

**Юрій Петрович Бородій¹, Олександр Анатолійович Садовський²,
Ольга Віталіївна Холявік³, Сергій Францевич Сабол⁴,
Павло Юрійович Проценко⁵, Валерій Володимирович Піманов⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: borodiyuriy@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8050-0379>

²ТОВ «БК НВФ» (Київ, Україна)
E-mail: sadovskiy.oleksandr@gmail.com

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: o.holiavik@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6539-4467>

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: sabol1@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-8585-508X>

⁵кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: pavloprocenko64@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9390-0718>

⁶кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: pimanov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6609-6904>

РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ

Технології ковальсько-штампувального виробництва мають прогресивний характер, що забезпечує високу якість, точність, продуктивність та покращення механічних властивостей деталей, що є необхідним для авіабудівної та аерокосмічної галузі. Однак виникає потреба у створенні нових типів обладнання для виготовлення певної групи деталей. Метою роботи є вироблення технічних пропозицій щодо використання штампувального обладнання та оснащення нетипової конструкції для отримання деталей з листових заготовок, які будуть впроваджені у виробництво. В роботі запропонована конструкція спеціального обладнання для виготовлення листових деталей, що базується на застосуванні пневмоциліндру.

Ключові слова: прес; штамп; вирубування; пробивання; гнуття; матриця; пуансон; зазор; заготовка; деталь.
Рис.: 9. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Головне призначення ковальсько-штампувального обладнання полягає у формозміненні металів, сплавів, неметалевих матеріалів під дією тиску. Для того, щоб привести матеріал в пластичний стан та подолати опір деформуванню, ковальсько-штампувальна машина повинна створювати необхідне деформуєче питоме зусилля при заданому переміщенні з необхідною швидкістю [1-3].

Загальновідомо, що технології ковальсько-штампувального виробництва мають прогресивний характер, який базується на отриманні деталей заданої форми із заготовок не шляхом відділення частини металу в стружку або відхід (подібно обробці металів різанням), а шляхом раціонального перерозподілу металу. Це дає можливість скоротити всі види грубої обробки різанням та іншими видами обробки, а також зменшити фінішні операції (шліфування та інші). Використання штампувальних операцій забезпечує високу продуктивність та підвищення механічних властивостей деталей [1-4].

Найбільш чутливою до стану та розвитку ковальсько-штампувального обладнання є авіабудівна та аерокосмічна галузь. Для об'єктів аерокосмічної техніки необхідно отримувати деталі мінімальної ваги з максимальними службовими та експлуатаційними характеристиками, що, як правило, може забезпечити тільки обробка матеріалів тиском. З цієї причини для збереження України як розвинутої промислової країни в умовах війни необхідна підтримка та розвиток основи всього машинобудування: ковальсько-пресового машинобудування (КПМ), ковальсько-штампувального виробництва (КШВ) і обробки металів тиском (ОМТ) [1-4].

Постановка проблеми. Попри різноманіття наявного обладнання, у виробництві іноді виникає потреба у створенні нових типів обладнання для виготовлення певної групи деталей. Нове обладнання, що розробляється, має певні переваги у порівнянні з існуючим ковальсько-штампувальним обладнанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з [1-3] ковальсько-штампувальні машини за головними конструктивними ознаками або технологічним призначенням поділяються на 12 видів, які характеризуються номінальним зусиллям від 25 кН до 750 МН, ефективною енергією від 1 кДж до 5 МДж, діапазоном швидкостей від 1 мм/с до 100 м/с. Основними видами ковальсько-штампувального обладнання є кривошипні преси, гідравлічні преси, молоти та інше обладнання для гарячого штампування, ротаційні машини, гідроімпульсні установки та багато інших типів машин.

Сьогодні, в світі, також розвивається напрямок, що стосується розробки пресів для листового штампування, в яких в якості силових елементів машин для виконання простих операцій різки [5], вирубки, пробивки [6] та гнуття [7] заготовок з листових матеріалів, використані пневмоциліндри. У роботах [5-7] пневматичні преси використовуються для виконання спеціальних технологічних операцій, і їх конструкція не передбачає їх універсального застосування.

