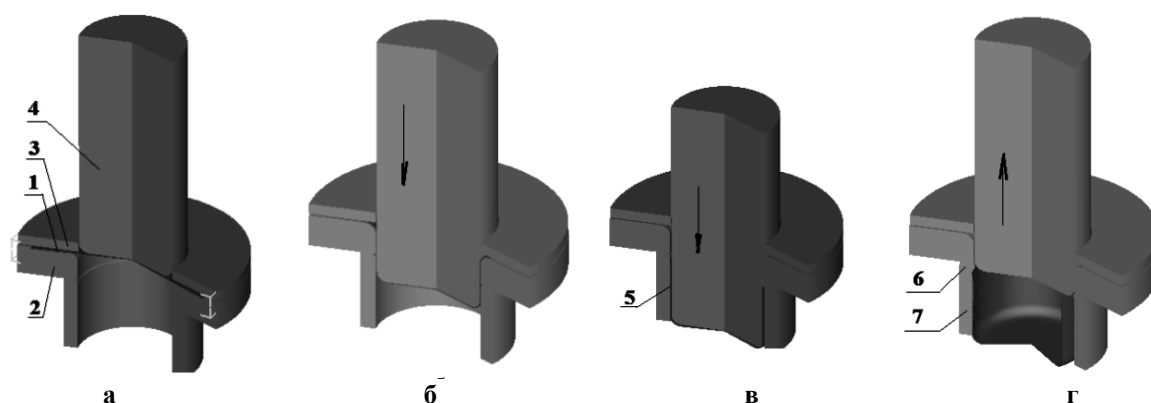


Рис. 3 – Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при витягуванні зпрофільованим пуансоном: а – на початку витягування, б – при максимальній величині зусилля витягування, в – в кінці витягування, г – після зняття виробу з пуансона

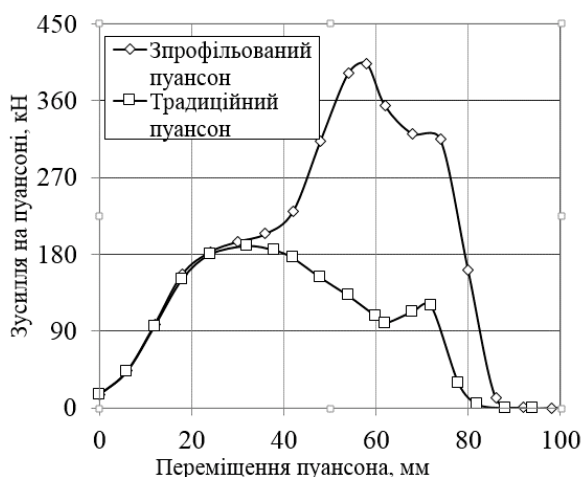


Рис. 4.-Залежності зусилля витягування від переміщення пуансона

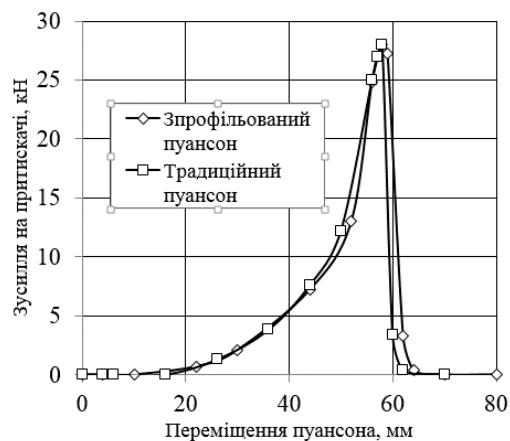


Рис. 5.- Залежності зусилля на притискачі від переміщення пуансона

На рис. 6 наведені розподіли осьових напружень  $\sigma_z$  у zdeформованих заготовках при

