

УДК 669.24

DOI:10.26661/2071-3789-2019-2-42-13

Тарасов В'ячеслав Кирилович ⁽¹⁾, член-кореспондент АТНУ, кандидат технічних наук
Потапенков Олександр Петрович ⁽²⁾, професор, доктор технічних наук
Румянцев Володислав Ростиславович ⁽³⁾, доцент, кандидат технічних наук
Куріс Юрій Володимирович ⁽⁴⁾, провідний науковий співробітник, доктор технічних наук
Мосейко Юрій Вікторович ⁽³⁾, доцент, кандидат педагогічних наук

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОДНООПЕРАЦІЙНОГО РІЗАННЯ ЛИСТІВ КАТОДНОГО НІКЕЛЮ

⁽¹⁾ *Академія технічних наук України, Івано-Франківськ*
⁽²⁾ *Норільський державний технічний університет, Російська Федерація*
⁽³⁾ *Інженерний інститут Запорізького національного університету*
⁽⁴⁾ *Інститут технічної теплофізики НАНУ*

Здійснено критичного аналізу діючих технологій і пристроїв різання листового металу на прямокутні пластини заданого розміру. Запропоновано технологію одноопераційного різання листів. Виконано теоретичні дослідження та розроблено спеціальні пристрої для барабанних ножиць, що дозволить впровадити нову технологію.

Ключові слова: технології різання, листи, аналіз, катодний нікель, дослідження, модернізація

Вступ. Споживачі використовують кольорові метали у вигляді штаби, листів і найчастіше маломірних прямокутних пластин. Застосовують різні технології і пристрої різання листового металу малих розмірів. Діючі двоопераційні технології та потокові лінії містять операції розкороювання листів на штаби з подальшим різанням на прямокутні пластини малих розмірів [1]. На прикладі аналогічної лінії для пластин катодного нікелю виявлено низку суттєвих недоліків: наявність значної кількості пристроїв і допоміжного обладнання, що ускладнюють стабільність роботи агрегатів. Головною проблемою в даній технології є викривлення штаб нікелю після першої операції розрізання листів, що потребує їх додаткового вирівнювання перед подальшим виготовленням маломірних пластин потрібних розмірів. Як наслідок, підвищуються витрати та собівартість продукції та знижується ефективність технологічного процесу.

Аналіз досягнень. Для різання маломірних пластин використовують різні технології, лінії, агрегати та пристрої. Для різання пластин зі сталі застосовують ножиці у вигляді гільйотин, що потребує подальшого опрацювання крайок пластини. проте одночасно не виключено згин пластин під час різання кольорових металів, які мають більш низьку жорсткість і міцність [2].

Відома плазмова-дугова технологія різання пластин [3,4] дозволяє обробку струмопровідних металів і діелектриків будь-якої твердості струменем розпеченого газу (плазми) за значної температури. Після проходження струменя плазми одер-

жують дуже тонкий, рівний і гладкий розріз, що не потребує додаткової обробки крайок. Прилегла до розрізу зона металу не перегрівається та структура її не порушується. В той же час на занадто тонких і товстих листах погіршується загальна прямота зрізання. Причому плазменне обладнання є набагато коштовним через складні системи охолодження та подавання газу, наявності значної кількості сполучних шлангів і кабелів. Використання такої технології є доцільним для виробників значної кількості такої продукції.

Технологія лазерного різання [3,4] не поступається за точністю обробки плазмовій: за рахунок дуже вузького різку та відсутності окалини забезпечується висока точність готових пластин. Лазерне різання найчастіше застосовують під час виготовлення складних за контуром деталей з кольорових металів, сплавів і сталей товщиною 12-20 мм. Проте така технологія потребує додаткового підігрівання, ретельного витримання заданої характеристики матеріалу, чистоти газу, стану сопла пальників та якості променя. До недоліків також слід віднести наявність ребристої поверхні зони розрізу, що не завжди задовольняє вимогам замовника; підвищену складність налаштування параметрів, відносно низьку швидкість різання та більш високу вартість продукції. Різноманітне та складне обладнання з елементами автоматики потребує спеціальної підготовки персоналу.

