

РОЗДІЛ III ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ ТИСКОМ У МЕТАЛУРГІЇ

УДК 621.96.002.5

DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)123

Карнаух С. Г.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАГОТОВОК, ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ЛОМКИ ЗГИНОМ ПРИ СТАТИКО-ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ НА ПРЕС-МОЛОТІ

Із усіх способів поділу сортового прокату на мірні заготовки, застосовуваних у сучасних заготівельних виробництвах, найбільш продуктивними й економічними є безвідхідні способи поділу сортового прокату: відрізка зсувом і холодна ломка згином. Метою роботи є підвищення якості заготовок способом ломки згином прокату шляхом дослідження процесу поділу при статико-динамічному навантаженні на прес-молоті. Комбіноване статико-динамічне навантаження при холодній ломці згином дозволяє знизити високочастотні коливання системи «інструмент – зразок – опори», виключити порушення контакту зразка з опорами, зменшити пікові величини сил з боку бойка й опор. Наявність статичної сили в момент удару забезпечує певний вихідний рівень напружень розтягання у зоні концентратора напружень, що підвищує керованість тріщиною. Передбачається, що руйнуюча тріщина при цьому завжди буде поширюватися в області напружень розтягання, що підвищує якість поділюваних заготовок. Більш відчутне підвищення якості заготовок буде проявлятися при поділі зразків великих поперечних перерізів. Реактивні сили з боку опор від дії статичної сили збігаються з напрямком інерційних сил половинок зразка й додатково доламують зразок. При цьому зі збільшенням довжини зразка зменшується величина його відриву від опор у початковій фазі навантаження, що позитивно позначається на якості розділяємих заготовок. Результати експериментів показують, що величина статичної сили, яка необхідна для виключення відриву зразка від опор, залежить від жорсткості контакту бойка із проміжним пуансоном і збільшується з ростом жорсткості проміжного пуансона. Величину жорсткості контакту бойка із проміжним пуансоном слід вибирати оптимальною за рахунок спеціальної конструкції пуансона. Експериментально встановлено, що величина попередньої статичної сили повинна бути не менш 40 % від сили, при якій відбувається руйнування зразка. Аналіз геометричної точності заготовок дозволив зробити висновок про те, що з підвищенням швидкості деформування якість заготовок поліпшується. Але найбільш висока якість заготовок спостерігається при статико-динамічному навантаженні. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технології процесу поділу сортового прокату на мірні заготовки способом холодної ломки згином.

Ключові слова: заготовка, прокат, холодна ломка згином, статико-динамічне навантаження, жорсткість, якість, собівартість.

На сучасному етапі розвитку машинобудування проблема економічного використання енергоресурсів і металу при його переробці пред'являє усе зростаючі вимоги до технології й устаткуванню для поділу вихідних матеріалів на заготовки. Це вимагає розвитку всього різноманіття відомих і створення нових ефективних процесів розділення прокату і устаткування для їхньої реалізації [1–3].

На кожному машинобудівному підприємстві операція поділу сортового прокату є типовою й масовою. Враховуючи, що у світі щомісяця виробляють десятки мільйонів заготовок із прокату, стає очевидною актуальність робіт, спрямованих на вдосконалення існуючих і розробку нових технологій виробництва заготовок [4–7].

Із усіх способів поділу сортового прокату на мірні заготовки, застосовуваних у сучасних заготівельних виробництвах, найбільш продуктивними й економічними є безвідхідні способи поділу сортового прокату: відрізка зсувом і холодна ломка згином [8, 9]. Комплексні дослідження безвідхідних способів поділу сортового прокату широко проводилися на території України [10–12] і за кордоном: Англії, Німеччини, Японії й ін. [1–7]. За цей час накопичений великий обсяг матеріалів про природу, механізми й критерії руйнування. У розвиток цієї науки

внесли істотний вклад учені: К. Kessler, О. Keller, Т. Nakagawa, Т. Ekobori, Е. Orovan, В. М. Финкель, В. Т. Мещерин, В. Р. Романовский, С. С. Соловцев, В. А. Тимошенко й багато інші [1, 5, 10–12].

У даній роботі досліджується спосіб поділу сортового прокату холодною ломкою згином. Сутність способу полягає в попередньому нанесенні на прокат концентратора напружень і згин прокату до руйнування в площині концентратора напружень. Крихка тріщина по своїх потенційних можливостях – ідеальний інструмент для безвідхідного поділу твердих матеріалів на частини. При цьому витрати енергії на розділення наближаються до свого мінімально можливого теоретичного рівня [8, 9, 10–12]. Однак широкому впровадженню даного способу поділу перешкоджає нестабільний характер поширення тріщини, що приводить до невисокої якості заготовок.

Розробка й застосування ефективних методів керування руйнуванням дозволяють значно поліпшити спосіб ламання прокату на заготовки й створити принципово нові методи, придатні для одержання заготовок під механічну обробку. У їхній основі лежить розуміння причин, що приводять до небажаних відхилень тріщини від заданої траєкторії, що дозволяє запропонувати діючі способи поліпшення якості поверхні розділення [12].

Перспективними напрямками вдосконалювання холодної ломки згином є підвищення швидкості навантаження й створення складного напруженого стану, що ускладнює пластичний плин у зоні зламу [13].

Метою роботи є підвищення якості заготовок способом ломки прокату шляхом дослідження процесу поділу при статико-динамічному навантаженні на прес-молоті.

У роботі [13, 14] розроблена комплексна математична модель процесу статико-динамічного навантаження зразків за схемою три точкової холодної ломки згином на прес-молоті з однаковим напрямком деформуючих сил, що відрізняється обліком попереднього статичного навантаження й конструктивних особливостей прес-молота. Аналіз результатів моделювання поділу зразків зі Сталі 45 (рис. 1) показує, що наявність статичного навантаження в момент удару приводить до більш плавного навантаження зразка, різкі піки сил на розрахункових кривих зникають. Збільшення статичної складової F_{st} приводить до росту амплітуди сил на інструменті й на опорах, хоча максимальне значення амплітуди для ударного навантаження вище у зв'язку з наявністю пікових значень сил. Величина статичного навантаження, необхідна для запобігання відриву зразка від опор, підвищується з ростом жорсткості контакту бойка й проміжного пуансона C_2 (см. рис. 1, в) [13, 14].

Для перевірки теоретичних розрахунків проведені експериментальні дослідження процесу поділу сортового прокату за схемою три точкової холодної ломки згином при статичному, динамічному й статико-динамічному навантаженні.

Для проведення експериментів використовувався прес-молот оригінальної конструкції із параметрами: $W = 0 \dots 1300$ Дж; сила статичного привода $F_{st} = 0 \dots 100$ кН; швидкість бойка $V = 0 \dots 20$ м/с; об'єм робочої рідини $Q = 12 \cdot 10^{-3}$ м³; тиск робочої рідини $p = 0 \dots 18$ МПа; маса бойка $m_2 = 2,00$ кг. Жорсткість контакту бойка й проміжного пуансона $C_2 = 100$ МН/м.

На рис. 2 наведена схема ресстрації даних при проведенні експериментів (рис. 2, а): 1 – ломатель; 2 – тензодатчики; 3 – зразок; 4 – опори, конструктивна схема (рис. 2, в), а також фото прес-молота (рис. 2, б) і оснастка (рис. 2, г) [13].

Установка для поділу зразків способом холодної ломки згином (див. рис. 2, в) складається із: станини 1, у напрямних якої розміщуються механізми затискача прокату, ломателя й опор, установлених з можливістю зворотно-поступального руху, обмеженого упорами 2 і накладками 3, які кріпляться до станини 1 болтами. Положення механізмів затискача, ломателя й опор фіксується за допомогою болтів 4, укрупнених в упори 2, гайок 5 і проставок 6. Механізм ломателя складається із корпусу 7, ломателя 8, установленого з можливістю зворотно-поступального руху в напрямних корпусу 7. Механізм опори складається з корпусу 9 і опорної пластини 10, яка утримується накладкою 11 за допомогою болтів із шайбами. Зразок 12 розміщується між двома опорними пластинами 10 і навантажується силою в площині концентратора напружень, нанесеного на зразок 12 посередині.

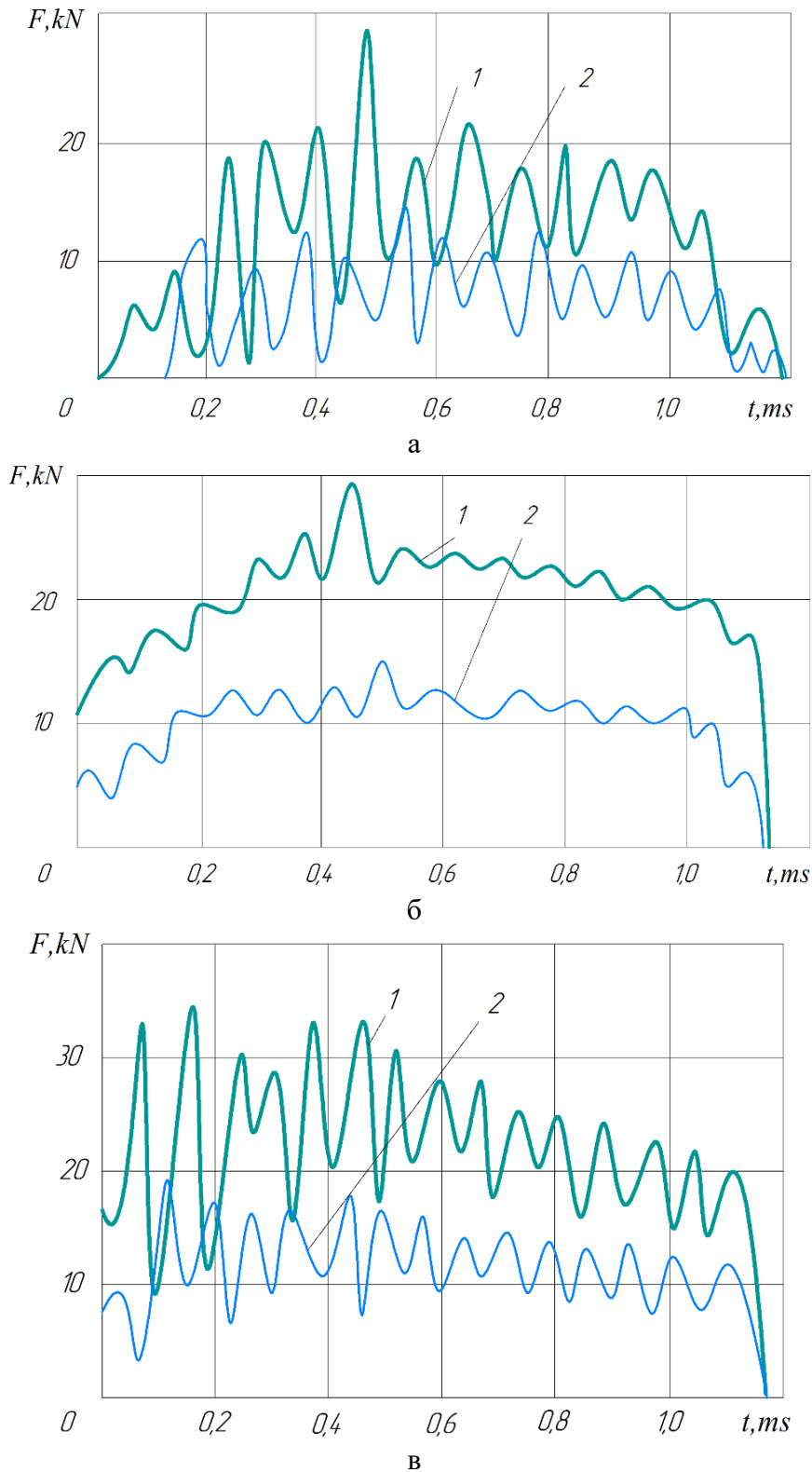


Рис. 1. Розрахункові криві зміни сил на контакті бойка зі зразком $F_4 = f(t)$ і зразка з опорами $F_6 = f(t)$: а – динамічне (ударне) навантаження $C_2 = 100 \text{ MN/m}$; б – статико-динамічне навантаження $F_{st} = 12 \text{ kN}$, $C_2 = 100 \text{ MN/m}$; в – статико-динамічне навантаження $F_{st} = 17F$, $C_2 = 500 \text{ MN/m}$ (Сталь 45)

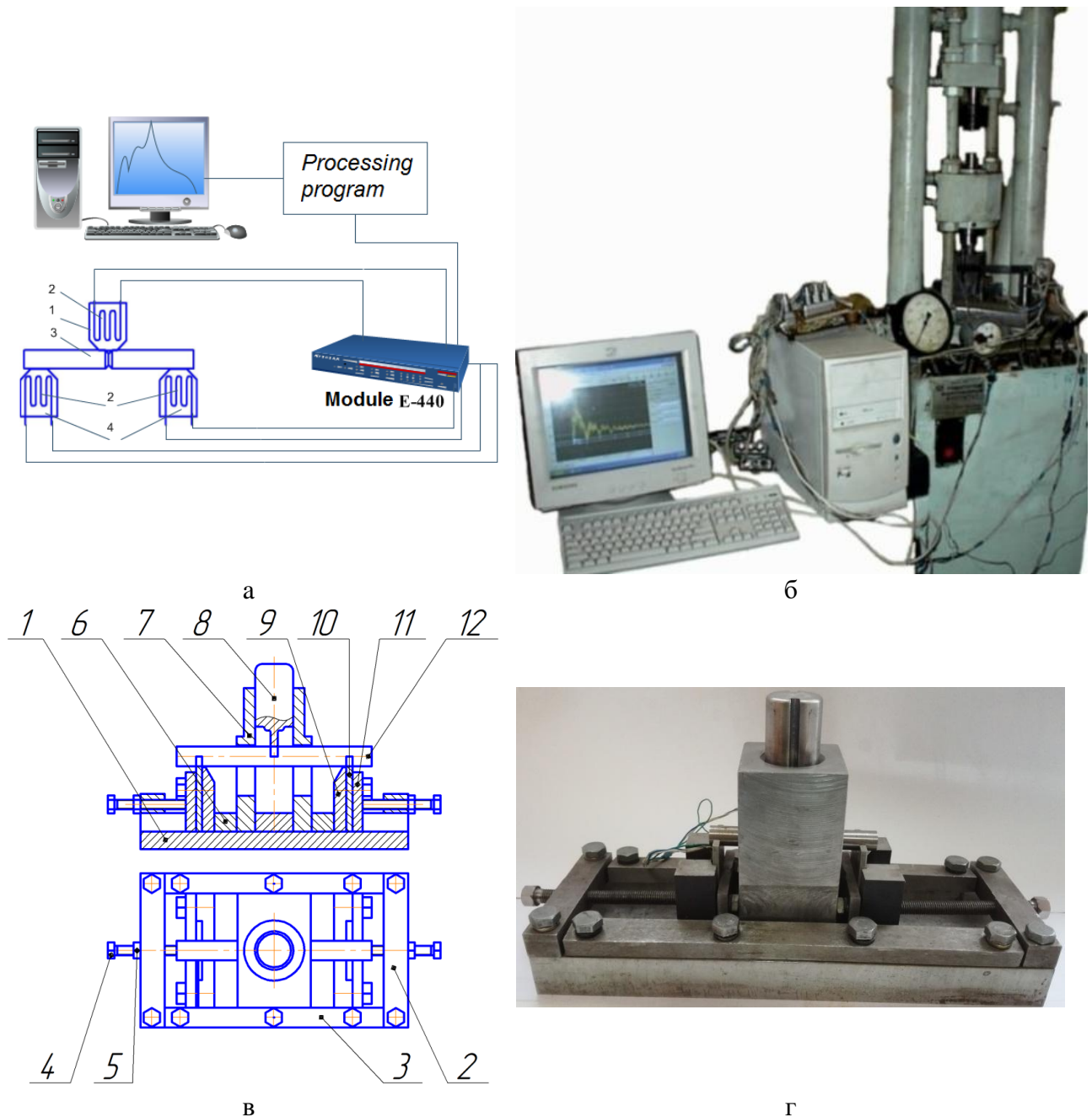


Рис. 2. Схема реєстрації експериментальних даних (а), конструктивна схема (б) і фото експериментального устаткування (в) і оснастки (г) [15, 16]

Інформація з тензодатчиків через універсальний реєструючий пристрій багатоканального збору інформації $E - 440$ подавалася до ПЕОМ. В ПЕОМ, після обробки з використанням оригінальної програми, інформація зберігалася в табличному й графічному видах, зручних для наступного аналізу. Основні характеристики реєструючого пристрою $E - 440$: цифровий сигнальний процесор $ADSP - 2185M$ тактовою частотою роботи 48 МН ; 16 диференціальних каналів або 32 каналу із загальною землею для аналогового введення з можливістю автоматичного коректування нуля; максимальна частота роботи 14-бітного $ADC - 400 \text{ кН}$, що дозволяє використовувати даний пристрій для дослідження ударних процесів.

