

УДК 621.96

РОЗДІЛ IV

ОБЛАДНАННЯ ТА УСТАТКУВАННЯ
ОБРОБКИ ТИСКОМ

DOI: 10.37142/2076-2151/2023-1(52)170

Карнаух С. Г.
Чоста Н. В.РОЗРОБКА ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ БЕЗВІДХІДНОГО РОЗДІЛЕННЯ ПРОКАТУ

Метою даної роботи є розробка перспективних технологій і конструкцій обладнання для розділення сортового прокату на мірні заготовки. На підставі аналізу розробленого класифікатора безвідхідних способів поділу сортового прокату на мірні заготовки розроблено програмне забезпечення для вирішення задачі синтезу комбінованих методів обробки заготовок. З використанням засобів комбінаторики проведено пошук варіантів реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату за основними ознаками. На підставі отриманих результатів розроблено технологію для безвідхідного розділення сортового прокату і перспективні конструкції обладнання для розділення сортового прокату на мірні заготовки. Сутність запропонованих технологічних і конструктивних рішень полягає в тому, що енергія пружної деформації станини і привода обладнання, яка накопичується і миттєво вивільнюється в обладнанні для реалізації розділових операцій, використовується для здійснення корисної роботи – нанесення концентратора напружень. Концентратор напружень може бути нанесений, як за рахунок впровадження в прокат клинового ножа і нанесення концентратора трикутної форми, так і часткового зсуву заготовки відносно штанги. При нанесенні концентратора напружень в площині розділення виникають та розвиваються субмікро- і мікротріщини, які накопичуються, що зумовлює напрямок майбутньої макротріщини. При цьому в обсязі металу, що примикає до площини руйнування, розвивається зміцнення, що супроводжується зміною механічних характеристик макро- і мікроструктури металу. Підвищується тимчасовий опір, межа текучості, знижуються характеристики пластичності. Зароджується макротріщина на лінії, що з'єднує западини надрізів, які виникають при зсуві заготовки відносно прокату. Макротріщина може мати гранично великі розміри, що відповідає оптимальним вимогам, які висуваються до процесу холодної ломки згином. При цьому вздовж всієї траси руху наведеної тріщини створюються додаткові напруження стиску, які орієнтовані уздовж необхідного напрямку розкрою, що забезпечує стабілізацію траєкторії тріщини. Застосування запропонованих розробок дозволяє отримувати заготовки високої якості, підвищити продуктивність процесу поділу трубчастих заготовок, розширити технологічні можливості обладнання, підвищити надійність роботи обладнання, підвищити культуру виробництва.

Ключові слова: розділення, відрізання зсувом, ломка згинанням, геометрична точність, заготовка, якість, надійність.

Витрати заготівельного виробництва становлять значну частку в собівартості готової продукції. Тому завдання вдосконалення технології й устаткування для реалізації процесів розділення є актуальними [1, 2].

У заготівельному виробництві використовується більш десяти різних способів виготовлення заготовок шляхом розділення сортового прокату на мірні заготовки. При цьому, вибір способу одержання заготовки пов'язаний з конкретними техніко-економічними розрахунками собівартості готової деталі, зробленими для заданого обсягу річного випуску з обліком інших умов виробництва.

Протягом багатьох років проведена велика робота з вивчення і вдосконалення способів розділення сортового прокату, як у колишньому СРСР: «Мосстанкин», «ЭНИКМАШ», «МВТУ», «Кишневский политехнический институт», Харківський авіаційний інститут, Донецький фізико-технічний інститут [3, 4], так і за кордоном: Японія, Англія, Німеччина [5, 6]. Результати цієї роботи відображені в працях таких вчених, як: К. Кеслер, О. Келер, Х. Гросс, Т. Накагава [7 – 9], Г. В. Колосов, Н. І. Мусхелишвілі, С. А. Христианович, Г. І. Баренблатт,

М. Я. Леонов, Г. П. Черепанов, В. В. Панасюк, А. І. Целіков, К. Н. Богоявленський, П. Є. Кислий, В. М. Кононенко, В. Т. Мещерін, Є. А. Попов, В. П. Романовський, В. М. Фінкель, С. С. Соловцов, В. А. Скороход, В. А. Тимощенко й ін. [10, 11].

Метою даної роботи є розробка перспективних технологій і конструкцій обладнання для розділення сортового прокату (труб) на мірні заготовки з використанням засобів комбінаторики.

Класифікація безвідхідних способів розділення сортового прокату на мірні заготовки, виконана за основними ознаками: за відходністю; за схемою навантаження; за характером навантаження; за способом передачі сили від інструмента до заготовки; за напрямком руху інструмента, представлена на рис. 1.

На підставі виконаної класифікації вирішували задачу синтезу комбінованих методів обробки засобами комбінаторики [12, 13]. Відповідно до визначення методу обробки, структура комбінованого методу обробки (КМО) представляється у вигляді:

$$KMO = \langle P, C, O \rangle, \quad (1)$$

де P – множина елементів-процесів фізичної, хімічної або іншої природи;

C – множина властивостей цих процесів;

O – множина відносин між ними.

Отже, кожному комбінованому методу обробки ставиться у відповідність деякий набір одиничних ідентифікуємих процесів, протікання кожного з яких супроводжується заданим впливом на об'єкт обробки в результаті реалізації деякого фізико- (хіміко)- технічного ефекту:

$$KMO \Leftrightarrow \langle P_1, P_2, \dots, P_n \rangle, n \in N. \quad (2)$$

Функція F методу обробки визначається характером впливу на об'єкт і описує його зміст.

Якщо потужність множини P відома й дорівнює N , то загальна кількість можливих комбінацій по $2, 3, \dots, N$ парціальних процесів підраховується як сума відповідних сполучень елементів даної множини [13]. Далеко не всі елементи сформованої в такий спосіб множини можливих КМО можуть бути практично реалізовані або використані.

У роботі [14] сформульовані основні принципи, що формують необхідні й достатні умов доцільної реалізації КМО:

- принцип просторової сумісності одиничних складових процесів полягає в можливості їхнього спільного протікання в обмеженій області простору, розміри якої регламентуються характером розв'язуваних даним КМО технологічних задач;
- принцип сумісності парціальних процесів у часі визначає можливість їх одноразового або послідовного здійснення;
- принцип сумірності впливів виражається в тім, що кількісні характеристики впливу на об'єкт кожного зі складових процесів повинні мати один порядок величини;
- принцип ефективності сполучення обґрунтовує доцільність розробки даного КМО;
- принцип енергетичної сумісності одиничних процесів;
- принцип екологічної сумісності зводиться до відсутності каталітичних або інших синергетичних ефектів стосовно небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

У відповідності із методикою синтезу комбінованих методів обробки, викладеної в роботах [12, 13], на рис. 2 представлені основні ознаки реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату, за допомогою яких вирішували поставлену задачу.

