

УДК 621.798

Ю.О. Банах**ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО
СТАНУ ШТАНЦЮВАЛЬНОГО ПРЕСА**

При висіканні крою коробок на штанцювальних пресах тигельного типу виникають певні труднощі як на етапі приладження штанцформи, так і на етапі штанцювання. Від того, як буде приладжена штанцформа, залежать розміщення точки прикладання рівнодіючої технологічних зусиль від висікальних, перфораційних і бігувальних лінійок, а також сумарна величина цих зусиль. Реально рівнодіюча технологічних зусиль буде зміщена від осей симетрії тигля. А при наявності люфтів у ланках

приводу тигля та його напрямних і через податливість системи тигельного преса тигель перекошуватиметься під певним кутом до талера. В результаті цього під час штанцювання окремі лінійки через їх надмірне врізання в тіло тигля будуть затуплюватись, інші недосікатимуть. Для забезпечення висікання всіма висікальними лінійками здійснюється їх приладження. Чим складніша штанцформа, тим трудомісткіше приладження.

Приладження полягає в тому, що на анкерну плиту 3 (рис. 1), яка виготовлена з сталевго каліброваного листа товщиною 1,0–2,0 мм і закріплена нерухомо відносно штанцформи 5 з боку талера 1, під висікальну лінійку 4 наклеюється смужка сталевго фольги 2.

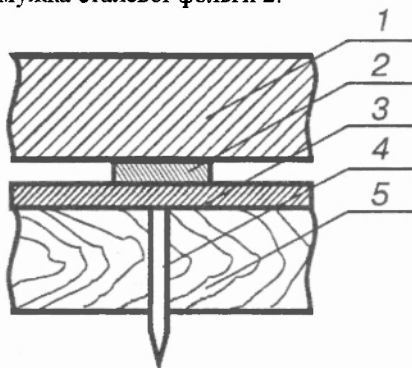


Рис. 1. Елементи штанцювальної форми:
1 – талер; 2 – сталевга фольга; 3 – анкерна плита;
4 – висікальна лінійка; 5 – штанцформа

За рахунок цього збільшується ріст висікальної лінійки. (На практиці використовують смужки паперу відповідної товщини, але тоді тиражостійкість значно нижча). Приладження решти висікальних лінійок здійснюється аналогічно. Таким чином, за рахунок збільшення росту окремих висікальних лінійок компенсується непаралельність тигля до талера в зоні їх контакту. Штанцювання, врізання лінійок у заготовку супроводжується вибіркою люфтів у приводі тигля та його напрямних. Висікальні лінійки із збільшеним ростом врізаються в заготовку, а можливо, і в тіло тигля раніше, ніж лінійки, які не приладжувались. Як правило, приладження супроводжується ситуацією, коли після приладження лінійок, що не висікали,

перестають висікати окремі лінійки, котрі висікали до приладження. Без сумніву, за рахунок збільшення росту окремих висікальних лінійок рівнодіюча зусиль від лінійок, що розміщені на штанцформі, у процесі зростання тиску зміщується від своєї попередньої точки прикладання. Тигель за рахунок люфтів перекошується під іншим кутом й іншим напрямком, через що перестають висікати окремі лінійки, які висікали до приладження, інші вриваються в тіло тигля. Виникає потреба збільшити ріст тих лінійок, які перестали висікати. Процес приладження здійснюється до тих пір, поки всі лінійки не будуть висікати задовільно. В процесі приладження тигель постійно мінятиме своє положення відносно талера. А це обов'язково призведе до надмірного вривання окремих лінійок в тіло тигля, їх передчасного затуплення і відповідного зростання зусиль штанцювання. Крім того, висікальні лінійки, що вриваються в тигель у процесі штанцювання, поступово затуплюються і перестають висікати. Тоді їх доведеться знову приладжувати, а при значному затупленні – замінити. Ось чому на стадіях приладження штанцформи і штанцювання вкрай необхідно забезпечити паралельність поверхней тигля і талера в зоні їх контакту.