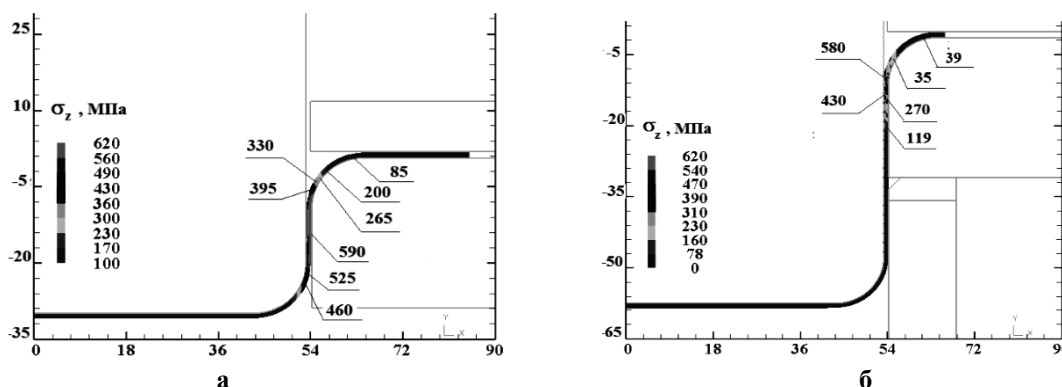


Рис. 6 – Розподіли осьових напружень  $\sigma_z$  у zdeформованих заготовках при максимальному значенні зусилля витягування: а – при витягуванні традиційним пуансоном, б – при витягуванні пуансоном спеціального профілю. Розміри по всіх показані в міліметрах

максимальних значеннях зусилля витягування для розглянутих варіантів пуансонів. Тонкими лініями показаний деформуючий інструмент. Розподіли інтенсивності деформацій  $\epsilon_1$  у

стінках виробів, отриманих різними пуансоном зображені на рис. 7. Форма і розміри половини виробу зображені на рис. 8.

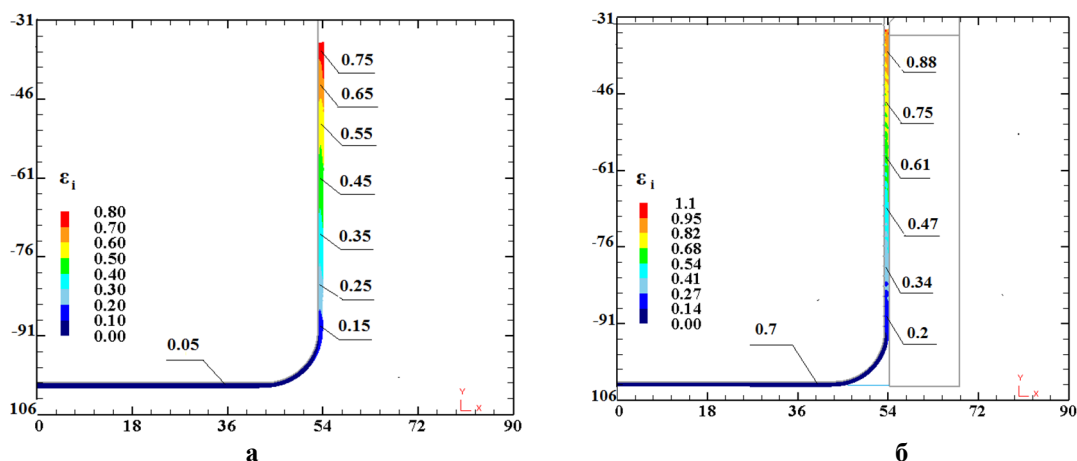


Рис. 7 – Розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  у стінках виробів: а - розподіл  $\varepsilon_i$  у виробі після витягування традиційним пуансоном, б – розподіл  $\varepsilon_i$  у виробі після витягування пуансоном спеціального профілю