З допомогою спеціально розробленої програми проведено пошук варіантів реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату за ознаками (див. рис. 2). Найбільш цікавими є варіанти за ознаками 2 – 4 (рис. 3).

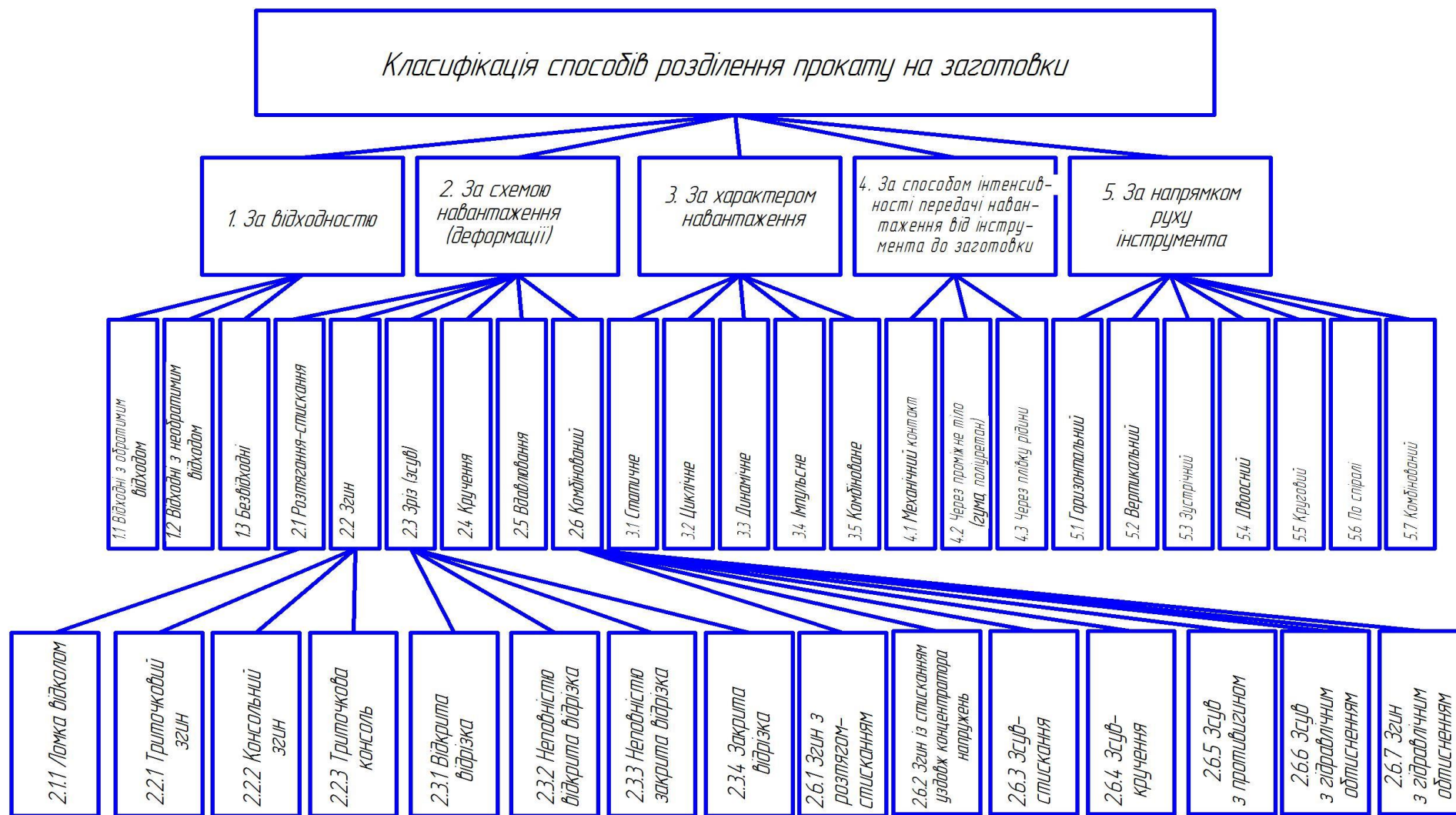


Рис. 1. Класифікатор безвідхідних способів поділу сортового прокату на мірні заготовки