Завдяки кільком каналам реєстрації сигнали записувалися одночасно по двом каналам: на ломателі й на опорах (див. рис. 2, б).

В експерименті використовувалися циліндричні зразки з розмірами: $d = 16 \text{ мм}$; $L = 76 \text{ мм}$; $L_0 = 60 \text{ мм}$. Маса зразка $m_6 = 0,25 \text{ кг}$. Зразки виготовлені із сортового прокату з різних марок

сталей, що перебувають у: пластичному – Сталь 20, пружнопластичному – Сталь 45 і крихкому стані – Сталь ШХ15. Механічні властивості матеріалів зразків представлені в табл. 1. На зразки попередньо за допомогою токарського різця наносили концентратори напружень у формі кільцевої канавки трикутного профілю з параметрами: глибина $\Delta H = 1,5$ мм; радіус при вершині – $\Delta r = 0,15$ мм. Плече прикладення навантаження $L_0/2 = 30$ мм. Розміри зон деформування й руйнування зразків визначали шляхом аналізу поверхні зламу з використанням мікроскопа.

Таблиця 1

Механічні властивості матеріалів зразків

Марка сталі	σ_{02} , МПа	σ_B , МПа	$\delta\%$	ψ , %	НВ
Сталь 20	245	470	19	42	161
Сталь 45	360	610	16	40	197
Сталь ШХ15	900	1080	8	36	360

Результати вимірів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Експериментальні виміри сил на ломателі й опорі при статичному, динамічному й статико-динамічному навантаженні

Марка сталі	Сила розділення, kN					
	при статичному навантаженні		при динамічному навантаженні		при статико-динамічному навантаженні	
	на ломателі	на опорі	на ломателі	на опорі	на ломателі	на опорі
Сталь 20	33	17	32	16	33	16
Сталь 45	33	16	32	16	34	17
Сталь ШХ15	35	18	34	17	36	18

Згладжені графіки зміни силових параметрів процесу три точкової холодної ломки згинном залежно від часу для зразків зі Сталь 45 при динамічному й статико-динамічному навантаженні представлені на рис. 3.

Аналіз результатів експериментальних досліджень (див. рис. 3) показує відсутність контакту між зразком 15 і опорами 13 у початковій фазі навантаження [14, 15, 16]. Причиною відриву зразка від опор є інерція його половинок і висока жорсткість опор при відносно малій жорсткості зразка.

Це підтверджує виводи про те, що в первісний момент часу зразок відривається від опор. Максимальні значення сил (див. рис. 3, а): $F_4 \cong 33kN$, $F_6 \cong 16kN$ (Сталь 45) незначно відрізняються від розрахованих вище, відповідно до розробленої математичної моделі: $F_4 \cong 29kN$, $F_6 \cong 14kN$. Трохи завищені експериментальні результати пояснюються необхідністю більш коректного врахування жорсткості зразка C_{bar} у площині розділення й жорсткості контакту бойка й проміжного пуансона – C_2 .

Час, за який відбувається процес руйнування для зразків з різних марок сталей склав: Сталь 20 – $t \cong 2,0ms$; Сталь 45 – $t \cong 0,8ms$; Сталь ШХ15 – $t \cong 0,9ms$, що відповідає розрахунковій моделі.

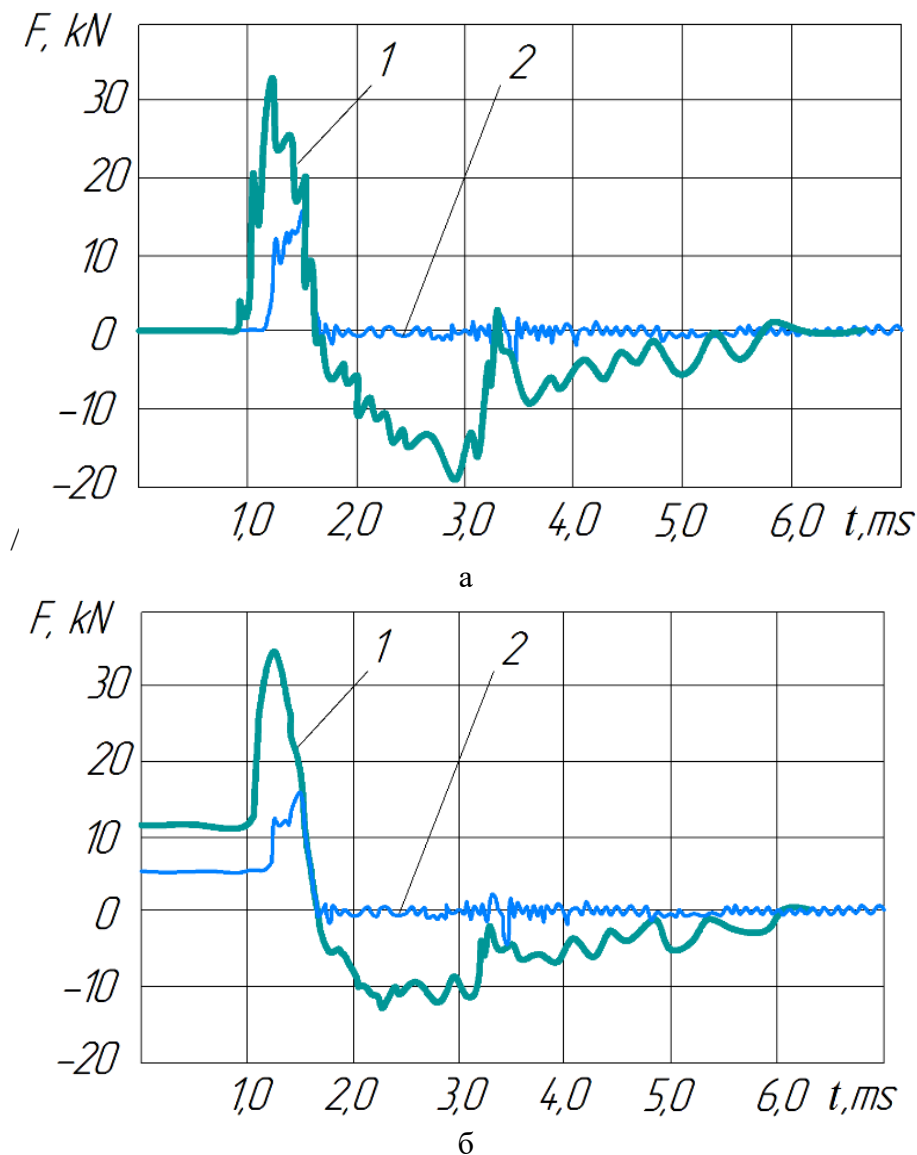


Рис. 3. Експериментальні залежності зміни сил на контакті ломателя зі зразком $F_4 = f(t) - 1$ і зразка з опорами $F_6 = f(t) - 2$ (показання двох каналів, що знімаються одночасно) для зразків зі сталі 45 при динамічному (а) і статико-динамічному навантаженні (б)

Зразки при статико-динамічному навантаженні розділяли способом ломки за схемою триточкового згину при попередньому статичному зусиллі $F_{st} = 12kN$, величина якого визначена експериментальним шляхом з урахуванням рекомендацій.

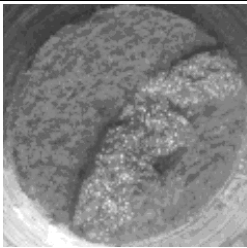
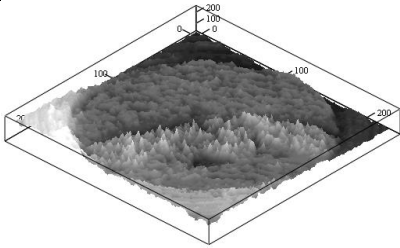
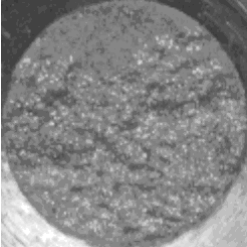
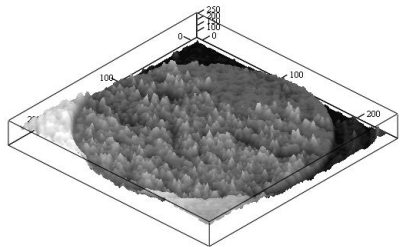
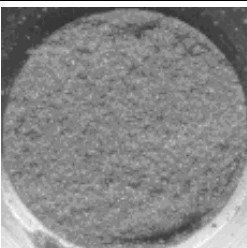
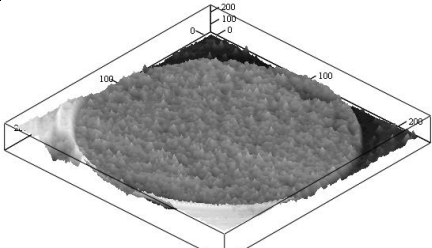
Аналіз результатів експериментів (див. рис. 3,б) показує, що наявність попереднього статичного навантаження виключає відрив зразка від опор, що підтверджує адекватність математичної моделі. Попереднє статичне навантаження зразка на прес-молоті підвищує його жорсткість і забезпечує його вихідний зсув на контакті з опорами.

Максимальні значення сил F_4 , F_6 при статико-динамічному навантаженні виявилися вище в порівнянні з динамічним навантаженням (див. табл. 2), але не значно. Це пояснюється наявністю статичної складової F_{st} .

Результати фрактального аналізу торців заготовок зі сталей: Сталь 20, Сталь 45, Сталь ШХ15 при статичному, динамічному й статико-динамічному навантаженні представлені в табл. 3-5.

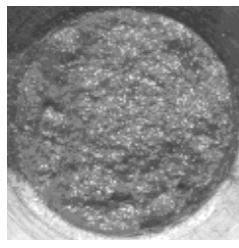
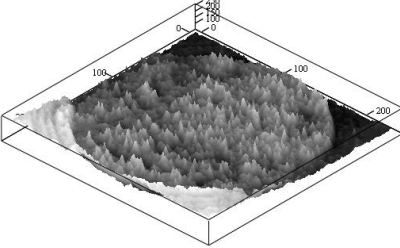

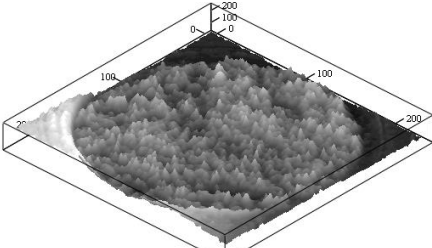

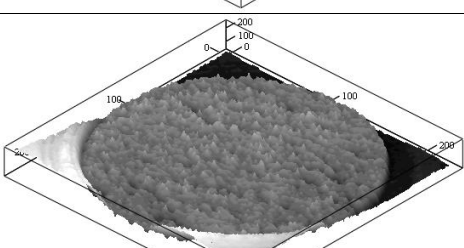
Таблиця 3

Фрактальний аналіз торців заготовок при статичному навантаженні [16, 17]

Матеріал	Фото торця зразка	Фрактальний аналіз
Сталь 20		
Сталь 45		
Сталь ШХ15		

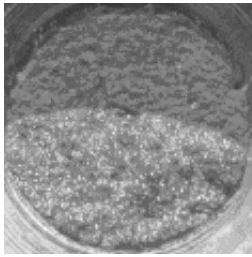
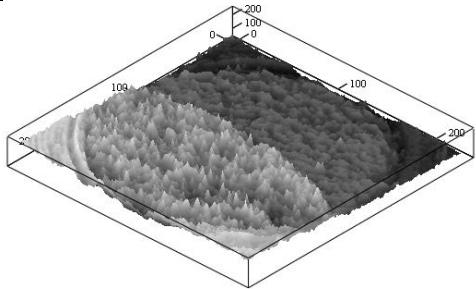

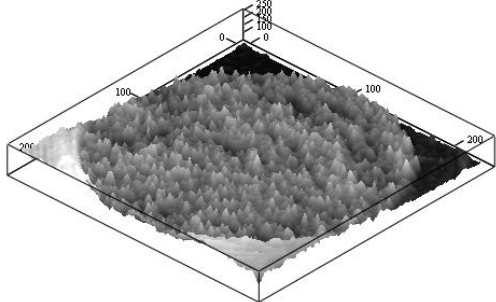

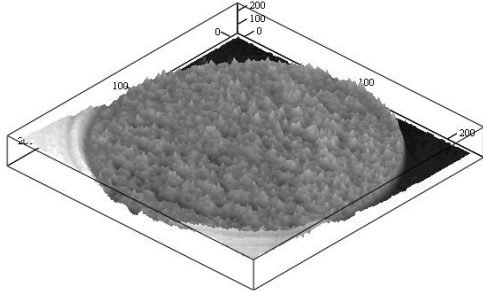
Таблиця 4

Фрактальний аналіз торців заготовок при динамічному (ударному) навантаженні [16, 17]

Матеріал	Фото торця зразка	Фрактальний аналіз
Сталь 20		
Сталь 45		
Сталь ШХ15		

Таблиця 5

Фрактальний аналіз торців заготовок при статико-динамічному навантаженні [16, 17]

Матеріал	Фото торця зразка	Фрактальний аналіз
Сталь 20		
Сталь 45		
Сталь ШХ15		

Аналіз геометричної точності заготовок дозволив зробити висновок про те, що з підвищенням швидкості деформування якість заготовок поліпшується. Але найбільш висока якість поділюваних заготовок спостерігається при статико-динамічному навантаженні. Даний висновок зроблено на підставі порівняння величин шорсткості торців заготовок, отриманих при статичному, динамічному й статико-динамічному навантаженні (рис. 4). Наприклад, для сталі 20 шорсткість при статичному навантаженні склала $Rz215$, а при статико-динамічному навантаженні на 30% менше – $Rz168$. Для сталі 45 відповідно на 25% менше ($Rz138 \dots Rz178$). Для сталі ШХ15 показники шорсткості найнижчі й перебувають у діапазоні $Rz125 \dots Rz135$ [16].

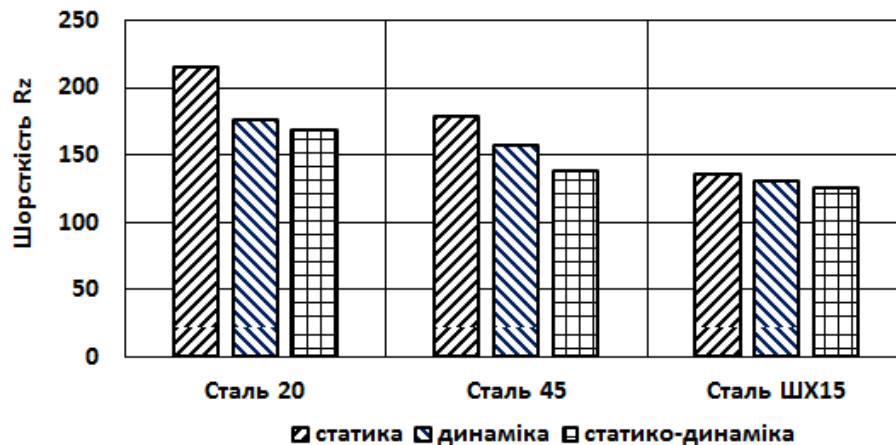


Рис. 4. Величина шорсткості торців заготовок, отриманих при статичному, динамічному й статико-динамічному навантаженні з різних марок сталей

ВИСНОВКИ

1. Комбіноване статико-динамічне навантаження при холодній ломці згином дозволяє знизити високочастотні коливання системи «інструмент – зразок – опори», виключити порушення контакту зразка з опорами, понизити пікові величини сил з боку бойка й опор.

2. Наявність статичної сили в момент удару забезпечує певний вихідний рівень напружень розтягання у зоні концентратора напружень, що підвищує керованість тріщиною. Передбачається, що руйнуюча тріщина при цьому завжди буде поширюватися в області напружень розтягання, що підвищує якість заготовок. Більш відчутне підвищення якості заготовок буде проявлятися при поділі зразків більших поперечних перерізів.

3. Реактивні сили з боку опор від дії статичної сили збігаються з напрямком інерційних сил половинок зразка й додатково доламують зразок. При цьому зі збільшенням довжини зразка зменшується величина його відриву від опор у початковій фазі навантаження, що позитивно позначається на якості поділяємих заготовок.

4. Результати експериментів показують, що величина статичної сили, яка необхідна для виключення відриву зразка від опор, залежить від жорсткості контакту бойка із проміжним пуансоном і збільшується з ростом жорсткості цього контакту. Величину жорсткості контакту бойка із проміжним пуансоном слід вибирати оптимальною за рахунок спеціальної конструкції пуансона. Експериментально встановлене, що величина попередньої статичної сили повинна бути не менш 40% від сили, при якій відбувається руйнування зразка.

5. Аналіз геометричної точності заготовок дозволив зробити висновок про те, що з підвищенням швидкості деформування якість заготовок поліпшується. Але найбільш висока якість поділюваних заготовок спостерігається при статико-динамічному навантаженні.

6. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалювання технології процесу поділу сортового прокату на мірні заготовки способом холодної ломки згином.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Liu Y., Hua L., Mao H. et al. Finite element simulation of effect of part shape on forming quality in fine-blanking process. *Procedia Engineering*. № 81 (2014). P. 1108-1113.
2. Zheng Q., Zhuang X., Zhao Z. et al. State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology. *Production Engineering*. № 13 (2019). P. 61–70.
3. Hu X. H., Choi K. S., Sun X. et al. Edge fracture prediction of traditional and advanced trimming processes for AA6111-T4 sheets. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. № 136 (2014). 021016 (11 pages).
4. Zhao P. J., Chen Z. H., Dong C. F. et al. Experimental and numerical analysis of micromechanical damage for DP600 steel in fine-blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*. № 236 (2016). P. 16–25.
5. Wang S., Chen Z., Dong C. et al. Tearing failure of ultra-thin sheet-metal involving size effect in blanking process: Analysis based on modified GTN model. *International Journal of Mechanical Sciences*. № 133 (2017). P. 288-302.
6. Barik J., Sonkamble V., Narasimhan K. et al. Burr formation and shear strain field evolution studies during sheet metal blanking. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. № 418 (2018). 012068 (8 pages).
7. Tanaka T., Hagihara S., Tadano Y. et al. Application of finite element method to analysis of ductile fracture criteria for punched cutting surfaces. *Materials Transactions*. № 54 (2013). P. 1697–1702.
8. Sergii G. Karnaukh, Nataly V. Chosta, Oleg E. Markov et al. Development and research of the press operating mechanism, made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 116(2021). P. 3305–3314. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07718-8>.
9. Karnaukh S. G., Markov O. E., Aliieva L. I. et al. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. T. 109. Issue 9-12. 2020. P. 2457–2464. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05824-7>.
10. Соловцов С. С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах. Москва: Машиностроение. 1985. 176 с.
11. Lisunets N. L. Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the processes of metal shear cutting. *CIS Iron and Steel Review*. № 17(2019). P. 34–38.
12. Финкель В. М., Головин Ю. И., Родюков Г. Б. Холодная ломка проката. Москва: Металлургия. 1982. 192 с.
13. Karnaukh S. G. Studying the process of static-dynamic loading of a preform according to the scheme of three-point breaking by bending in press-hammers. *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo (Obrabotka Metallov Davleniem)*. № 2(2001). P. 8–12.

14. Karnaukh S. G., Markov O. E., Kukhar V. V. et al. Research of the rolled stock separating into workpieces using breaking by bending with dynamic and static-dynamic force. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 120 (2022). P. 2763–2776. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08902-0>.
15. Karnaukh S., Karnaukh D. 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*. № 3(7). 2011. P. 107–114.
16. Karnaukh S.G., Markov O.E., Kukhar V.V. et al. Classification of steels according to their sensitivity to fracture using a synergetic model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol.119 (2022). P. 5277–5287. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08653-y>.

REFERENCES

- Liu Y., Hua L., Mao H. et al. Finite element simulation of effect of part shape on forming quality in fine-blanking process. *Procedia Engineering*. № 81 (2014). P. 1108–1113.
- Zheng Q., Zhuang X., Zhao Z. et al. State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology. *Production Engineering*. № 13 (2019). P. 61–70.
- Hu X. H., Choi K. S., Sun X. et al. Edge fracture prediction of traditional and advanced trimming processes for AA6111-T4 sheets. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. № 136 (2014). 021016 (11 pages).
- Zhao P. J., Chen Z. H., Dong C. F. et al. Experimental and numerical analysis of micromechanical damage for DP600 steel in fine-blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*. № 236 (2016). P. 16–25.
- Wang S., Chen Z., Dong C. et al. Tearing failure of ultra-thin sheet-metal involving size effect in blanking process: Analysis based on modified GTN model. *International Journal of Mechanical Sciences*. № 133 (2017). P. 288–302.
- Barik J., Sonkamble V., Narasimhan K. et al. Burr formation and shear strain field evolution studies during sheet metal blanking. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. № 418 (2018). 012068 (8 pages).
- Tanaka T., Hagihara S., Tadano Y. et al. Application of finite element method to analysis of ductile fracture criteria for punched cutting surfaces. *Materials Transactions*. № 54 (2013). P. 1697–1702.
- Sergii G. Karnaukh, Nataly V. Chosta, Oleg E. Markov et al. Development and research of the press operating mechanism, made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 116(2021). P. 3305–3314. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07718-8>.
- Karnaukh S. G., Markov O. E., Aliieva L. I. et al. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. T. 109. Issue 9-12. 2020. P. 2457–2464. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05824-7>.
- Solovcov S. S. *Bezothodnaya razrezka sortovogo prokata v shtampah*. Moskva: Mashinostroenie. 1985. 176 p. (in Russian).
- Lisunets N. L. Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the processes of metal shear cutting. *CIS Iron and Steel Review*. № 17(2019). P. 34–38.
- Finkel V. M., Golovin Yu. I., Rodyukov G. B. *Holodnaya lomka prokata*. Moskva: Metallurgiya. 1982. 192 p. (in Russian).
- Karnaukh S. G. Studying the process of static-dynamic loading of a preform according to the scheme of three-point breaking by bending in press-hammers. *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo (Obrabotka Metallov Davleniem)*. № 2 (2001). P. 8–12.
- Karnaukh S. G., Markov O. E., Kukhar V. V. et al. Research of the rolled stock separating into workpieces using breaking by bending with dynamic and static-dynamic force. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 120 (2022). P. 2763–2776. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08902-0>.
- Karnaukh S., Karnaukh D. 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*. № 3(7). 2011. P. 107–114.
- Karnaukh S.G., Markov O.E., Kukhar V.V. et al. Classification of steels according to their sensitivity to fracture using a synergetic model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol.119 (2022). P. 5277–5287. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08653-y>.