Гідроабразивне різання здійснюють за допомогою суміші води й абразиву (піску), яку під тиском подають через вузьке сопло. Така технологія, завдяки своїм унікальним властивостям та універсальності, знаходить своє застосування у

різних галузях промисловості під час виробництва унікальних одиничних виробів, проте є потрібним складне обладнання: спеціальні насоси високого тиску, фільтри для ретельного очищення абразиву для виключення забивання сопла, а викиди продуктів різання потребують обробки за нормативними вимогами екології.

Постановка завдання. Аналіз недоліків відомих технологій та причин недоцільності їх використання для різання листів кольорових металів на маломірні пластини. Обґрунтування необхідності заміни двоопераційної технології на одноопераційну з використанням удосконаленого агрегату.

Головна частина досліджень. На основі виконаного аналізу відомих технологій різання віддано перевагу удосконаленню діючої лінії різання катодного нікелю. Головним недоліком лінії є наявність двох операцій, які виконують послідовно. Спочатку здійснюють розкрій листів на штаби необхідної ширини, а потім різання на маломірні пластини, при цьому використовують значну кількість технологічного та допоміжного обладнання, що не виключає періодичного викривлення штаб після першого етапу.

Для підвищення якості готової продукції розроблено технологію та пристрій для одноопераційного різання [5,6]. Такий різальний пристрій (рис. 1) складається з механізму різання 1, двостороннього приводу 2, завантажувального пристрою 3, що змонтовано на рамі 4, яку кріплять до фундаменту 5. Механізм різання (рис. 2) виконано як окремий вузол, базою для складання якого служать два корпуси 1 підшипників, з'єднані штангою 2. Робочими елементами механізму є ріжучий барабан 3, ніж 4, у вигляді гребінки та притискні пристрої 5, що складаються з двох важільних секцій з пружинами і двох кулачкових дисків. Завантажувальний пристрій 3 вміщує поворотний стіл і два пневматичних циліндра. Лист металу укладають на поворотний стіл за його горизонтальним положенням. За включенням циліндрів стіл повертається на кут 35° і штаба металу за дії сили тяжіння переміщується до механізму різання, де верхня площина ножа є продовженням площини столу.

Ніж являє собою зварну двотаврову балку, на верхній полиці якої виконані прямокутні пази та виступи. Над ножами на пружинах встановлено притискну гребінку, що входить до складу притискних пристроїв. При цьому робоча площа ножа нахилена до горизонтальної площини під кутом 35° , що забезпечує подавання штаби в зону різання. До складу кожної притискної

секції входить важіль, який спирається на вертикальну стійку, закріплену на корпусі підшипника механізму різання та на кулачковий диск, що встановлено на валу різального барабана. На консольну частину важеля підвішено складову тягу, яка проходить в отвори ножів і замикається пластинами з тарілчастими пружинами. Під час обертання кулачкового диска відбувається періодичний поворот важеля, що забезпечує підйом та опускання притискної гребінки. Робочий диск має чотири виступи висотою 50 мм, на яких закріплено ножі, що виконані як прямокутні пластини з центруючими бічними виступами. Взаємна кутова орієнтація виступів і пазів є різною для кожного диска. За установки дисків на вал виступи розташовуються за гвинтовою лінією з кутом зміщення.