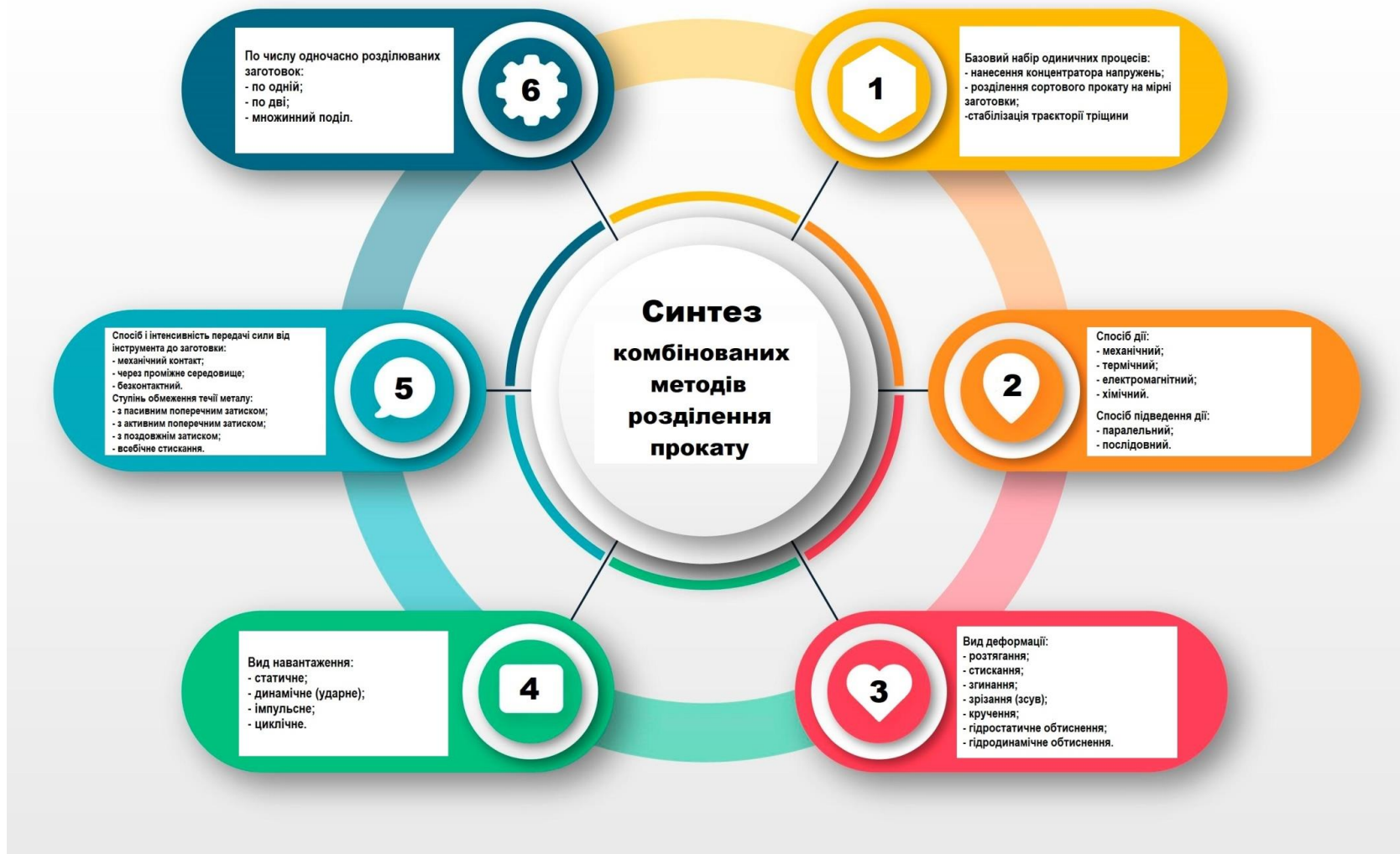


Рис. 2. Основні ознаки реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату

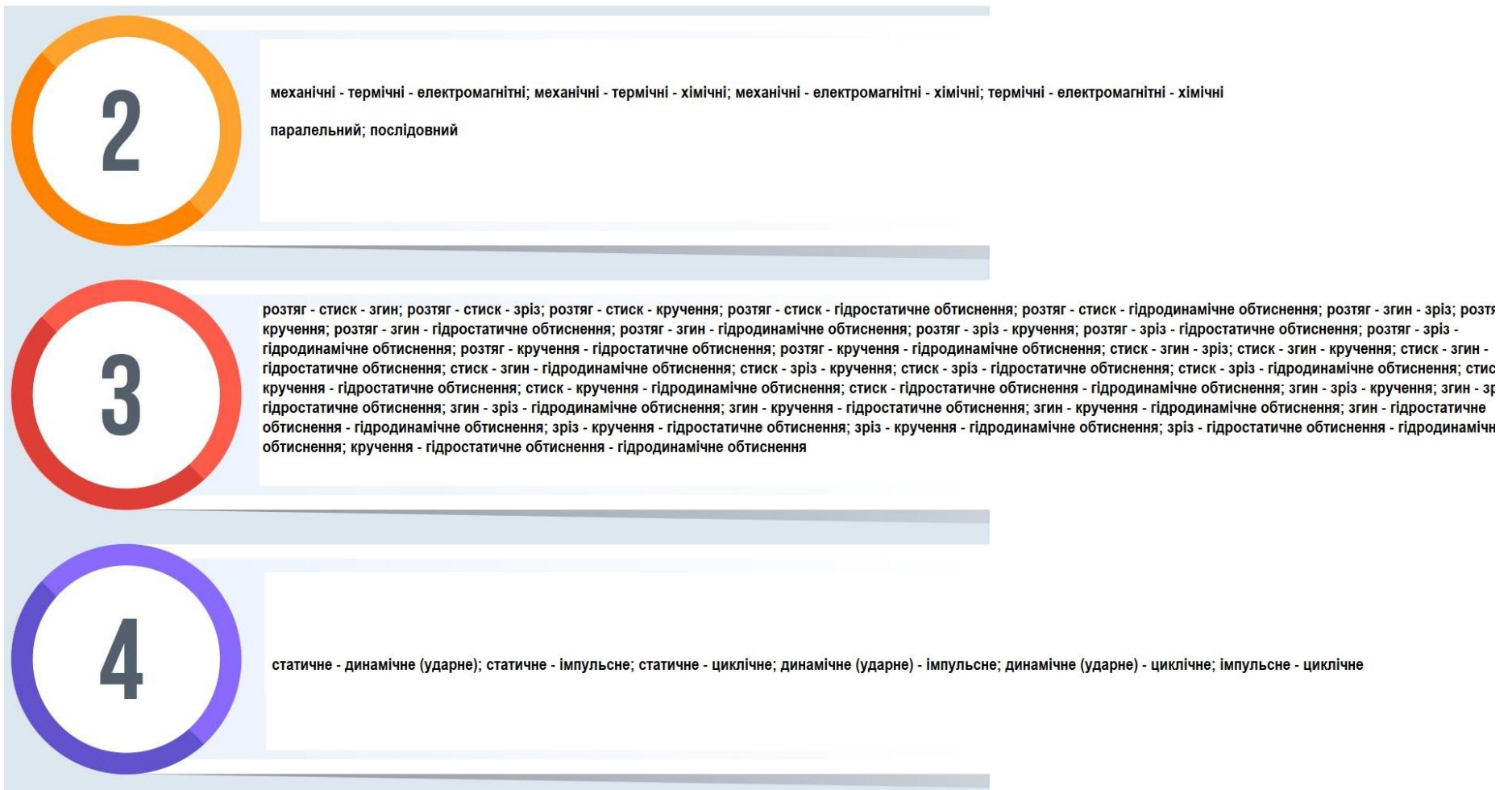


Рис. 3. Основні результати синтезу комбінованих методів реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату

Аналіз даних (див. рис. 3) дозволив виявити перспективний набір комбінацій. А саме:

- за ознакою 2: «механічні – термічні – електромагнітні», паралельні;
- за ознакою 3: «розтягання – стискання – гідродинамічне обтиснення»; «розтягання – зрізання – кручення»; «розтягання – зрізання – гідродинамічне обтиснення»; «розтягання – кручення – гідродинамічне обтиснення»; «стискання – згинання – гідродинамічне обтиснення»; «стискання – зрізання – гідродинамічне обтиснення»; «стискання – кручення – гідродинамічне обтиснення»; «згинання – зрізання – кручення»; «згинання – зрізання – гідродинамічне обтиснення»; «згинання – кручення – гідродинамічне обтиснення»; «зрізання – кручення – гідродинамічне обтиснення. Варіанти схем навантаження «гідростатичним обтисненням» були виключені внаслідок: складності герметизації гідропорожнини високого тиску з введеним у неї прокатом; необхідності забезпечення високих значень критичних тисків для поділу, що приводить до ускладнення конструкції встаткування й підвищенню вимог до його надійності й безпеки роботи;

- за ознакою 4: «статичне – динамічне (ударне)»; «статичне – імпульсне»; «статичне – циклічне»; «динамічне (ударне) – циклічне»; «імпульсне – циклічне».

На підставі отриманих результатів розроблені перспективні схеми обладнання для розділення сортового прокату на мірні заготовки.

Розроблена конструкція установки, в якій реалізована схема навантаження в комбінації «стискання – згинання – гідродинамічне обтиснення». Установка для ломки сортового прокату (труб) (рис. 4) містить: корпус 1 з робочою камерою 2, в якій розміщується прокат 3 з попередньо нанесеними на його поверхні концентраторами напружень 4, при цьому у напрямних корпусу 1 встановлено циліндр 5, у гідропорожнині 6 якого концентрично розміщено бойок 7 з можливістю зворотно-поступального руху і взаємодії з торцем прокату 3 на ході x . При цьому у циліндрі 5 виконано отвори 8, через які рідина із гідропорожнини 6 циліндру 5 поступає до робочої камери 2, а циліндр 5 встановлений на пружинах 9 [14].

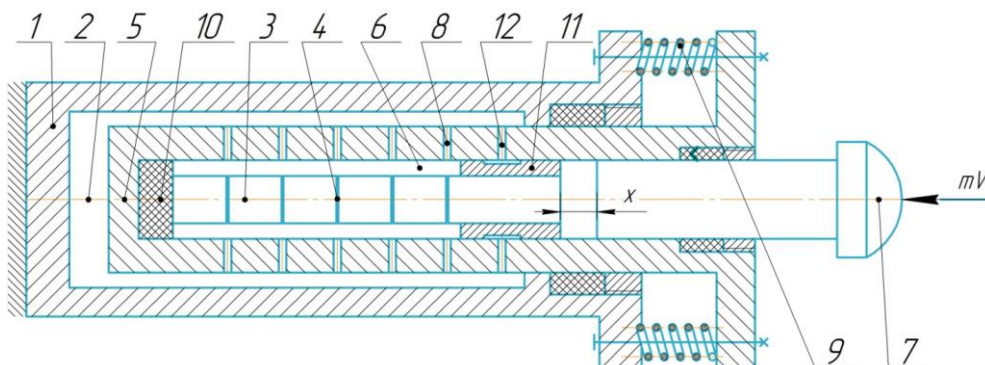


Рис. 4. Установка для ломки прокату (труб)

Установка працює в такий спосіб. Прокат 3 подається у гідропорожнину 6 циліндру 5 до упору в буфер 10. Рідина під тиском подається в робочу камеру 2 та через отвори 8 до гідропорожнини 6. При цьому прокат 3 затискається у механізмі затиску 11 рідиною, що подається під тиском по каналу 12. Після цього по бойку 7 наноситься удар зі сторони приводу (не показаний). Під дією імпульсу сили mV бойок 7 розганяється на ході x і ударяє, спочатку по торцю прокату (труби) 3, а потім по фланцю циліндра 5. Таким чином, спочатку хвиля стискання поширюється по довжині прокату до другого торця прокату і відбиваючись від нього, перетворюється в хвилю розтягання. Одночасно циліндр 5 при ударі рухається у робочій камері 2 і створює гідродинамічний тиск, як у камері 2, так і у гідропорожнині 6 через отвори 8. При цьому рідина в площині концентратора напружень створює одночасно, як осьові напруження розтягання, так і радіальні напруження стискання. У цей же час повертається хвиля розтягання, яка швидко стає плоскою, з фронтом по перетину заготовки ортогональним поверхні, що призводить до ломки сортового прокату (труб) на заготовки. Після цього циліндр 5 повертається у вихідне положення за допомогою пружин 9. Цикл роботи установки відновлюється.

Запропонована конструкція пристрою дозволяє знизити величину гідродинамічного тиску за рахунок одночасного навантажування прокату (труби) гідродинамічним тиском і торцевим ударом. При цьому хвиля стискання, поширюючись до другого торця прокату і відбиваючись від нього, перетворюється в хвилю розтягання, яка швидко стає плоскою, з фронтом по перетину заготовки ортогональним поверхні. Це забезпечує якість відламаних заготовок, особливо з урахуванням того, що рідина в площині концентратора напружень створює одночасно, як осові напруження розтягання, так і радіальні напруження стискання, що забезпечує стабілізацію траєкторії тріщини. Розміщення сортового прокату (труби) у робочій камері з можливістю навантаження по всій довжині профілю, дозволяє принципово вирішити проблему ущільнення прокату, так як ущільнюється не поверхня прокату, а механічно оброблена поверхня циліндру. При цьому навантаження прокату (труби) по всій довжині профілю дозволяє здійснити одночасну ломку декількох заготовок (множинний спосіб ломки), що значно підвищує продуктивність процесу. При цьому, оскільки реалізована безопорна схема, поверхня зламу не має відколів, виривів, макротріщин і зон пластичної деформації металу.

Розроблений новий спосіб розділення сортового прокату з набором ознак «зрізання – стискання – згинання». Сутність запропонованих рішень полягає в тому, що енергія пружної деформації станини і привода обладнання, яка накопичується і миттєво вивільнюється в обладнанні для реалізації розділових операцій, використовується для здійснення корисної роботи – нанесення концентратора напружень. Концентратор напружень може бути нанесений, як за рахунок впровадження в прокат клинового ножа і нанесення концентратора трикутної форми, так і часткового зсуву заготовки відносно штанги.

