

УДК 621.98.04

В. Я. МІРЗАК, ст. викладач, КНТУ;**В. М. БОКОВ**, доц., канд. техн. наук, КНТУ, Кіровоград

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗДІЛОВОГО ТОНКОЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

Експериментально доведено, що при штампуванні пластин ротора встановлення штампа на механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп», порівняно із встановленням його без компенсатора, суттєво підвищує якість штампування, зокрема висота задирки зменшується за зовнішнім контуром на 93 % та за внутрішнім – на 45 %. Отриманий результат підтверджує доцільність використання механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» з метою підвищення якості розділового тонколистового штампування.

Ключові слова: механічний компенсатор, якість розділового тонколистового штампування, величина задирки, джерело похибок, пластини ротора, динамічне підстроювання.

Вступ. Експлуатаційні характеристики електротехнічних, радіотехнічних та електронних виробів із тонколистового матеріалу в великій мірі залежать від якості останніх, зокрема від точності штампування та величині задирки. Так, наприклад, похибки внутрішнього та зовнішнього діаметрів пластин магнітопроводів в електродвигунах приводять до нерівномірності повітряного зазору між статором та ротором, а наявність задирки та її нерівномірність розташування по контуру розділення приводить до погіршення електромагнітних характеристик набраного пакету. Тому виникає потреба в їх додатковій непродуктивній чистовій механічній обробки або застосуванні штампувальних операцій зачищення. В результаті систематизованого аналізу (рис. 1) причинно-наслідкових зв'язків втрати якості тонколистового розділового штампування, авторами роботи доведено, що джерелом біля 60 % похибок є система «прес-штамп». Існує багато пристроїв компенсації похибок системи «прес-штамп», але їх ефективність при штампуванні деталей підвищеної точності (7-й, 6-й квалітети) є недостатньою. В роботі пропонується та розвивається ідея про можливість використання механічних компенсаторів для суттєвого зменшення даних похибок.

Тому підвищення якості тонколистового розділового штампування із застосуванням механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить зменшити собівартість виготовлення штампованих виробів, зокрема пластин магнітопроводів.

Аналіз останніх досліджень та літератури. В загальному випадку деформація L_x , L_y , L_z системи «прес-штамп» відбувається шляхом переміщення

їх елементів за осями x , y , z , а також шляхом їх повороту P_x , P_y , P_z навколо цих осей. Тому, для створення «ідеального» компенсатора необхідно компенсувати усі можливі види деформації. Але в реальних умовах роботи компенсатора деформація системи в напрямку переміщення L_z за віссю z компенсується робочим переміщенням повзуна преса, а тому завжди автоматично забезпечується.

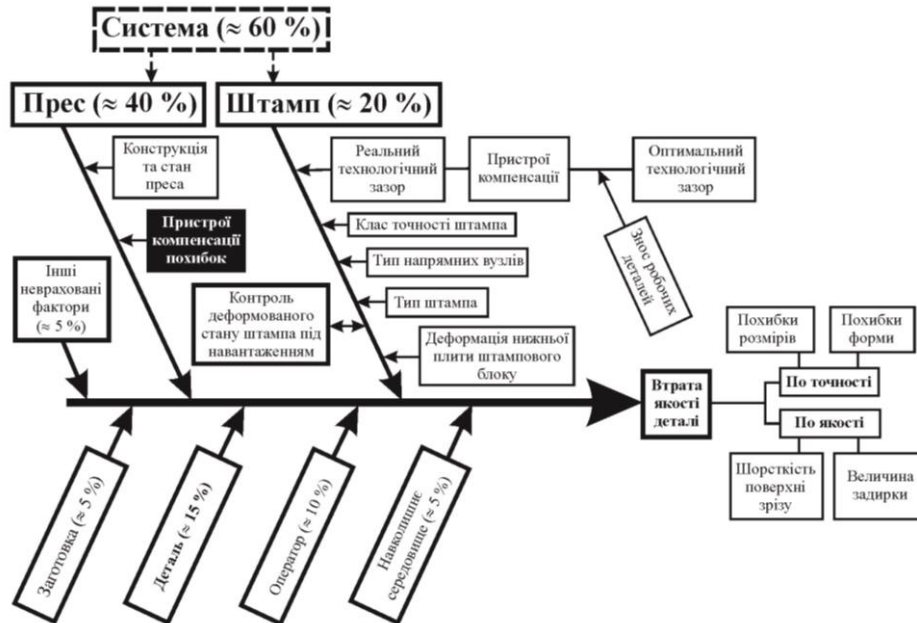


Рис. 1 – Діаграма причинно-наслідкових зв'язків втрати якості тонколистового розділового штампування

