



УДК 621.986

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-2-4

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДБОРТУВАННЯ КРУГЛОГО ОТВОРУ У ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВКАХ

Островський Анатолій Йосипович, асистент  
Вінницький національний аграрний університет

Anatolii Ostrovskiy, Assistant  
Vinnytsia National Agrarian University

*Удосконалення існуючих технологічних процесів є важливим етапом розвитку усіх галузей. Як наслідок, дана стаття присвячена аналізу процесу відборткування круглих отворів у тонколистовому прокаті. Існуючий типовий технологічний процес, при детальному аналізі, дає підстави для обґрунтування ідеї новаторського рішення. Зміна послідовності традиційного способу відборткування забезпечить вищу продуктивність та економію матеріальних ресурсів.*

*Із численних перспективних способів обробки металів тиском, до яких відноситься і відборткування круглих отворів, для порівняння даються два: традиційний та удосконалений. Відпрацьована роками методика традиційного напрямку передбачає чітку послідовність технологічного процесу із застосуванням інструментів для розмітки, кернування, виготовлення отвору та застосування інструментарію для відборткування.*

*Завершальним, після попередніх операцій розмітки центрів отворів, кернування, виготовлення отворів, є етап відборткування. Конічний пуансон (зазвичай стрижень із металу) запобігає відхиленню отвору малого діаметра від ліній розмітки та забезпечує центрування системи пуансон-заготовка-матриця. Після вищеописаних дій традиційний технологічний процес передбачає встановлення заготовки над поверхнею отвору пуансону з метою спрямування інструмента у потрібному напрямку. Для виготовлення відборткованого отвору виконують спеціальну заточку робочої частини пуансону таким чином, щоб діаметр центральної частини інструмента дорівнював різниці діаметрів направляючого отвору матриці та внутрішнього діаметра заготовки деталі. Щоб уникнути в подальшому зміщення отвору заготовки її центрують встановивши на матрицю і вже наступною операцією передбачається опускання пуансону для відборткування отвору.*

*В наслідок чого у статті порушується тема, з урахуванням широкого застосування тонколистового прокату, в тому числі у сільськогосподарському секторі, доцільності застосування новаторської ідеї для покращення технологічного процесу пов'язаного з обробкою листового матеріалу, а саме тонких металевих листів. Доцільно зауважити, що для прикладу розглядається матеріал який характеризується своєю універсальністю, а саме сталь. Незважаючи на численні джерела, які присвячені дослідженню удосконалення технологічного процесу відборткування, існує низка питань, зокрема поширення даного напрямку на численні різновиди металевих матеріалів, які мають поверхні з покриттям і без нього, різні товщини в межах тонкостінного прокату. Найбільш значимий результат вдосконалений технологічний процес відборткування знайде застосування у системі ефективного обслуговування сільськогосподарської техніки.*

**Ключові слова:** відборткування, технологічний процес відборткування, листове штампування, формозмінювальна операція, оброблення металу тиском.

**Рис. 5. Літ. 8.**

---

### 1. Постановка проблеми

Плоскі і об'ємні деталі, виготовлені із тонколистового прокату низьковуглецевих сталей, шляхом листового штампування застосовуються для зовнішнього покриття ракет, літаків, автомобілів, кораблів, а також як деталі майже більшості галузей промисловості. Деталі, що відрізняються міцністю та жорсткістю, а на додаток мають також складну просторову будову застосовуються при ремонті та технічному обслуговуванні машин сільськогосподарського виробництва. Взаємозамінні високоточні деталі, легкі за масою, що не потребують подальшої механічної обробки та при низькій витраті матеріалу, набули широкого вжитку для машино-тракторного парку. У майстернях призначених для ремонту та відновлення сільськогосподарських машин, операції листового штампування є одними з



найпоширеніших формоутворюючих технологічних процесів. Серед операцій холодного листового штампування: розділювальної, формозмінювальної та штампо-складальної, що поділяються за характером деформації, для детального аналізу та дослідження обрано формоутворюючу операцію відбортування внутрішнього контуру круглого отвору. Відбортування тонких металевих листів із криці, пластичної легованої сталі, міді, алюмінію та титану, а також їхніх сплавів є специфічним технологічним процесом, який включає цілий ряд технічних прийомів. Зокрема застосуванням комплексу пуансонів (циліндричних стрижнів) та матриць із геометричними параметрами робочої частини, що відповідають матеріалу який обробляється. При практичному виконанні численних операцій утворення борта по внутрішньому контуру отвору листової заготовки суттєвою виявилась проблема послідовності виконання технологічного процесу. На думку автора проблема полягає у просторовому розміщенні заготовки та у першочерговості руху інструментів для відбортування у системі пуансон-матриця.