При нанесенні концентратора напружень в площині розділення виникають та розвиваються субмікро- і мікротріщини, які накопичуються, що зумовлює напрямок майбутньої макротріщини. При цьому в обсязі металу, що примикає до площини руйнування, розвивається зміцнення, що супроводжується зміною механічних характеристик макро- і мікроструктури металу. Підвищується тимчасовий опір, межа текучості, знижуються характеристики пластичності. Зароджується макротріщина на лінії, що з'єднує западини надрізів, які виникають при зсуві заготовки відносно прокату. Макротріщина може мати гранично великі розміри, що відповідає оптимальним вимогам, які висуваються до процесу холодної ломки згином. При цьому вздовж всієї траси руху наведеної тріщини створюються додаткові напруження стиску, які орієнтовані уздовж необхідного напрямку розкрою, що забезпечує стабілізацію траєкторії тріщини. Усе вищенаведене, підвищує геометричну точність заготовок.

Установка для розділення прокату містить (рис. 5): станину 1, з розміщеними на ній опорами 2, в напрямних якої встановлено траверсу 3 з приводом від гідроциліндра 4 із закріпленням на ній ломателем 5, механізм затиску прокату 6 і упор, при цьому у траверсі 3 додатково вбудовано гідропружний циліндр 7 з ударним поршнем 8, що розділяє порожнину гідроциліндра на надпоршневу порожнину низького тиску 9 і штокову порожнину високого тиску 10, на якому закріплено бойок 11 з ножем 12. При цьому поршень 8 контактує з дном гідропружного циліндра 7, герметизуючи порожнини високого 10 і низького 9 тиску між собою [15].

Установка для розділення прокату працює в такий спосіб. Прокат 13 з попередньо нанесеним концентратором напружень розміщується на опорах 2 і подається до упору. Під дією сили з боку робочого гідроциліндра 4 рухома траверса 3, на якій закріплено ломатель 5, рухається вниз, здійснюючи затиск, за допомогою пружного елемента 6, і ломку прокату 13 в площині попередньо нанесеного концентратора напружень. При цьому попередньо в штокову порожнину високого тиску 10 по каналу 14 подається робоча рідина і створюється тиск. У момент руйнування прокату в площині концентратора напружень відбувається різке скидання сили розділення. Система «гідравлічний циліндр 4 – рухома траверса 3 – ломатель 5» стає динамічно неврівноваженою. Тому рухома траверса 3 разом з ножем 12 розганяється на ході x_0 і наносить на прокат концентратор напружень за рахунок радіального зсуву частини прокату відносно осі заготовки на величину ΔH . Одночасно в момент руйнування прокату надпоршнева порожнина 9 низького тиску шляхом переключення розподільного клапана по каналу 15 з'єднується з порожниною високого тиску 10. Робоча рідина під високим тиском діє на всю

площу торця поршня 8, який прискорено рухається вниз, разом з бойком 11 і ножем 12 та додає енергії для нанесення концентратора напружень.

Запропонована конструкція пристрою дозволяє розширити технологічні можливості та підвищити якість відрізаних заготовок. Додатковий гідروпружний циліндр забезпечує акумулювання дозованої енергії, яку можна вивільнити у потрібний час, а саме в момент розділення прокату, що дозволяє нанести ефективний концентратор напружень для отримання заготовок високої якості. При цьому обладнання статичної дії при нанесенні концентратора напружень працює в ударному режимі.

Запропонована конструкція установки, в якій вирішується аналогічні задачі, які розглянуто вище, але конструктивно вона виконана на базі стандартного механічного пресу. Установка для розділення прокату містить (рис. 6): станину 1, в напрямних якої встановлено повзун 2 із закріпленим на ньому ломателем 3, механізм затиску прокату 4 і упор 5, при цьому у повзуні 2 встановлено круговий шатун 6 з ексцентриковим валом 7 та гідропружний пристрій, який вміщує гідроциліндр 8 з підпружиненим ударним поршнем 9, що розділяє порожнину гідроциліндра 8 на поршневу низького тиску 10 та штокову – високого тиску 11, на якому закріплено ніж 12 для нанесення концентратора напружень. При цьому ломатель 3 і ніж 12 встановлено таким чином, щоб забезпечити умову $l_1 = l_2$, яка відповідає довжині відрізаної заготовки l [16].

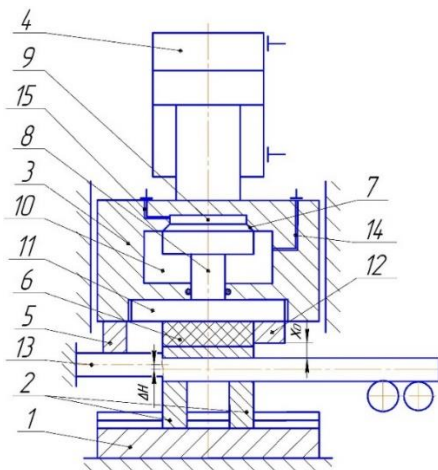


Рис. 5. Установка для розділення прокату

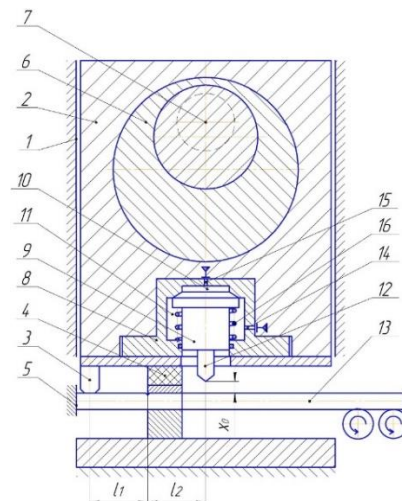


Рис. 6. Установка для розділення прокату

Установка для розділення прокату працює в такий спосіб. Прокат 13 з попередньо нанесеним концентратом напружень розміщується в механізмі затиску прокату 4 і подається до упору 5. Під дією приводу ексцентриковий вал 7 обертається і витискає круговий шатун 6. При цьому повзун 2 рухається вниз у напрямних разом із закріпленим на ньому ломателем 3, здійснюючи затиск, за допомогою механізму затиску прокату 4, і ломку прокату 13 в площині концентратора напружень. При цьому попередньо в штокову порожнину високого тиску 11 по каналу 14 подається робоча рідина і створюється тиск. У момент руйнування прокату в площині концентратора напружень відбувається різке скидання сили розділення. Установка стає динамічно невірноваженою. Тому повзун 2 разом з ножем 12 розганяється на ході x_0 і наносить на прокат концентратор напружень. Одночасно в момент руйнування прокату порожнина низького тиску 10 шляхом переключення розподільного клапана по каналу 15 з'єднується з порожниною високого тиску 11. Робоча рідина під високим тиском діє на всю площу торця ударного поршня 9, який прискорено рухається вниз, разом з ножем 12 і додає енергії для нанесення концентратора напружень. Під дією пружини 16 ударний поршень 9 повертається у вихідне положення. Цикл роботи установки поновлюється.

