

УДК 621.967.1

Карнаух С. Г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СОРТОВОГО ПРОКАТА НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Актуальной задачей для предприятий машиностроительного комплекса остается поиск путей повышения конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках. Данную задачу следует решать на всех этапах производства, в том числе и на этапе заготовительного производства.

Разделительные операции являются одними из самых распространенных в Украине. Наибольший интерес представляют безотходные способы разделения сортового проката, так как они относятся к материалосберегающим и высокопроизводительным процессам. Наиболее известными из них являются отрезка сдвигом и ломка изгибом [1–4].

Значительный вклад в создание и последующее развитие научных основ разработки оборудования и технологии для реализации безотходных способов разделения сортового проката внесли: Зимин А. И., Власов В. И., Живов Л. И., Ланской Е. Н., Овчинников А. Г., Роганов Л. Л., Мещерин В. Т., Соловцов С. С., Финкель В. М., Тимошенко В. А., Борисов В. М., Высоцкий Е. Н., а также ряд других отечественных и зарубежных ученых [1–7].

В настоящее время в Украине, при нехватке оборотных средств предприятий, повышать эффективность заготовительного производства целесообразно путем принятия новых конструктивно-технологических решений на базе существующего оборудования и оснастки. Для этого в работах [8, 9, 10] предложен новый способ разделения сортового проката, который получил название «сдвиг-ломка». В данном способе энергия разгрузки оборудования, в момент разрушения проката, используется для нанесения концентратора напряжений за счет сдвига одной части проката относительно заготовки. При этом в плоскости концентратора напряжений наводится хрупкая трещина, которая по своим потенциальным возможностям – идеальный инструмент для безотходного разделения твердых материалов на части, а затраты энергии на раскрой приближаются к своему минимально возможному теоретическому уровню.

Цель работы – разработка и исследование оборудования для реализации способа разделения сортового проката «сдвиг-ломка» на базе традиционного серийного гидравлического пресса.

В работе [11] исследована работа гидравлического пресса при разделении проката в момент мгновенного исчезновения технологической нагрузки, соответствующий разрушению. Исследовали основные характеристики динамики гидравлического пресса, рассматриваемого в виде трехмассовой системы (рис. 1). Изучали влияние элементов системы «пресс – заготовка» на процесс удара, величину нанесенного концентратора напряжений и работу деформирования.

Сила F_1 от гидравлического рабочего цилиндра, имеющего приведенную жесткость C_1 , передается через подвижную траверсу массой m_1 заготовке. Сила F_1 расходуется на холодную ломку изгибом проката и упругую деформацию колонн с жесткостью C_{23} , связывающих верхнюю m_2 и нижнюю m_3 поперечины. В результате возникает значительный потенциал энергии, накопленной в станине и приводе. В момент резкого спада силы технологического сопротивления система «пресс – заготовка» становится динамически неуравновешенной.

Накопленная энергия резко высвобождается. Элементы конструкции пресса под действием сил упругого восстановления начинают перемещаться. Подвижная траверса разгоняется на ходе x_0 и наносит на прокат концентратор напряжений глубиной ΔH (см. рис. 1). Для гашения импульсной нагрузки пресс установлен на резиново-металлических амортизаторах, имеющих жесткость C_4 .

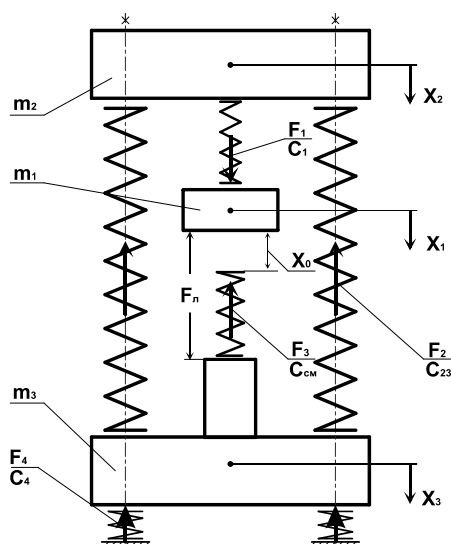


Рис. 1. Расчётная схема вертикального гидравлического пресса при мгновенном исчезновении технологической нагрузки

Активную силу F_1 (см. рис. 1), под воздействием которой происходит движение подвижных частей машины, определяли по формуле:

$$F_1 = F_n - C_1(x_1 - x_2), \quad (1)$$

где F_n – сила холодной ломки проката изгибом по схеме консольного нагружения;
 x_1, x_2 – перемещение подвижной траверсы и верхней поперечины;

$$C_1 = \frac{E_{жс} A_{пл}^2}{Q_0}, \quad (2)$$

где $E_{жс}$ – модуль упругости жидкости;

$A_{пл}$ – площадь поперечного сечения плунжера;

Q_0 – объем аккумулятора.

