

11. Inc. Release Theory Reference [Text] / ANSYS. – 2010.
12. Шупиков, А. Н. Численное и экспериментальное исследование гидроупругих колебаний оболочек [Текст] / А. Н. Шупиков, С. Ю. Мисюра, В. Г. Яреценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т 6, №7 (72). – С. 8–12. doi: 10.15587/1729-4061.2014.28861
13. Шупиков, А. Н. Моделирование динамического поведения элементов конструкций гидротурбин в вакууме и с учетом влияния воды [Текст] / А. Н. Шупиков, С. Ю. Мисюра // Вісник ХНТУ – 2014. – Вип. 3 (50). – С. 71–76.
14. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
15. Schroeder, M. Finite element solution of fluid structure interaction problems [Text] / M. Schroeder // Shock & vibration symposium. – San diego, 1975. – P. 1–19.

*Досліджено вплив механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» на якість тонколистового розділового штампування. Встановлено, що відхилення розмірів пластин ротора при штампуванні з компенсатором у 2,25–2,40 рази менше, ніж без компенсатора, а щільність розподілу розмірів при штампуванні з компенсатором на 30–40 % вища. Визначено механізм впливу компенсатора на показники якості штампування*

*Ключові слова: розділове штампування, похибки системи «прес-штамп», механічний компенсатор, якість штампування*

*Исследовано влияние механического компенсатора погрешностей системы «пресс-штамп» на качество тонколистовой разделительной штамповки. Установлено, что отклонения размеров пластин ротора при штамповке с компенсатором в 2,25–2,40 раза меньше, чем без него, а плотность распределения размеров при штамповке с компенсатором на 30–40 % выше. Определен механизм влияния компенсатора на показатели качества штамповки*

*Ключевые слова: разделительная штамповка, погрешности системы «пресс-штамп», механический компенсатор, качество штамповки*

УДК 621.98.04

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54276

## ВПЛИВ МЕХАНІЧНОГО КОМПЕНСАТОРА ПОХИБОК НА ЯКІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОГО РОЗДІЛОВОГО ШТАМПУВАННЯ

В. Я. Мірзак

Старший викладач\*

E-mail: mirzak\_wl@mail.ru

В. М. Боков

Кандидат технічних наук, професор\*

E-mail: bokov\_vm@mail.ru

\*Кафедра обробки металів

тиском та спецтехнологій

Кіровоградський національний

технічний університет

пр. Університетський, 8,

м. Кіровоград, Україна, 25006

### 1. Вступ

Відомо, що якість тонколистового розділового штампування залежить від стану системи «прес-штамп», а саме від ступеня деформації деталей штампа під навантаженням, зокрема від деформації блока. Деформація блока приводить до зміщення пуансона відносно матриці, наслідком чого є утворення нерівномірного зазору за контуром штампування. В свою чергу відхилення зазору від оптимального впливає на відхилення розмірів, особливо при тонколистовому розділовому штампуванні. Напружено-деформований стан системи «прес-штамп» обумовлюється як станом преса (жорсткість та тип станини, теплові деформації елементів конструкції, відповідність нормам на геометричну точність) [1–3], так і станом штампа (кількість, жорсткість та розташування напрямних вузлів, товщина плит штампового блоку, якість виготовлення та зборки штампа) [4]. Відомі рішення цієї проблеми за рахунок збільшення жорсткості станин пресів, підвищення вимог до їх геометричної точності, підвищення жорсткості штампових блоків та

вимог до точності їх виготовлення, використання спеціальних вузлів кріплення. Однак вони є недостатніми для умов сучасного виробництва за параметрами якості тонколистового розділового штампування.

Якість тонколистового розділового штампування можна суттєво покращити за рахунок зниження ступеня деформації штампа під навантаженням, шляхом застосування механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» [5].

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В сучасному штампувальному виробництві для покращення якості тонколистового розділового штампування широко використовуються різні пристрої компенсації похибок системи «прес-штамп».