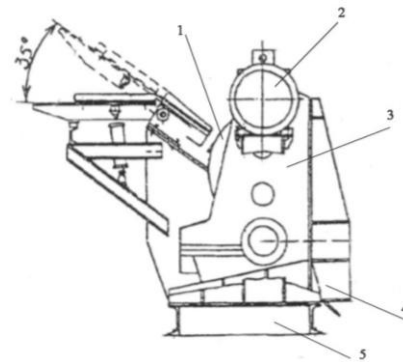


Рисунок 1 – Загальний вигляд одноопераційного ріжучого пристрою

Привід агрегату, що складається з двох асинхронних електродвигунів ($N = 55$ кВт, $n = 1480$ хв.⁻¹), двох вертикальних редукторів ($i_p = 90$) і двох відкритих зубчастих передач ($z_1 = 14$, $z_2 = 46$, $m = 16$), забезпечує повільне безперервне обертання ріжучого барабана з частотою 5 хв.⁻¹, при цьому притискна гребінка з уловлювачем здійснює періодичні рухи відповідно профілю кулачкових дисків. Під час входу чергової групи виступів робочих дисків до зони різання притискна гребінка утримує лист катодного нікелю. Після проходження зони западин на робочих дисках зони різання, притискна гребінка звільнює штабу та вона переміщується похилою площиною на величину подавання (до 50 мм), що здійснюють до повної порізки штаби. Потім чергового листа катодного нікелю укладають на поворотний стіл, ріжуть на штаби та виробничий цикл повторюють. Готові маломірні пластини заданих розмірів направляючим листом під ріжучим барабаном, передають на контроль та упакування.

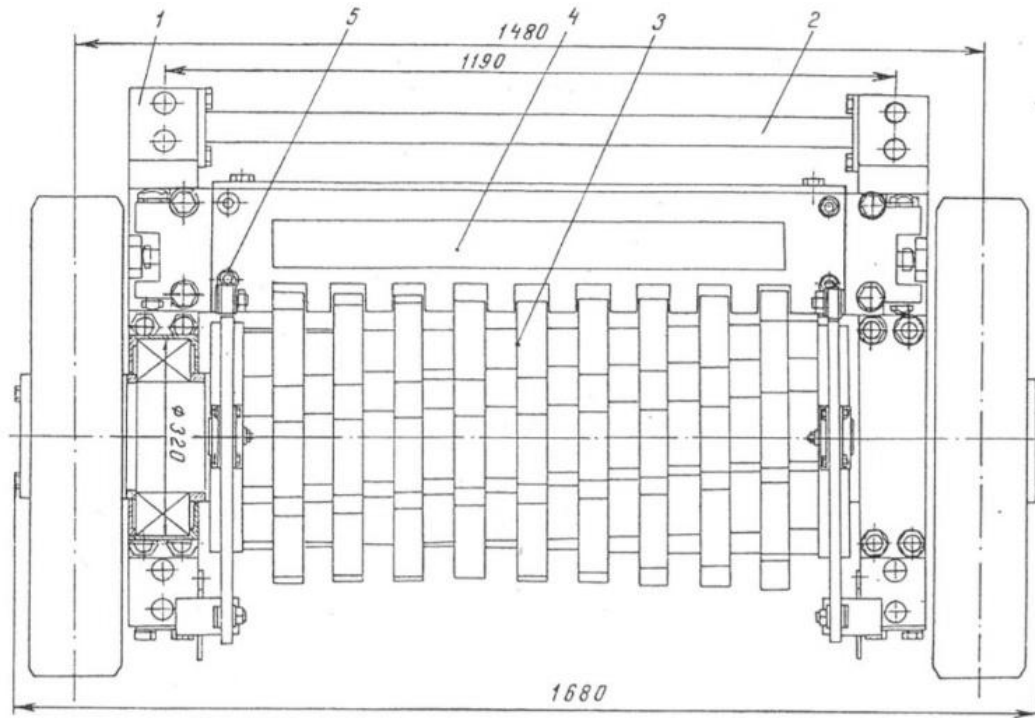


Рисунок 2 – Пристрій механізму різання

Технологію одноопераційного різання перевіряли на лабораторному стенді, що дозволяє здійснювати різання листів катодного нікелю товщиною до 1,5 мм на пластини розмірами 25 x 25 мм. Результати досліджень стали основою для розробки та виготовлення дослідно-промислового різального пристрою, що забезпечує одержання пластин катодного нікелю розміром 50x50 мм з листа товщиною до 10,0 мм.