---

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження питань формозмінювальної операції у формі утворення борта по внутрішньому контуру отвору плоскої заготовки представлені в ряді джерел [1-7]. Зокрема аналізу інженерним методом процесу відбортування круглих отворів сферичним пуансоном у зпрофільованій заготовці присвячена стаття українського науковця О. В. Калюжного. Автор статті проводить теоретичний аналіз процесу відбортування круглих отворів та отримує аналітичні залежності щоб визначити зусилля утворення борта та розмірів профілю у заготовці. У наступній праці науковець досліджує вплив коефіцієнта відбортування на силові режими та якість виробів при відбортуванні круглих отворів у традиційній та зпрофільованій листовій заготовці [8, 9].

Забезпеченню якості виробів у процесах відбортування присвячена дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Пахолка С. А. У формі стандартних дисертаційних вимог вітчизняний науковець розробив методiku теоретичних і експериментальних досліджень застосовуючи інженерний метод аналізу. Український науковець відзначає широкі перспективи для сучасного машинобудування напрямку обробки металів тиском у формі листового штампування до якого відноситься відбортування.

Актуальні проблеми холодного листового штампування, що мають відношення до утворення борта по внутрішньому або зовнішньому контуру листової заготовки, викладені у роботі українських фахівців С. В. Швеця та Л. М. Сєдінкіна у праці під назвою «Штампи та прес-форми, конструювання та технологія виготовлення». Автори виділяють класифікацію основних операцій холодного листового штампування у таку послідовність: комбіновані операції-формозмінювальні операції-розтягування-відбортування контуру.

---

## 3. Мета дослідження

У статті порівнюються технологічні процеси відбортування круглих наскрізних отворів у тонколистовому прокаті із використанням контактної пари пуансон-матриця. Традиційний, відпрацьований десятиліттями, та запропонований автором прогресивніший технологічний процес, що дає змогу скоротити час операції відбортування. Суть інновації полягає у тому, що із зміною послідовності технологічного процесу відбортування скорочується час виконання операції, а також продуктивнішими стають рухи працівників. Отже метою даної статті є показати як можна, змінивши послідовність виконання традиційного технологічного процесу, отримати прогресивніший технологічний процес виготовлення отворів із застосуванням відбортування у тонколистовому прокаті. Зваживши на те, що процеси утворення борта по внутрішньому контуру отвору є поширеними у механічній обробці матеріалів, можна зробити висновок, що дане новаторське рішення буде ефективно використовуватись в умовах сучасного виробництва.

---

## 4. Виклад основного матеріалу

Розробка новітніх і модернізація існуючих технологій виготовлення деталей, які забезпечать у майбутньому відповідну продуктивність та мінімізують матеріальні затрати є однією з першочергових завдань для сучасної машинобудівної галузі. Перспективним напрямком, який забезпечить високу якість продукції з мінімальними енергетичними та трудовими ресурсами є процес холодного листового штампування. Обробка металів тиском, що включає широке розгалуження різноманітних виробничих