В роботі [6] С. В. Кузнецов рекомендує компенсувати поперечні сили від технологічної операції і перекоску повзуна, що викликають зміщення розділового пуансона відносно матриці, шляхом варіювання кількістю,

розташуванням та розмірами напрямних вузлів. Такий підхід не є оптимальним, оскільки веде до підвищенню металоемності штампа, та збільшує собівартість його виготовлення. Крім того, він не є універсальним.

Найпростішим пристроєм компенсації похибок системи «прес-штамп» є плаваючий хвостовик [7]. Як правило, його розташовують між повзуном преса та верхньою плитою штампа. Але при його роботі відбувається ковзання під'ятника, що викликає деформацію напрямних вузлів штампа. Останнє приводить до нерівномірності технологічного зазору в розділовому штампі за контуром штампування та знижує якість штампування (утворюється задира). Крім того, як відомо, плаваючий хвостовик не є універсальним пристроєм компенсації та застосовується на пресах зусиллям до 1 МПа.

Відомий універсальний вузол, що переміщується, для компенсації похибок системи «прес-штамп» [8], який також розташовують між повзуном преса та верхньою плитою штампа. Вузол має сферичну та плоску шарнірні пари, що дозволяє компенсувати кутові та радіальні зміщення повзуна преса. Однак даний вузол не забезпечує співвісність повзуна преса та штампа, що приводить до утворення нерівномірного зазору, а отже зниження якості штампування. Крім того, пристрій суттєво зменшує закриту висоту преса, що не дозволяє використовувати його для пресів номінальним зусиллям менших ніж 400 кН.

За роботами [9–11] відомий компенсатор похибок, який виготовлено із еластичного матеріалу (гуми або поліуретану) у вигляді пластин змінної жорсткості. В основу ідеї покладена можливість нерівномірного стиснення пружного елемента, який розташовують між опорними поверхнями верхньої плити штампа та повзуна преса. Даний компенсатор відрізняється простою виготовлення та низькою собівартістю. Однак при експлуатації він є джерелом похибок, що виникають в процесі нерівномірної деформації матеріалу пластини. Внаслідок цього напрямні вузли штампа деформуються, що приводить до відносного зміщення розділових пуансона та матриці. Останнє негативно впливає на якість штампування. Саме тому даний компенсатор використовується лише для формозмінних операцій холодного листового штампування.

Відомий універсальний механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп», який встановлюється на прес замість підштампової плити, та реалізується через спосіб штампування [5]. Суть способу полягає в тому, що штампування здійснюють з динамічним підстроюванням системи «прес-штамп» в напрямку збігання осі прикладання технологічного зусилля від пресу з віссю, що проходить через центр тиску штампа. Дослідження та промислова експлуатація компенсатора показали суттєве підвищення стійкості розділових штампів [12]. Однак, даний компенсатор не був об'єктом дослідження стосовно підвищення якості тонколистового розділового штампування, що обумовлює необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є вивчення впливу механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» на якість тонколистового розділового штампування.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити вплив механічного компенсатора на напружено-деформований стан елементів штампного блоку;
- виконати порівнювальний аналіз якості штампування пластин ротора з використанням механічного компенсатора та без нього.

## 4. Матеріали та методи дослідження впливу механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» на напружено-деформований стан нижньої плити штампного блоку та відхилення розмірів пластини ротора

### 4. 1. Експериментальні пристрої, обладнання, апаратура та матеріали, що використовувались в експерименті

При дослідженні деформаційної картини штампного блоку під навантаженням без компенсатора і з компенсатором та якості тонколистового розділового штампування використовувалися:

- експериментальний пристрій, який включає три нижні плити блока штампа з чотирма напрямними колонками (табл. 1);
- експериментальний механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп» з максимальним технологічним зусиллям штампування 400 кН з оптимальними геометричними параметрами його елементів [13];
- експериментальна установка, що виконана на базі однокривошипного двостоякового пресу моделі КД2126, номінальним зусиллям 400 кН;
- прецизійний штамп для штампування пластин статора-ротора;
- гідронавантажувач з ручним приводом з максимальним зусиллям навантаження 400 кН.