Для приводу натискного органу штанцювальної секції найчастіше використовується двосторонній кривошипно-повзунний механізм (рис. 2). Внаслідок створення технологічного

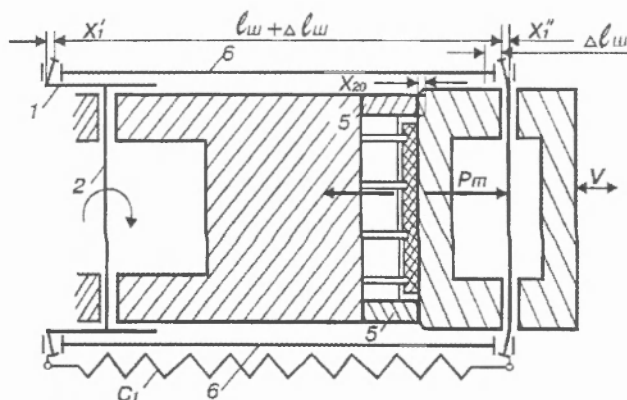


Рис.2. Схема напруженого стану плоского преса:

1 – кривошип; 2 – головний вал

навантаження P_m деформуються всі ланки привода: пальці кривошипів на величину X_1' , шатуни – $\Delta l_{ш}$, вісь тигеля – X_1'' . Деформацією кривошипів 1 і головного вала 2 можна знехтувати, оскільки вона на порядок нижча за вказані. Розглядаючи прикладення вектора технологічних сил P_m симетричним відносно двостороннього привода, його величину можна визначити таким чином:

$$P_m = P_s + P_6 + P_n = q_s l_s + q_6 l_6 + q_n l_n, \quad (1)$$

де q_s, q_6, q_n – відповідно, погонні зусилля, необхідні для висічки, бігування і перфорування; l_s, l_6, l_n – загальна довжина, відповідно, висікальних, бігувальних і перфораційних лінійок.

Дія технологічної сили здеформовує ланки механізму на величину

$$X_1 = X_1' + \Delta l_{ш} + X_1'' \quad (2)$$

Ця деформація досягне максимального значення в крайньому положенні повзуна (тигеля) (рис. 3), і її потрібно враховувати при підготовці машини до роботи: на величину X_1 зменшити мінімальну відстань між талером і тиглем (у ненапруженому стані) порівняно з висотою висікальних лінійок 3. Зауважимо, що в момент завершення висічки складові P_s та P_n технологічного зусилля сприйматимуться загостреними кромками висікальних і перфораційних лінійок при зіткненні їх з робочою поверхнею тигля, що неминуче призведе до поступового їх затуплення. У цій фазі технологічне зусилля складатиметься тільки з однієї складової

$$P_m = P_6 = q_6 l_6. \quad (3)$$

Таким чином, загальна деформація X_1 залежатиме від величини технологічного зусилля P_m і податливості системи λ :

$$X_1 = P_m \lambda, \quad (4)$$

де $\lambda = \frac{1}{C}$ – податливість; C – жорсткість системи.

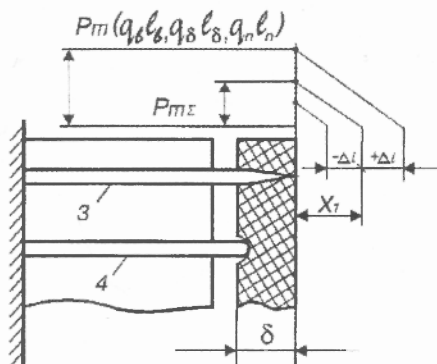


Рис. 3. Схема штанцювального інструмента при висіканні

Якщо податливість системи λ для конкретного преса величина стала, то загальне технологічне зусилля P_m залежить від цілого ряду факторів:

загальної довжини висікальних, перфораційних і бігувальних лінійок, що розміщені на штанцформі;

властивостей матеріалу, що висікається;

характеру розміщення лінійок відносно напрямку волокон матеріалу;

величини затупленості висікальних і перфораційних лінійок;

способу здійснення біговки та методів їх приладження.

Якщо поміняти тільки один параметр, наприклад матеріал заготовки, то в залежності від його механічних характеристик зміниться величина технологічного зусилля P_m , відповідно величина деформації X_1 збільшиться на $X_1 + \Delta_i$ або зменшиться на $X_1 - \Delta_i$ (рис. 3), і її слід врахувати при налагодженні.

При наявності експериментальних даних по визначенню q_6 , ℓ_6 , q_8 для різних матеріалів одержати загальне технологічне навантаження можливо, але й у цьому випадку необхідно врахувати можливу несиметричність вектора технологічних навантажень P_m , що викличе неоднакову деформацію з різних боків. Отже, з наведених міркувань випливає, що процес

налагодження штанцювального преса при зміні формату, матеріалу і характеру виробу є складним.