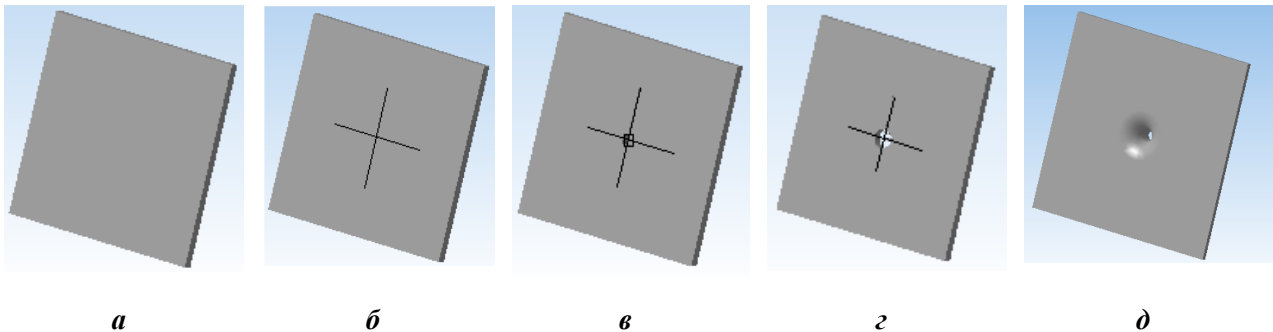
операцій, дозволяє отримувати точність деталей необхідну для компонування з іншими виробами, що мають високі експлуатаційні та механічні характеристики.

До комбінованих формозмінювальних операцій розтягування відноситься процес відбортування контуру у тонколистовому прокаті. Результатом такого холодного пластичного деформування вихідної форми заготовки є утворення борта (горловини) (рис. 1, а, б) для подальшого спряження з іншими виробами за допомогою нарізного роз'ємного з'єднання або одним із методів зварювання (нероз'ємного з'єднання) чи радіальним деформуванням контуру отвору (розвальцюванням).



**Рис. 1. Візуалізація результату відбортування:**  
**а – лицева сторона; б – зворотна сторона**

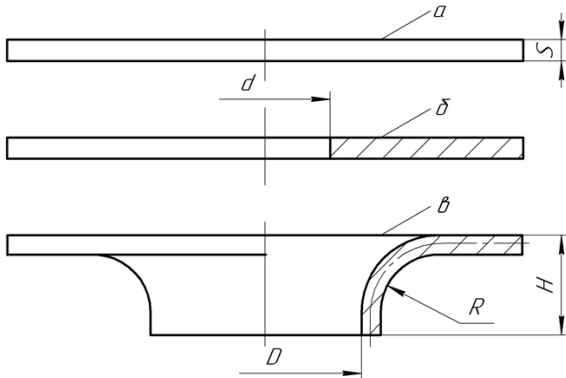
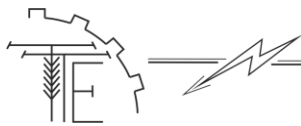
Утворення борта по внутрішньому контуру круглого отвору (відбортування) у тонких металевих листах є дуже специфічною і разом з тим поширеною операцією в різних галузях промисловості. За умови досягнення кращої ефективності процесу, а в кінцевому рахунку отримання високоякісної продукції, актуальною проблемою є розробка теоретичних питань відбортування і новаторських методів виготовлення відбортованих круглих отворів. Наочно процес формозміни тонкого металевого листа представлено на рис. 2, а, б, в, г, д.



**Рис. 2. Кроки формоутворення горловини:**  
**а – заготовка; б – розмітка; в – кернування; г – свердління; д – відбортування**

Обробка різних видів матеріалів, під час виготовлення виробів, вимагає застосування відповідних інструментів. У процесі відбортування попередньо виготовлених у заготовці отворів використовують комплекти пуансонів і матриць. У цехах інструментального виробництва пуансони виготовляють, як правило у формі металевого стрижня. Пуансони виготовляють із міцної високоякісної криці, а робоча частина може бути різної геометричної форми. Оскільки штампи складаються із двох частин: пуансону і матриці, пуансоністи (спеціалісти із виготовлення пуансонів) ведуть обробку контактної пари пуансон-матриця, як правило, одночасно. Робоча частина пуансону для круглого отвору, що безпосередньо контактує із заготовкою (тисне на матеріал, що обробляють), може бути сферичної, циліндричної та конічної форми. Метою даного дослідження, після численних експериментів на практиці, обрано пуансон із геометрією робочої частини конічної форми. У процесі утворення борта пуансон входить в отвір заглиблення другої частини штампа-матриці. Таким чином передається тиск на заготовку із круглим отвором, що досліджується у даній роботі.

Доречно зауважити, що для невеликих майстерень підприємств різного призначення і напрямку, контактна пара пуансон-матриця може використовуватись також окремо без застосування пресового устаткування. Кресленик спрощеного маршруту проходження заготовки від плоского металевого листа до готового просторового виробу зображено на рис. 3, а, б, в.

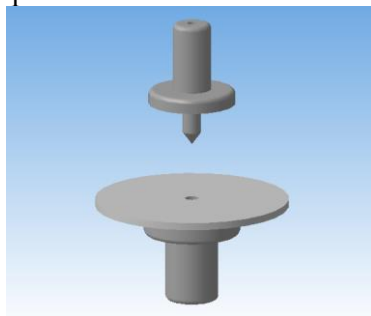


**Рис. 3. Схема утворення борта:**  
**а** – заготовка; **б** – отвір; **в** – борт

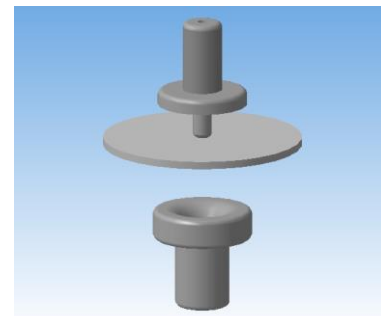
У традиційному процесі відборткування круглого отвору заготовка спряжена (дотикається) верхньої частини матриці, тобто розміщена унизу над поверхню пуансону. Положення заготовки спричиняє значні труднощі центрування отвору заготовки та заглиблення матриці. Враховуючи положення виконавця операції, що розташований, по відношенню до осі системи пуансон-заготовка-матриця збоку стає очевидним, що при такому розташуванні розмістити центр отвору вздовж вертикальної осі є складним завданням. Виникає необхідність змінити положення розташування робітника

для забезпечення візуалізації процесу. Намагання змінити кут зору, спроекціювавши його вертикально, небезпечно при роботі із пресами. Не вирішується завдання співвісності і при виконанні операції із іншими видами подібного устаткування. Вирішення проблеми полягає у застосуванні додаткових пристроїв для точної фіксації заготовки, що потребує додаткових витрат на матеріали, розробку і виготовлення пристосування (наприклад універсально-збірних), та щоразу перерахунку координат центра отвору по відношенню до краю листової заготовки.

Багатий досвід виконання цієї операції на підприємстві, без застосування преса, спонукав до пошуку нових ідей для виконання процесу відборткування у більш зручний і продуктивніший спосіб та із меншими затратами.



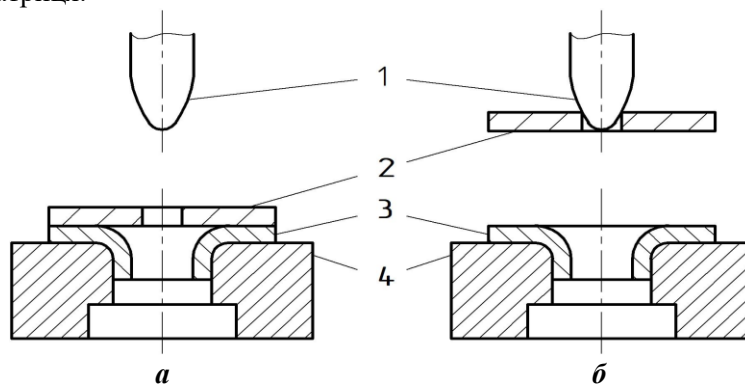
**а**



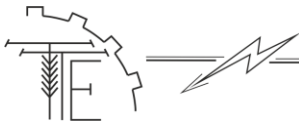
**б**

**Рис. 4. Послідовність відборткування круглого отвору:**  
**а** – традиційна; **б** – запропонована

Вивчивши і проаналізувавши попередній досвід особистої участі у виконанні процесу відборткування вважаю за доцільне запропонувати нову схему утворення борта круглого отвору із застосування відповідного механізму. Пропонується застосовувати іншу послідовність виконання процесу відборткування, де взаємодія інструмента (пуансону) і оброблюваного матеріалу (заготовки) відбувається у верхньому положенні. Попередньо виконується контакт заготовки і пуансону і вже потім підводиться матриця.



**Рис. 5. Схеми вихідних положень заготовки:**  
**а** – традиційна; **б** – запропонована



Умови використання традиційної методики утворення борта по внутрішньому контуру заготовки досліджувались у виробничих умовах з використанням спеціально виготовленого оснащення.