На ринку України пропонуються для виконання операцій обробки металів тиском (листоове штампування) кривошипні та гідравлічні преси (рис. 1-а) [8]. Конструкція цих пресів містить станину, яка сприймає навантаження, що виникають під час процесу формування заготовки. Пневмогідравлічні [9] та пневматичні преси [10] здебільшого використовуються в галузях харчової та легкої промисловості і як і гідравлічні мають станину.



Рис. 1. Преси:

а – гідравлічний [8]; б – пневмогідравлічний [9]; в – пневматичний [10]

Сучасні пневмоциліндри дозволяють розвивати зусилля до 5 тс. Такі зусилля дають можливість виконувати операції листового штампування з металами чи сплавами.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Війна в Україні показала, що успішність на полі бою залежить від наявності достатньої кількості боєприпасів та БПЛА для розвідки та виконання ударів по противнику. БПЛА містять складові елементи, що виготовляються з листових матеріалів, для отримання яких в масовій кількості потрібно створювати мережу підприємств, що мають бути оснащені ковальсько-штампувальними пресами. В умовах обмежених коштів потрібно шукати варіанти конструктивного виконання цих пресів, які дозволять спростити та здешевити їхню конструкцію. У цій роботі розглянута конструкція пресу для листового штампування з силовою установкою на основі пневмоциліндру. На сьогодні в Україні такі варіанти пресового обладнання є рідкістю.

Мета дослідження (статті):

1. Розгляд можливості використання штампувального обладнання нетипової конструкції для отримання деталей з листових заготовок.

2. Розробка конструкції та проектування спеціалізованого обладнання та оснащення для штампування деталей.

3. Аналіз переваг розробленої конструкції з традиційним ковальсько-штампувальним обладнанням.

Виклад основного матеріалу. Розробка пневматичного преса велась для отримання деталей з листової заготовки, модель якої показана на рис. 2. Ця деталь є типовою для машинобудування. Деталь є порівняно нескладною, і для її отримання достатньо виконати операції пробивання, вирубання та гнуття [4; 11-13].



Рис. 2. Готова деталь:
а – модель; б – реальні деталі

У процесі розробки технологічного процесу виникла необхідність розрахунку вихідної заготовки з листового матеріалу. На рис. 3 показаний ескіз заготовки з основними розмірами з урахуванням геометрії готової деталі після гнуття [4; 11-13].

Згідно розробленої технології виготовлення були проведені технологічні розрахунки, результатами яких є:

- 1) довжина заготовки – 51,4 мм;
- 2) сумарна довжина вирубання – 172,36 мм;

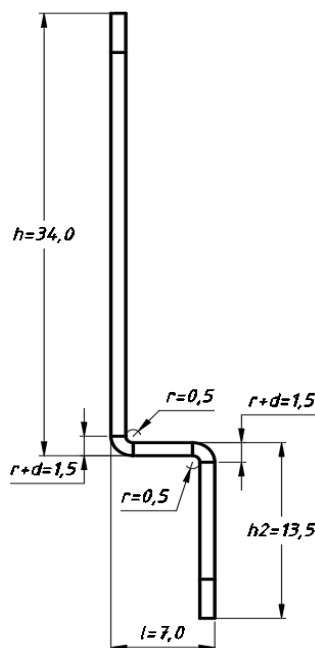


Рис. 3. Ескіз заготовки з основними розмірами

3) силові параметри: зусилля вирубання та пробивання 2,65 тс; сумарне зусилля гнуття – 0,6 тс; зусилля для проштовхування відходів штамповки – 0,32 тс; зусилля для зняття заготовки з пуансонів – 0,17 т.

Отже, необхідне зусилля для виготовлення (штампування) деталі становить 3,74 тс.