Силу упругой деформации колонн под действием силы технологического сопротивления записывали в виде:

$$F_2 = F_n - C_{23}(x_2 - x_3), \quad (3)$$

где x_3 – перемещение нижней поперечины;

$$C_1 = \frac{n E A_K}{L_K}, \quad (4)$$

где n – количество колонн;

E – модуль упругости материала колонн;

A_K – площадь поперечного сечения колонны;

L_K – длина колонны.

Определяли зависимость силы нанесения концентратора напряжений от хода деформации $\Delta H - F_3 = f(\Delta H)$, где $\Delta H = x_1 - x_0 - x_3$; x_0 – ход разгона подвижной траверсы с ножом:

$$x_0 = \frac{p_0 Q_0}{E_{ж} A_{пл}}, \quad (5)$$

где p_0 – максимальное рабочее давление в гидроцилиндре пресса.

Давление в рабочем цилиндре пресса p изменяется по закону:

$$p = p_0 - \frac{E_{ж} A_{пл} x_0}{Q_0}. \quad (6)$$

В расчетах полагали, что сила в резиново-металлических амортизаторах изменяется по закону

$$F_4 = G + C_4 x_3, \quad (7)$$

где G – вес пресса.

Получили систему дифференциальных уравнений движения:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = F_1 - F_3(\Delta H); \\ m_2 \ddot{x}_2 = F_2 - F_1; \\ m_3 \ddot{x}_3 = F_3(\Delta H) - F_2 - F_4. \end{cases} \quad (8)$$

Решали данную задачу с использованием метода Рунге–Кутты 4-го порядка.

Начальные условия записывались в виде:

$$\begin{aligned} x_1(0) = 0; \quad x_2(0) = 0; \quad x_3(0) = 0; \\ \dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = \dot{x}_3(0) = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Расчеты производились для гидравлического четырехколонного пресса мод. П424 усилием 2,5 МН с параметрами: $m_1 = 4000$ кг; $m_2 = 7000$ кг; $m_3 = 7000$ кг; масса пресса $m = 18000$ кг; $n = 4$; $L_k = 3,5$ м; диаметр колонны $d_k = 0,1$ м; $C_4 = 5 \cdot 10^8$ Н/м; диаметр плунжера $d_{пл} = 0,2$ м; $Q_0 = 0,1$ м³; $E_{ж} = 1500$ МПа. Параметры разделяемого проката: $d = 100, 150, 200$ мм, относительная величина плеча приложения нагрузки $L/d = 2$.

Результаты расчетов кинематических и энергосиловых параметров процесса нанесения концентратора напряжений, проведенных для стали 45 ($\sigma_B = 598$ МПа, $\delta_5 = 16\%$), представлены на рис. 2, 3. При этом зависимость усилия внедрения плоского ножа от глубины внедрения получали с помощью аппроксимации полиномом 3-й степени [2] типовых графиков «усилие отрезки – относительная деформация».

Анализ графиков $x = f(t)$, $\dot{x} = f(t)$ (см. рис. 2) показывает, что время разгрузки гидропривода пресса составило $t_2 = 0,018$ с. Скорость траверсы достигает $\dot{x}_1 = 2,17$ м/с, а ускорение – $\ddot{x}_1 = 711$ м/с².

Анализ результатов расчетов (рис. 4) показывает, что работа нанесения концентратора напряжений равна $A \cong 11$ кДж, что составляет около 5% от работы отрезки сдвигом при разделении проката диаметром 200 мм из стали 45 ($L/d = 2$).

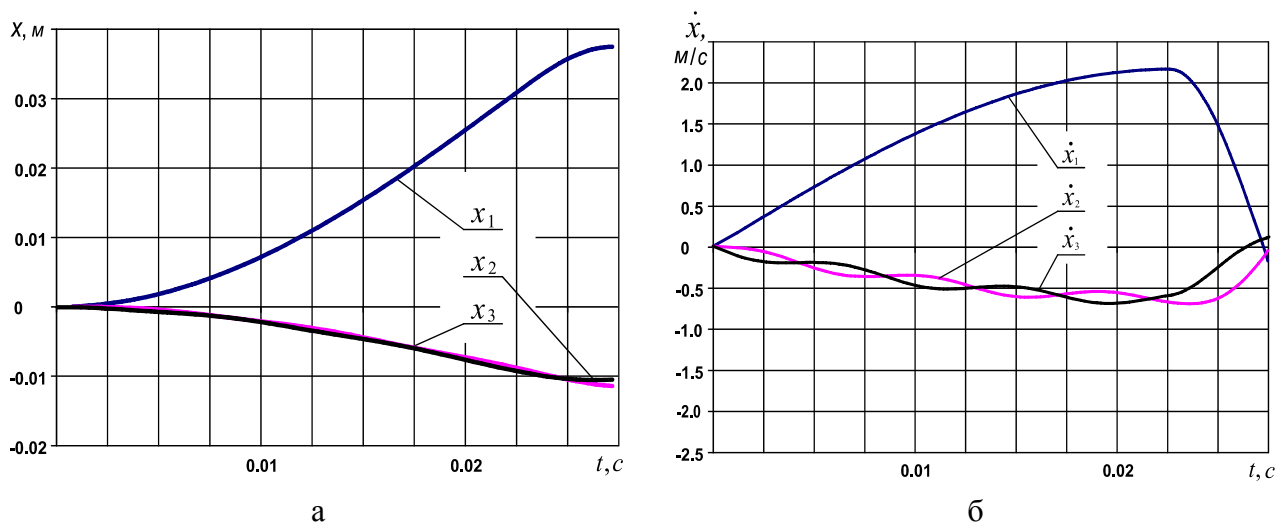


Рис. 2. Зависимость перемещений (а) и скоростей (б) элементов гидравлического прессы от времени при разделении проката $d = 200$ мм из стали 45 ($L/d = 2$)

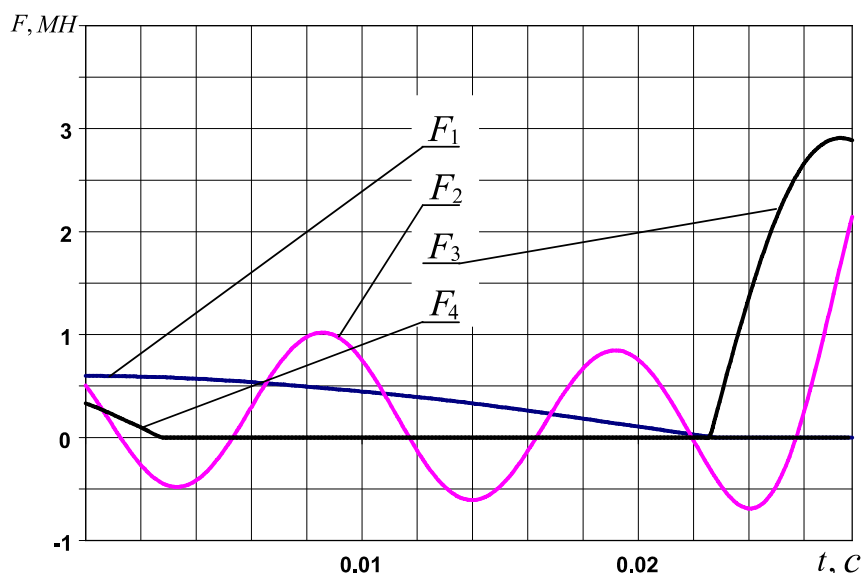


Рис. 3. Зависимость сил, действующих на элементы гидравлического прессы, от времени при разделении проката диаметром 200 мм из стали 45 ($L/d = 2$)