Розрахунок силових параметрів процесу різання листа виконують тільки для одного ножа ріжучого барабана. Для підвищення якості різання слід визначити зусилля різання. Тому використовували відому формулу для ножиць з паралельними ножами [7,8]:

$$P = K \cdot b \cdot h \cdot \sigma_B \cdot (1 - \varepsilon_B), \quad (1)$$

де P – зусилля різання; K – коефіцієнт, що враховує затуплення ножів, наявність між ними зазорів, а також співвідношення руйнуючих нормальних і дотичних напружень у листі; b – ширина зони різання; h – товщина листа; σ_B – межа міцності нікелю, $\sigma_B = 550$ МПа; ε_B – коефіцієнт вм'ятин.

Під час різання пластин розмірами 50 x 50 мм значення $b = 0,15$ м, а максимальне зусилля різання становить $P = 700$ кН.

На значення зусиль впливає такий параметр робочих дисків, як просторова орієнтація виступів ножів [9]. Кутове зміщення виступів суміжних дисків $\Delta\phi$ встановлюють за умовою, що по-

чаток подальшого різання відбувається із досягненням максимального зусилля різання попереднім зубом

$$\Delta\phi = \frac{\varepsilon_B \cdot h_{\max}}{R_d}, \quad (2)$$

де h_{\max} – максимальна товщина листів, що розрізають; R_d – радіус дисків (за виступами) меншого розміру.

Значення кутової зони ϕ_b групи виступів на барабані визначають як

$$\phi_b = \phi_H + \Delta\phi \cdot (z - 1), \quad (3)$$

де ϕ_H – кутова зона одного виступу на диску (визначають виходячи з міцності виступу); Z – число дисків, що визначають експериментально.

За $\phi_H = 47^\circ$ та $z = 19$ встановлено, що ϕ_b складає 62° .

Відповідно кутову зону западин (зону подавання) на барабані ϕ_n обчислюють за формулою

$$\phi_n = \frac{360 - \phi_B \cdot z_H}{z_H}, \quad (4)$$

де z_H – число виступів (ножів) на диску/

За $z_H = 4$ мають $\phi_n = 28^\circ$.

Для забезпечення надійного утримання листа катодного нікелю в період різання переходи від западин до виступів виконують у кутовій зоні виступів β , що дорівнює:

$$\beta = \phi_n - 2\alpha, \quad (5)$$

де α – кутова зона переходу від виступу до за-
падини, $\alpha \cong [R^2 - (R_0 - R_B)^2 / R_B]^0.5$, R – радіус під-
шипникової опори важеля притиску, $R = 36$ мм;
 R_0 – радіус центру підшипникової опори, $R_0 =$
 223 мм; R_B – радіус виступів дисків, $R_B = 200$ мм.

Таким чином $\beta = 12,12^\circ$.

Надійність подавання листа катодного нікелю похилим столом до зони різання забезпечують за умови

$$t_0 > t_g, \quad (6)$$

де t_0 – час повороту дисків на кут β , $t_0 = \beta / 0,1n_G$,
 n_G – кутова швидкість, град/с; t_g – час перемі-
щення штаби на значення подавання,
 $t_g = \left(2\Delta S / [g \cdot (\sin \alpha_H - \mu \cdot \cos \alpha_H)] \right)^{0.5}$, ΔS – значення
подавання (розмір сторони пластини), $\Delta S = 50$
мм; g – прискорення вільного падіння; α_H – кут
нахилу столу; μ – коефіцієнт тертя за перемі-
щенням штаби сталеву поверхню столу, $\mu =$
 $0,4$.

Під час визначення параметрів силового на-
вантаження притиску-уловлювача розглядають
період роботи, коли на штабу діє консольне на-
вантаження. Значення крутного моменту, що діє
на штабу за таких умов, визначають як макси-
мально граничне значення [10]

$$M_n = 0,25 \sigma_s \cdot \Delta S \cdot h^2 \cdot (1 - \varepsilon_B)^2, \quad (7)$$

де M_n – момент пластичного вигину виступу; σ_s
– межа плинності нікелю, $\sigma_s = 0,8 \sigma_b$.