Таблиця 1

Основні параметри блоків

Номер блока	Діаметр колонок, мм	Товщина верхньої плити, мм	Товщина нижньої плити, мм	Габарити в плані, мм	Закрита висота, мм
1	18	34	34	400×400	200
2	25	39	39		
3	36	49	49		

Апаратура для вимірювання складалася з інструментального мікроскопа УИМ-21 (точність вимірювання 1 мкм) та головок вимірювальних ГОСТ 18833-73 з ціною поділки 1 мкм.

В якості зразків використовувались штаби з магніто-м'якого залізо-нікелевого сплаву (пермалою) марки Н50 товщиною S=0,35 мм.

### 4. 2. Методика дослідження впливу механічного компенсатора на деформацію нижньої плити блоку під навантаженням

Методикою експериментальних досліджень передбачалося визначення деформації нижньої плити блока в залежності від статичного зусилля навантаження при установленні його без компенсатора або на компенсаторі.

Визначення деформації нижньої плити при встановленні без компенсатора здійснювалося в наступній послідовності. На стіл 7 преса (рис. 1) встановлювалася підштамова плита 1, а поверх неї – нижня плита 2 блоку з напрямними колонками 3. Плита 2 кріпилася прихоплювачами 9 по осі блоку. Між повзуном 4 та нижньою плитою встановлювався по центру гідравлічний навантажувач 8. До столу преса кріпилися індикаторні стійки 6 з вимірювальними головками 5, які контактували вимірювальними штифтами з напрямними колонками у двох взаємно перпендикулярних напрямках, та з нижньою площиною плити блоку через провальний отвір в столі преса.

Блок поступово навантажувався зусиллям, що складало 0,25, 0,5, 0,75 та 1,0 від номінального зусилля преса. Заміри повороту колонок здійснювалися у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Кут повороту колонок визначався за різницею показань вимірювальних головок у верхній та нижній точках перевірки з використанням відомих тригонометричних залежностей.

Розвантаження відбувалося також поступово з реєстрацією показань. Цикл навантаження-розвантаження повторювався не менше п'яти разів. Далі прихоплювачі знімалися і експеримент повторювався. Аналогічно проводилися дослідження з використанням інших плит. За результатами дослідження будувалися графіки залежності деформації  $\epsilon_1, f_1$  від зусилля навантаження  $P$ .

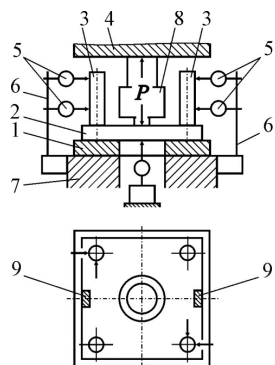


Рис. 1. Схема визначення деформації нижньої плити та повороту колонок: 1 – підштамова плита; 2 – нижня плита; 3 – напрямна колонка; 4 – повзун; 5 – вимірювальні головки; 6 – індикаторна стійка; 7 – стіл преса; 8 – гідравлічний навантажувач; 9 – прихоплювач

Визначення кутів повороту колонок плити блоку при встановленні на компенсатор здійснювалося в наступній послідовності. На стіл 7 преса замість підштамової плити встановлювався компенсатор (рис. 2), що складався із верхньої рухомої плити 2 зі сферичною опорою, під'ятника 3 та нижньої опорної плити 4. На плиті 2 компенсатора закріплювали прихоплювачами плиту 1 з напрямними колонками 8. До столу преса прикріплювали індикаторні стійки 11 з вимірювальними головками 10, вимірювальні штифти яких контактували з напрямними колонками у двох взаємно перпендикулярних напрямках та з нижньою площиною блоку крізь провальний отвір в столі преса. Гідравлічним навантажувачем 12 поступово навантажували блок зусиллям так, як описано вище.