Компенсація деформації системи «прес-штамп» інших видів деформації (крім деформації переміщення L_z), може здійснюватися за допомогою з'єднань певних елементів компенсатора, так як одне з'єднання не може одночасно компенсувати усі види деформації. Так, нерухоме з'єднання не компенсує жодної деформації, крім L_z . Традиційно таке з'єднання широко застосовується для приєднання верхньої частини штампа до повзуна преса та нижньої частини штампа до підштампової плити. Відомі рухомі з'єднання елементів механічних компенсаторів компенсують деформації системи «прес-штамп» лише частково, а рухоме з'єднання, що характеризується плоскою опорою з проміжним еластичним середовищем [1–5], хоча і компенсує деформації переміщення L_x , L_y , L_z , є джерелом власних деформацій. Останні пов'язані з асиметричним навантаженням еластичним середовищем нижньої плити штампа відносно хвостовика при компенсації деформацій повороту P_x , P_y , P_z і викликають значне радіальне навантаження напрямних вузлів. Саме тому технологічні можливості даного з'єднання суттєво обмежені зусиллям штампування та видом технологічної операції. Так, за даними роботи [6] пружний гумовий компенсатор, що має плоску опору з проміжним еластичним середовищем,

доцільно використовувати лише для формозмінних операцій холодного штампування, де вимоги щодо радіального навантаження напрямних вузлів прийнятні.

Із системного аналізу з'єднання елементів структури механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» виходить, що для компенсування усіх можливих видів деформацій достатньо використати два рухомих з'єднання. Дане технічне рішення реалізовано в механічному компенсаторі, що використовувався в роботі.

Мета дослідження, постановка проблеми. Вивчення впливу способу штампування пластини ротора (встановлення штампа на механічний компенсатор та без компенсатора) на якість штампування (висоту задирки).

Матеріали досліджень. Програмою експериментів передбачалося визначення розподілу задирки за висотою при встановленні штампа на компенсатор та без компенсатора. Відштамповані пластини ротора stapелювалися в окремі стопки в порядку їхнього виготовлення на пресі. На пластинках замірювалася висота задирки за внутрішнім та зовнішнім контурами в чотирьох точках через 90° (рис. 2).

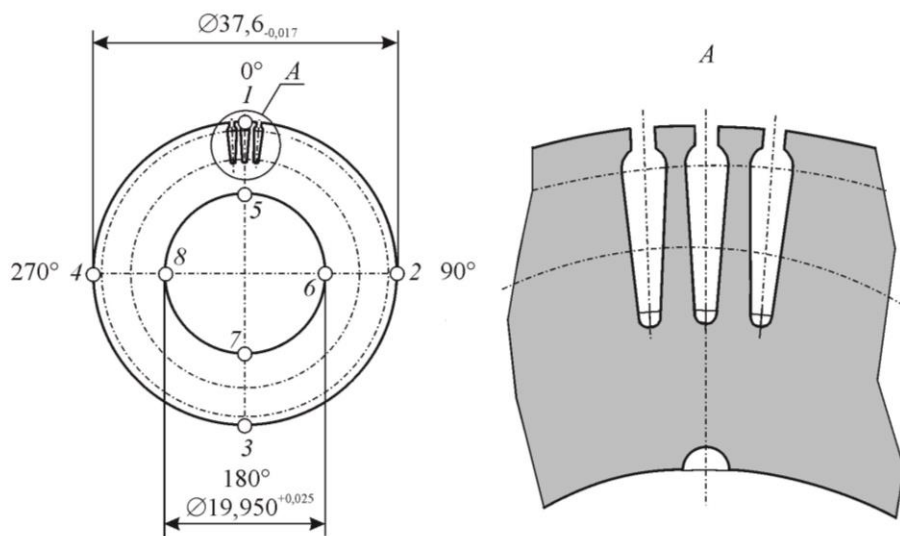


Рис. 2 – Схема виміру висоти задирки пластини ротора:

○ – точки, в яких виконувалися заміри

Вимірювання проводилося мікрометром-пасаметром з ціною поділки шкали 0,002 мм. Пластина ротора встановлювалася задирками вгору, а виміри проводилися в порядку, що зазначений номерами точок на схемі. Усього було обміряно по 180 деталей при різних схемах встановлення штампа. Результати вимірів статистично оброблялися в наступній послідовності:

– значення висоти задирок розбивали на вибірки, у які входило по 10 вимірів;

– визначали середнє значення вибірок за формулою

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

де X_i – значення висоти задирки для i -го виміру; n – обсяг вибірки;

– для оцінки випадкової помилки окремого виміру розраховували значення середньоквадратичного відхилення σ за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2};$$

– визначали ширину довірчого інтервалу ΔX з довірчою вірогідністю $P = 0,95$

$$P(\bar{X} - \Delta X) < \bar{X} < \bar{X} + \Delta X, \quad \Delta X = \frac{\sigma}{m} \cdot t,$$

де t – критерій Стьюдента [31, с. 281]; m – математичне очікування;

– розміри, що не потрапили в довірчий інтервал, відкидалися. Розміри, що залишилися, підсумовувалися та знову визначалося середнє значення вибірки.

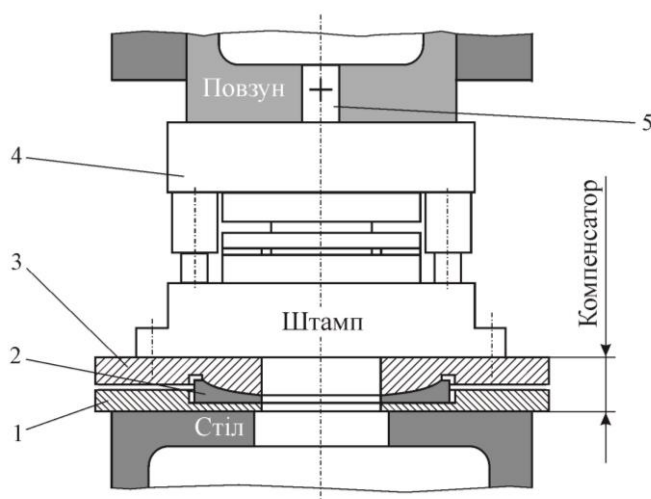


Рис. 3 – Принципова схема механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп»:

1 – нижня плита; 2 – підп'ятник; 3 – верхня плита; 4 – штамп; 5 – хвостовик

З метою підвищення якості тонколистового розділового штампування, в роботі використовувався спосіб динамічного підстроювання, що запропонований авторами [7]. 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. Реалізація даного способу полягала в установленні штампа на механічний компенсатор похибок системи прес-штамп (рис. 3), який виконано з оптимальними геометричними параметрами [8].

Вплив механічного компенсатора на зміну висоти задирки. За даними дослідження побудовані залежності висоти задирки від номера вибірки при встановленні штампа на компенсатор та без компенсатора для різних точок (див. рис. 2) зовнішнього та внутрішнього контурів деталі (рис. 4.13–4.16) та залежність розподілу висоти задирки за периметром пластини ротора для зовнішнього (після операції вирубування) і внутрішнього (після операції пробивання) контурів при встановленні штампа на компенсатор та без компенсатора (рис. 4.17). Результати аналізу середньої висоти задирки для різних умов штампування наведені в таблиці.