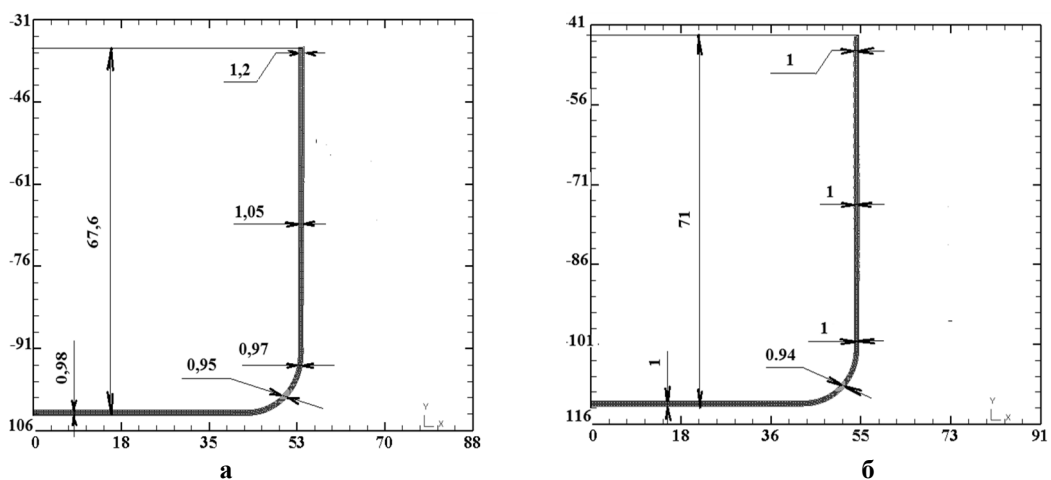


Рис. 8 – Форма і розміри половини виробів: а – після витягування традиційним пуансоном, б – після витягування пуансоном спеціального профілю

Висновки. 1. Проведений порівняльний аналіз витягування вісесиметричних порожнистих виробів традиційним пуансоном та пуансоном спеціального профілю. 2. Встановлені величини зусиль на пуансоні та притискачі при витягуванні, напружено-деформований стан заготовок та виявлено кінцеву форму і розміри виробу. 3. Використання пуансона спеціального профілю приводить до зниження осьових розтягувальних напружень в небезпечному перерізі здеформованої заготовки в порівнянні з традиційною пуансоном та забезпечує отримання виробу зі стінкою постійного розміру по висоті.

#### Список літератури.

1. Калюжний О.В. *Інтенсифікація комбінованого витягування вісесиметричних порожнистих виробів в одноконусній матриці спеціального профіля* // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск, 2017 р. – №1 (44). – С. 229-238.
2. Калюжний О.В. *Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок після видавлювання* / В.О. Калюжний, С.С. Соколовська // Вісник НТУ «ХП», Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії», Харків, НТУ «ХП», 2017. № 36(1257). - С. 21-28.

UDC 621.777.07

## SYSTEM FOR REGISTRATION RADIAL FORCES FOR METAL SPINNING PROCESSES

V.V. Pimanov<sup>1</sup>, V.S. Kurihin<sup>2</sup>, A.V. Savchenko<sup>1</sup>, R.L. Rusakov<sup>1</sup>

1 - Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev, Ukraine

2- Director of LLC «SDD «LEGION», Kiev, Ukraine

**Abstract.** For experimental metal spinning processes on turning machines we need measure radial forces of forming tool. This forces we need known for safe turning machine from overloading, and also we can increase lifetime of machine parts and forming tools.

**Keywords:** spinning processes, radial forces, strain gauge, Wheatstone measurement bridge, Arduino Uno.

We have designed the special system for measuring radial forces of metal spinning process. Fig. 1 shows the scheme of this system.