Таким чином, потенційна енергія, накопичена в установці за рахунок пружної деформації станини і приводу та потенційна енергія стислої робочої рідини додаткового гідропружного циліндру переходить у кінетичну енергію і витрачається на здійснення корисної роботи

– нанесення концентратора напружень. В одному циклі роботи установки поєднуються дві операції: холодна ломка згином і нанесення концентратора напружень у площині поділу наступної заготовки. Установка статичної дії працює в динамічному режимі, що забезпечує підвищену швидкість нанесення концентратора напружень і високу якість отриманих заготовок.

Додатковий гідропружний циліндр забезпечує акумулювання дозованої енергії, яку можна вивільнити у потрібний час, а саме в момент розділення прокату, що дозволяє нанести ефективний концентратор напружень для отримання заготовок високої якості. Застосування повзуна рамної конструкції з кривошипно-круговим механізмом, для якого величина коефіцієнта шатуна досягає значень 0,4...0,5, забезпечує зменшення активної зони деформації і збільшення жорсткості установки в 2,2...3,0 рази. Поєднання кривошипно-кругового механізму з рамним повзуном, що охоплює його і зверху, і знизу, забезпечує стійкість роботи повзуна. Розвинена площа опори шатуна у повзуні знижує питомі сили в цій опорі і сприяє гасінню коливань, що в поєднанні з малою деформаційною зоною призводить до високої динамічної стійкості й відсутності розгойдування на фундаменті.

Запропонована нова конструкція гідродинамічного холоднолома, в якому реалізований набір ознак: «гідродинамічне обтиснення – стискання – згинання» (рис. 7). Спосіб ломки прокату гідродинамічним обтисненням («гідралічний пінч») полягає у тому, що прокат з нанесеним концентратором напружень вводиться в кільцеву гідропорожнину циліндра й обтискається гідродинамічним тиском. При цьому уздовж концентратора напружень одночасно створюються осьові деформації розтягання і радіальні стискаючі напруження. Оскільки концентратор напружень розташований у гідропорожнині циліндра, величина необхідної для ломки енергії знижується на 5...6% у результаті розклинення концентратора рідиною. При гідралічному обтисненні прокату, в зоні зламу тріщина росте стійко в ортогональному до його осі перерізі, що підвищує якість поверхні торця. Внаслідок реалізації безопорної схеми навантаження, поверхня зламу не має відколів, виривів, макротріщин і зон пластичної деформації металу [17].

Гідродинамічний холоднолом для розділення труб на мірні заготовки містить: корпус 1, встановлений з можливістю переміщення уздовж труби 2, що розділяється, на довжину мірної заготовки, в отворі якого розміщено плунжер 3 з буфером 4, встановлений напроти концентратора напружень, попередньо нанесеного на трубу 2 і кільцевої порожнини 5, що створена між корпусом 1, трубою 2, плунжером 3 і системою ущільнення, яка виконана у вигляді комплексу фторопластових кілець 6, що піджимаються в осьовому напрямку ґрундбуксами 7 за допомогою гідроциліндрів 8.

Гідродинамічний холоднолом працює у такий спосіб. Труба 2, що поділяється, з попередньо нанесеними концентраторами напружень розміщується в корпусі 1 і ущільнюється за рахунок переміщення ґрундбукс 7 в осьовому напрямку за допомогою гідроциліндрів 8. В кільцеву порожнину 5 по каналу 9 подається під тиском робоча рідина. Молот наносить удар (mV) по плунжеру 3, який розганяється і створює гідродинамічний тиск у кільцевій порожнині 5, яка охоплює зовнішню поверхню труби 2. Система ущільнення, виконана у вигляді комплексу фторопластових кілець 6, що піджимаються в осьовому напрямку ґрундбуксами 7 за допомогою гідроциліндрів 8, забезпечує герметизацію порожнини 5. При цьому у стінці труби створюється пружнонапружений стан та виникають напруження розтягу. Коли напруження досягають границі міцності σ_B , труба розділяється. Тиск у порожнині 5 падає до 0, плунжер 3 повертається у вихідне положення під дією сили буфера 4. Під дією сили з боку гідроциліндрів 8 ґрундбукси 7 віджимаються, труба подається на крок, який відповідає довжині відламанної заготовки. Цикл роботи холоднолома поновлюється.

Застосування гідродинамічного холоднолому для розділення труб на мірні заготовки дозволяє отримувати заготовки високої якості, підвищити продуктивність процесу поділу трубчастих заготовок, розширити технологічні можливості обладнання, підвищити надійність роботи обладнання, підвищити культуру виробництва.

Запропонована нова конструкція пристрою для розділення сортового прокату, у якому нанесення концентратора напружень і процес відрізки заготовки проходять за один робочий хід машини

(ознака «спосіб дії» – паралельно). Пристрій для відрізки прокату містить (рис. 8): ножі 1, 2 з ріжучими 3, 4 і притискними 5, 6 кромками, встановлені в направляючих з можливістю одночасного зустрічного плоскопаралельного переміщення. При цьому приводи ножів виконано у вигляді клиношарнірних механізмів, кожен із яких складається із клина 7 з увігнутою циліндричною поверхнею і шарніру 8, який встановлено з можливістю взаємодії однією опуклою поверхнею з відповідною увігнутою поверхнею клина 7, а другою опуклою поверхнею – з відповідною поверхнею ножа [18].