Аналогічно реєстрували показання вимірювальних головок 10. Розвантаження здійснювали також з реєстрацією показань.

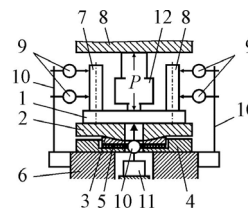


Рис. 2. Схема визначення деформації нижньої плити та кутів повороту колонок при встановленні плити на компенсатор: 1 – нижня плита; 2 – верхня рухома плита зі сферичною п'ятою; 3 – під'ятник; 4 – нижня опорна плита; 5 – сепаратор з опорами кочення; 6 – стіл преса; 7 – напрямна колонка; 8 – повзун преса; 9 – вимірювальні головки; 11 – індикаторна стійка; 12 – гідравлічний навантажувач

За результатами досліджень будувалися графіки залежності деформації  $\epsilon_2, f_2$  елементів блоку від зусилля навантаження  $P$ .

#### 4. 3. Методика дослідження величини відхилення розмірів внутрішнього та зовнішнього контурів пластини ротора

Дослідження проводилися на експериментальному штампі сполученої дії. Спочатку штамп встановлювався на механічний компенсатор. На ньому штампувалася перша партія деталей у кількості 140 штук. Відштамповані пластини ротора склалися у тому порядку, у якому штампувалися. Потім штамп встановлювався на прес без механічного компенсатора. Здійснювалося штампування другої партії пластин у кількості 140 штук. Складання деталей проводилося аналогічно першій партії. Вимірювалися розміри зовнішнього та внутрішнього контурів пластини ротора в напрямку прокатування та поперек прокатування. З метою виключення прогину в момент вимірювання, деталь встановлювалася на магнітну підставку.

Отриманий масив даних розбивався на вибірки по 10 штук. Визначалися середні значення вибірок. За результатами обробки були побудовані графіки відхилення розмірів ротора від номінальних в залежності від номера вибірки для внутрішнього та зовнішнього контурів уздовж і поперек напрямку прокатування при установці штампа на компенсатор та без компенсатора. Далі, за результатами вимірів, розраховувалися основні статистичні величини, на підставі яких робилися висновки про закон, що управляє процесом розсіювання похибок розмірів. Обчислювання статистичних розмірів здійснювалися за відомою методикою, що викладено в роботі [14].

### 5. Результати впливу механічного компенсатора похибок на якість тонколистового розділового штампування

#### 5. 1. Результати досліджень деформаційної картини штампового блоку під навантаженням

Результати досліджень характеру переміщень та деформацій елементів штампового блоку без ком-

пенсатора та з механічним компенсатором похибок системи «прес-штамп» наведено на рис. 3, де  $\alpha$ ,  $\beta$  – кути повороту колонок, відповідно, в площинах X – Z та Y – Z при закріпленні плити прихоплювачами;  $\gamma$ ,  $\delta$  – кути повороту колонок, відповідно, в площинах X – Z та Y – Z без закріплення плити прихоплювачами;  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  – деформація плити, відповідно, з прихоплювачами та без прихоплювачів;  $f_1$ ,  $f_2$  – прогин плити, відповідно, з прихоплювачами та без прихоплювачів.