Момент, що утримує лист катодного нікелю,
створюється зусиллям Q стиснення тарілча-

стих пружин:

$$Q = \frac{M_n}{m}. \quad (8)$$

де m – плече сили Q щодо осі вигину виступу
штаби.

Розрахункова тривалість різання листа ка-
тодного нікелю розмірами 850 x 950 мм на шта-
би та маломірні пластини становить 51 с, що, з
урахуванням тривалості допоміжних операцій
щодо завантаження листа (~ 9 с), забезпечує до-
статню продуктивність агрегату (1,74-4,32
т/год.) за товщини листа 10 мм.

Під час випробувань пристрою на фізичній
моделі виконано удосконалення технології. а
саме: запропоновано методику усунення недорі-
зки суміжних пластин листу для кутових точок;
збільшено кутове зміщення ножів суміжних ди-
сків з додатковим урахуванням коефіцієнта над-
різання (ε_n); для усунення прилипання пластин
до опорної поверхні ножів запропоновано спеці-
альний скребковий пристрій.

Висновки. Аналізом відомих способів різан-
ня встановлено, що двоопераційна різка листів
катодного нікелю є малоефективною через ная-
вність викривлення штаби після першої опера-
ції. Здійснено аналітичне дослідження парамет-
рів різання та розроблено фізичну модель одно-
операційної технології. Розроблено спеціальний
ріжучий пристрій автоматичної дії, що дозволяє
суттєво спростити технологію різання листів ка-
тодного нікелю та підвищити ефективність ви-
робництва маломірних пластин.

Бібліографічний перелік

1. **Выбор процесса резки** – URL: [Hyperthen/https://www.hyperthen.com/learn/choosing-a-cutting-process](https://www.hyperthen.com/learn/choosing-a-cutting-process) (дата звернення 14.08.2019).
2. **Резка цветных металлов** – URL: [Eckert/https://www.eckert.com.pl/technologies/non-ferrous-metals-cutting](https://www.eckert.com.pl/technologies/non-ferrous-metals-cutting) (дата звернення 15.08.2019).
3. **Грановский Г. И., Грановский В. Г.** Резание металлов; учебник. Москва : Высшая школа, 1985. 304 с.
4. **Способи різання** листового металу-2016. URL: <https://wikimetall.ru/metallrobrabotka/vidyi-rezki-metalla.-html> (дата звернення 14.08.2019).
5. **Потапенков А. П.,** Пилипенко С. С., Серебренников Ю. Г., Тарасов В. К. Совершенствование технологии резки листов катодного никеля. *Металургия : научные работы ЗДИА*, 2013. Вып. 2(30). 2013. С. 153-158.
6. **Устройство для вырезки** прямоугольных деталей. Патент № 2057622 Российская Федерация. МКИ 6 В 23Д 19/00. № 5068111/08; Заявлено 06.10.92. Опубл. 10.04.96. Бюл. № 10.
7. **Потапенков А. П.,** Серебренников Ю. Г., Пилипенко С. С., Степанов С. М. Исследование усилий резания металлических листов. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2009. № 11. С. 56-59.
8. **Методика расчета** силовых параметров и гидропривода листовых ножниц / С. С. Пилипенко, Ю. Г. Серебренников, А. П. Потапенков и др. *Производство проката*. 2013. № 3. С.43-48.
9. **Никоноров Л. В.** Исследование процесса резания листового проката. Организационно-технические проблемы эффективности производства в условиях Крайнего севера : сборник научн. трудов. Норильск : Норильский индустриальный институт, 2005. С. 51-55.
10. **Воронцов А. Л.** Новая теория резания. *Вестник машиностроения*. 2008. № 5. С. 61-69.