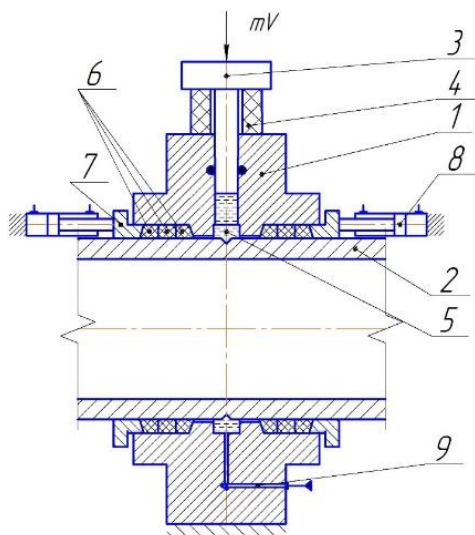


Рис. 7. Гідродинамічний холодномолот для розділення труб на мірні заготовки

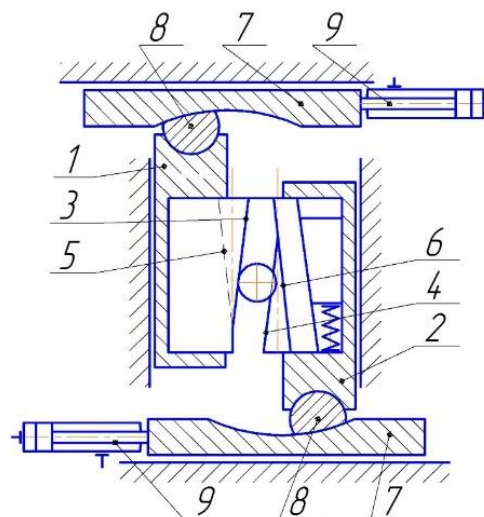


Рис. 8. Пристрій для відрізки прокату зсувом (зрізанням)

Пристрій для відрізки прокату працює у такий спосіб. Прокат подають на необхідну величину в зазор між розведеними ножами 1 і 2. Ніж 1 перед початком різання знаходиться в крайньому верхньому положенні, ніж 2 – в крайньому нижньому. Після подачі заготовки одночасно включаються приводи ножів 1,2, кожен із яких приводиться у рух за допомогою гідроциліндрів поршневого типу 9, штоки яких діють на клини 7. Клини 7 взаємодіють з шарнірами 8, які повертаються відносно своєї осі і передають рух і навантаження до ножів 1,2, які переміщуються вертикально. У процесі здійснення ножами 1, 2 зустрічного руху у вертикальному напрямку відбувається зменшення відстані по горизонталі між ріжучими кромками 3, 4. Ножі 1, 2, обертаючи заготовку, поступово відрізають її, аж до моменту відділення, а притискні кромки 5, 6 протягом всього процесу відрізки здійснюють жорсткий притиск прокату. Після закінчення процесу відрізки ножі 1, 2 повертаються до вихідного положення і цикл роботи повторюється.

Застосований в конструкції клиношарнірний механізм з увігнутим клином за графіком зміни сили деформування максимально наближаються до типового графіка сил, характерного для розділювальних процесів, де треба забезпечити максимальну силу поділу на початку робочого ходу. При цьому, клиношарнірний механізм має очевидні переваги: великі опорні поверхні деталей, невелику висоту ланок в напрямку дії робочої сили, можливість винесення найбільш податливих деталей і вузлів преса із зони дії максимальної сили і головне – збільшення співвідношення між приводною й робочою силами. Застосування клиношарнірного механізму підвищує енергосилові показники обладнання, надійність роботи пристрою та якість відрізанних заготовок. Розширюються технологічні можливості обладнання.

ВИСНОВКИ

З використанням засобів комбінаторики проведено пошук варіантів реалізації безвідхідних способів поділу сортового прокату за основними ознаками. В результаті розроблено технологію для безвідхідного розділення сортового прокату за комбінацією ознак «зрізання – стискання – ламання».

Розроблено перспективні конструкції обладнання для розділення сортового прокату (труб) на мірні заготовки, в яких реалізовані схеми навантаження в комбінації «стискання –

згинання – гідродинамічне обтиснення». Застосування запропонованих розробок дозволяє отримувати заготовки високої якості, підвищити продуктивність процесу поділу трубчастих заготовок, розширити технологічні можливості обладнання, підвищити надійність роботи обладнання, підвищити культуру виробництва.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловцов С. С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах. Москва: Машиностроение. 1985. 176 с.
2. Финкель В. М. . Холодная ломка проката. Москва: Metallurgiya. 1982. 192 с.
3. Karnaukh S. G., Markov O. E., Aliieva L. I., Kukhar V. V. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. 109. pp. 2457-2464.
4. Карнаух С. Г. . Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества: монография. Краматорск: ДГМА. 2010. 196 с.
5. Yin J-F, Bai Q., Zhang B. Methods for detection of subsurface damage: a review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2018. 31. pp. 1–14.
6. Zheng Q., Zhuang X., Zhao Z. State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology. *Production Engineering*. 2019. 13. pp. 61–70.
7. Chikishev D. Mathematical modeling of steel chemical composition and modes of thermomechanical treatment influence on hot-rolled plate mechanical properties. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. 92. pp. 3725–3738.
8. Zhao P. J., Chen Z. H., Dong C. F. Experimental and numerical analysis of micromechanical damage for DP600 steel in fine-blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. 236. pp. 16-25.
9. Wang S., Chen Z., Dong C. Tearing failure of ultra-thin sheet-metal involving size effect in blanking process: Analysis based on modified GTN model. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2017. 133. pp. 288-302.
10. Lisunets N. L. Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the processes of metal shear cutting. *CIS Iron and Steel Review*. 2019. 17. pp. 34–38.
11. Lisunets N. L. Improving the efficiency of the processes of billets manufacture from rolled metal via shift cutting based on simulation. *Chernye Metally*. 2018. 6. pp. 31–35.
12. Волков Ю. С., Лившиц А. Л. Введение в теорию размерного формообразования электрофизико-химическими методами. Киев: Вища школа. 1978. 120 с.
13. Саушкин Б. П. Комбинированные методы обработки в машиностроительном производстве. *Металлообработка*. 2003. С. 8-17.
14. Пат. 106828 Україна. Установа для ломки сортового прокату (труб). Карнаух С. Г., Карнаух Д. С., Чоста Н. В. № u201510764; заявл. 05.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
15. Пат. 134611 Україна. Установа для розділення прокату. Карнаух С. Г., Сидюк Д. М. № u201812765; заявл. 21.12.2018; опубл. 27.05.2019, Бюл. №10.
16. Пат. 134609 Україна. Установа для розділення прокату. Карнаух С. Г. № u201812760; заявл. 21.12.2018; опубл. 27.05.2019, Бюл. №10.
17. Пат. 125304 Україна. Пристрій для відрізки прокату. Карнаух С. Г. № u201710707; заявл. 03.11.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. №9.
18. Пат. 147486 Україна. Гідродинамічний хладнолом для розділення труб на мірні заготовки. Карнаух С. Г., Марков О. С., Чоста Н. В. № u202007833; заявл. 08.12.2020; опубл. 12.05.2021, Бюл. №19.