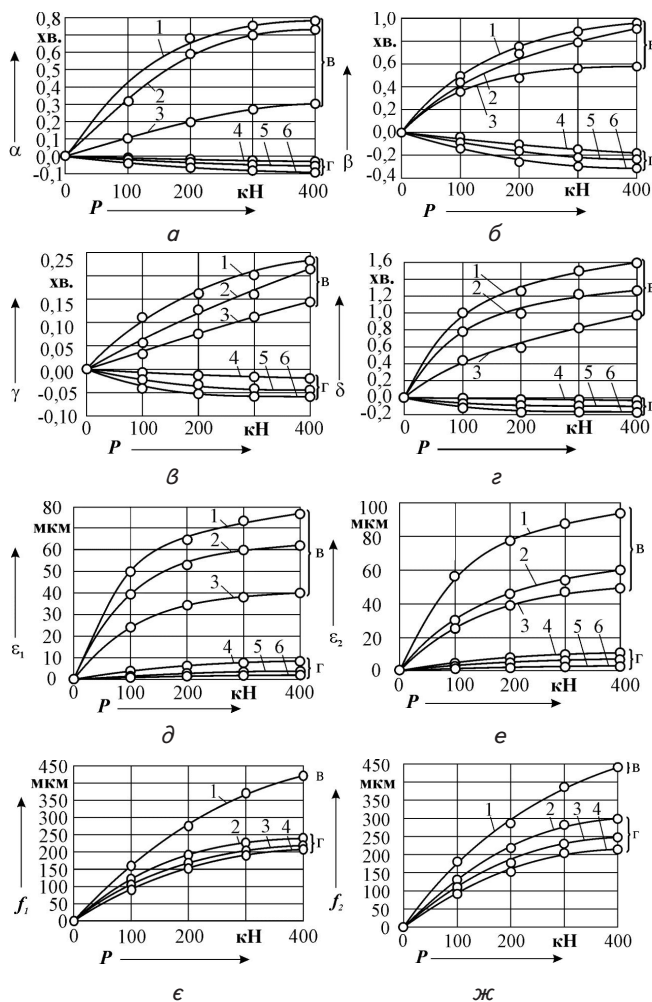


Рис. 3. Залежність кутів повороту колонок  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  штампових блоків з прихоплювачами (зусилля  $P_n$ ) від зусилля навантаження деформацій плити  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  та прогину плити  $f_1$ ,  $f_2$  від зусилля навантаження  $P$ : криві 1, 2, 3 – без компенсатора; криві 4, 5, 6 – з компенсатором; 1 –  $h=34$  мм; 2 –  $h=39$  мм; 3 –  $h=44$  мм; 4 –  $h=44$  мм; 5 –  $h=39$  мм; 6 –  $h=34$  мм; а –  $\alpha=f(P)$ ; б –  $\beta=f(P)$ ; в –  $\gamma=f(P)$ ; з –  $\delta=f(P)$ ; д –  $\varepsilon_1=f(P)$ ; е –  $\varepsilon_2=f(P)$ ; є –  $f_1=f(P)$ ; ж –  $f_2=f(P)$

**5. 2. Результати дослідження впливу механічного компенсатора на відхилення розмірів пластин ротора**

На рис. 4 наведено гістограми та теоретичні криві розподілу розмірів діаметрів внутрішнього та зовнішнього контуру пластин ротора при роботі штампа з компенсатором та без нього з урахуванням напрямку прокатування матеріалу заготовки.