Вищеописаних негативних явищ у роботі і при налагодженні висікальної секції можна уникнути, якщо в системі преса створити попередньо напружений стан, аналогічно тому, як це давно застосовують у плоскодрукарських, а останнім часом і в ротаційних друкарських машинах [1].

Для цього по краях на талері, з двох боків штанцформи, потрібно закріпити опорні планки 5 (рис. 2), висота яких повинна дорівнювати висоті висікальних лінійок. Величину попереднього натягу P_0 доцільно встановити виходячи з максимально допустимого в пресі технологічного навантаження $P_{m(max)}$, на яке розрахована найбільш податлива ланка механізму – шатуни 6.

$$P_{m(max)} = [\sigma]_p 2S_{ш}, \quad (5)$$

де $[\sigma]_p$ – допустиме напруження розтягу в шатунах; $2S_{ш}$ – поперечний переріз шатунів.

При цьому сумарна деформація розтягу зовнішнього контуру системи преса становитиме

$$X_1 = \frac{P_{m(max)}}{C_1}, \quad (6)$$

де $C_1 = \frac{P_{m(max)}}{X_1}$ – жорсткість, яка підраховується теоретично і

може бути перевірена експериментально.

Для створення цієї деформації шляхом регулювання потрібно забезпечити у ненавантаженому стані мінімальну відстань між тиглем і талером

$$h_{min} = h_0 - X_1, \quad (7)$$

де h_0 – висота висікальних лінійок.

Деформацію стиску опорних планок можна визначити із залежності

$$\sigma_{cm} = E \frac{X_2}{h} = \frac{P_m}{2bl}. \quad (8)$$

Звідси

$$X_2 = P_m \frac{h}{2blE}, \quad (9)$$

де b , h і l – відповідно, ширина, висота і довжина планок; E – модуль пружності для сталі (матеріалу планок).

Підрахунки свідчать, що деформація E_2 на два порядки менша за деформацію X_1 і становить не більше 0,002 – 0,004 мм.

На рис. 4,а зображено модель, на рис. 4,б – графіки напруженого стану преса. Пружини 1 імітують зовнішній контур розтягу, а пружини 2 – внутрішній контур стиску напруженої системи. При появі технологічного навантаження P_m

відбуваються деформація розтягу $X_1 = \frac{P_m}{C_1}$ і деформація стиску

$$X_2 = \frac{P_m}{C_2}, \text{ де}$$

$$C_1 = \frac{P}{X_1} = \operatorname{tg} \gamma_1 \quad (10)$$

– жорсткість контура розтягу:

$$C_2 = \frac{P}{X_2} = \operatorname{tg} \gamma_2 \quad (11)$$

– жорсткість контура стиску.

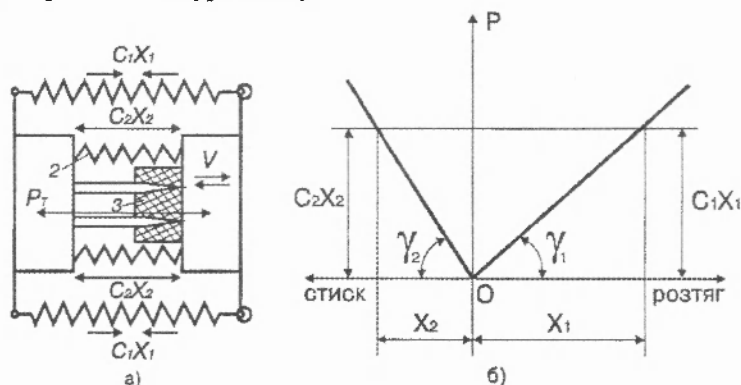


Рис. 4. Схема для розрахунку податливості штанцювального преса

Виключаючи з (10) і (11) зусилля P_m , запишемо:

$$C_1 X_1 = C_2 X_2. \quad (12)$$

Суміщені графіки деформацій, що відповідають величині попередньо створеного зусилля P_0 , зображені на рис. 5. Максимальне технологічне зусилля $P_{m(max)}$, при якому щезає попередній натяг ($P_0 = 0$), визначасмо за формулою

$$P_{m(max)} = C_1(X_{10} + X_{20}) = P_0 + P_0 \frac{C_1}{C_2} = P_0 \frac{C_{np}}{C_2}, \quad (13)$$

де $C_{np} = C_1 + C_2 = \operatorname{tg} \gamma$ - приведена жорсткість системи.