Тарасов Вячеслав Кириллович, кандидат технических наук, член-корреспондент АТНУ, (Украина, Ивано-

Франковск). E-mail: tvk@ukr.net

Потапенков Александр Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры металлургических машин и оборудования Норильского государственного индустриального института (Российская Федерация, Норильск). E-mail: nii@norvuz.ru

Румянцев Владислав Ростиславович, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Инженерный институт Запорожского национального университета (Украина, Запорожье). E-mail: rumvlad1164@gmail.com

Курис Юрий Владимирович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела теплофизических основ энергосберегающих технологий, Институт технической теплофизики НАНУ (Украина, Киев). E-mail: analytic@rambler.ru

Мосейко Юрий Викторович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры металлургии, Инженерный институт Запорожского национального университета (Украина, Запорожье). E-mail: mega_rig@ukr.net

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОДНООПЕРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ЛИСТОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Выполнен критический анализ действующих технологий и устройств резки листового металла на прямоугольные пластины заданных размеров. Предложена технология однооперационной резки листов цветных металлов. Проведены теоретические исследования и разработаны специальные устройства для барабанных ножниц, что позволит внедрить новую технологию.

Ключевые слова: технологии резания, анализ, листы, цветные металлы, исследования, модернизация.

Tarasov Vyacheslav, Candidate of Technical Sciences, Correspondent Member of ATSU, (Ukraine, Ivano-Frankovsk). E-mail: tvk1937@ukr.net

Potapenkov Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Metallurgical Machines and Equipment, Noril'sk State Industrial University (Russian Federation, Noril'sk). E-mail: nii@norvuz.ru

Rumyantsev Vladislav, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Metallurgy Department, Engineering Institute of Zaporizhzhia National University (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: rumvlad1164@gmail.com

Kuris Yuriy, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of Division of Thermalphysic Foundation of energy-saving technologies, Institute of Technical Thermalphysic of NASU (Ukraine, Kiev): E-mail: analytic@rambler.ru

Mosejko Yuriy, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of Metallurgy Department, Engineering Institute of Zaporizhzhia National University (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: mega_rig@ukr.net

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR SINGLE-OPERATION CUTTING OF NONFERROUS METAL SHEETS

To improve the efficiency of small cutting plates consist of a critical analysis of the known technologies and devices. Modern plasma-arc cutting technology of the plates allows the processing of conducting metals and dielectrics without overheating zone of the section and the structure violation. However, too thin and thick sheets deteriorates the overall straightness of cutting. The use of this technology is appropriate for manufacturers of mass production and cutting unprofitable for small series and vary orders. Laser cutting technology is not inferior to the processing accuracy of the plasma. However, this technology requires additional heating of staff, careful observance of specified quality of material, purity of gas, the condition of the nozzles. Disadvantages: ribbed surface area of the cut, the higher the cost of production. More simple and cheap seems to be hydro abrasive cutting. Despite the universality, the technology requires expensive and sophisticated equipment and additional processing cutting products in compliance with regulatory environmental requirements. In this regard, it seems appropriate to develop and improve the technology of small mechanical cutting of plates of non-ferrous metals, including Nickel cathode. For the basic framework adopted technology two operational cutting: first cutting the sheets into strips, and then cutting is carried out on a rectangular plate of small dimensions. The main problem is the curvature of the headquarters of Nickel after the first operation of cutting the sheets. There is a need for additional leveling before the subsequent manufacturing of small plates the right size. To remove these shortcomings, developed advanced technology and device for operating one cutting, which includes a separate cutting mechanism and the boot device. The technology for such cutting was tested on a laboratory bench. The analytical study of cutting parameters and developed a physical model of one of the operating technology. Produced pilot cutting device that provides the cathodic Nickel plates 50x50 mm, sheet thickness up to 10.0 mm. Developed a special cutting device automatic action, which allows significantly simplify the technology of cutting sheets and improve the production efficiency of small plates.

Key words: technologies of cutting, analysis, sheets, cathode nickel, research, modernization