

УДК 620.192.63

ТОМАШУК О.С., БАБЧЕНКО О.В., РУМБЕШТА В.О.

Національний технічний університет України «КПІ»

## КОНТРОЛЬ ПРУЖИН СТИСНЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ МЕХАНІЧНО-АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

**Мета.** Вдосконалення методології контролю якості виготовлення пружин стиснення.

**Методика.** Використаний загальновідомий метод неруйнівного контролю – акустична дефектоскопія. Він є найбільш точним в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю.

**Результати.** У ході дослідження було запропоновано новий, найбільш точний, метод дефектоскопії. Він базується на залежності між рівнями сигналів акустичної емісії при розвантаженні після навантаження циліндричних пружин стиснення за рахунок міжкристалічного тертя в тілі пружних елементів, а саме появу внаслідок цих перетворень акустичної емісії.

**Наукова новизна.** Досліджено можливість застосування механіко-акустичного методу для контролю якості пружин стиснення.

**Практична значимість.** Новий метод контролю дозволяє проводити швидкий, ефективний контроль якості всієї партії пружин.

**Ключові слова:** контроль, пружина, механічно-акустичний метод, дефектоскопія, акустична емісія.

**Вступ.** У сучасному приладобудуванні велику роль надають точності складання та якості виробів. Але при виготовленні деталей для приладів не виключається й брак. Для перевірки точності і якості деталей використовуються спеціальні методи контролю. Один з них приведений в даній роботі - новий механічно-акустичний метод.

В порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю акустична дефектоскопія має важливі переваги: високу чутливість до найбільш небезпечних дефектів типу тріщин і пор, велику продуктивність, можливість вести контроль безпосередньо на робочих місцях без порушення технологічного процесу та низьку вартість контролю.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є вдосконалення методології контролю якості виготовлення пружин стиснення, розробка механічно-акустичного методу вимірювання та діагностики для оцінки технічного стану всієї партії пружних елементів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно буде вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих методів та засобів неруйнівного контролю, діагностики та оцінки стану якості пружних елементів з метою їх використання для діагностування технічного стану пружних елементів з визначенням стану якості виготовлення.

2. Визначити параметри контролю якості пружин стиснення шляхом дослідження впливу різних факторів і їх точності виготовлення, та в умовах експлуатації даних пружин.

3. Розробити алгоритм для контролю та діагностики якості виготовлення пружин стиснення з використанням акустично-механічного методу.

4. Розробити випробувальний стенд для контролю стану якості пружин за механічно-акустичним методом та створити методику роботи і рекомендації щодо роботи на даному стенді.

**Результати дослідження.** Гвинтова пружина зазвичай навивається з дроту у вигляді просторової спіралі [2]. Найбільше застосування мають гвинтові циліндричні пружини, як найпростіші у виготовленні й експлуатації. До гвинтових пружин відносять також і спіральні фасонні пружини: конічні, параболоїдні. Виготовлення цих пружин більш складно, і вони застосовуються рідше.

Дослідженнями серійного виробництва пружин в приладобудуванні встановлено:

1. Ймовірна сумарна похибка пружної характеристики пружин різних типорозмірів коливається в межах 25-50 % від середніх значень зусиль;

2. Фактичні допуски на ці характеристики пружин, вживаних в сучасних виробках, знаходяться зазвичай в межах 5-10%, тобто в 5-8 разів менше, ніж зазначена сумарна похибка осевого зусилля пружин. Вони виготовляються в межах заданих на пружини економічно доцільних допусків на основні геометричні розміри з урахуванням реального коливання механічних властивостей матеріалу.

До першого класу точності відносять пружини, при виготовленні яких застосовують способи доведення, що задовольняють умові

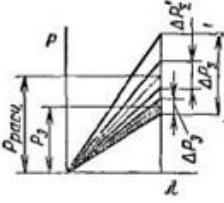
$$\Delta P_3 < \Delta P_{\Sigma}. \quad (1)$$

Якщо при виготовленні використовують доведення в поєднанні з компенсацією систематичної похибки діаметра дроту, то до першого класу відносять пружини, що задовольняють умові

$$\Delta P_3 < \Delta P'_{\Sigma}. \quad (2)$$

Для пружин першого класу точності заданий допуск  $\Delta P_3$  розташовується асиметрично по відношенню до сумарного поля розсіювання  $\Delta P_{\Sigma}$ , як показано в табл. 1 [4]. Це необхідно для доведення тих пружин, відхилення характеристик яких при виготовленні перевищують задані.