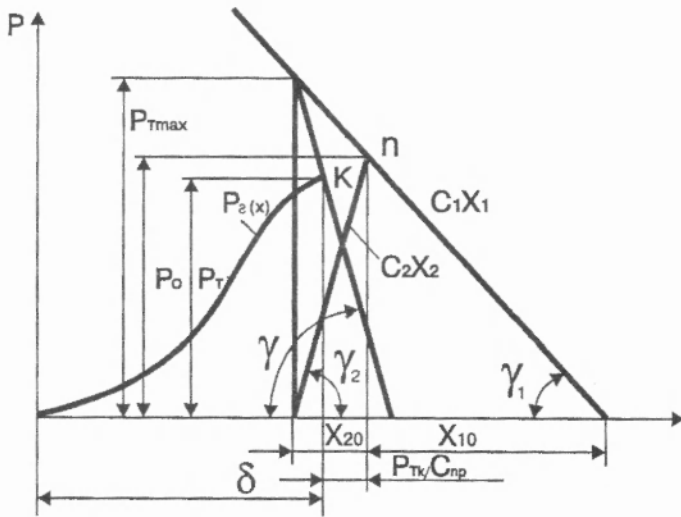


Рис. 5. Схема пружної взаємодії ланок штанцювального преса

Із залежності (13) можна знайти необхідну величину попереднього натягу

$$P_0 = P_{m(max)} \frac{C_2}{C_{np}}. \quad (14)$$

При наявності заготовки 3 (рис. 4, а) створюється технологічне зусилля, яке досягає якоїсь величини P_{mx} . Точка К

являтиме собою рівновагу технологічної сили та реакції з боку механізму, що визначається приведеною жорсткістю преса. Під

дією технологічних сил виникатимуть деформації $\left(\frac{P_{mk}}{C_{np}} \right)$, які будуть змінюватись у межах

$$0 < \frac{P}{C_{np}} \leq X_{20}. \quad (15)$$

Враховуючи мізерну величину деформації X_{20} , можна вважати, що положення тигля практично залишатиметься незмінним незалежно від величини технологічного зусилля і точки його прикладання.

Проаналізуємо попередньо напружений стан штанцювального преса без штанцформи та при наявності останньої.

Дослідження штанцювального преса без штанцформи. Як уже згадувалось, попередньо напружений стан штанцювального преса створюється внаслідок застосування обмежувальних планок 2, що фіксують крайнє положення натискної плити 1 (рис. 6). Деформації приводних ланок спричиняють збільшення відстані між плитою 1 і опорною площиною п-п.

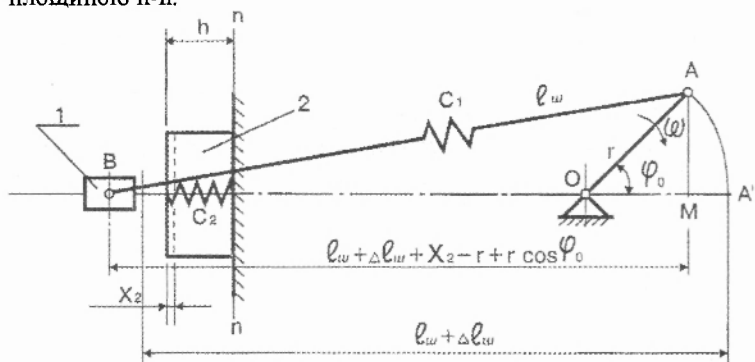


Рис. 6. Схема для визначення фази висічки

На рис. 6 C_1 – це приведена жорсткість ланок приводного контуру (вісь повзуна-тигля, шатуни, пальці кривошипів, вал

кривошипа), а C_2 – жорсткість обмежувальних планок, що стискаються. Найменша відстань між опорною площиною і робочою площиною натискної плити в її крайньому положенні

$$h_{\min} = h - X_2, \quad (16)$$

де h і X_2 – відповідно, висота планок і їх деформація.

Нехай початок контакту плити 1 і планок 2 відповідає фазовому куту φ_0 . При подальшому повороті кривошипа внаслідок появи зусилля P відбуватиметься деформація розтягу

$$X_1 = \frac{P}{C_1} \quad (\text{для штанцювального преса, переобладнаного на}$$

основі тигельної машини важкого типу ТТ-1, $X_1 \approx \Delta l_{\text{ш}}$, де $\Delta l_{\text{ш}}$

– деформація шатуна) і деформація стиску $X_2 = \frac{P}{C_2}$ (рис. 4,б).

Граничне зусилля P_z , при якому відновиться пружна деформація X_{20} , одержимо з (13):

$$P_z = C_1(X_{10} + X_{20}) = P_0 + C_1 \frac{P_0}{C_2} = P_0 \frac{C_{\text{np}}}{C_2}. \quad (17)$$

Зміна зусилля P в межах $P_z > P > P_0$ відбуватиметься в межах деформації X_{20} , котра в 10^3 менша за деформацію X_{10} . Це означає, що практично $P_z \approx P_0$. Таким чином, зміна технологічного зусилля при штанцюванні в межах $0 < P_m < P_0$ не призведе до зміни деформації X_{20} , що забезпечить постійну плоскопаралельність натискної та опорної поверхонь.

Фазовий кут φ_0 , що відповідає початковій контакту тигля з обмежувальними планками, визначимо з прямокутного трикутника АМВ (рис. 6):

$$l_{\text{ш}}^2 = ((h - X_2) + l_{\text{ш}} + \Delta l_{\text{ш}} - r + r \cos \varphi_0)^2 + r^2 \sin^2 \varphi_0, \quad (18)$$

позначивши

$$(h - X_2) + l_{\text{ш}} + \Delta l_{\text{ш}} - r = d \quad (19)$$

і підставивши (19) у (18), отримаємо

$$l_{\text{ш}}^2 = d^2 + 2dr \cos \varphi_0 + r^2, \quad (20)$$

звідки

$$\varphi_0 = \arccos \frac{l_w^2 - d^2 - r^2}{2dr}. \quad (21)$$

З врахуванням залежності (12) і вважаючи $X_1 \approx \Delta l_w$, отримаємо

$$X_2 = \frac{C_1}{C_2} X_1 \approx \frac{C_1}{C_2} \Delta l_w = \mu \Delta l_w, \quad (22)$$

де $\mu = \frac{C_1}{C_2}$.

Тоді (19) набуде вигляду

$$d = h + l_w + \Delta l_w (1 - \mu) - r. \quad (23)$$

Оскільки $\frac{C_1}{C_2} \approx 10^{-3}$, то (23) матиме вигляд

$$d = h + l_w + \Delta l_w - r. \quad (24)$$

Поточне зусилля P , залежно від кута φ_i (у межах φ_{01}) можна знайти, подавши (20) так:

$$d^2 + 2dr \cos \varphi + n^2 = 0, \quad (25)$$

де

$$n^2 = r^2 - l_w^2. \quad (26)$$

З квадратного рівняння (25) одержимо

$$d_{1,2} = -r \cos \varphi \pm \sqrt{r^2 \cos^2 \varphi - n^2}. \quad (27)$$

Маючи $d_i = f(\varphi_i)$ і приймаючи $X_1 \approx \Delta l_w$, із

залежності $X_1 = \frac{P}{C_1}$ знаходимо

$$P_i = \Delta l_w C_1 = \frac{d_i + r - l_w - h}{1 - \mu} C_1. \quad (28)$$

Дослідження штанцювального преса в процесі штанцювання. Створення попередньо напруженого стану шляхом застосування обмежувальних планок ставить за мету забезпечити плоскопаралельність натискної плити в її крайньому

положенні відносно основи штанцформи і виключення можливості контакту висікальних ножів з тілом плити. На рис. 7 зображено взаємоположення елементів штанцювального преса, що відповідає крайньому положенню натискної плити 1 (тигля). Досягнення цих вимог забезпечується установкою на опорній плиті обмежувальних планок 3 певної висоти, створенням необхідної величини зусилля F_0 між плитою і планками та установкою на поверхні натискної плити тонкого аркуша паперу 4. Аркуш паперу спочатку, при відсутності картонної заготовки 5, частково просікається і опору в процесі штанцювання не чинить. Мінімальна відстань між робочими площинами натискної та опорної плит становитиме