Згідно з розробленою конструкцією для виконання технологічних операцій листового штампування використовується енергія стисненого повітря. Це дозволяє отримати такі технічні, технологічні та економічні ефекти:

- значно спростити конструкцію ковальсько-штампувального обладнання, використовуючи стандартні вузли (пневмоциліндри);

- розроблена установка для листового штампування має невелику масу та габаритні розміри, що дає певний економічний ефект;

- установка легко вписується у гнучкі виробничі системи, оскільки має можливість легкого переміщення по території цеху;

- використання стисненого повітря як джерела механічної енергії виключає необхідність застосування дорогих та складних механічних, електричних та гідروприводів.

Отримане значення технологічного зусилля задовольняє умові ($3,57 < 5$ тс), за якою буде проводитись вибір джерела механічної енергії – пневмоциліндра.

Оскільки пневмоциліндри виготовляються стандартними, то з наявного ряду вибираємо циліндр, показаний на рис. 4, де вказані його габаритні характеристики. Зображення пневмоциліндра та його основні частини представлені на рис. 5.

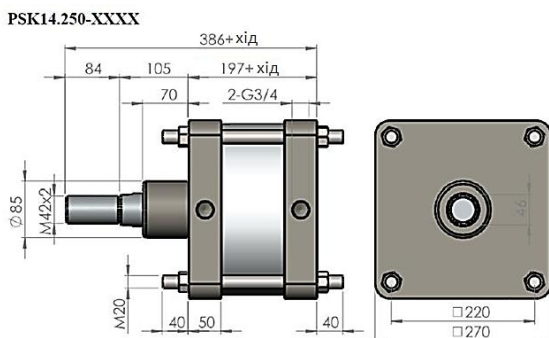


Рис. 4. Габаритні характеристики обраного пневмоциліндра



Рис. 5. Зовнішній вигляд пневмоциліндра

На рис. 6 зображена схема конструкції циліндра та показані основні його деталі. Основними частинами пневмоциліндра є корпус 23 трубчастої форми, який має задню 13 та передню 20 кришки, алюмінієвий поршень 20, який з'єднаний із штоком 21, що має кріпильну та регульовальну гайку 1. Використання в якості основної корпусної деталі труби значно спрощує конструкцію всього пневмоциліндра загалом та знижує його вартість. Корпус циліндра та кришки стягуються гвинтами 18. Між передньою кришкою 20 і штоком 21 розміщена направляюча втулка 4 та ущільнення 2 та 3, а також амортизуюче ущільнення 19. Між циліндром і поршнем містяться ущільнення 7, 8 та 22. Основні елементи регульованого демпфування показані на позиціях 9 та 10 (рис. 6).

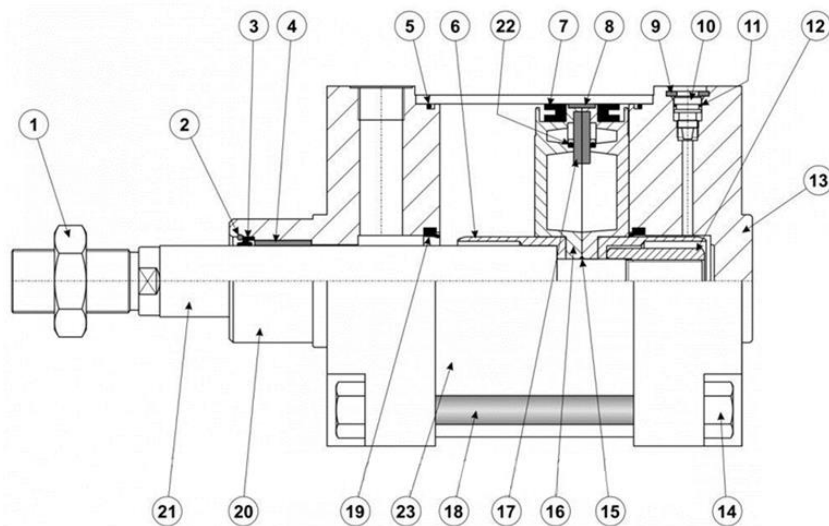


Рис. 6. Переріз пневмоциліндра:

- 1 – кріпильна гайка; 2 – ущільнення штока; 3 – ущільнювач; 4 – направляюча втулка;
- 5 – ущільнення кришки; 6 – алюмінієва втулка; 7 – направляюче ущільнення поршня (ліве);
- 8 – направляюче ущільнення поршня (праве); 9 – регульоване демпфування;
- 10 – регулюючий гвинт; 11 – ущільнення; 12 – гайка поршня; 13 – задня кришка;
- 14 – стягуючий гвинт; 15 – ущільнення поршня; 16 – алюмінієвий поршень; 17 – магніт;
- 18 – сталевий стрижень; 19 – амортизуюче ущільнення NBR або Viton; 20 – передня кришка; 21 – хромований шток; 22 – ущільнення поршня; 23 – алюмінієва гільза – труба

На рис. 7 представлена модель всієї установки для штампування в зборі. Основними частинами установки є циліндр, розташований зверху, та штамп, у якому отримується деталь (нижня частина). Тривимірна модель штамп окремо показана на рис. 8.

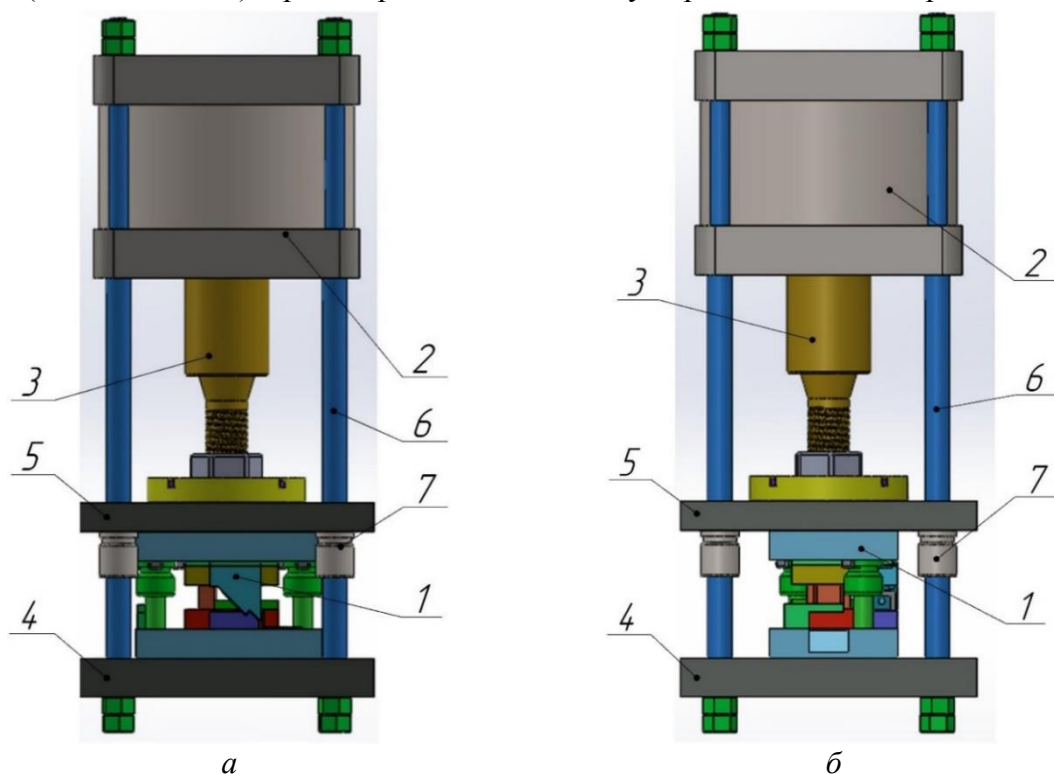


Рис. 7. Модель обладнання у складі пресу та штампу:
 а – головний вид; б – вид з боку; 1 – штамп; 2 – пневмоциліндр; 3 – плунжер; 4 – стіл;
 5 – рухома поперечина (повзун); 6 – колонка; 7 – втулка

