

Моніторинг та оптимізація конструктивних параметрів напрямних вузлів штампів холодного штампування

У статті описано методику проведення процедур інженерного моніторингу напрямних вузлів блоків штампів для холодного штампування, за результатами якого запропоновано нову конструкцію напрямних втулок, що сприятиме підвищенню точності та довговічності напрямних елементів.
моніторинг, колонка, втулка, штамп, деформації, тертя, жорсткість

Ресурс підвищення жорсткості напрямних систем штампів холодного штампування практично вичерпано. Зокрема, збільшення кількості напрямних вузлів не сприяє зручностям в експлуатації штампів [1], а існуючі рекомендації щодо застосування прецизійного напрямку [2] не узгоджуються із сучасними вимогами щодо довговічності напрямних колонок та втулок.

З метою експериментального визначення умов роботи напрямних вузлів штампів холодного штампування та їх подальшої оптимізації було проведено тензометрування основних параметрів зазначених вузлів під час експлуатації штампів в режимі автоматичних ходів штампувального обладнання.

Тензометрування виконували із використанням електронного вимірювача деформацій ИДЦ-1, застосовуючи залежність

$$\frac{\Delta R}{R} = s \frac{\Delta l}{l}, \quad (1)$$

де $\frac{\Delta l}{l}$ - деформація у відносних одиницях;

$l=20$ мм – довжина активного тензорезистора при відсутності навантаження;

$R=120,4$ ом – опір активного тензорезистора під час навантаження штампового блоку;

$s=2$ – коефіцієнт тензочутливості.

Оскільки при визначенні жорсткості штампів лімітуючим елементом у більшості випадків є кут вигину напрямних колонок φ_k , то під час дослідів визначали залежність жорсткості напрямної системи від навантаження P на неї. Результати експериментів зведено до таблиці (див. табл.1).

Для визначення кутової жорсткості напрямних елементів φ_k використовували формулу

$$\arctg \varphi_k = 2,239 \frac{P}{EH_k} \left(\ln \frac{k_k^2 ES}{1,158 p} + 0,814 \right), \quad (2)$$

де p - питоме навантаження на штамповий блок;

E - модуль Юнга;

S - допустима за технічними вимогами неспіввісність осей пуансонів та матриць пакету штампа, яку, в залежності від бажаної степені точності штампування приймали за даними таблиці 2.

Таблиця 1 – Залежність абсолютних деформацій напрямних елементів від умов роботи штампового блоку

Питоме зусилля, МПа	7,675	8,444	9,211	9,982	11,520
Зусилля навантаження Р, кН	30,14	33,16	36,17	39,20	45,22
Лінійна жорсткість Δk , мм	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-1}$	$0,78 \cdot 10^{-1}$	$1,08 \cdot 10^{-1}$	$1,28 \cdot 10^{-1}$
Кутова жорсткість φ_k , град	$8,56 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$6,55 \cdot 10^{-4}$	$-4 \cdot 10^{-3}$	$-1,4 \cdot 10^{-2}$

Таблиця 2 – Визначення степеней точності штампових блоків

Степінь точності	6	7	8	9
S, мм	0,05	0,0833	0,1167	0,15

H_k - вільна висота колонок блоку;

k_k - корегуючий коефіцієнт, значення котрого, як було з'ясовано, визначаються параметром $\frac{2p}{ES}$ та із задовільною точністю апроксимуються залежністю

$$k_k^2 = 1,4225 \left(\frac{2p}{ES} \right)^{0,4316} + 1. \quad (3)$$

Після графоаналітичної обробки результатів експериментальних досліджень були побудовані графіки залежності лінійних та кутових переміщень напрямних вузлів штампового блоку, які наводяться на рис. 1 та рис. 2 відповідно. На зазначених графіках представлено також результати лінійної апроксимації експериментальних даних (пунктирні прямі) із зазначенням емпіричних коефіцієнтів розрахункових залежностей $P = P(k)$ та похибок апроксимації R.