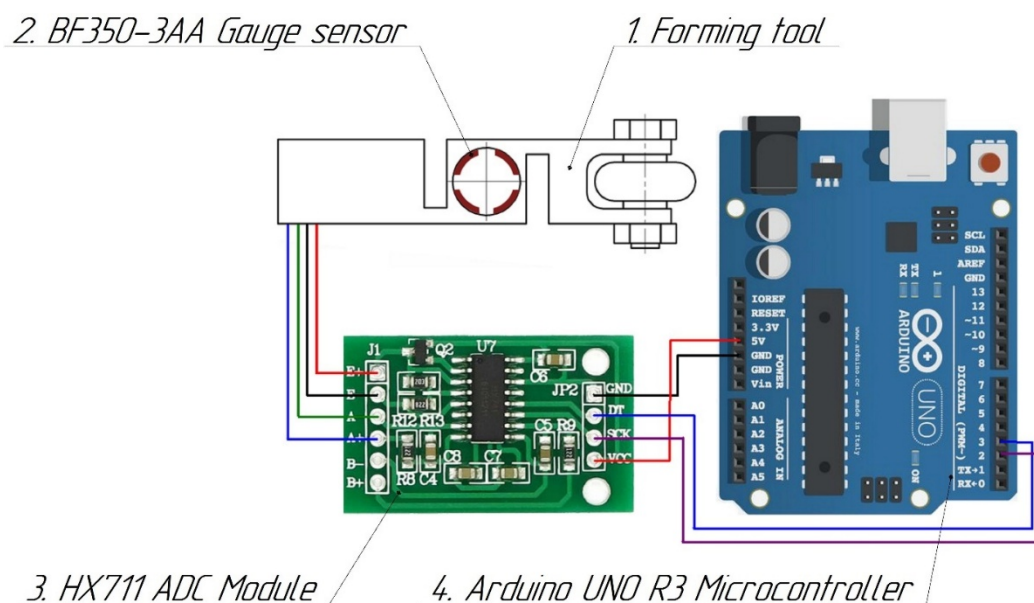


Fig. 1. Scheme of system for registration radial forces for metal spinning processes

Registration system consist of next parts:

1. Forming tool – includes the tool body and the forming roll which connected with the axis pin. Body of forming tool have stress concentration slots, which allows increase body strain of metal spinning process forces on the place where mounted strain gauges.

Approximate force of forming tool during metal spinning process we have calculated in the simulation software system – DEFORM-3D [1]. This calculated force was used for design tool body geometry during static structural analysis in the software complex – SolidWorks, which include CAE add-on for the finite element analysis – SolidWorks Simulation.

The goal of this analysis is design optimal tool body geometry and get biggest strain of tool body in places for strain gauges during work process. Also this force must don't exceed strain limit of strain gauges (2%) and proportionality limit of tool body material.

2. Four strain gauges BF350-3AA are installed on special place of forming tool. This strain gauges are film resistors deposited on a thin, flexible carrier material. The film is very thin, so it can

easily be stressed (strain is limited to about  $10^{-3}$ ). Fig. 2 shows general layout of a thin film strain gauge. [2]

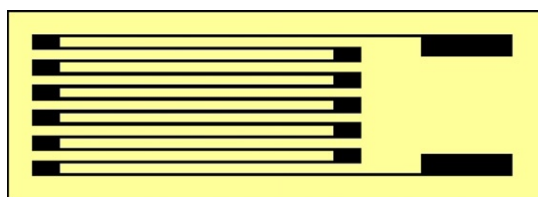


Fig. 2 General layout of a thin film strain gauge

Wheatstone measurement bridge consists of four strain gauges which are connected to HX711 ADC Module.

Table 1

Technical characteristics of strain gauges BF350-3AA.

Nominal resistance	350 Ohm
Tolerance of resistance	< $\pm 0,1\%$ .
Gauge factor	2,0 – 2,20
Dimensions	7.1 mm x 4.5 mm

3. Amplifier HX711 – is a precision 24-bit analogue to-digital converter. This chip works directly with a bridge sensor. By connecting the amplifier to Arduino microcontroller we will be able to read the changes in the resistance of strain gauges.

Table 2

Technical characteristics of Amplifier HX711.

Operation Voltage	5 V
Output data rate	80 Hz
Output of data	24 bit
Operation Current	< 10 mA
Differential input voltage	~ 40 mV
Selectable gain	2; 64; 128
Selectable output data rate	10 Hz or 80 Hz

4. Arduino UNO R3 – is a microcontroller board based on the ATmega328 [3]. The USB port of the Arduino Uno can be connected to a desktop/laptop.

Table 3

Technical characteristics of microcontroller Arduino UNO R3.

Input voltage	5-20 V
Flash Memory	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb
Digital I/O Pins	14 (6 PWM outputs)
Analog Inputs	6
Clock Speed	16 MHz
Interfaces	UART TTL, I2C (TWI), SPI

**References:**

1. Deform-3D – <http://www.thesis.com.ru/software/deform>
2. Paul Regtien – Sensors for Mechatronics (1st Edition); Elsevier 2012; pages 57-100.
3. Seyed Reza Larimi, Hojatollah Rezaei Nejadb, Michael Oyatsi, Allen O’Brien, Mina Hoorfar, Homayoun Najjaran – Low-cost ultra-stretchable strain sensors for monitoring human motion and bio-signals; Elsevier 2018.