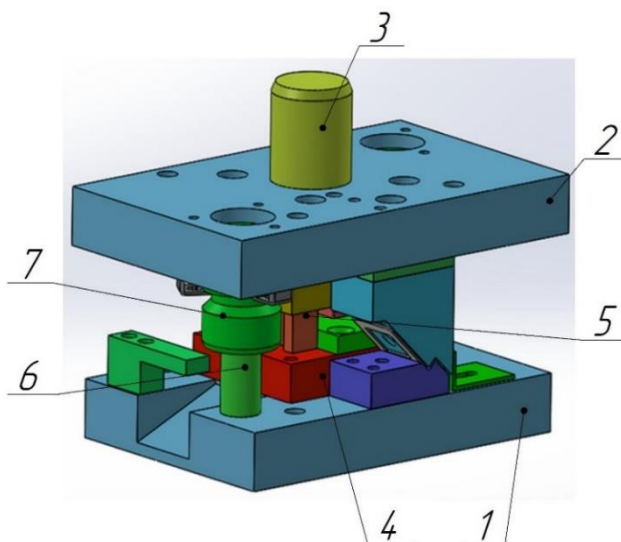
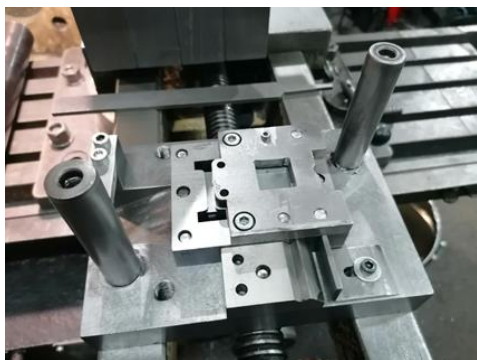


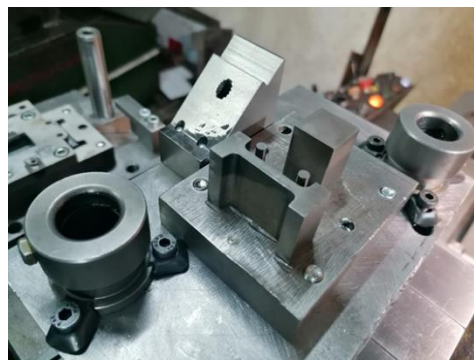
Рис. 8. Модель штампу:
 1 – нижня плита; 2 – верхня плита; 3 – хвостовик; 4 – блок матриць;
 5 – блок пуансонів; 6 – колонка; 7 – втулка

Після розробки та проектування штамп був направлений на виготовлення. За принципом дії штамп є штампом простої дії. Загальний вигляд штамп у розібраному вигляді, а також його основні частини (верхня та нижня), показані на рис 9. Конструктивно штамп

не має відмінностей від традиційних штампів простої дії для листового штампування. Його основними частинами є блок штаму, який складається з верхньої та нижньої плит та направляючих колонок і втулок, а також інструментів – пуансонів та матриць.



а



б

*Рис. 9. Зовнішній вигляд штаму:
а – нижня частина; б – верхня частина*

Загальний вигляд всієї установки в зборі, яка використовується у виробничих умовах, представлений на рис. 10. Як можна побачити на зображенні, розроблена установка є конструктивно простою, вирізняється невеликими габаритними розмірами і, як наслідок, масою.

Порівняно з традиційним ковальсько-штампувальним обладнанням установка може бути легко переміщена по площам виробничих цехів та не потребує громіздких фундаментів. Важливою її конструктивною перевагою є відсутність станини, порівняно із розглянутими в цій роботі пресами [6-10].



Рис. 10. Зовнішній вигляд пресу

Переваги розробленого обладнання над стандартним ковальсько-штампувальним обладнанням:

1. Відсутність потреби в дорогому ковальсько-штампувальному обладнанні.
2. Технічна простота розробленої конструкції з використанням стандартного вузла.
3. Невелика маса та габаритні розміри установки, відсутність обмежень місця розміщення установки в цеху, відсутність фундаменту.
4. Використання стисненого повітря як джерела механічної енергії, відсутність електродвигунів та електрообладнання, масивних станин та складних механічних громіздких приводів з обертовими деталями (маховиками), відсутність гідроприводів тощо.