Результати фахового супроводження засвідчують, що в період робочого ходу кут вигину напрямних колонок змінюється за знаком, що (за умов монотонно зростаючих лінійних деформацій) призводить до постійного перерозподілу робочих зазорів в системі „колонка-втулка”. Відповідно через погіршення умов тертя зростає й небезпека заклинювання елементів напрямних систем. Таким чином, інженерний моніторинг роботи напрямних систем штампів є безумовно необхідним та доцільним.

Варто зазначити, що з урахуванням явища теплового розширення колонок під час усталеної роботи штампу фактичне коливання значень зазору в системі z може відбуватися лише в межах різниці виконавчих розмірів сполучуваних елементів:

$$|d_t - d_0| = 2z = \alpha \Delta T d_0, \quad (4)$$

де α - коефіцієнт температурного розширення матеріалу колонки, град⁻¹;

d_0 та d_t відповідно – початковий та фактичний діаметри колонки/втулки;

ΔT - різниця температур на контактній поверхні „колонка-втулка” на початку та під час усталеної роботи штампу.

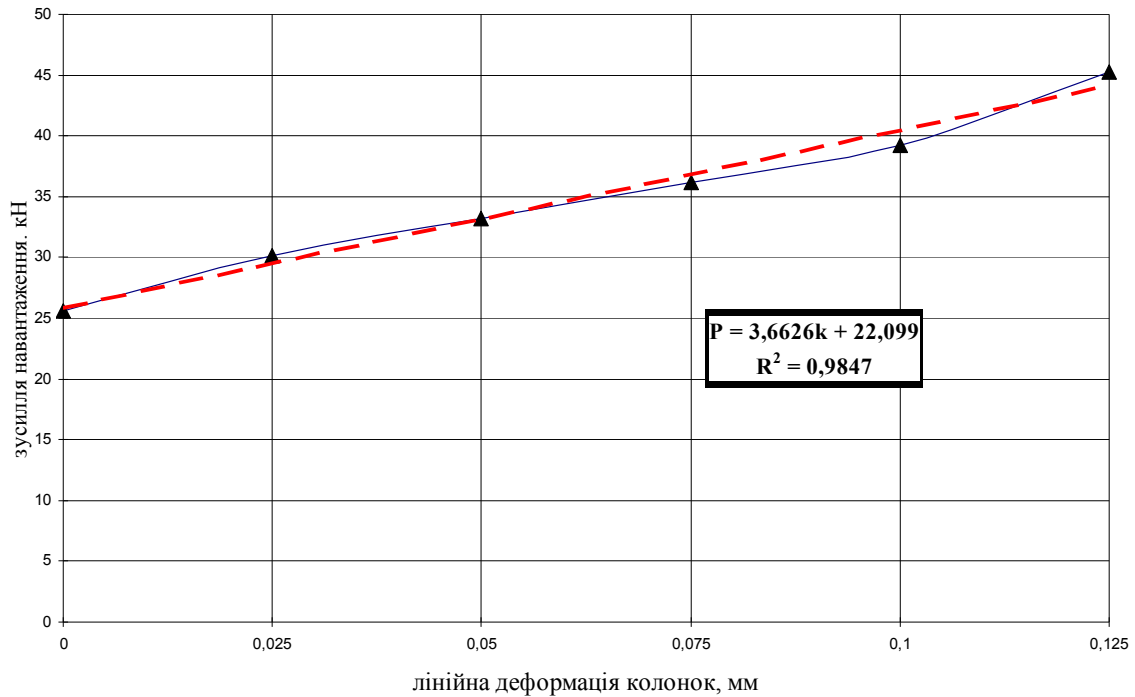


Рисунок 1 – Експериментальний графік залежності лінійних деформацій напрямної системи штапу від робочого навантаження

Теплові деформації при постійному пружньому контакті поверхонь обчислюються з урахуванням теплофізичних параметрів матеріалів напрямних колонок та втулок [3]:

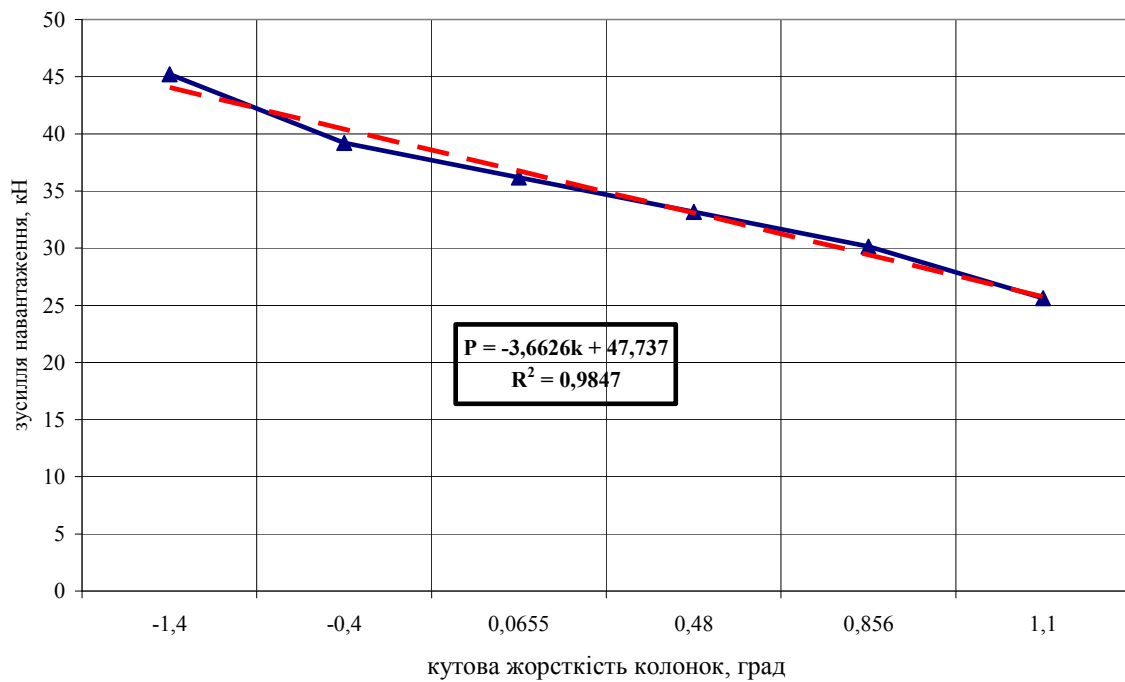


Рисунок 2 - Експериментальний графік залежності кутових деформацій напрямної системи штапу від робочого навантаження

$$z = \frac{\alpha f \sqrt{\pi H N \nu \tau^2 d_0}}{0,8(\lambda_1 + \lambda_2)}, \quad (5)$$

де λ_1 - теплопровідність матеріалу колонки, Вт/м·град;

λ_2 - теплопровідність технологічного мастила;

τ - час одиничного циклу тертя, с (тривалість подвійного ходу пресу);

H - твердість матеріалу колонки, МПа;

N - навантаження на колонку, Н;

ν - пересічна швидкість деформування, мм/с;

f - коефіцієнт тертя.

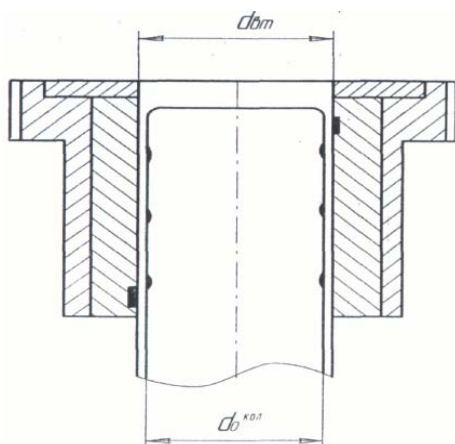
Наведена залежність дає можливість достатньо точного (похибка не перевищує 7%) моніторингу умов тертя в напрямних системах штампу за допомогою постійного контролю значень коефіцієнту тертя. Пропонована методика дає можливість також оперативно контролювати якість змащування напрямних вузлів, оптимізувати умови робочого циклу холодного штампування тощо.