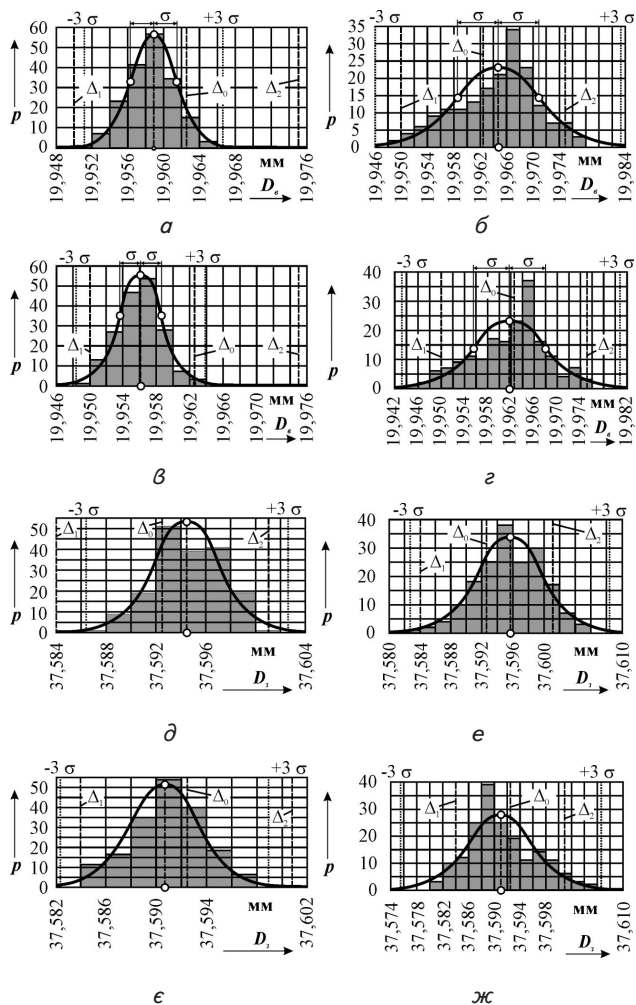


Рис. 4. Гістограми та теоретичні криві нормального розподілу розмірів внутрішнього  $D_b$  та зовнішнього  $D_z$  діаметрів пластини ротора після штампування: а, в, д, є – встановлення штампа на компенсатор; б, г, е, ж – встановлення штампа без компенсатора; а, б, в, г – внутрішній контур пластини ротора; д, е, є, ж – зовнішній контур пластини ротора; а, б, д, е – поперек прокатування; в, г, є, ж – уздовж прокатування; р – частота спостережень;  $\Delta_0$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  – відповідно, номінальне значення, нижня межа, верхня межа поля допуску

**6. Обговорення результатів дослідження деформаційної картини штампового блоку під навантаженням та впливу механічного компенсатора на відхилення розмірів пластин ротора**

Аналіз отриманих залежностей, наведених на рис. 3, 4 показує:

– встановлення штампових блоків на компенсатор істотно змінює деформаційну картину. Для всіх схем встановлення в обох напрямках кут повороту напрямних колонок практично на порядок нижче, ніж при встановленні блока без компенсатора, причому товщина нижньої плити блока майже не впливає на кут повороту. Діапазон кутів повороту колонок при

встановленні блока на компенсатор знаходиться в межах 0–0,25 хвилин, що приблизно в 7 разів менше, порівняно з діапазоном кутів повороту колонок при встановленні блока без компенсатора. Зростання зусилля навантаження не приводить до значної зміни величини кута повороту колонок. Для усіх схем встановлення блоків на компенсатор, поворот колонок відбувається від центру штампа, що може бути пояснено неплоскостністю плит штампа і компенсатора;

– при встановленні штампового блока на компенсатор деформація плит практично не спостерігається і не змінюється із зростанням зусилля навантаження. Величини деформацій, як і у випадку зі збільшеннями кутів повороту колонок, на порядок нижчі, ніж при встановленні блоків без компенсатора. Товщина плит штампових блоків у діапазоні дослідження не впливає на величину деформації;

– при встановленні блока на компенсатор величина деформації по осі провального отвору в 1,5–2 рази більше, ніж при встановленні без компенсатора. Проте, в цьому випадку спостерігається інший характер деформації. Якщо в першому випадку деформація відбувається за рахунок прогину плити блока, як балки, що лежить на опорах, то в другому – за рахунок прогину нижньої плити компенсатора і опусканні на цю величину плити блока і верхньої плити компенсатора одночасно, без істотної прогину плити блока;

– щільність розподілу розмірів внутрішнього контуру пластин ротора при встановленні штампа на компенсатор вища, ніж при встановленні штампа без компенсатора;