Таблиця 1. Класи точності пружин по пружним характеристикам

Параметри	Клас точності			
	перший		другий	третій
	варіант А без використання компенсації	варіант Б з використанням компенсації		
Схема				
Граничні умови класифікації	$\Delta P_3 < \Delta P_{\Sigma G}$	$\Delta P_3 < \Delta P'_{\Sigma}$	$\Delta P'_{\Sigma} < \Delta P_3 < \Delta$	$\Delta P_3 > \Delta P_{\Sigma G}$
Співвідношення середніх зусиль				
Методи забезпечення заданої точності зусилля	$\Delta P_3$ виконується шляхом витримування допусків на розміри пружин і подальшому доведенні (калібруванню)	$\Delta P_3$ виконується шляхом витримування допусків на розміри з використанням компенсації та доведення (калібрування)	$\Delta P_3$ виконується шляхом витримування допусків на розміри з використанням компенсації систематичної похибки $\Delta P_d$	$\Delta P_3$ виконується шляхом витримування тільки допусків на розміри пружин

Якщо в технології передбачається доведення в поєднанні з компенсацією систематичної похибки, то заданий допуск  $\Delta P_3$  необхідно розташувати, як показано у варіанті Б.

При виготовленні пружин з відхиленням від технологічного процесу, а також при використанні недоброякісних матеріалів, оснащення та інструменту можуть виникнути різні дефекти [5]. Для попередження появи дефектів необхідно знати породжуючі причини та способи їх усунення. Види таких дефектів:

1. Дефекти пружин при навивці.
2. Різний діаметр витків.
3. Риски і подряпини на поверхні пружин.
4. Неправильне розташування відтягнутих решт пружин в торцевій площині.

5. Поперечні тріщини на витках пружини, які виявляються після термічної обробки або після механічних випробувань.

6. Невідповідність вільної висоти пружин необхідної за кресленням.

Дефекти і брак пружин можуть виникати і з інших причин: через низьку якість дроту, недотримання технології та режимів термічної обробки і т. д. При цьому частину пружин бракують за результатами механічних випробувань.

В основу нового механо-акустичного методу контролю якості пружин поставлено задачу утворення такого способу контролю якості пружин стиснення, при застосуванні якого досягається висока якість та продуктивність контролю, що дозволяє швидко перевіряти всі 100% партії пружин [1].

Як відомо, основною характеристикою пружин є їх жорсткість  $z_0$ , яка функціонально визначається як:

$$z_0 = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}, \quad (3)$$

де  $G$  – модуль пружності металу пружини другого роду (з таблиць);

$d$  – діаметр дроту в мм;

$D$  – діаметр пружини стиснення або розтягу в мм;

$n$  – кількість витків пружини.

Це багато параметрична, не лінійна, ступенева залежність від ряду параметрів, де навіть дуже мале відхилення деякого з них значно впливає на потрібну жорсткість виробу. Додатково на таку якість пружин має значний вплив якість проведення необхідного ряду термічних обробок металу пружини, які мають значну розбіжність по отриманню якості таких деталей.

Тому контроль якості таких деталей вкрай необхідний і особливо для прецизійних виробів, що часто вимагає додаткових технологічних процесів пригонки якості пружин у вигляді механічних їх розкачок, граничних навантажень або заневолювання пружин на необхідний час.

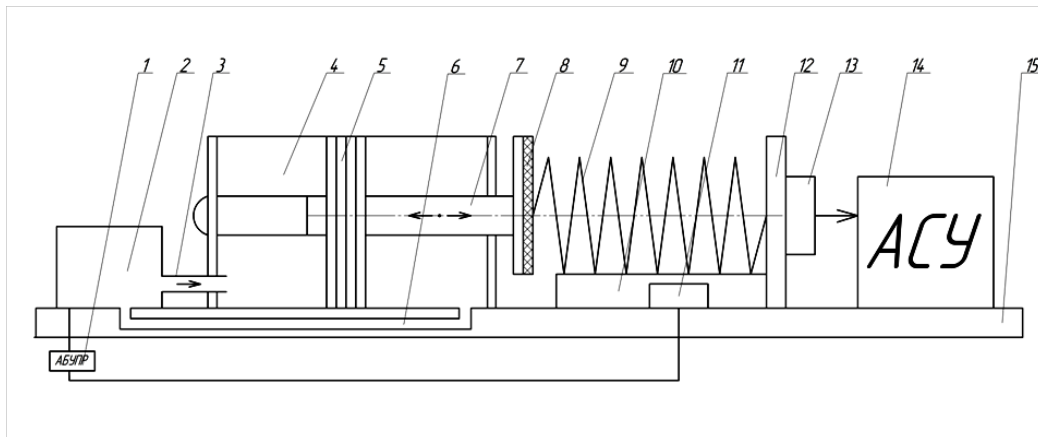
Для отримання необхідної якості пружин потрібен їх ретельний контроль всієї партії. А існуючі методи контролю мають значну трудомісткість і малу точність, та ще вимірюють не всі пружини.

Поставлена задача вирішується тим, що новий запропонований спосіб контролю якості пружин включає її стиск і реєстрацію сигналів акустичної емісії з тіла пружини при її розжатті.