5. Можливість створення конструктивно подібного ряду пресів на основі стандартних пневмоциліндрів.

Висновки.

1. Сформульовані пропозиції щодо використання штампувального обладнання нетипової конструкції для отримання деталей з листових заготовок.

2. Було розроблено конструкцію та спроектовано спеціалізоване обладнання (рис. 7) та оснащення (рис. 8) для штампування деталі з листової заготовки. Розроблене обладнання (прес) має конструктивні, технічні та економічні переваги перед традиційними видами ковальсько-штампувального обладнання.

3. Особливістю розробленого пресу є використання стандартного пневмоциліндра, який безпосередньо з'єднується із штампом, що значно спрощує конструкцію всієї установки, зменшується кількість деталей, відпадає необхідність у станині та інших деталях, які використовуються в пресах.

Список використаних джерел

1. Плєснецов, Ю. О. Ковальсько-штампувальне обладнання. Механічні преси : навч. посіб. / Ю. О. Плєснецов, В. О. Маковей – Харків : НТУ «ХП», 2014. – 236 с.

2. Гожій, С. П. Ковальсько-штампувальне обладнання. Гвинтові преси [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка", освітніми програмами: «Механіка пластичності матеріалів» та «Технологія виробництва літальних апаратів» / С. П. Гожій, С. Ф. Сабол, А. В. Кліско ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,65 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 38 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8e10d61e-d814-4415-a959-90ceb88fff63/content>.

3. Гожій, С. П. Ковальсько-штампувальне обладнання. Гідравлічні преси [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка", освітніми програмами: «Механіка пластичності матеріалів» та «Технологія виробництва літальних апаратів» / С. П. Гожій, С. Ф. Сабол, А. В. Кліско ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 25,36 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 155 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/items/99ce62cb-664f-4fd4-845d-fd33f2f14096>.

4. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.

5. Design and Development of Pneumatic Sheet Metal Cutting Machine / J. Om Prasaad, A. V. Krishnan, Parth Lokhande, Biradar Mustafa // International Conference on Advances in Mechanical Engineering-2022 (ICAME-2022) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1259/1/012020>.

6. Jäckel M. Effects of increased tool velocity on mechanical joining of steel and aluminum sheet metals / M. Jäckel, C. Kraus, T. Kropp // Conference on Assembly Technologies and Systems, 2014. – С. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.062>.

7. Joanna Cyganiuk. Pneumatic Press for Cold Bending of Metal Elements / Joanna Cyganiuk // Acta Mechanica Slovaca. – 2015. – № 19(2). – С. 36-41.

8. ТОВ АСПЕКТ 2000 - гідропневмообладнання та електромумфти до промислового обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://aspect.prom.ua/ua/p1089373343-gidravlicheskij-press-100tn.html>.

9. Hydromarket [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hydromarket.com.ua/ua/p716870161-pnevmaticheskij-press-p81720.html>.

10. SHVEJNIK [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://shvejnik.com.ua/ua/pres-dlya-metalofurnituri-s-qq03.html>.

11. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1980. – 432 с.

12. Аверкиев, Ю. А. Технология холодной штамповки : учебник для вузов / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – Москва : Машиностроение, 1989. – 304 с.

13. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 278 с.