З урахуванням результатів інженерного моніторингу запропоновано нову конструкцію напрямного вузлу штампових блоків, зокрема, для виконання операцій холодного об'ємного штампування. На рис.3 зображено фрагмент такого напрямного вузлу із складеною конструкцією втулки. У корпусі втулки розміщується напрямна вставка із антифрикційного матеріалу. По поверхні вставки виконується спіральна канавка для утримання технологічного мастила. Складена напрямна втулка запресовується у верхню плиту штампу. Поверхня колонки змащується більш рівномірно, внаслідок чого зменшується теплова деформація контактуючих деталей.

Для підтвердження вищезазначених припущень були проведені відповідні експерименти і розрахунки, результати яких зведено до таблиці 3.

Вихідні дані для проведення експериментів:

- матеріал заготовки – сталь 10;
- технологічне змащення – мастило індустриальне 20А;
- матеріал напрямної втулки – сталь 20;
- матеріал вставки - бронза КМц 3-1;
- матеріал колонки – сталь 20;
- частота ходів повзуна пресу – 150 хв^{-1} ;
- теплопровідність матеріалу вставки - $50 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$;
- теплопровідність мастила - $0,17 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$.



Порівнювальний аналіз отриманих результатів свідчить про те, що коефіцієнт тертя для пропонованої конструкції напрямної втулки у порівнянні з базовою конструкцією зменшується на 60 %, радіальне навантаження – в 2,5 рази, а допустимий зазор – на 25%. Це позитивно позначатиметься на точності напряму робочих деталей штампів холодного штампування та на якості виготовлених на ньому виробів. В процесі впровадження пропонованої конструкції вставки варто очікувати також і відповідного збільшення довговічності напрямних вузлів.

Рисунок 3 - Схема встановлення складеної напрямної втулки в напрямний вузол штампа

Таблиця 3 – Результати трибологічних досліджень умов роботи штампових блоків різних конструкцій

Варіанти	Зазор, z, м	Коефіцієнт температурного розширення, α , град ⁻¹	Час одного циклу тертя, с	Швидкість деформування, мм/с	Твердість втулки/ напрямної вставки, HV	Фактичне радіальне навантаження на колонку, кг	Відносне зношування напрямного елементу	Фактичне значення коефіцієнту тертя, f
Традиційний	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$11,5 \cdot 10^{-6}$	1	30	750	50	1,6	0,107
Пропонований	$0,08 \cdot 10^{-3}$	$11,5 \cdot 10^{-6}$	1	30	750	20	1	0,067

Список літератури

1. В.А. Евстратов. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987.-144с.
2. Г.Д. Скворцов. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: М-е, 1972.- 360с.
3. Уетц Г., Зоммер К., Рихтер К. Общие представления о процессах в поверхностных слоях при граничном трении стали по стали и сталей по полимерам//В сб.: «Теория трения, износа и проблемы стандартизации». Под ред. А.Ю. Ишлинского. Брянск: Приокское кн. изд-во, 1978. – С. 31-36.

В статье описана методика проведения процедур инженерного мониторинга направляющих узлов блоков штампов для холодной штамповки, вследствие чего предложена новая конструкция направляющей втулки, которая будет способствовать повышению точности и долговечности работы направляющих элементов.

In article is described methods of the undertaking the procedures of the engineering monitoring directing nodes block stamp for cool stamping in consequence of which it is offered new design directing bushings, which will promote increasing to accuracy and longevity of the work directing element.