$$h_{\min} = h - X_{20} = h_g + 0,5\delta_n, \quad (29)$$

звідки висота обмежувальних планок повинна дорівнювати

$$h = h_g + 0,5\delta_n + X_{20}. \quad (30)$$

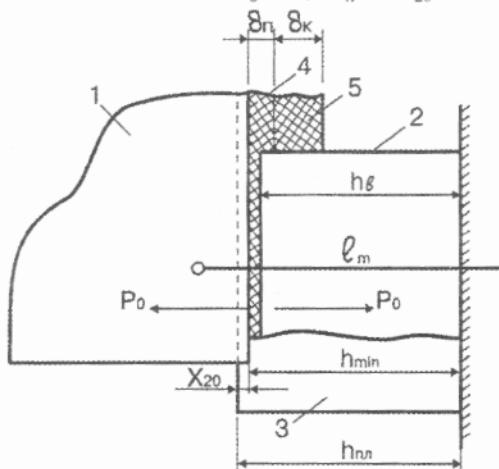


Рис. 7. Схема штанцювального преса з обмежувальними планками в зоні висікання

У наведених залежностях прийнято, що висікальні ножі наполовину просікають підкладочний аркуш паперу. Проте таке співвідношення може бути й іншим.

На рис. 8 графічно зображені зміни зусиль від переміщення і деформацій ланок. За початок координат прийнято

фазу, що відповідає початку врізання висікальних ножів у картонну заготовку товщиною δ_k . Зусилля $P_{техн}$ зростає внаслідок висікання та перфорації картонної заготовки і припиняється, коли висікальні ножі завершують її просікання, перемістившись на товщину δ_k . $P_{техн}$ в точці С спричинить деформацію зовнішнього контуру (в основному шатунів) величиною X_c . Після цього технологічне зусилля $P_{техн}$ раптово зникає (у випадку тільки висікання), а пружна деформація X_c (розтягнутих шатунів) миттєво встановлює рівновагу сил

$$P_{пл} = P_{ш} = P_0. \quad (31)$$

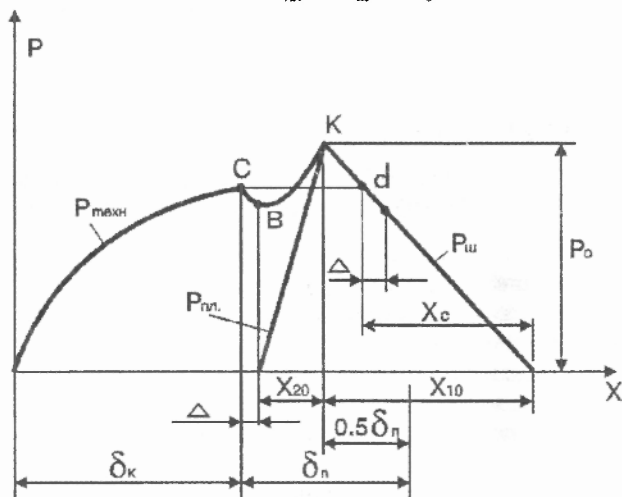


Рис. 8. Графіки зміни зусиль від переміщення і деформацій ланок та картону

Як впливає з аналізу графіків, миттєве встановлення рівноваги сил проходить по певній кривій c-b-k.

Таким чином, створення попередньо напруженого стану штанцювального преса шляхом встановлення на талері обмежувальних планок висотою, що відповідають росту висікальних лінійок, попереднього натягу в пресі $P_0 = P_{m(max)}$ забезпечить паралельність тигля талера в зоні їх контакту і виключить тим самим врізання висікальних лінійок в тіло тигля. А це дасть змогу значно скоротити трудомісткість приладження

штанцформи, підвищити тиражостійкість висікальних і перфораційних лінійок, зменшити простої штанцювального обладнання під час штанцювання.

1. Чехман Я.И., Сенкус В.Т., Бирбраер Е.Г. Печатные машины: учебник. М., 1987.
2. Чехман Я.И. Печатные аппараты (Основы теории). К., 1989.
3. Чехман Я.И., Прядко Н.А., Ющик В.И. Особенности механики печатного контакта при наличии предварительного натяга // Полиграфия и издательское дело, 1964. № 1.
4. Чехман Я.И., Банах Ю.О. Про доцільність створення попереднього натягу в системі тигельного преса при штанцювальних роботах // Поліграфія і видавнича справа. 1996. № 31.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.98