## 5. Висновки

На основі проведених експериментальних досліджень процесу відборткування круглого отвору у тонких металевих листах було встановлено, що запропонована нова схема послідовності утворення борта круглого отвору призводить до виключення всіх непродуктивних рухів, що витрачались на візуальний контроль центрування заготовки (у горизонтальній площині) для суміщення центра отвору заготовки і порожнини матриці із наступним кроком розташуванням всієї системи: вісь пуансону, отвору і матриці по вертикальній лінії. Розроблена нова схема відборткування отворів кінцевим пуансоном зменшує зусилля виконання процесу, так як виключає горизонтальне зайве переміщення по традиційній схемі (пуансон центрує заготовку), виключаючи сили тертя, які збільшуються пропорційно із тиском пуансону при рухові у зону відборткування. На відміну від традиційної схеми у запропонованій послідовності виконання стінка горловини не зазнає потоншення (різностінність борта) і має плоский торець, що поліпшує експлуатаційні характеристики виробу. При виконанні простого традиційного процесу, що передбачає утворення борта за одну операцію, відборткування часто відбувається під деяким кутом до вертикальної осі, що призводило до порушення допусків перпендикулярності осі отвору і площини заготовки. Запропонована схема забезпечує видалення подібних дефектів.

Порівняння приведених результатів процесів, традиційного і запропонованого, холодного деформування плоских заготовок з метою утворення борта по внутрішньому краю отвору обґрунтовано доводить перспективність нової схеми. Отже для підвищення якості виробів виготовлених шляхом формоутворюючих операцій і продуктивності процесу відборткування, яку можна рекомендувати для практичного застосування.

## Список використаних джерел

1. Пахолко С. А. Забезпечення якості виробів в процесах відборткування : дис. Пахолко С. А., канд. техн. наук : 01.02.04. Запоріжжя, 2002. 150 с.
2. Tadeusz Balawender, Romana Ewa Śliwa, Joanna Kosidło. Plastyczne kształtowanie obrzeży otworów kołnierзовych w blachach tytanowych z wykorzystaniem termicznego efektu tarcia. URL: <file:///C:/Users/anato/Downloads/7-Tekst%20artyku%C5%82u-6-1-10-20180131.pdf> (дата звернення: 30.05.2021).
3. Калюжный В. Л., Калюжный А. В., Пахолко С. А. Исследование процесса отбортовки круглых отверстий профилированной листовой заготовки. URL: <file:///C:/Users/anato/Downloads/MGRP201459.pdf> (дата звернення: 29.05.2021).
4. Калюжный О. В. Вплив коефіцієнта відборткування на силові режими і якість виробів при відбортванні круглих отворів в традиційній та в зпрофільованій листовій заготовці. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/10153/1/vestnikHPI201246KaliuzhnyiVplyvkoefitsienta.pdf> (дата звернення: 28.05.2021).
5. Калюжный О. В., Пахолко А. С. Силовые режими та формозміна металу при відбортванні отворів у попередньо зпрофільованій заготовці в матриці з різним радіусом заокруглення. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8937/1/THSHlabrab2019.pdf> (дата звернення: 31.05.2021).
6. Шаламов П. В. Геометрия и прочность отверстий под резьбу, образованных вращающимся пуансоном, в тонколистовых заготовках. URL: <https://docplayer.ru/70081458-Udk-geometriya-i-prochnost-otverstiy-pod-rezbu-obrazovannyh-vrashchayushchimsya-puansonom-v-tonkolistovyh-zagoto-vkah.html> (дата звернення: 31.05.2021).
7. Спосіб відборткування отворів: пат. UA 69344 U Україна. № 69344 заявл. 18.10.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.
8. Островський А. Й. Удосконалення технологічного процесу свердління тонколистового прокату. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 4 (111). С. 48–54.
9. Островський А. Й. Модернізація шаблону для розмічання листових заготовок виробів найпоширеніших просторових форм. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 1 (112). С. 53–59.