Таблиця. Середня висота задирки в точках вимірювання за зовнішнім та внутрішнім контурами пластини ротора (див. рис. 2)

Спосіб встановлення штампів	Середня висота задирки, мкм							
	Точки зовнішнього контуру				Точки внутрішнього контуру			
	Т. 1	Т. 2	Т. 3	Т. 4	Т. 5	Т. 6	Т. 7	Т. 8
На компенсатор	21	9	13	15	23	16	19	21
Без компенсатора	31	29	21	29	38	26	25	27

Як бачимо, практично для всього периметра, як за зовнішнім, так і за внутрішнім контурами пластини ротора, спостерігається значне зниження висоти задирки при встановленні штампа на компенсатор у порівнянні з встановленням штампа без компенсатора. Так, для точок зовнішнього контуру середня висота задирки при встановленні штампа на компенсатор складає 14 мкм, а при встановленні без компенсатора – 27 мкм, що на 93 % більше. Для точок внутрішнього середня висота задирки при встановленні штампа на компенсатор складає 20 мкм, а при встановленні без компенсатора – 29 мкм, що на 45 % більше.

Зміна висоти задирки для різноманітних точок периметра відбувається нерівномірно. Це пояснюється нерівномірністю технологічного зазору за контуром, що виник у процесі складання штампа. Найменше значення висоти задирки спостерігається в точці 3 зовнішнього контуру (рис. 7). Очевидно, цей факт можна пояснити наявністю на даній ділянці контуру оптимального технологічного зазору.

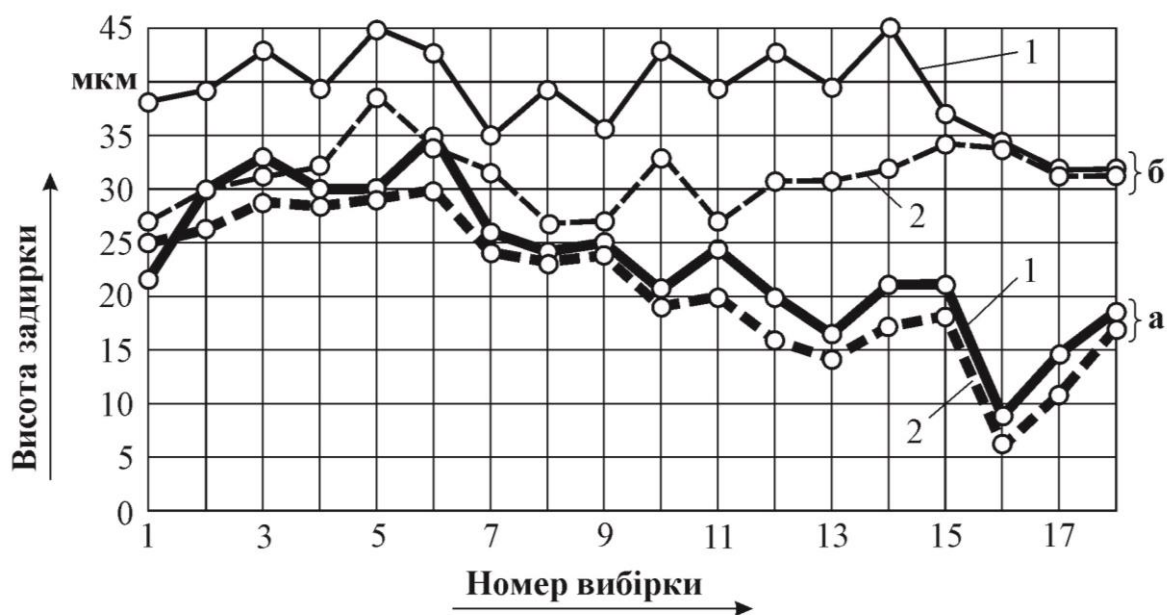


Рис. 4 – Залежність висоти задирки від номеру вибірки для зовнішнього (в точці 1) та внутрішнього (в точці 5) контурів пластини ротора:
а – при встановленні штампа на компенсатор; б – при встановленні штампа без компенсатора; 1 – внутрішній контур; 2 – зовнішній контур

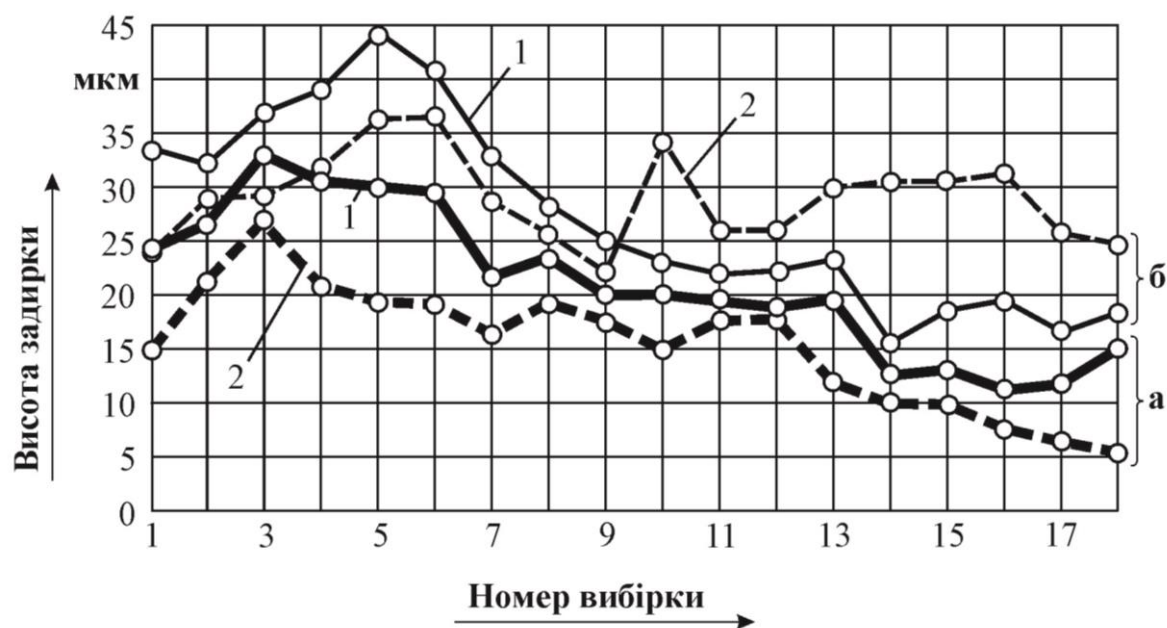


Рис. 5 – Залежність висоти задирки від номеру вибірки для зовнішнього (в точці 4) та внутрішнього (в точці 8) контурів пластини ротора:
а – при встановленні штампа на компенсатор; б – при встановленні штампа без компенсатора; 1 – внутрішній контур; 2 – зовнішній контур

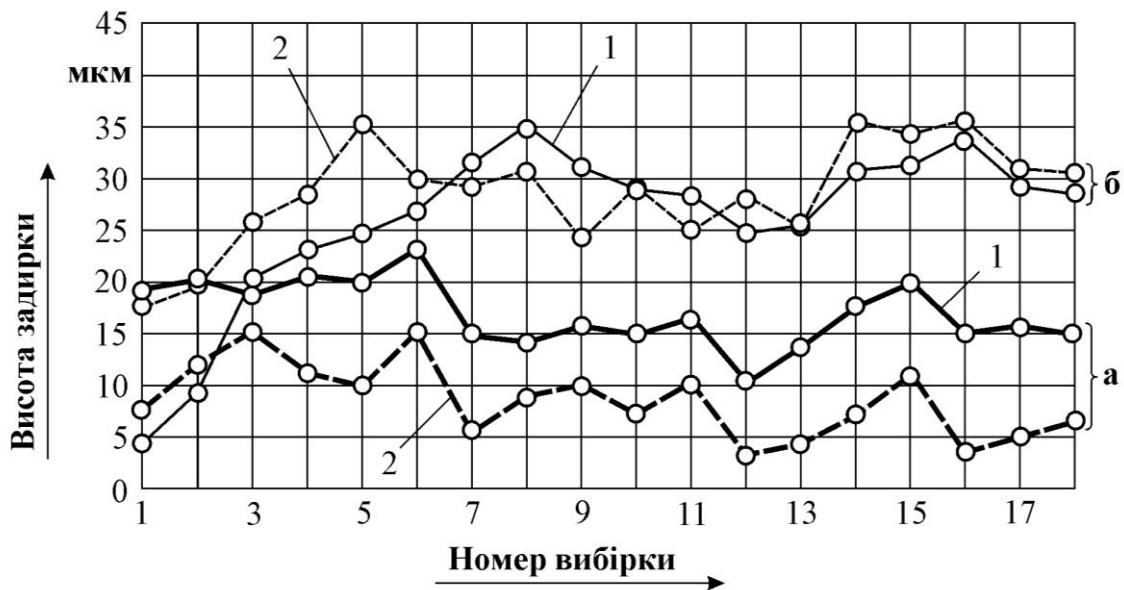


Рис. 6 – Залежність висоти задирки від номеру вибірки для зовнішнього (в точці 2) та внутрішнього (в точці 6) контурів пластини ротора:
 а – при встановленні штампа на компенсатор; б – при встановленні штампа без компенсатора; 1 – внутрішній контур; 2 – зовнішній контур

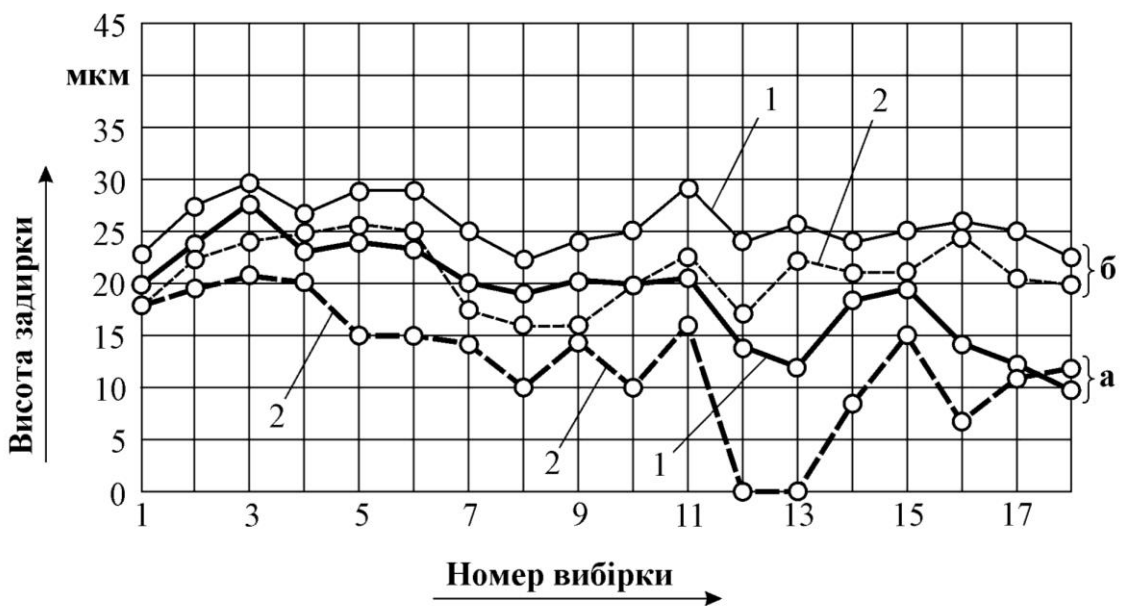


Рис. 7 – Залежність висоти задирки від номеру вибірки для зовнішнього (в точці 3) та внутрішнього (в точці 7) контурів пластини ротора:
 а – при встановленні штампа на компенсатор; б – при встановленні штампа без компенсатора; 1 – внутрішній контур; 2 – зовнішній контур

Розподіл висоти задирки від номеру вибірки для зовнішнього і внутрішнього контуру при штампуванні з компенсатором та без нього для усіх точок, що вимірюються, ідентичне. Це пов'язано з тим, що переміщення

вирубних і пробивних робочих деталей штампа відбувається одночасно, за тим самим законом.

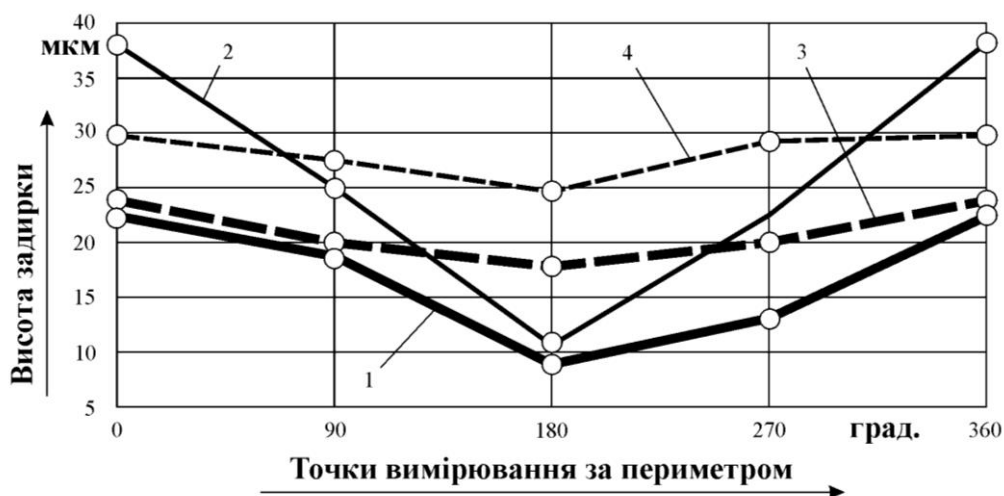


Рис. 8 – Розподіл висоти задирки за периметром пластини ротора:

1 – вирубвання з компенсатором; 2 – вирубвання без компенсатора; 3 – пробивання з компенсатором; 4 – пробивання без компенсатора

Розподіл висоти задирки за периметром контурів пластин, що вирубуються та пробиваються (рис. 8), більш рівномірний при встановленні штампа на компенсатор, що свідчить про зменшення амплітуди динамічного зазору.

Отриманий результат підтверджує доцільність використання механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» з метою підвищення якості тонколистового розділового штампування.

Висновки. Експериментально виявлено значне зниження висоти задирки при встановленні штампа на механічний компенсатор у порівнянні з встановленням штампа без компенсатора при штампуванні пластин ротора за зовнішнім та внутрішнім контурами. Так, для точок зовнішнього контуру середня висота задирки при встановленні штампа на компенсатор зменшується на 93 %, а для точок внутрішнього контуру – на 45 %. Розподіл висоти задирки за периметром контурів пластин, що вирубуються та пробиваються, більш рівномірний при встановленні штампа на компенсатор, що свідчить про зменшення амплітуди динамічного зазору. Отриманий результат підтверджує доцільність використання механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» з метою підвищення якості тонколистового розділового штампування.

Список літератури: 1. Пат. 837 Україна, МПК В21 D 37/00, В21 D 37/12. Компенсатор похибок напрямку повзуна преса / *Діамантопуло К. К., Василевський О. В.*; власник Приазовський державний технічний університет. № 2000074079; заявл. 11.07.2000; опубл. 16.07.2001, Бюл. № 1. 2. Пат. 11782 Україна, МПК В30 В 15/28. Компенсатор похибок напрямку переміщення повзуна преса / *Діамантопуло К. К., Кухар В. В., Єрмолов Д. В.*; власник Приазовський державний технічний університет. № u200505677; заявл. 13.06.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. 3. Пат. 24638 Україна,

МПК В21 D 37/00. Компенсатор похибок напряму повзуна пресів / *Діамантопуло К. К., Тихонський О. А., Кравченко Н. Є., Євтеєв А. І.*; власник Приазовський державний технічний університет. № u200701523; заявл. 13.02.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10. **4.** Пат. 34270 Україна, МПК В21 D 37/00. Компенсатор похибок системи «прес-штамп» / *Діамантопуло К. К., Євтеєв А. І., Куріленко О. О.*; власник Приазовський державний технічний університет. № u200801335; заявл. 14.02.2008; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. **5.** Пат. 34286 Україна, МПК В30 В 15/28, В21 В 23/00. Двошаровий пружний елемент компенсатора похибок напряму / *Кухар В. В., Діамантопуло К. К., Лаврентік О. О., Макєєв В. С., Балаєва О. Ю.*; власник Приазовський державний технічний університет. № u200806970; заявл. 20.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. **6.** *Балалаєва Е. Ю.* Расчёт универсальных упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп» для операции вытяжки-формовки / *Е. Ю. Балалаева* // *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 1 (26). – С. 193 – 198.* **7.** Пат. 70346 Україна, МПК В26 F 1/40. Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з безззорним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої / *Мірзак В. Я., Боков В. М.*; власник Кіровоградський національний технічний університет. № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11. **8.** *Мірзак В. Я.* Моделювання показників міцності механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» із застосуванням метода скінченних елементів / *В. Я. Мірзак, В. М. Боков* // *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 27. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 3–12.*