REFERENCES

1. Solovtsov S. S. Bezotkhodnaya razrezka sortovogo prokata v shtampakh. Moskva: Mashinostroenie. 1985. 176 p. (*in Russian*).
2. Finkel V. M. . Kholodnaya lomka prokata. Moskva: Metallurgiya. 1982. 192 s. (*in Russian*).
3. Karnaukh S. G., Markov O. E., Aliieva L. I., Kukhar V. V. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. 109. pp. 2457-2464.
4. Karnaukh S. G. Sovershenstvovanie bezotkhodnikh sposobov razdeleniya sortovogo prokata i oborudovaniya dlya polucheniya zagotovok visokogo kachestva: monografiya. Kramatorsk: DGMA. 2010. 196 p. (*in Russian*)
5. Yin J-F, Bai Q., Zhang B. Methods for detection of subsurface damage: a review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2018. 31. pp. 1–14.
6. Zheng Q., Zhuang X., Zhao Z. State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology. *Production Engineering*. 2019. 13. pp. 61–70.
7. Chikishev D. Mathematical modeling of steel chemical composition and modes of thermomechanical treatment influence on hot-rolled plate mechanical properties. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. 92. pp. 3725–3738.
8. Zhao P. J., Chen Z. H., Dong C. F. Experimental and numerical analysis of micromechanical damage for DP600 steel in fine-blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. 236. pp. 16-25.
9. Wang S., Chen Z., Dong C. Tearing failure of ultra-thin sheet-metal involving size effect in blanking process: Analysis based on modified GTN model. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2017. 133. pp. 288-302.

10. Lisunets N. L. Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the processes of metal shear cutting. *CIS Iron and Steel Review*. 2019. 17. pp. 34–38.
11. Lisunets N. L. Improving the efficiency of the processes of billets manufacture from rolled metal via shift cutting based on simulation. *Chernye Metally*. 2018. 6. pp. 31–35.
12. Volkov Yu. S., Livshits A. L. Vvedenie v teoriyu razmernogo formoobrazovaniya elektrofiziko-khimicheskimi metodami. Kyiv: Vishcha shkola. 1978. 120 p. (in Russian).
13. Saushkin B. P. Kombinirovannye metody obrabotki v mashinostroitelnom proizvodstve. *Metalloobrabotka*. 2003. pp. 8-17 (in Russian).
14. Pat. 106828 Ukraine. Ustanovka dlya lomki sortovogo prokatu (trub). Karnaukh S. G., Karnaukh D. S., Chosta N. V. № u201510764; zayavl. 05.11.2015; opubl. 10.05.2016, Byul. № 9 (in Ukrainian).
15. Pat. 134611 Ukraine. Ustanovka dlya rozdilennya prokatu. Karnaukh S. G., Sidyuk D. M. № u201812765; zayavl. 21.12.2018; opubl. 27.05.2019, Byul. №10 (in Ukrainian).
16. Pat. 134609 Ukraine. Ustanovka dlya rozdilennya prokatu. Karnaukh S. G. № u201812760; zayavl. 21.12.2018; opubl. 27.05.2019, Byul. №10 (in Ukrainian).
17. Pat. 125304 Ukraine. Pristrii dlya vidrizki prokatu. Karnaukh S. G. № u201710707; zayavl. 03.11.2017; opubl. 10.05.2018, Byul. №9 (in Ukrainian).
18. Pat. 147486 Ukraine. Gidrodinamichnii khladnolom dlya rozdilennya trub na mirni zagotovki. Karnaukh S. G., Markov O. E., Chosta N. V. № u202007833; zayavl. 08.12.2020; opubl. 12.05.2021, Byul. №19 (in Ukrainian).

Karnaukh S., Chosta N. Development of promising technologies and designs of equipment for waste-free separation of rolled products.

The purpose of this work is to develop promising technologies and equipment designs for separating rolled products into cut-to-length billets. Based on the analysis of the developed classifier of non-waste methods for separating rolled bars into cut-to-length blanks, software has been developed for solving the problem of synthesizing combined methods for processing blanks. Using the tools of combinatorics, a search was made for options for implementing waste-free methods for separating long products according to the main features. Based on the results obtained, a technology for the waste-free separation of rolled products and promising designs of equipment for the separation of rolled products into cut-to-length billets have been developed. The essence of the proposed technological and design solutions lies in the fact that the energy of elastic deformation of the frame and the drive of the equipment, which is accumulated and instantly released in the equipment for the implementation of separating operations, is used to perform useful work - applying a stress concentrator. The stress concentrator can be applied both by introducing a wedge knife into the rolled stock and applying a triangular-shaped concentrator, or by partially shifting the workpiece relative to the rod. When applying a stress concentrator in the separation plane, accumulating submicro- and microcracks arise and develop, which leads to the direction of the future macrocrack. In this case, strengthening develops in the volume of the metal adjacent to the fracture plane, accompanied by a change in the mechanical characteristics of the macro- and microstructure of the metal. The tensile strength, yield strength increases, plasticity characteristics decrease. A macrocrack originates on the line connecting the depressions of the notches that occur when the workpiece is displaced relative to the rolled product. The macrocrack can be extremely large, which meets the optimal requirements for the cold bending process. At the same time, additional compressive stresses are created along the entire path of movement of the reduced crack, which are oriented along the required cutting direction, which ensures stabilization of the crack trajectory. The use of the proposed developments makes it possible to obtain high-quality blanks, increase the productivity of the process of separating tubular blanks, expand the technological capabilities of the equipment, increase the reliability of equipment, and improve the culture of production.

Key words: *separation, shear cutting, bending breaking, geometric accuracy, workpiece, quality, reliability.*

Карнаух Сергій Григорович – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрою ДДМА

Karnaukh Sergii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of department of the DSEA

E-mail: karnaukh.sergii@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2878-4065>

Чоста Наталія Вікторівна – канд. техн. наук, доцент ДДМА

Chosta Natalia – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor DSEA

E-mail: natalychosta@i.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5275-6414>

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ

Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk