



УДК: 621.979.134

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-4

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СХЕМ ПОДІЛУ ТРУБ НА МІРНІ ЗАГОТОВКИ

Карнаух Сергій Григорович, к.т.н, доцент  
Донбаська державна машинобудівна академія

Sergii Karnaukh, Ph.D., Associate Professor  
Donbass State Engineering Academy

*В статті наведено результати дослідження відомого способу поділу труб на мірні заготовки впровадженням фігурного ножа і розробки перспективних конструкцій обладнання для його реалізації. На основі аналізу виконавчих кривошипно-повзунних механізмів, що використовуються в устаткуванні для поділу труб, виявлені перспективні схеми коротко шатунних механізмів, які забезпечують локальний надріз трубчастой заготовки по периметру. Розроблена конструкція пристрою для поділу труб на мірні заготовки способом ексцентричного закручування, яка містить клиношарнірний механізм у комбінації з компактним круговим виконавчим механізмом, що дозволяє знизити енергосилові витрати на розділення, зменшити наслідки миттєвого розвантаження обладнання та забезпечити високу геометричну точність заготовок. Розроблено математичну модель запропонованого обладнання, з використанням якої побудовано графік зміни моменту опору на ножі від кута його повороту. Для перевірки розробленої математичної моделі проведено моделювання процесу відрізки з використанням програмного комплексу DEFORM-3D.*

*Аналіз отриманих результатів показав, що в крайніх положеннях ножів момент відрізки має від'ємне значення, що відповідає зонам їх заклинювання. Для уникнення заклинювання необхідно передбачити, щоб ножі не доходили до крайнього положення не менш ніж на 20°. Адекватність математичної моделі підтверджено експериментальними дослідженнями. Похибка розрахованого і виміряного значень моменту на відрізнаму ножі не перевищує 10%. Це пов'язано із необхідністю більш коректного урахування тертя на контактних поверхнях обладнання. Відрізані мірні трубчасті заготовки мають високі показники геометричної точності і високу якість поверхні зрізу.*

**Ключові слова:** трубчаста заготовка, сила відрізки, якість, клин, шарнір, повзун, ексцентриситет

**Ф. 5. Рис. 10. Літ. 11.**

### 1. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Застосування труб у різних машинах і технологіях безупинно розширюється. У світовій практиці виробництво труб різного призначення здійснюється з обмеженням їх розмірів по довжині, що приводить до необхідності розділення труб на заготовки необхідної довжини [1-6].

У цей час існує безліч способів різання труб, які можна розділити на ті, що з відходом й безвідхідні [1-3,4,6]. Істотний внесок у розвиток теорії й практики процесів безвідхідної відрізки металу внесли вчені: І. О. Тім, Д. К. Чернов, З. Т. Мещерин, С. С. Соловцов, К. Кесслер, О. Келлер, Х. Гросс, Т. Накагава й ін. [1-3]. На основі аналізу існуючих способів і схем, а також устаткування й оснащення для відрізки сортового прокату і труб зсувом у роботах [4-6] запропоновані раціональні схеми відрізки, розроблено перспективні конструкції устаткування, дано рекомендації з вибору конструктивних і технологічних параметрів устаткування й процесу поділу.

Аналіз літературних джерел [1-10] дозволив зробити висновок про те, що немає універсальних способів поділу труб. У якості критерію доцільності використання того або іншого способу виступають або економічні, або технічні аспекти. Вивченість і конструкторсько-технологічне пророблення різних процесів не однакова. Ця обставина найчастіше є головною причиною того, що одні процеси широко застосовуються в промисловості, а інші тривалий час залишаються на рівні ідей.

### 2. Мета дослідження

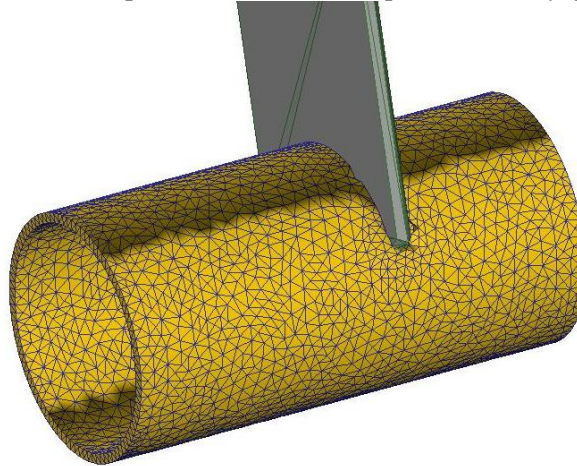
Метою даної роботи є дослідження відомого способу поділу труб впровадженням фігурного ножа й розробка перспективних конструкцій штампкової оснастки для розділення труб.

### 3. Виклад основного матеріалу

На рис. 1 представлена традиційна розрахункова схема розділення труб фігурним ножом.

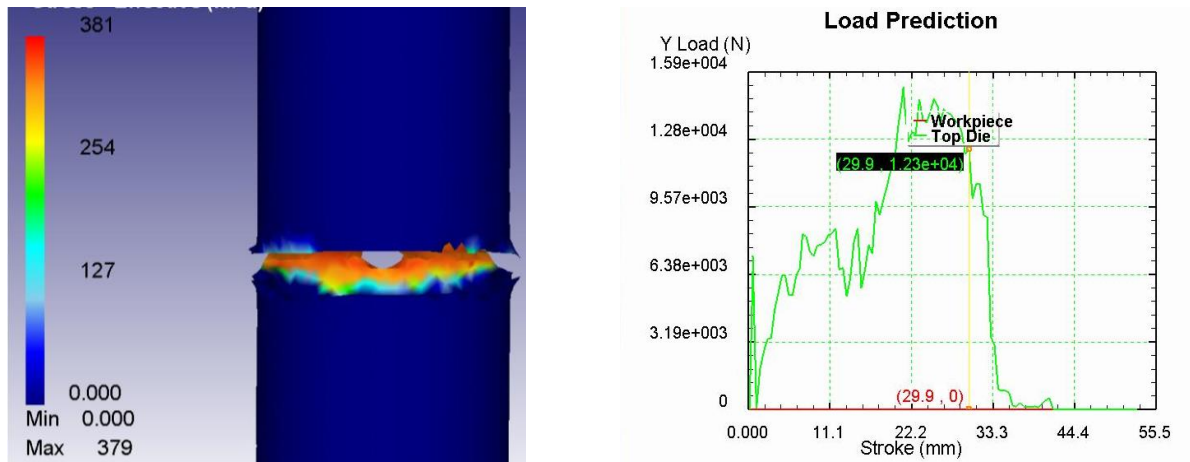
Розрахунки проводилися з використанням програмного комплексу DEFORM-3D – потужної системи моделювання технологічних процесів, яка призначена для аналізу тривимірної (3D) поведінки металу при різних процесах обробки тиском. Комплекс DEFORM дозволяє заглянути «усередину» технологічного процесу, простежити за поведінкою металу, виявити дефекти. Головна перевага цієї програми полягає в тому, що завдяки DEFORM-3D заощаджується час і кошти.

Матеріал труби – Сталь 20. Розміри: зовнішній діаметр – 16 мм, внутрішній діаметр – 12 мм.



*Рис. 1. Розрахункова схема розділення труби фігурним ножом*

Результати розрахунків представлені на рис. 2.



*Рис. 2. Результати розрахунків*

Аналіз графіків зміни сили різання на ножі показує, що вона різко зростає на кінцевому етапі поділу, що відповідає етапу відділення великого обсягу відходу. Зусилля розділення становить 15,3 кН.

На підставі моделювання процесу відрізки труб традиційним способом у штампах можна зробити висновок про те, що одержувані трубчасті заготовки мають не високу геометричну точність (див. рис. 2) при значних величинах енергосилових параметрів процесу поділу. Тому необхідно розробити таку конструкцію устаткування, яка б забезпечувала зниження енергосилових параметрів різання при забезпеченні високої якості трубчастих заготовок. Для цього запропоновано використовувати компактний кривошипно-круговий механізм. Такий механізм має чотириланкову структурну схему й за законом руху повзуна наближаються до шестиланкового механізму.

На основі кривошипно-кругового механізму розроблена конструкція пристрою для поділу труб на мірні заготовки способом ексцентричного закручування (рис. 3), який складається з корпусу 1, клиношарнірного механізму з увігнутим клином, що містить клин 2 з увігнутим профілем, установлений з можливістю зворотно-поступального руху, шарнір 3, який, з одного боку, контактує по криволінійній поверхні радіуса  $R$  із клином 2, а, з іншого боку, по криволінійній поверхні радіуса  $r$ , з

повзуном 4, який також установлений з можливістю зворотно-поступального руху. Шарнір 3 має можливість коливального руху в повзуні 4 відносно осі штифта 5. У повзуні 4 виконано отвір прямокутної форми, у якому розміщується камінь 6 з можливістю зворотно-поступального руху. В отворі каменю 6 у підшипниках ковзання встановлено втулкові ножі 7, виконані цільними у вигляді двох ексцентричних циліндрів, осі обертання яких зміщені одна відносно іншої на величину ексцентриситету  $e$  й установлені з можливістю обертального руху в протилежні сторони. Повзун 4 підпружинено за допомогою буфера 9.

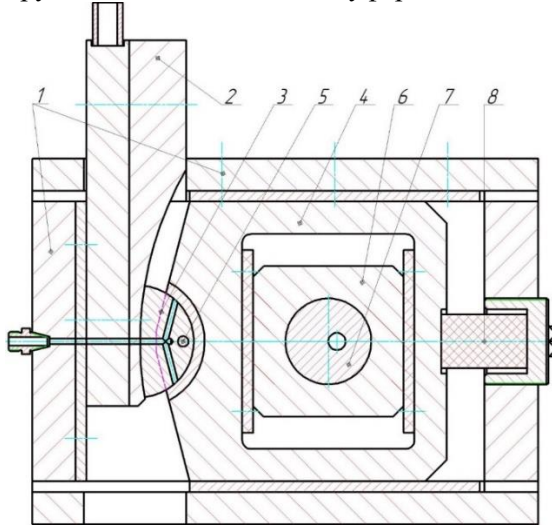


Рис. 3. Пристрій для поділу труб [11]

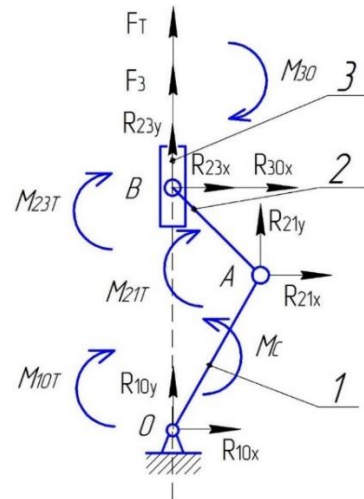


Рис. 4. Схема механізму із прикладеними силами й реакціями в кінематичних парах

Пристрій працює у такий спосіб. У вихідному положенні труба розміщується в отворах втулкових ножів 7: рухомого й нерухомого. При цьому рухомий ніж установлений зі зміщенням від вертикального положення на певний кут (не менше  $20^\circ$ ). Це зроблено для того, щоб механізм не заклинило. Під дією сили привода клин 2 переміщується вниз, взаємодіє по криволінійній поверхні із шарніром 3, в результаті чого останній обертається навколо своєї осі на кут  $\alpha$ . При цьому коливальний рух шарніра 3 перетворюється в поступальний рух повзуна 4, який також переміщується вниз. При цьому рухомий втулковий ніж 7 обертається на кут, достатній для відрізки заготовки зсувом способом ексцентричного закручування відносно нерухомого ножа. Після здійснення робочого ходу повзун 4 повертається у вихідний стан під дією сили буфера 9.

У запропонованій конструкції пристрою використано компактний кривошипно-шатунний механізм у комбінації з рамним повзуном. Розвинена площа опори шатуна у повзуні знижує питомі сили в цій опорі й сприяє гасінню коливань, що в комбінації з малою деформаційною зоною приводить до високої динамічної стійкості й відсутності розгойдування на фундаменті.

При відрізці ексцентричним закручуванням заготовка, що відрізається, здійснює круговий рух навколо осі, зміщеної стосовно осі основної труби на певну відстань – величину  $e$  ексцентриситету, який не перевищує величини радіуса труби. Даний спосіб відрізки є сполученим процесом: відрізки зсувом і крутіння та поєднує позитивні сторони обох процесів. Ексцентричний рух і рух по спіралі забезпечують надріз профілю по периметру й тим самим, створюють концентратор напружень в площині поділу, що сприятливо позначається на якості відрізаних трубчастих заготовок.

Розроблена математична модель кривошипно-кругового механізму, розрахункова схема якого представлена на рис. 4. Силами ваги й інерції деталей механізму зневажали. Силу розрахунку починали з розгляду структурної групи 2-3. Нижче наведена система рівнянь рівноваги, що включає сили тертя в поступальній парі й моменти тертя в обертальній.

$$\sum M_A(F_i)_2 = 0: R_{23x} \cdot (y_A - y_B) - R_{23y} \cdot (x_A - x_B) + M_{21T} + M_{23T} = 0;$$

$$\sum M_B(F_i)_3 = 0: M_{32T} + M_{30} = 0;$$

$$\sum (F_{ix})_3 = 0: R_{30x} - R_{23x} = 0;$$

$$\sum (F_{iy})_3 = 0: -R_{23y} - F_3 + F_T = 0;$$

$$\sum (F_{ix})_2 = 0: R_{21x} + R_{23x} = 0;$$

$$\sum (F_{iy})_2 = 0: R_{21y} + R_{23y} = 0,$$

(1)



де  $R_{21x}$ ,  $R_{23x}$ ,  $R_{23y}$ ,  $R_{21y}$  – реакції в шарнірах;  $R_{30x}$  – реакція в поступальній парі;  $F_T$  – сила тертя в поступальній парі;  $F_3$  – сила прикладена до повзуна;  $M_{21T}$ ,  $M_{23T}$ ,  $M_{32T}$  – моменти тертя в обертальній парі, які можуть бути представлені у вигляді наступних залежностей:

$$\begin{aligned} M_{21T} &= -\sqrt{R_{21x}^2 + R_{21y}^2} \cdot f_A \cdot r_A \cdot \text{sign}(\varphi'_2 - \varphi'_1) \\ M_{23T} &= -\sqrt{R_{23x}^2 + R_{23y}^2} \cdot f_B \cdot r_B \cdot \text{sign}(\varphi'_2) \\ M_{32T} &= -M_{23T}; \\ M_{12T} &= -M_{21T}; \\ F_T &= -|R_{30x} \cdot f_n| \cdot \text{sign}(x'_3), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $r_A$ ,  $r_B$  – радіуси шарнірів;  $f_A$ ,  $f_B$ ,  $f_n$  – коефіцієнти тертя;  $\varphi'_1$ ,  $\varphi'_2$ ,  $x'_3$  – передатні функції першого порядку.

У результаті розв'язку системи рівнянь (1) з урахуванням (2) можуть бути визначені реакції в кінематичних парах, сили й моменти тертя. Для визначення знаку сил тертя й моментів тертя необхідно знати передатні функції першого порядку всіх ланок. З метою їх визначення розроблена методика кінематичного аналізу механізму за допомогою розроблених процедур. Для розв'язку нелінійної системи рівнянь (1), (2) використаний метод Ньютона [6]. Знаючи реакції  $R_{21x}$  й  $R_{21y}$  визначали момент опору з боку заготовки, з умови рівноваги ланки 1:

$$\begin{aligned} \sum (F_{ix})_1 &= 0: -R_{21x} + R_{10x} = 0; \\ \sum (F_{iy})_1 &= 0: -R_{21y} + R_{10y} = 0; \\ \sum M_0(F_i)_1 &= 0: M_{10T} + M_C + M_{12T} + R_{21x} \cdot (y_0 - y_A) - R_{21y} \cdot (x_0 - x_A) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $M_C$  – момент опору;  $R_{10x}$ ,  $R_{10y}$  – реакції в шарнірі;  $M_{10T}$  – момент тертя в обертальній парі, який може бути представлений у вигляді наступної залежності:

$$M_{10T} = -\sqrt{R_{10x}^2 + R_{10y}^2} \cdot f_0 \cdot r_0 \cdot \text{sign}(\varphi'_1), \quad (4)$$

де  $r_0$  – радіус шарніра;  $f_0$  – коефіцієнт тертя.

Результати розрахунків, проведені для заготовок із стали 20 (зовнішній діаметр – 16 мм, внутрішній діаметр – 12 мм, довжина – 200 мм, величина ексцентриситету  $e = 3$  мм), представлені на рис. 5 (залежність зміни моменту опору від кута повороту ножа).

Для перевірки розробленої математичної моделі проведено моделювання технологічного процесу відрізки труб зсувом з використанням програмного комплексу DEFORM-3D [7,9].

Принципова схема процесу відрізки мірної трубчастой заготовки наведена на рис. 6.

З урахуванням специфіки процесу сумарний момент поділу  $M_C$  дорівнює:

$$M_C = M_p + M_{кр} + M_T, \quad (5)$$

де  $M_p$  – момент відрізки трубчастой заготовки;  $M_{кр}$  – момент крутіння частини трубчастой заготовки, що відрізається;  $M_T$  – момент тертя.

Матеріал трубчастой заготовки – С 25 (ISO). Розміри заготовки: зовнішній діаметр – 16 мм, внутрішній діаметр – 12 мм, довжина – 200 мм. Величина ексцентриситету  $e = 3$  мм.

Для моделювання процесу відрізки задавали наступні параметри:

- кутова швидкість рухливого ножа –  $3 \text{ с}^{-1}$ ;
- температура –  $20^\circ\text{C}$ ;
- критерій руйнування – Normalized C&L.



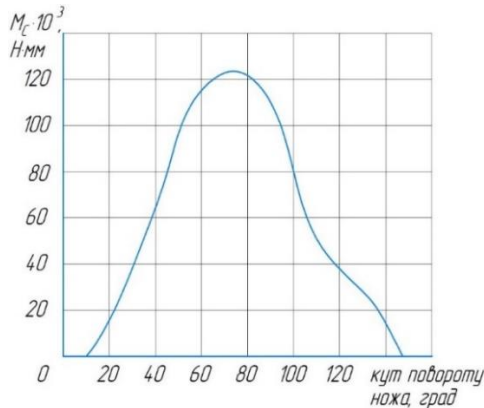


Рис. 5. Графік зміни моменту опору на ножі від кута повороту ножа

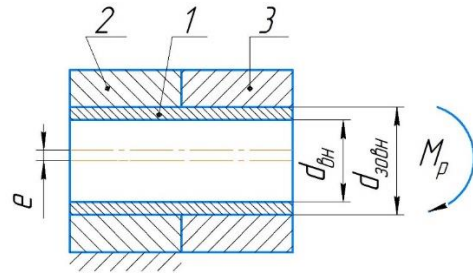


Рис. 6. Схема процесу відрізки (1 – труба; 2,3 – нерухомий та рухомий ножі)

Результати розрахунків представлені на рис. 7.

Розрахункова максимальна сила відрізки труби складала  $F_{max} = 8,6$  кН (див. рис. 7). При цьому момент відрізки трубчастої заготовки можна розрахувати, як:

$$M_p = F_{max} \cdot (d/2 + e) = 8600 \cdot (16/2 + 3) = 94600 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Таким чином, момент опору  $M_c = 122000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ , розрахований за формулою (3), добре узгоджується з величиною моменту відрізки  $M_p = 94600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ , з урахуванням додаткових витрат на крутіння і тертя в ножах (5), що відповідає фізичним процесам, які відбуваються при поділі. Аналіз графіка (див. рис. 5) показує, що в крайніх положеннях момент має негативне значення, що відповідає зонам заклинювання обладнання. Для усунення заклинювання необхідно, щоб поділ труб здійснювався, не доходячи до крайнього положення, не менш ніж на  $20^\circ$ .

Для перевірки результатів теоретичних розрахунків проведені експериментальні дослідження поділу труб способом ексцентричного закручування на установці оригінальної конструкції, виконаної на основі одноступінчастого циліндричного редуктора (рис. 8).

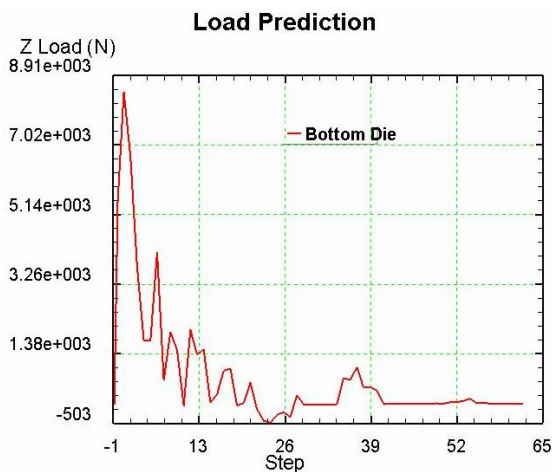


Рис. 7. Графік зміни сили відрізки на відрізнаму ножі



Рис. 8. Фотографія експериментальної установки

Рухомий та нерухомий ножі (втулки) закріплено відповідно на вихідному валу та на корпусі редуктора таким чином, щоб осі отворів під заготовку були зміщені відносно осей обертання ножів на величину  $e = 3$  мм. Передаточне число редуктора  $U = 4,3$ . Матеріал трубчастої заготовки – Сталь 20. Розміри заготовки: зовнішній діаметр – 16 мм, внутрішній діаметр – 12 мм, довжина – 200 мм.

Установка (див. рис. 8) працює в такий спосіб. У порожнину рухомого й нерухомого ножів-втулок подається трубчаста заготовка до упору. При включенні привода рухомий ніж робить обертний рух щодо своєї осі. При цьому на початковому етапі відрізки заготовка заклинюється між ножами. Потім відбувається пластичне занурення ріжучих крайок ножів у заготовку з крутінням частини, що

відрізається, у площині поділу до руйнування. Після здійснення рухомим ножом повного оберту на  $360^\circ$  осі ріжучих ножів знову збігаються один з одним і цикл роботи повторюється.

Силові параметри процесу поділу вимірювали за допомогою одноручного динамометра з індикаторною голівкою, який попередньо тарувався. Вимір геометричних параметрів, що характеризують геометричну точність відрізаных заготовок, робили методом прямого виміру з використанням універсального вимірювального інструмента за відомою схемою виміру [4].

Залежність моменту на рухомому ножі від кута повороту ножа представлена на рис. 9.

Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками, які отримані за допомогою запропонованої математичної моделі й спеціалізованої програми DEFORM 3D. Величина моменту опору, яку отримано за рахунок експериментальних досліджень, перевищує значення теоретичних розрахунків не більше ніж на 10%. Це пов'язано з необхідністю більш коректного урахування тертя на контактних поверхнях обладнання.

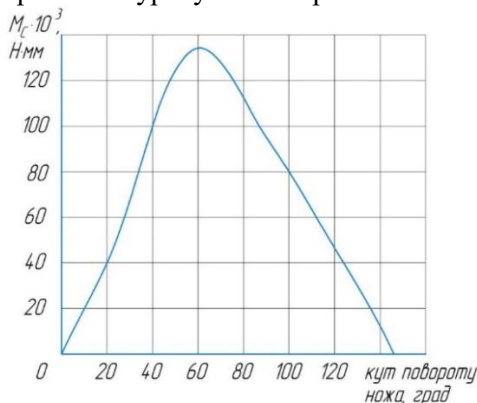


Рис. 9. Залежність моменту на рухомому ножі від кута повороту ножа

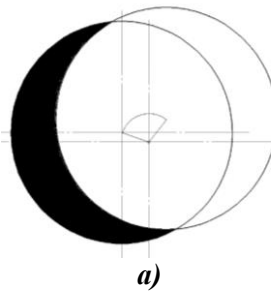


Рис. 10. Траєкторія руху ножів (а), фотографія неповністю відрізаної заготовки зі сталі 20 (б)

На рис. 10 зображена траєкторія руху втулкових ножів та фото неповністю відрізаної трубчастої заготовки.

Відрізані трубчасті заготовки мають високі показники геометричної точності.

#### 4. Висновки

1. На основі аналізу виконавчих кривошипно-повзунних механізмів, які використовуються в устаткуванні для поділу труб виявлені перспективні схеми коротко шатунних механізмів, які забезпечують локальний надріз заготовки по периметру. Розроблена конструкція пристрою для поділу труб на мірні заготовки способом ексцентричного закручування, яка містить клиношарнірний механізм у комбінації з компактним круговим виконавчим механізмом, що також дозволяє знизити енергосилові витрати на розділення, зменшити наслідки миттєвого розвантаження обладнання та забезпечити високу якість заготовок.

2. Розроблено математичну модель запропонованого обладнання, адекватність якої підтверджено експериментальними дослідженнями. Похибка розрахованого й виміряного значень моменту на відрізаному ножі не перевищує 10%. Це пов'язано з необхідністю більш коректного урахування тертя на контактних поверхнях обладнання.

#### Список використаних джерел

1. Song JL, Li YT, Liu ZQ, Fu JH, Ting KL. Numerical simulation and experiments of precision bar cutting based on high speed and restrained state. *Mater. Sci. Eng. A*. 499 (1-2): 2009. 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.09.098>.
2. Krinninger, M., Steinlehner, F., Opritescu, D., Golle, R., Volk, W. On the influence of different parameters on the characteristic cutting surface when shear cutting aluminum. *Procedia CIRP* 63: 2017. 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.156>.
3. Gutknecht, F., Steinbach, F., Hammer, T., Clausmeyer, T., Volk, W., Tekkaya, AE. Analysis of shear cutting of dual phase steel by application of an advanced damage model. *Procedia Struct. Integr.* 2: 2016. 1700–1707. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.215>.



4. Соловцов С. С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах. М.: Машиностроение. 1985. 176 с.
5. Полухин П. И., Горелик С. С., Воронцов В. К. Физические основы пластической деформации. М.: Металлургия. 1982. 584 с.
6. Карнаух С. Г. Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества : монография. Донбасская государственная машиностроительная академия. Краматорск, 2010. 196 с.
7. Karnaukh S., Markov O., Aliieva L., Kukhar V. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. т. 109. Issue 9-12. 2457–2464. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05824-7>.
8. Karnaukh S. G., Karnaukh D. S. Research of the influence of deformation speed on energy and power adjectives of the process of three-point cold bend breaking and on alignment integrity of raw parts. *Metallurgical and Mining Industry*. Dnepropetrovsk. 2011. №3. Vol.3. P. 107–114.
9. Roganov L. L., Karnaukh S. G., Karnaukh D. S. Modelling of process of reception of measured cut-to-length sections from rolled section steel of circular section according to the scheme of incompletely closed parting cut. *12th International conference «Research and development in mechanical industry». RaDMI*. 2012. Vol. 2. P. 787–790.
10. Karnaukh S. G. Development of the choice procedure for separation method of section iron complex criteria of materials destruction. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2016. №2(80). P. 31–38.
11. Пристрій для поділу сортового прокату на мірні заготовки способом ексцентричного закручування : пат. 51501 Україна, заявл. 13.11.2009; опубл. 26.07.2010, Бюл. №14 (кн.1). 120 с.

### References

- [1] Song, J.L., Li, Y.T., Liu, Z.Q., Fu, J.H., Ting, K.L. (2009). Numerical simulation and experiments of precision bar cutting based on high speed and restrained state. *Mater. Sci. Eng. A*. 499 (1-2): 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.09.098>. [in English].
- [2] Krinninger, M., Steinlehner, F., Opritescu, D., Golle, R., Volk, W. (2017). On the influence of different parameters on the characteristic cutting surface when shear cutting aluminum. *Procedia CIRP* 63: 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.156>. [in English].
- [3] Gutknecht, F., Steinbach, F., Hammer, T., Clausmeyer, T., Volk, W., Tekkaya, A.E. (2016). Analysis of shear cutting of dual phase steel by application of an advanced damage model. *Procedia Struct. Integr.* 2: 1700–1707. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.215>. [in English].
- [4] Solovczov, S. S. (1985). Bezotkhodnaya razrezka sortovogo prokata v shtampakh. М.: Mashinostroenie. [in Russian].
- [5] Polukhin, P.I., Gorelik, S.S., Voronczov, V.K. (1982). Fizicheskie osnovy` plasticheskoy deformaczii. М.: Metallurgiya. [in Russian].
- [6] Karnaukh, S. G. (2010). Sovershenstvovanie bezotkhodny`kh sposobov razdeleniya sortovogo prokata i oborudovaniya dlya polucheniya zagotovok vy`sokogo kachestva : monografiya. Donbasskaya gosudarstvennaya mashinostroitel`naya akademiya. Kramatorsk. [in Russian].
- [7] Karnaukh, S., Markov, O., Aliieva, L., Kukhar, V. (2020). Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. m. 109. Issue 9-12. 2457-2464. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05824-7>. [in English].
- [8] Karnaukh S.G., Karnaukh D.S. (2011). Research of the influence of deformation speed on energy and power adjectives of the process of three-point cold bend breaking and on alignment integrity of raw parts. *Metallurgical and Mining Industry*. Dnepropetrovsk. №3. Vol.3. P. 107–114. [in English].
- [9] Roganov, L.L., Karnaukh, S.G., Karnaukh, D.S. (2012). Modelling of process of reception of measured cut-to-length sections from rolled section steel of circular section according to the scheme of incompletely closed parting cut. *12th International conference «Research and development in mechanical industry». RaDMI*. Vol. 2. 787–790. [in English].
- [10] Karnaukh, S.G. (2016). Development of the choice procedure for separation method of section iron complex criteria of materials destruction. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2(80). 31–38. [in English].
- [11] Pristrij dlya podilu sortovogo prokatu na mimi zagotovki cposobom ekscentrichnogo zakruchuvannya: pat. 51501 Ukrayina, zayavl. 13.11.2009; opubl. 26.07.2010, Byul. №14 (kn.1). 120 s. [in Ukrainian].

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУБ НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

В статье приведены результаты исследования известного способа разделения труб на мерные заготовки внедрением фигурного ножа и разработки перспективных конструкций оборудования для его реализации. На основе анализа исполнительных кривошипно-ползунных механизмов, используемых



в оборудовании для разделения труб, обнаружены перспективные схемы коротко шатунных механизмов, обеспечивающих локальный надрез заготовки по периметру. Разработана конструкция устройства для разделения труб на мерные заготовки способом эксцентричного закручивания, которая содержит клиношарнирный механизм в сочетании с компактным круговым исполнительным механизмом, что позволяет снизить энергосиловые расходы на разделение, уменьшить последствия мгновенного разгрузки оборудования и обеспечить высокую геометрическую точность заготовок. Разработана математическая модель предложенного оборудования, с использованием которой построено график изменения момента сопротивления на ноже от угла его поворота. Для проверки разработанной математической модели проведено моделирование процесса отрезки с использованием программного комплекса DEFORM-3D.

Анализ полученных результатов показал, что в крайних положениях ножей момент отрезки принимает отрицательное значение, что отвечает зонам их заклинивания. Для предотвращения заклинивания необходимо, чтобы ножи не доходили до крайнего положения не менее чем на  $20^\circ$ . Адекватность математической модели подтверждена экспериментальными исследованиями. Погрешность рассчитанного и измеренного значений момента на отрезном ноже не превышает 10%. Это связано с необходимостью более корректного учета трения на контактных поверхностях оборудования. Отрезанные трубчатые заготовки имеют высокие показатели геометрической точности и высокое качество поверхности среза.

**Ключевые слова:** трубчатая заготовка, сила отрезки, качество, клин, шарнир, ползун, эксцентриситет.  
**Ф. 5. Рис. 10. Лим. 11.**

#### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF PROMISING SCHEMES FOR DIVIDING PIPES INTO DIMENSIONAL BILLETS

The purpose of this work is to study the known method of division of pipes by introducing a figure knife and the development of promising designs of equipment for division of pipes into measured workpieces. Based on the analysis of the actuating crank-slider mechanisms used in the equipment for division of pipes into measured workpieces, promising schemes of short-connecting rod mechanisms have been discovered that provide a local pipe section along the perimeter. The developed design of the device for dividing pipes into dimensional workpieces by the eccentric twisting method, which contains a wedge-joint mechanism in combination with a compact circular actuator, also allows to reduce energy and power costs for separation, reduce the consequences of instantaneous unloading of equipment and ensure high quality workpieces. A mathematical model of the proposed equipment was developed and the modeling of the cutting process was carried out using the DEFORM-3D software package.

The analysis of the results obtained showed that in the extreme positions of the knives, jamming of the knives is possible. To eliminate jamming, it is necessary that the knives do not reach the extreme position. The adequacy of the mathematical model is confirmed by experimental studies. The error of the calculated and measured values of the torque on the cutting knife does not exceed 10%. This is due to the need for a more correct accounting of friction on the contact surfaces of the equipment. Cut tubular blanks have high geometric accuracy and high quality of the cut surface.

**Key words:** tubular blank, parting force, quality, wedge, hinge, slider, eccentricity.  
**F. 5. Pic. 10. Ref. 11.**

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Карнаух Сергій Григорович** – к.т.н., доцент, зав. кафедрою «Основ проектування машин» Донбаської державної машинобудівної академії (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна, email: [k\\_sergii@i.ua](mailto:k_sergii@i.ua), <https://orcid.org/0000-0003-2878-4065> )

**Карнаух Сергей Григорьевич** – к.т.н., доцент, зав. кафедры «Основы проектирования машин» Донбасской государственной машиностроительной академии (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина, email: [k\\_sergii@i.ua](mailto:k_sergii@i.ua), <https://orcid.org/0000-0003-2878-4065> ).

**Sergii Karnaukh** – Ph.D., Associate Professor of the Department "Fundamentals of Machine Design" of the Donbass State Engineering Academy (st. Akademicheskaya, 72, Kramatorsk, 84313, Ukraine, email: [k\\_sergii@i.ua](mailto:k_sergii@i.ua), <https://orcid.org/0000-0003-2878-4065> ).