Карнаух С. Г. Підвищення якості заготовок, отриманих способом ломки згином при статико-динамічному навантаженні на прес-молоті

З усіх способів поділу сортового прокату на мірні заготовки, що застосовуються у сучасних заготівельних виробництвах, найбільш продуктивними та економічними є безвідходні способи поділу сортового прокату: відрізка зсувом та холодна ломка згином. Метою роботи є підвищення якості заготовок способом ломки прокату шляхом дослідження процесу розділення при статико-динамічному навантаженні на прес-молоті. Комбіноване статико-динамічне навантаження при холодній ломці згином дозволяє знизити високочастотні коливання системи «інструмент – зразок – опори», виключити порушення контакту зразка з опорами, зменшити пікові величини сил з боку бойка та опор. Наявність статичної сили в момент удару забезпечує певний вихідний рівень напружень розтягання в зоні концентратора напружень, що підвищує керованість тріщиною.

Передбачається, що руйнівна тріщина при цьому завжди буде поширюватися в області напружень розтягання, що підвищує якість заготовок. Більш відчутне підвищення якості заготовок виявлятиметься при поділі зразків великих поперечних перерізів. Реактивні сили з боку опор від дії статичної сили збігаються з напрямком інерційних сил половинок зразка та додатково доламують зразок. При цьому зі збільшенням довжини зразка зменшується величина його відриву від опор у початковій фазі навантаження, що позитивно позначається на якості заготовок. Результати експериментів показують, що величина статичної сили, необхідна для виключення відриву зразка від опор, залежить від жорсткості контакту баби з проміжним пуансоном і збільшується зі зростанням останньої. Величину жорсткості контакту баби з проміжним пуансоном слід вибирати оптимальною з допомогою спеціальної конструкції пуансона. Експериментально встановлено, що величина попередньої статичної сили має бути не менше 40% від сили, за якої відбувається руйнування зразка. Аналіз геометричної точності заготовок дозволив зробити висновок про те, що з підвищенням швидкості деформування якість заготовок поліпшується. Але найбільш висока якість заготовок, що розділяються, спостерігається при статико-динамічному навантаженні. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технології процесу поділу сортового прокату на мірні заготівлі способом холодного зламвання ломки.

Ключові слова: заготовка, прокат, холодна ломка згином, статико-динамічне навантаження, жорсткість, якість, собівартість.

Karnaukh S. G. Improving the quality of workpieces obtained by breaking by bending under static-dynamic loading on a press hammer

Of all the methods for separating rolled workpieces into dimensional blanks used in modern blank production, the most productive and economical are the waste-free methods for separating workpieces: shear cutting and cold bending. The aim of the work is to improve the quality of workpieces by breaking rolled products by studying the separation process under static-dynamic loading on a press hammer. Combined static-dynamic loading during cold breaking by bending makes it possible to reduce the high-frequency vibrations of the «tool-sample-supports» system, eliminate the violation of the contact of the sample with the supports, and reduce the peak forces from the striker and supports. The presence of a static force at the moment of impact provides a certain initial level of tensile stresses in the stress concentrator zone, which increases the controllability of the crack. It is assumed that the destructive crack will always propagate in the area of tensile stresses, which improves the quality of the workpieces to be separated. A more tangible improvement in the quality of blanks will be manifested when separating samples of large cross sections. The reactive forces from the side of the supports from the action of the static force coincide with the direction of the inertial forces of the halves of the sample and additionally break the sample. In this case, with an increase in the length of the sample, the value of its separation from the supports in the initial phase of loading decreases, which has a positive effect on the quality of the resulting workpieces. The results of the experiments show that the value of the static force required to prevent the sample from being separated from the supports depends on the stiffness of the contact of the female with the intermediate punch and increases with the increase in the stiffness of the contact of the female with the intermediate punch. The value of the stiffness of the contact of the head hammer with the intermediate punch should be chosen optimal due to the special design of the punch. It has been experimentally established that the value of the preliminary static force must be at least 40% of the force at which the sample is destroyed. An analysis of the geometric accuracy of the workpieces made it possible to conclude that with an increase in the rate of deformation, the quality of the workpieces improves. But the highest quality of the separated workpieces is observed under static-dynamic loading. The results obtained can be used to improve the technology of the process of separating rolled workpieces into cut-to-length blanks by cold breaking by bending.

Key words: workpiece, rolled metal, cold bending, static-dynamic loading, stiffness, quality, prime cost.

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

Карнаух Сергей Григорьевич – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой ДГМА

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>

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

DSEA – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk

Стаття надійшла до редакції 15.03.22 р.