Bibliography (transliterated): **1.** Pat. 837 Ukraina, MPK B21 D 3700, B21 D 3712. Kompensator poxybok naprjamu povzuna presa Diamantopulo K. K., Vasylev's'kyj O. V.; vlasnyk Pryazov's'kyj derzhavnyj texnichnyj universytet. No 2000074079; zajavl. 11.07.2000; opubl. 16.07.2001, Bul. No 1. **2.** Pat. 11782 Ukraina, MPK B30 B 1528, B21 D 3712. Kompensator poxybok naprjamu peremishenja povzuna presa Diamantopulo K. K., Kuchar V. V., Ermolov D. V.; vlasnyk Pryazov's'kyj derzhavnyj texnichnyj universytet. No u200505677; zajavl. 13.06.2005; opubl. 16.01.2006, Bul. No 1. **3.** Pat. 24638 Ukraina, MPK B21 D 3700. Kompensator poxybok naprjamu povzuna presiv Diamantopulo K. K., Tyhons'kyj O. A., Kravchenko N. E. Evteev A. I.; vlasnyk Pryazov's'kyj derzhavnyj texnichnyj universytet. No u200701523; zajavl. 11.02.2007; opubl. 10.07.2007, Bul. No 10. **4.** Pat. 34270 Ukraina, MPK B21 D 3700. Kompensator poxybok systemy «pres-shtamp» Diamantopulo K. K., Evteev A. I.; Kurylenko O. O.; vlasnyk Pryazov's'kyj derzhavnyj texnichnyj universytet. No u200801325; zajavl. 14.02.2008; opubl. 11.08.2008, Bul. No 15. **5.** Pat. 34286 Ukraina, MPK B30 B 1528, B21 B 2300. Dvocharovyj pruzhnyj element kompensatora poxybok naprjamu Kuchar V. V., Diamantopulo K. K., Lavrentik O. O., Makeev V. P., Balalaeva O. JU.; vlasnyk Pryazov's'kyj derzhavnyj texnichnyj universytet. No u200806970; zajavl. 20.05.2008; opubl. 25.11.2008, Bul. No 22. **6.** *Balalaeva E. JU.* Raschet universal'nyx uprugix kompensatorov pogreshnostej systemy «pres-shtamp» dlja operazii vytjazhki-formovki. Obrabotka materialov davleniem: sb. nach. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2011. – No 1 (26). P. 193–198. **7.** Pat. 70346 Ukraina, MPK B26 F 140. Sposib tonkolystovogo rozdilovogo shtampuvannja v systemi «pres-shtamp» z bezzazornym naprjamkom ruxomoi chastyny shtampa vidnosno neruxomoi. Mirzak V.J., Bokov V. M.; vlasnyk Kirovograds'kyj nazional'nyj texnichnyj universytet. No u201113040; zajavl. 07.11.2011; opubl. 11.06.2012, Bul. No 11. **8.** *Mirzak V.J., V. M. Bokov.* Modeljuvannja pokaznykiv micnosti mehanichnogo kompensatora poxybok systemy «pres-shtamp» iz zastosuvannjam metoda skinchenych elementiv. Zbirnyk naukovych prac' Kirovograds'kogo nazional'nogo texnichnogo universytetu: texnika v sil'skogospodars'komu vyrobnyctvi, galuseve mashynobuduvannja, avtomatyzacija. – Vyp., 27. – Kirovograd: KNTU, 2014. P. 3–12.

Надійшла (received) 28.10.2014