## References

- [1] Pakholko S. A. (2002). Zabezpechennya yakosti vyrobiv v protsesakh vidbortuvannya : dys. Pakholko S. A., kand. tekhn. nauk : 01.02.04. Zaporizhzhya, 150 [in Ukrainian].
- [2] Tadeush Balavender, Romana Eva Shliva, Yoanna Kosidlo. Plastychne formuvannya krayiv flantsevykh otvoriv u tytanovykh lystakh z vykorystannyam efektu termichnoho tertya. URL: <file:///C:/Users/anato/Downloads/7-Tekst%20artyku%C5%82u-6-1-10-20180131.pdf> (data zvernennya: 30.05.2021). [in Poland].
- [3] Kalyuzhnyy V. L., Kalyuzhnyy A. V., Pakholko S. A. Issledovaniye protsessa otbortovki kruglykh otverstiy profilirovannoy listovoy zagotovki. URL: [file:///C:/Users/anato/Downloads/MGRP\\_201459.pdf](file:///C:/Users/anato/Downloads/MGRP_201459.pdf) (data zvernennya: 29.05.2021). [in Russian].
- [4] Kalyuzhnyy O. V., Vplyv koefitsiyenta vidbortuvannya na sylovi rezhymy i yakist' vyrobiv pry vidbortuvanni kruglykh otvoriv v tradytsiyniy ta v zprofil'ovaniy lystoviy zahotovtsi . URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/10153/1/vestnikHPI201246KaliuzhnyiVplyvkoefitsienta.pdf> (data zvernennya: 28.05.2021). [in Ukrainian].
- [5] Kalyuzhnyy O. V., Pakholko A. S. Sylovi rezhymy ta formozmina metalu pry vidbortuvanni otvoriv u poperedn'o zprofil'ovaniy zahotovtsi v matrytsi z riznym radiusom zaokruhlennya. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8937/1/THSHlabrab2019.pdf> (data zvernennya: 31.05.2021). [in Ukrainian].
- [6] Shalamov P. V. Geometriya i prochnost' otverstiy pod rez'bu, obrazovannykh vrashchayushchimsya puansonom, v tonkolistovykh zagotovkakh. URL: <https://docplayer.ru/70081458-Udk-geometriya-i-prochnost-otverstiy-pod-rezbu-obrazovannykh-vrashchayushchimsya-puansonom-v-tonkolistovykh-zagotovkah.html> (data zvernennya: 31.05.2021). [in Russian].
- [7] Sposib vidbortuvannya otvoriv: pat. UA 69344 U Ukrainy. № 69344 zayavl. 18.10.2011; opubl. 25.04.2012, Byul. № 8. [in Ukrainian].
- [8] Ostrovsky A. Y. (2020). Udoshkonalennia tekhnolohichnoho protsesu sverdlinnia tonkolystovoho prokatu. *Tekhnika Enerhetyka Transport APK*, 4(111). 48–54. [in Ukrainian].
- [9] Ostrovsky A. Y. (2021). Modernizatsiia Shablonu Dlia Rozmichannia Lystovykh Zahotovok Vyrobit Naiposhyrenishykh Prostorovykh Form. *Tekhnika Enerhetyka Transport APK*, 1(112). 53–59. [in Ukrainian].

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ КРУГЛОГО ОТВЕРСТИЯ В ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКЕ**

*Совершенствование существующих технологических процессов является важным этапом развития всех отраслей. Как следствие, данная статья посвящена анализу процесса отбортовки круглых отверстий в тонколистовом прокате. Существующий типовой технологический процесс, при детальном анализе, дает основания для обоснования идеи новаторского решения. Изменение последовательности традиционного способа отбортовки обеспечит высокую производительность и экономию материальных ресурсов.*

*Из многочисленных перспективных способов обработки металлов давлением, к которым относится и отбортовка круглых отверстий, для сравнения даются два: традиционный и усовершенствованный. Отработанная годами методика традиционного направления предусматривает четкую последовательность технологического процесса с применением инструментов для разметки, кернования, изготовления отверстия и применения инструментария для отбортовки.*