– середньоквадратичне відхилення внутрішніх розмірів пластини ротора при встановленні штампа на компенсатор у 2,4 рази менше, ніж при встановленні штампа без компенсатора;

– розподіл розмірів внутрішнього контуру пластин ротора уздовж і поперек прокатування відрізняються від закону нормального розподілу;

– розмах відхилення розмірів зовнішнього контуру пластини ротора поперек прокатування і уздовж прокатування при встановленні штампа на компенсатор у 1,9–3,0 рази менше, ніж при встановленні штампа без компенсатора. При встановленні штампа на компенсатор розміри, що виходять за межі поля допуску, відсутні;

– при встановленні штампа на підштампову плиту розміри зовнішнього контуру пластини ротора, що виходять за межі поля допуску, можна пояснити деформацією системи «прес-штамп»;

– щільність розподілу розмірів зовнішнього контуру пластини ротора вище при встановленні штампа на

компенсатор в порівнянні з встановленням штампа без компенсатора;

– середньоквадратичне відхилення зовнішніх розмірів пластини ротора при встановленні штампа на компенсатор у 1,6–1,9 рази менше, ніж при встановленні штампа без компенсатора;

– розподіл розмірів зовнішнього контуру пластини ротора уздовж прокатування при встановленні штампа на компенсатор відповідає теоретичному закону нормального розподілу з довірчою вірогідністю  $P=0,95$ , а розподіл розмірів зовнішнього контуру пластини ротора поперек прокатування при встановленні штампа на компенсатор відмінний від теоретичного закону нормального розподілу;

– розподіл розмірів зовнішнього контуру пластини ротора уздовж і поперек прокатування при встановленні штампа без компенсатора відрізняється від закону нормального розподілу.

Таким чином, характер переміщень та деформацій елементів штампового блоку та відхилення розмірів пластин ротора свідчить про певні переваги механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп», порівняно з роботою штампового блоку без його застосування.

## 7. Висновки

Внаслідок проведених досліджень:

– виявлено позитивний вплив механічного компенсатора на напружено-деформований стан елементів штампового блоку, що приводить до істотної зміни деформаційної картини системи «прес-штамп»: спостерігається зменшення кутів повороту напрямних колонок у сім разів;

– зафіксовано покращення якості штампування пластин ротора з використанням механічного компенсатора, порівняно зі штампуванням без нього. Так, розмах відхилення розмірів пластин ротора поперек прокатування і уздовж прокатування при встановленні штампа на механічний компенсатор у 2,25–2,40 рази менше, ніж при встановленні штампа без компенсатора. Крім того, встановлено, що щільність розподілу розмірів пластин ротора при встановленні штампа на механічний компенсатор на 30–40 % вища, ніж при встановленні штампа без компенсатора. Таким чином, механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп», що пропонується, доцільно використовувати для підвищення якості тонколистового розділового штампування.

## Література

- Xin-jian, L. U. Research on bottom dead center (BDC) of high speed precision press [J] [Текст] / L. U. Xin-jian, K. E. Zun-mang, Z. H. U. Si-hong, Z. Jun // Forging & Stamping Technology. – 2010. – № 1. – P. 1–23. – Available at: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-DYJE201001023.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-DYJE201001023.htm)
- Wang, L. Analysis of thermally induced machine tool errors of a crank press [Текст] / L. Wang, F.-Y. Xu, X.-S. Wang // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2012. – Vol. 226, Issue 9. – P. 1465–1478. doi: 10.1177/0954405412451071
- Явтушенко, О. В. Силовые условия устойчивости ползуна однокривошипного преса [Текст] / О. В. Явтушенко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – 2012. – Вип. 133. – С. 260–268.
- Титаренко, Н. И. Точность системы пресс-штамповый блок [Текст] / Н. И. Титаренко. – Киев: Наукова думка, 1980. – 135 с.
- Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з беззасторожним напрямком рухомої частини штамп-па відносно нерухомої. Патент 70346 Україна, МПК В26F1/40 [Текст] / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.

6. Кузнецов, С. В. Влияние поперечных сил на качество деталей, получаемых методами листовой штамповки [Текст] / С. В. Кузнецов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 5 (107). – С. 438–442.
7. Хвостовики плавающие для штампов листовой штамповки. Конструкция и размеры : ГОСТ 16719-71 [Текст]. – Введ. 1972-01-01. – М. : Стандартинформ, 2006. – 10 с.
8. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка [Текст] / под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.
9. Диамантопуло, К. К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования [Текст] / К. К. Диамантопуло, В. В. Кухарь, А. И. Евтеев // Металлургические процессы и оборудование. – 2005. – № 2. – С. 31–34.
10. Балалаева, Е. Ю. Расчёт универсальных упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп» для операции вытяжки-формовки [Текст] / Е. Ю. Балалаева // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 1. – С. 193–198.
11. Кухарь, В. В. Снижение погрешности в системе пресс-штамп и безручьеовое профилирование заготовок на прессах [Текст] / В. В. Кухарь // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 37. – С. 54 – 62.
12. Качанов, А. П. Повышение стойкости разделительных штампов за счет использования механических компенсаторов [Текст] / А. П. Качанов, В. Я. Мирзак, В. С. Запороженко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 4. – С. 18–22.
13. Мірзак, В. Я. Моделювання показників міцності механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» із застосуванням метода скінчених елементів [Текст] / В. Я. Мірзак, В. М. Боков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. – 2014. – Вип. 27. – С. 3–12.
14. Смирнов-Аляев, Г. А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением [Текст] / Г. А. Смирнов-Аляев, В. П. Чикидовский. – Ленинград : Машиностроение, 1972. – 360 с.

**Вирішено актуальну задачу підвищення ефективності повітророзподілу закрученими та настільними струминами для забезпечення нормативних параметрів повітря у приміщеннях. Показано, що для досягнення максимальної ефективності повітророзподілу необхідно подавати повітря струминами, що інтенсивно затухають ще до входу в робочу зону. Показано економічну ефективність використання двоструминного повітророзподільника у порівнянні із альтернативними варіантами, наведено питомі показники ефективності повітророзподілу**

**Ключові слова:** повітророзподіл, закручена струмина, настільна струмина, надлишкова температура, змінний режим

**Решена актуальная задача повышения эффективности воздухораспределения закрученными и настильными струями для обеспечения нормируемых параметров воздуха в производственных помещениях. Показано, что для достижения максимальной эффективности воздухораспределения необходимо подавать воздух струями, интенсивно затухающими еще до входа в рабочую зону. Показана экономическая эффективность использования двухструйного воздухораспределителя в сравнении с альтернативными вариантами, приведены удельные показатели эффективности воздухораспределения**

**Ключевые слова:** воздухораспределение, закрученная струя, настильная струя, избыточная температура, переменный режим

УДК 697.922.565; 697.921.47

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56235

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОВІТРОРозПОДІЛУ ЗАКРУЧЕНИМИ І НАСТИЛЬНИМИ СТРУМИНАМИ У ЗМІННОМУ РЕЖИМІ

**О. Т. Возняк**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: orest.voznyak@i.ua

**І. Є. Сухолова**

Кандидат технічних наук, асистент\*

E-mail: isukholova@gmail.com

**Х. В. Миронюк**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: kristim81@ukr.net

\*Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

Національний університет

«Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

### 1. Вступ

Працездатність людини залежить у значній мірі від того, наскільки санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату приміщень відповідають її фізіологічним потребам. Фізичний стан повітряного середовища

приміщення залежить від температури, вологовмісту, швидкості руху повітря, шуму, запиленості, запахів тощо [1]. На умови комфорту значний вплив має саме швидкість руху повітря, величина якої створюється засобами вентиляційної техніки. Значний вплив на тепловий комфорт людини має також початкова тур-