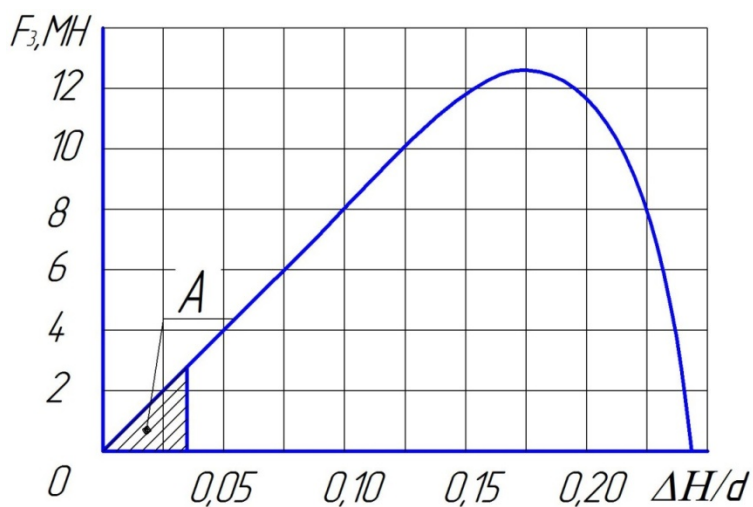


Рис. 4. Соотношение работы отрезки сдвигом и работы нанесения концентратора напряжений

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что величины работы $A \cong 11$ кДж будет достаточно для внедрения клинового инструмента с целью нанесения эффективного концентратора напряжений, но явно недостаточно для нанесения эффективного концентратора напряжений путем сдвига заготовки относительно проката. При этом будет снижаться качество разделяемых заготовок, а оборудование будет иметь ограниченные технологические возможности.

С целью расширения технологических возможностей оборудования и обеспечения высокого качества разделяемых заготовок предложена конструкция пресса с встроенным дополнительным гидроупругим приводом (рис. 5).

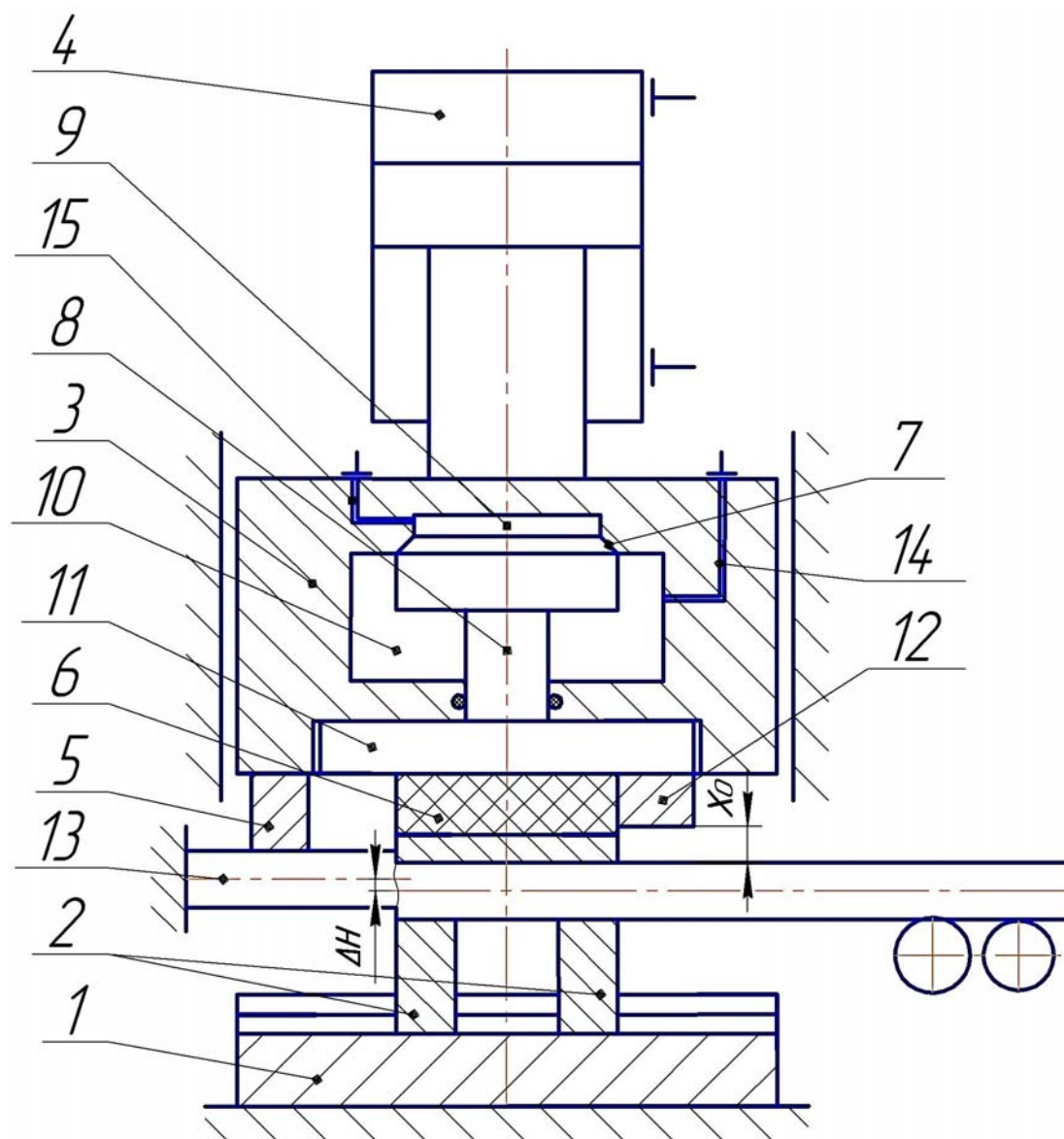


Рис. 5. Конструкция гидравлического пресса

Гидравлический пресс для разделения проката содержит станину 1, с размещенными на столе опорами 2, в направляющих которой установлена траверса 3 с приводом от гидроцилиндра 4 с закрепленным на ней ломателем 5, механизм зажима проката 6 и упор, при этом в траверсу 3 дополнительно встроен гидроупругий цилиндр 7 с ударным поршнем 8, который разделяет полость гидроцилиндра на управляющую полость низкого давления 9 и полость высокого давления 10. При этом поршень 8 по конической поверхности контактирует с ответной поверхностью гидроцилиндра 7, осуществляя герметизацию полостей 9 и 10 между собой. На ударном поршне 8 закреплен боек 11 с ножом 12.

Гидравлический пресс работает следующим образом.

Прокат 13 с предварительно нанесенным концентратором напряжений размещается на опорах 2 и подается рольгангом до упора. При этом предварительно в полость высокого давления 10 по каналу 14 подается рабочая жидкость и создается давление.

Под действием силы со стороны рабочего гидроцилиндра подвижная траверса 3, на которой закреплен ломатель 5, движется вниз, осуществляя зажим, с помощью упругого элемента 6, и ломку проката 13 в плоскости концентратора напряжений. В момент разделения проката происходит резкий сброс нагрузки. Система «гидравлический цилиндр 4 – подвижная траверса 3 – ломатель 5» становится динамично неуравновешенной. Поэтому подвижная траверса 3 вместе с ножом 12 разгоняется на ходе x_0 и наносит на прокат концентратор напряжений за счет радиального сдвига части проката относительно оси заготовки на величину ΔH .

Синхронно с этим управляющая полость низкого давления 9, с помощью системы управления, по каналу 15 соединяется с полостью высокого давления 10. Рабочая жидкость под высоким давлением воздействует на всю площадь торца поршня 8, который ускоренно движется вниз, вместе с бойком 11 и ножом 12 и также совершает полезную работу нанесения концентратора напряжений.

Таким образом, потенциальная энергия сжатой рабочей жидкости дополнительного гидроупругого цилиндра 7 добавляется к потенциальной энергии, накопленной в гидропрессе за счет упругой деформации станины и привода, и достигает величины достаточной для нанесения эффективного концентратора напряжений путем сдвига проката относительно заготовки. В одном цикле работы прессы объединяются две операции: холодная ломка изгибом и нанесение концентратора напряжений в плоскости разделения следующей заготовки. Гидравлический пресс статического действия работает в динамическом режиме, который обеспечивает повышенную скорость нанесения концентратора напряжений и высокое качество полученных заготовок.

Применение предлагаемой конструкции гидравлического прессы для разделения проката позволяет расширить технологические возможности и повысить качество отрезанных заготовок за счет нанесения эффективного концентратора напряжений.

ВЫВОДЫ

На основании анализа результатов расчетов с использованием математической модели работы гидравлического прессы при разделении проката в момент мгновенного исчезновения технологической нагрузки, определены кинематические и энергосиловые параметры разделения проката из стали 45.

Сделан вывод о том, что величина энергии, которая расходуется на нанесение концентратора напряжений путем сдвига заготовки относительно остальной части проката, является недостаточной для нанесения эффективного концентратора напряжений, что приводит к низкому качеству разделяемых заготовок.

Предложена конструкция гидравлического прессы с дополнительным гидроимпульсным цилиндром, что позволяет расширить технологические возможности оборудования и повысить качество отрезанных заготовок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисунец Н. Л. Проблемы точности дозирования заготовок под объемную штамповку / Н. Л. Лисунец // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 9. – С. 43–47.
2. Соловцов С. С. Безотходная резка сортового проката в штампах / С. С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
3. Финкель В. М. Холодная ломка проката / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М. : Металлургия, 1982. – 192 с.
4. Карнаух С. Г. Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества : монография. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 196 с.

5. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование : учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков ; под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
6. Сеницкий В. М. Исследование динамики быстроходных гидравлических прессов / В. М. Сеницкий // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 8. – С. 22–25.
7. Живов Л. И. К вопросу о динамике вырубного гидравлического пресса / Л. И. Живов // Известия вузов. – 1973. – № 6. – С. 21–25.
8. Роганов Л. Л. Дослідження нового способу поділу сортового прокату за схемою “зсув - ламання” / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, О. О. Бігунов // Машинознавство. – 2001. – Вип. №6. – С. 33–35.
9. Разработка специализированного оборудования статико-динамического действия для разделения проката (труб) на мерные заготовки / С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух, Н. В. Чоста, А. В. Коляденко // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 2 (43). – С. 152–160.
10. Карнаух С. Г. Разработка оборудования для реализации нового способа «сдвиг-ломка» для разделения проката (труб) на мерные заготовки / С. Г. Карнаух // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 250–258.
11. Карнаух С. Г. Математическое моделирование процесса нанесения концентратора напряжений на гидравлическом прессе с полезным использованием энергии упругой деформации станины и привода / С. Г. Карнаух, А. А. Бегунов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 1999. – С. 269–271.

REFERENCES

1. Lisunec N. L. Problemy tochnosti dozirovanija zagotovok pod ob#emnuju shtampovku / N. L. Lisunec // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 2009. – № 9. – S. 43–47.
2. Colovcov S. S. Bezothodnaja razrezka sortovogo prokata v shtampah / S. S. Colovcov. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 176 s.
3. Finkel' V. M. Holodnaja lomka prokata / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov. – M. : Me-tallurgija, 1982. – 192 s.
4. Karnauh S. G. Sovershenstvovanie bezothodnyh sposobov razdelenija sortovogo prokata i oborudovanija dlja poluchenija zagotovok vysokogo kachestva : monografija. – Kramatorsk : DGMA, 2010. – 196 s.
5. Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : uchebnik dlja vuzov / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov ; pod red. L. I. Zhivova. – M. : Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2006. – 560 s.
6. Sinickij V. M. Issledovanie dinamiki bystrohodnyh gidravlicheskih pressov / V. M. Sinickij // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1995. – № 8. – S. 22–25.
7. Zhivov L. I. K voprosu o dinamike vyrubnogo gidravlichesкого пресса / L. I. Zhivov // Izvestija vu-zov. – 1973. – № 6. – S. 21–25.
8. Roganov L. L. Doslidzhennja novogo sposobu podilu sortovogo prokatu za shemoju “zsuv lamannja” / L. L. Roganov, S. G. Karnauh, O. O. Bigunov // Mashinoznnavstvo. – 2001. – Vip. №6. – S. 33–35.
9. Razrabotka specializirovannogo oborudovanija statiko-dinamicheskogo dejstvija dlja razdelenija prokata (trub) na mernye zagotovki / S. G. Karnauh, D. S. Karnauh, N. V. Chosta, A. V. Koljadenko // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 2 (43). – S. 152–160.
10. Karnauh S. G. Razrabotka oborudovanija dlja realizacii novogo sposobu «sdvig-lomka» dlja razdele-nija prokata (trub) na mernye zagotovki / S. G. Karnauh // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 1 (42). – S. 250–258.
11. Karnauh S. G. Matematicheskoe modelirovanie processa nanesenija koncentratora naprjazhenij na gidravlicheskom presse s poleznym ispol'zovanjem jenerгии uprugoj deformacii staniny i privoda / S. G. Karnauh, A. A. Begunov // Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobki tiskom u mashinobuduvanni ta metalurgії : zб. nauk. pr. – Kramators'k : DDMA, 1999. – S. 269–271.

Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ОПМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: sergey.karnauh@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 21.12.2017 г.