*Завершающим, после предыдущих операций разметки центров отверстий, кернования, изготовления отверстий, является этап отбортовки. Конический пуансон (обычно стержень из металла) предотвращает отклонение отверстия малого диаметра от линий разметки и обеспечивает центрирование системы пуансон-заготовка-матрица. После вышеописанных действий традиционный технологический процесс предусматривает установление заготовки над поверхностью отверстия пуансона с целью направления инструмента в нужном направлении. Для изготовления отбортованного отверстия выполняют специальную заточку рабочей части пуансона таким образом, чтобы диаметр центральной части инструмента был равен разности диаметров направляющего отверстия матрицы и внутреннего диаметра заготовки детали. Чтобы избежать в дальнейшем смещения отверстия заготовки ее центрируют установив на матрицу и уже следующей операцией предполагается опускание пуансона для отбортовки отверстия.*

*В результате чего в статье затрагивается тема, с учетом широкого применения тонколистового проката, в том числе в сельскохозяйственном секторе, целесообразности применения новаторской идеи для улучшения технологического процесса связанного с обработкой*



листового материала, а именно тонких металлических листов. Целесообразно заметить, что для примера рассматривается материал, который характеризуется своей универсальностью, а именно сталь. Несмотря на многочисленные источники, посвященные исследованию совершенствования технологического процесса отбортовки, существует ряд вопросов, в частности распространение данного направления на многочисленные разновидности металлических материалов, которые имеют поверхности с покрытием и без него, различные толщины в пределах тонкостенного проката. Наиболее значимый результат усовершенствованный технологический процесс отбортовки найдет применение в системе эффективного обслуживания сельскохозяйственной техники.

**Ключевые слова:** отбортовка, технологический процесс отбортовки, листовая штамповка, формоизменяющая операция, обработка металлов давлением.

**Рис. 5. Лист. 8.**

### IMPROVING OF ROUND HOLE CUTTING PROCESS IN THE SHEET METAL

Improving existing technological processes is an important stage in the development of all industries. As a consequence, this article is devoted to the analysis of the process of flanging round holes in sheet steel. The existing typical technological process, with a detailed analysis, gives grounds for substantiating the idea of an innovative solution. Changing the sequence of the traditional flanging method will ensure high productivity and material savings.

Of the many promising methods of metal forming by pressure, which include flanging of round holes, two are given for comparison: the traditional one and the improved one. The methodology of the traditional direction, worked out over the years, provides for a clear sequence of the technological process using tools for marking, centering, making a hole and using tools for flanging.

The final, after the previous operations of marking the centers of the holes, punching, making holes, is the flanging stage. The tapered punch (usually a metal rod) prevents the small-diameter hole from deviating from the marking lines and ensures the centering of the punch-blank-matrix system. Following the above steps, the conventional workflow involves positioning the workpiece over the surface of the punch hole to guide the tool in the desired direction. For the manufacture of a flanged hole, a special sharpening of the working part of the punch is performed so that the diameter of the central part of the tool is equal to the difference between the diameters of the guide hole of the matrix and the inner diameter of the workpiece of the part. To avoid further displacement of the hole, the workpiece is centered by placing it on the die and the next operation is supposed to lower the punch to flange the hole.

As a result, the article touches on the topic, taking into account the widespread use of thin sheet metal, including in the agricultural sector, the feasibility of using an innovative idea to improve the technological process associated with the processing of sheet material, namely thin metal sheets. It is advisable to note that, for example, a material is considered that is characterized by its versatility, namely steel. Despite numerous sources devoted to the study of improving the flanging technological process, there are a number of issues, in particular, the extension of this direction to numerous varieties of metal materials that have surfaces with and without coating, various thicknesses within thin-walled rolled products. The most significant result is the improved technological process of flanging will find application in the system of efficient servicing of agricultural machinery.

**Key words:** flanging, flanging technological process, sheet stamping, forming operation, metal forming.

**Fig. 5. Ref. 8.**

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Островський Анатолій Йосипович** – асистент кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: [anatol.u.ostrowski@gmail.com](mailto:anatol.u.ostrowski@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5700-3593>).

**Островский Анатолий Иосифович** – ассистент кафедры «Машин и оборудования сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, м. Винница, 21008, Украина, email: [anatol.u.ostrowski@gmail.com](mailto:anatol.u.ostrowski@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5700-3593>).

**Anatoliy Ostrovsky** – Assistant of the Department "Machinery and Equipment for Agricultural Production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: [anatol.u.ostrowski@gmail.com](mailto:anatol.u.ostrowski@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5700-3593>).