Встановлено, що при пружній деформації пружини в її металу виникає пружна деформація витків другого роду  $G$  у вигляді скручування дроту пружини пропорційно деформації пружини. При цьому в металі дроту виникає взаємне зміщення кристалів металу, їх взаємне тертя і порушення зв'язків. При її вільному розжатті виникає такий самий процес тертя кристалів і перерозподіл зусиль зв'язків між структурами металу, що і реєструє пропонує мий метод контролю. При такому процесі характеристики виникаючої акустичної емісії будуть пропорційні деформації пружини або її отриманої жорсткості.

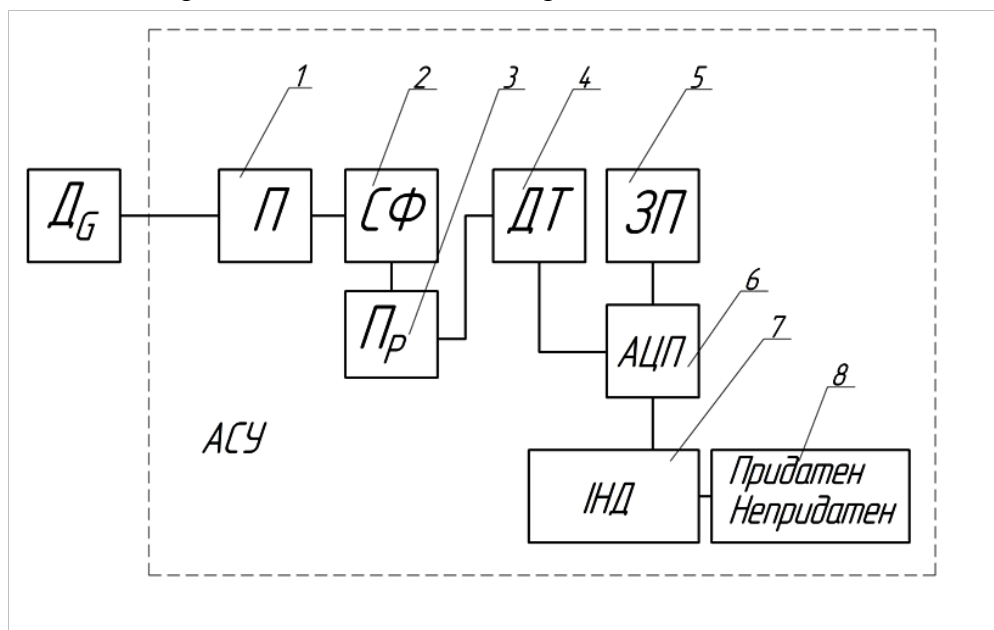
Якщо величина деформації партії пружин буде однакою, то характеристики виникаючої в них акустичної емісії при розжатті будуть характеризувати отриману жорсткість кожної пружини. А цю акустику легко й швидко можливо заміряти чутливими акустичними п'єзодатчиками.

Схема пристосування за допомогою якого можна провести контроль якості пружин стиснення реєструючи АЕ показано на рис. 1.



**Рис. 1. Схема контролю якості пружин стиснення по жорсткості за допомогою методу акустичної емісії**

Пристрій складається з вузла для вимірювання та автоматичної системи управління. Вузол для вимірювання містить нерухому базову плиту 15, на якій розміщено пневмоциліндр 4, у якому поршень 7 може рухатися вправо-вліво. На поршні 7 розміщені гумові манжетні ущільнення 5 для запобігання витоку повітря. До поршня 7 прикріплено гумовий демпфер 8 для гасіння шуму від роботи пневматичного розподільвача під час проведення досліду. Поршень 7, рухаючись вправо стискає пружину 9 за допомогою електромеханічного пневматичного розподільвача 2 через повітряний клапан 3. При розвантаженні пружини використовується повітряний клапан 6. Датчик 11 подає сигнал на автоматичний блок управління пневматичним розподільвачем 1, якщо пружина знаходиться на опорному столі 10. Сигнал АЕ, що виникає в пружині, при її розвантаженні, внаслідок тертя кристалів металу при деформуванні тіла пружини, передається на металеву опору 12. Сигнал акустичної емісії знімається п'єзо акустичним датчиком 13, який закріплений на металевій опорі 12.



**Рис. 2. Принципова схема АСУ оцінки якості пружин стиснення по жорсткості**

Принципова схема АСУ представлено на рис. 2. В ній рівень акусто-сигналу, який отримано від датчика, збільшується на підсилювачі 1 і поступає до смугового фільтра 2, де він налаштовується на пропускання лише першої гармоніки сигналу з пружини, і передає сигнал на перетворювач 3. Застосування перетворювача 3 дозволяє значно підвищити якість отриманого сигналу, знизити всі шуми та видати сигнал для його розшифрування. У детекторі 4 сигнал очищується від зайвих шумів і поступає на аналогово-цифровий перетворювач 6, де він порівнюється з опорним сигналом границь якості від задаючого пристрою 5. Аналого-цифровий перетворювач передає результати аналізу на екран індикатору 7, на якому будується перший сигнал акустичної емісії у вигляді сплеску і його затухання. Останній і є сигналом якості пружини.

Характеристики гідності пружини по вигляду акусто-сигналу:

1. По висоті сигналу.
2. По куту всплеску сигналу.
3. По часу затухання сигналу з пружини.

Результат контролю виводиться у вигляді акустодіаграми, на екрані індикатору 7 і придатність або непридатність на екрані 8.

Даний метод контролю є найбільш точним у порівнянні з раніш застосованими. При його використанні досягається висока якість і продуктивність контролю, що дозволяє перевіряти всю партію пружин на наявність дефекта. Але він є тільки відносним і не показує причину браку.

**Висновки.** В даній статті були розглянуті характеристики гвинтових циліндричних пружин стиснення, класи точності пружних елементів, представлені види можливих дефектів при їх виготовленні, а також наведені види методів контролю при дефектоскопії.

У ході дослідження та оброблення даної інформації було запропоновано новий, найбільш точний, метод дефектоскопії. Він базується на залежності між рівнями сигналів акустичної емісії при розвантаженні після навантаження циліндричних пружин стиснення за рахунок міжкристалічного тертя в тілі пружних елементів, а саме появу внаслідок цих перетворень акустичної емісії.

Запропонований новий метод акустично-механічного контролю необхідної якості пружин за рахунок міжкристалічного тертя в тілі пружних елементів і появи внаслідок цих перетворень акустичної емісії, дозволяє проводити швидкий, ефективний контроль якості пружин всієї партії на гідність, або не придатність, а не вибірково, як в теперішньому виробництві.

#### Список використаної літератури

1. Патент на корисну модель України №87033. Спосіб контролю якості пружин стиснення акустоемісією. Зареєстровано 27.01.2014 р. Винахідники: Румбешта В.О.; Бабченко О.В.; Мишук Н.М.
2. Упругие элементы приборов. Андреева Л.Е. — М.: Машгиз, 1962. — 456 с.
3. Приспособления для изготовления витых пружин. Цесарский Б.И. — М.: Машиностроение, 1969. — 69 с.
4. Справочник технолога-приборостроителя том 2. Под ред. Сыроватченко П.В. — М.: Машиностроение, 1980. — 463 с.
5. Дефекты пружин. <http://www.chelmash.com/files/prensa/37.htm>

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Тимчиком Г.С.

## КОНТРОЛЬ ПРУЖИН СЖАТИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ МЕХАНИЧЕСКО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

ТОМАШУК А.С., БАБЧЕНКО А.В., РУМБЕШТА В.А.

*Национальный технический университет Украины «КПИ»*

**Цель.** Совершенствование методологии контроля качества изготовления пружин сжатия.

**Методика.** Использован общеизвестный метод неразрушающего контроля - акустическая дефектоскопия. Он является наиболее точным по сравнению с другими методами неразрушающего контроля.

**Результаты.** В ходе исследования был предложен новый, наиболее точный, метод дефектоскопии. Он базируется на зависимости между уровнями сигналов акустической эмиссии при разгрузке после нагрузки цилиндрических пружин сжатия за счет межкристаллической трения в теле упругих элементов, а именно появление в результате этих преобразований акустической эмиссии.

**Научная новизна.** Исследована возможность применения механико-акустического метода для контроля качества пружин сжатия.

**Практическая значимость.** Новый метод контроля позволяет проводить быстрый, эффективный контроль качества всей партии пружин.

**Ключевые слова:** *контроль, пружина, механически-акустический метод, дефектоскопия, акустическая эмиссия.*

## CONTROL MECHANISMS RESPONSIBLE COMPRESSION SPRING MECHANICAL- ACOUSTIC METHODS

TOMASHUK A., BABCHENKO A., RUMBESHTA V.

*National Technical University of Ukraine "KPI"*

**Purpose.** Methodologies for quality control of manufacturing of compression springs.

Methods. Used a well-known method of nondestructive testing - sonic test. It is most accurate when compared to other NDT methods.

**Results.** The study proposed a new, more accurate method of inspection. It is based on the relationship between signal levels of acoustic emission during unloading after load compression coil spring due to intergranular friction body elastic elements, namely the appearance of these changes result in acoustic emission.

**Scientific novelty.** The possibility of using mechanical-acoustic method for quality control of compression springs.

**The practical significance.** The new control method allows for fast, efficient quality control of the entire party springs.

**Keywords:** *control, spring, mechanical-acoustic method, flaw detection, acoustic emission.*