References

1. Pliesnetsov, Y., Makovei, V. (2014). *Kovalsko-shtampuvalne obladnannia. Mekhanichni presy [Forging and stamping equipment. Mechanical presses]*. NTU «KhPI».
2. Hozhii, S., Sabol, S., Klisko, A. (2020). *Kovalsko-shtampuvalne obladnannia. Hvyntovi presy [Forging and stamping equipment. Screw presses]*. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.
3. Hozhii, S., Sabol, S., Klisko, A. (2020). *Kovalsko-shtampuvalne obladnannia. Hidravlichni presy [Forging and stamping equipment. Hydraulic presses]*. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.
4. Romanovskiy, V. (1979). *Spravochnik po kholodnoy shtampovke [Cold Forming Handbook]*. Sixth edition, revised and expanded. Mashinostroenie. Leningrad department.
5. Om Prasaad, J., Krishnan, A.B., Lokhande, P., Mustaffa, B. (2022). Design and Development of Pneumatic Sheet Metal Cutting Machine. *International Conference on Advances in Mechanical Engineering-2022 (ICAME-2022) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
6. Jäckel, M., Kraus, C., Kropp, T. (2014). Effects of increased tool velocity on mechanical joining of steel and aluminum sheet metals. *Conference on Assembly Technologies and Systems*.
7. Cyganiuk, J. (2015). Pneumatic Press for Cold Bending of Metal Elements, *Acta Mechanica Slovaca*, 19(2).
8. LLC ASPEKT 2000 - hydropneumatic equipment and electric couplings for industrial equipment. <https://aspect.prom.ua/ua/p1089373343-gidravlicheskiy-press-100tn.html>.
9. PNEUMATIC PRESS P81720 (20 TONS). <https://hydromarket.com.ua/ua/p716870161-pnevmaticheskij-press-p81720.html>.
10. SHVEJNIK. <https://shvejnik.com.ua/ua/pres-dlya-metalofurnituri-s-qq03.html>.
11. Zubtsov, M. (1980). *Listovaya shtampovka [Sheet stamping]*. Third edition, revised and expanded. Mashinostroenie.
12. Averkiev, Yu., Averkiev, A. (1989). *Tehnologiya holodnoy shtampovki [Cold forming technology]*. Mashinostroenie.
13. Popov, E. (1977). *Osnovni teorii listovoy shtampovki [Fundamentals of the sheet metal forming theory]*. Second edition, revised and expanded. Mashinostroenie.

Отримано 15.05.2024

UDC 621.979.06

**Yurii Borodii¹, Oleksandr Sadovskiy², Olha Kholiavik³,
Serhii Sabol⁴, Pavlo Protsenko⁵, Valerii Pimanov⁶**

¹ PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: borodiyuriy@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8050-0379>

²BK NVF LIMITED LIABILITY COMPANY (BK NVF LLC) (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sadovskiy.oleksandr@gmail.com

³ PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: o.holiavik@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6539-4467>

⁴ PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sabol1@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-8585-508X>

⁵ PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of machine design National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: pavloprocenko64@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9390-0718>

⁶ PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: pimanov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6609-6904>

DEVELOPMENT OF SPECIALIZED EQUIPMENT FOR MANUFACTURING PARTS BY THE SHEET STAMPING METHOD

The technologies of forging and stamping production are progressive, which ensures high quality, precision, productivity and improvement of the mechanical properties of parts, which is necessary for the aircraft and aerospace industries. Despite the variety of existing equipment, in production, there is sometimes a need to create new types of equipment for the production of a certain group of parts. The purpose of the work is to develop technical proposals for the use of stamping equipment and the equipment of an atypical design for obtaining parts from sheet blanks.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

In the article possible technologies for obtaining a part from a sheet blank was analyzed. The adopted part (figure 1) is relatively simple, and punching, cutting and bending operations are enough to obtain it. To obtain it, a manufacturing technology was developed, technological calculations were carried out, and the power parameters of the process were determined: blanking, piercing and bending forces.

Compressed air energy can be used to perform technological operations of sheet stamping if the condition for the process force of no more than 5 tf is satisfied. The developed equipment uses a standard pneumatic cylinder as a power unit.

The designed stamp is structurally similar to traditional single-action stamps for sheet stamping.

Based on the results of the work, a press with an effort of 5 tf and a stamp for the production of a sheet part were made. The developed equipment (press) has structural, technical and economic advantages over existing types of forging and stamping equipment. Technical proposals were formulated for the use of stamping equipment of atypical design to produce parts from sheet blanks.

Keywords: *press; stamp; blanking; piercing; bending; die; punch; clearance; workpiece; part.*

Fig.: 9. References: 13.