

УДК 621.967.1

Карнаух С. Г.

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВОГО СПОСОБА «СДВИГ – ЛОМКА» ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СОРТОВОГО ПРОКАТА (ТРУБ) НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Анализ современного состояния технологий обработки материалов давлением, используемых в заготовительном производстве, показывает, что их дальнейшее развитие непосредственно связано с решением проблем повышения качества заготовок, получаемых из сортового проката (труб), снижения себестоимости, сокращения расхода материалов и энергии.

В промышленности используются более 10 способов разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки. Применительно к заготовительному производству наиболее эффективными из них являются безотходные способы получения мерных заготовок из сортового проката: холодная ломка изгибом и отрезка сдвигом [1, 2].

Современное развитие теории, технологии и оборудования в области разделения сортового проката связано с такими именами отечественных ученых как: А. И. Целиков, К. Н. Богоявленский, П. Е. Кислый, В. Г. Кононенко, В. Т. Мещерин, Е. А. Попов, В. П. Романовский, С. С. Соловцов, В. А. Скороход, В. А. Тимошенко, Е. М. Третьяков и др. [3–7]. При всем многообразии способов разделения сортового проката трудно выделить такие, которые были бы лишены в той или иной мере недостатков, среди которых: неудовлетворительное качество торцов, получаемых при резке заготовок, недостаточная геометрическая точность, низкая производительность, высокая металло- и энергоемкость, стоимость, а также сложность оборудования для разделения сортового проката.

При этом общий теоретический анализ напряженного состояния процессов холодной ломки изгибом и отрезки сдвигом обнаруживает, что они различаются по своей физической природе и одновременно дополняют друг друга. Так при отрезке сдвигом сортового проката для получения качественной поверхности торца образование поверхности раздела должно происходить вязкопластическим разрушением, однако, с минимальным уровнем пластической деформации, прежде всего на пластическом этапе разрушения. При холодной ломке изгибом всякое снижение пластичности ведет к повышению качества торцов получаемых заготовок, при этом разрушение будет стремиться к хрупкому. Поэтому целесообразным представляется объединение двух процессов в одном, компенсируя недостатки холодной ломки изгибом преимуществами процесса отрезки сдвигом. Прежде всего, это касается способа нанесения концентратора напряжений на прокат.

Целью работы является разработка и исследование нового способа разделения по схеме «сдвиг–ломка» и оборудования для его реализации.

В работах [8, 9] предложен новый способ разделения сортового проката по схеме «сдвиг–ломка». Сущность способа заключается в том, что на первом этапе на прокат наносится объемный концентратор напряжений за счет частичного сдвига части проката относительно профиля на определенную величину. На втором этапе прокат нагружают изгибающей силой до разрушения в плоскости концентратора напряжений (рис. 1).

В новом способе «сдвиг–ломка» нанесение концентратора напряжений в пластическом этапе разделения сопровождается возникновением и развитием субмикро- и микротрещин, их накоплением, что предопределяет направление будущей макротрещины. При этом в объеме металла, примыкающего к плоскости разрушения, при отрезке сдвигом развивается упрочнение, сопровождающееся изменением механических характеристик макро- и микроструктуры металла.

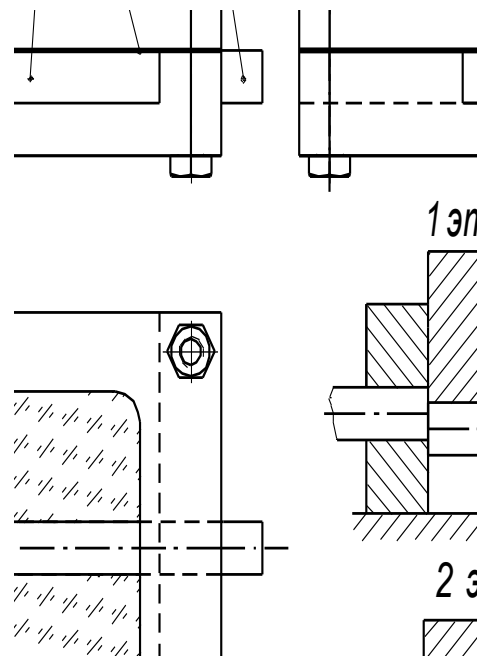


Рис. 1. Этапы нагружения сортового проката при разделении способом «сдвиг–ломка»

Повышается временное сопротивление, предел текучести, твердость, снижаются характеристики пластичности. Зарождается макротрещина на линии, соединяющей впадины надрезов. Таким образом, концентратором в данном способе является наведенная магистральная макротрещина. Макротрещина может иметь предельно большие размеры, что отвечает оптимальным требованиям, предъявляемым к процессу холодной ломки изгибом. При этом предполагается, что вдоль всей трассы движения наведенной трещины создаются дополнительные напряжения сжатия, ориентированные вдоль необходимого направления раскря.

Развитие магистральной трещины происходит путем разрыва перемычек между микротрещинами и микродефектами, имеющимися как в исходном материале, так и образующимися на пластическом этапе отрезки. Предполагается, что наведенные напряжения сжатия в плоскости концентратора напряжений обеспечивают стабилизацию траектории трещины. Применение повышенных и высоких скоростей нагружения при разделении сортового проката на мерные заготовки способом «сдвиг–ломка» обеспечивает снижение пластической деформации в вершине трещины, уменьшение энергоемкости процесса.

Данная схема разделения может быть реализована, как на универсальном, так и на специализированном оборудовании. Основной проблемой оборудования для разделительных процессов, например гидравлического пресса, является резкий сброс усилия в момент разрушения проката. Если накопленную энергию, в результате упругого деформирования металлических частей конструкции и рабочей жидкости, заключенной в рабочем цилиндре, высвободить за малый промежуток времени – равновесное состояние масс нарушается. В результате силовая рама пресса начинает перемещаться, импульсно растягивая анкерные болты. При этом возможно разрушение фундамента и просаживание пресса. Это явление является причиной ненадежной работы используемого оборудования из-за того, что элементы конструкции: переключатели, распределители, электромагниты и т.д. динамически разгружаются. Резкий сброс силы может привести к разрушению станины пресса и выводу из строя фундамента. Рассмотренные явления сопровождаются возникновением в гидросистеме машины гидравлического удара, связанного с кавитацией. В результате этих явлений мощность прессового оборудования используется частично, так как пресс сознательно «недогружают».

Применительно к предложенному способу «сдвиг–ломка» этот недостаток можно обратить в преимущество и использовать высвобождающуюся энергию для нанесения концентратора напряжений.

В работе [10] проведены теоретические исследование энергосиловых параметров процесса нанесения концентратора напряжений за счет частичного сдвига части проката относительно профиля при реализации способа «сдвиг–ломка». Исследована динамика гидравлического пресса, рассматриваемого в виде трехмассовой системы (рис. 2) и влияние элементов системы «пресс – заготовка» на процесс удара, величину нанесенного концентратора напряжений и работу деформирования. Зависимость усилия внедрения плоского ножа от глубины внедрения получали с помощью аппроксимации полиномом 3 – й степени типовых графиков «усилие отрезки – относительная деформация» для сортового проката из разных сталей: 10, 45, 65Г [1]. Расчеты производились для гидравлического четырехколонного пресса мод. П424 усилием 2,5 МН. Параметры разделяемого проката: $d = (100, 150, 200) \text{ мм}$, относительная величина плеча приложения нагрузки $L/d = 2$.

Анализ результатов расчетов, проведенных для стали 45 ($\sigma_B = 598 \text{ МПа}$, $\delta_5 = 16\%$), показывает, что время разгрузки гидропривода пресса составило $t_z = 0,018 \text{ с}$, скорость траверсы достигает $2,17 \text{ м/с}$, а ускорение – 711 м/с^2 . При глубине внедрения ножа $\Delta H \cong 7,7 \text{ мм}$, что составляет приблизительно 3,85% от диаметра проката (что соответствует рекомендация по глубине нанесения эффективного концентратора напряжения на прокат [2]), величина силы нанесения концентратора напряжений равна $F_3 \cong 2,84 \text{ МН}$, а соответствующая ей работа равна $A \cong 11 \text{ кДж}$, что составляет около 5% от работы отрезки сдвигом (рис. 3) [10].

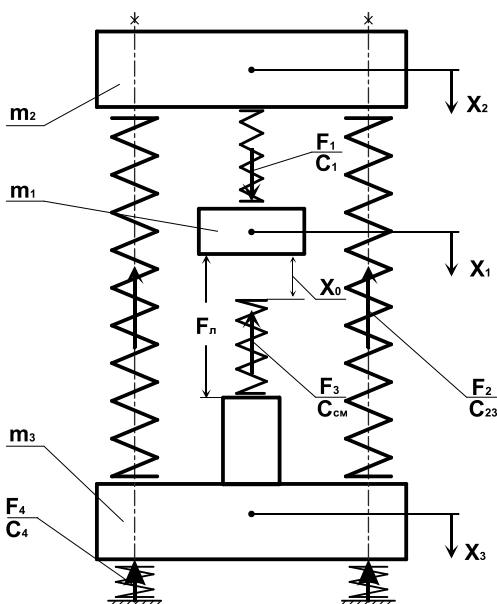


Рис. 2. Расчетная схема вертикального гидравлического пресса при мгновенном исчезновении технологической нагрузки

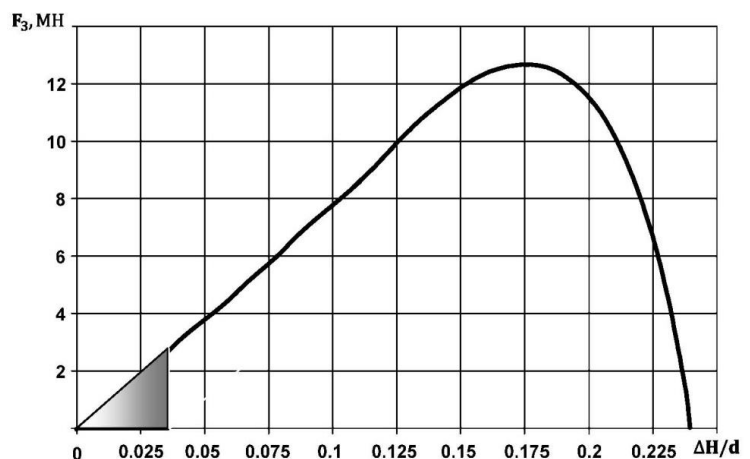


Рис. 3. Соотношение величин работы отрезки сдвигом и работы нанесения концентратора напряжений по способу «сдвиг–ломка»

Для подтверждения теоретических расчетов и выработки рекомендаций по выбору величины концентратора напряжений, требуемого для получения заготовок удовлетворительного качества проведены экспериментальные исследования процесса разделения образцов по схеме «сдвиг–ломка». В эксперименте использованы образцы из сталей с разными механическими свойствами: мягких – ВСт3пс; средней твердости – 20Х; 45 и хрупких – У8А. Размеры образцов: $B = 15 \text{ мм}$; $H = 15 \text{ мм}$.

На первом этапе на образец наносили концентратор напряжений за счет сдвига части образца относительно профиля по схеме неполностью открытой отрезки сдвигом, на втором

этапе – нагружали статической силой прессового цилиндра пресс-молота (конструкции ДГМА) до разрушения по схеме консольной холодной ломки изгибом.

Результаты исследований представлены на рис. 4.

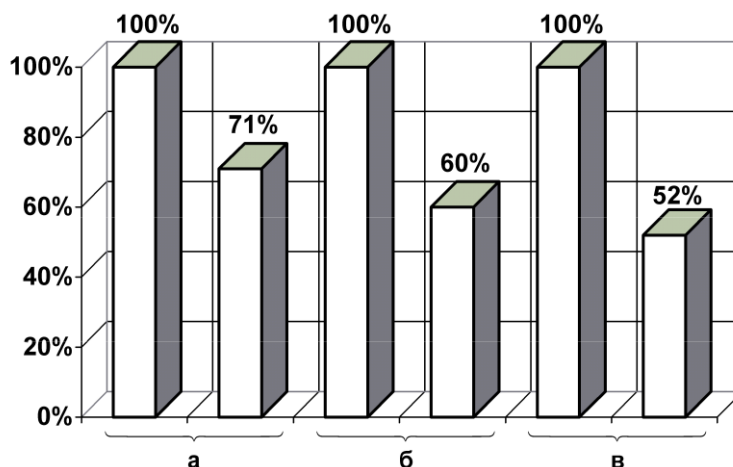


Рис. 4. Соотношение энергий, необходимых для отрезки образцов сдвигом и нанесения эффективного концентратора напряжений: а – для стали ВСт3пс; б – для стали 45; в – для стали У8А

Фотографии заготовок разделенных способом «сдвиг-ломка» представлены на рис. 5.

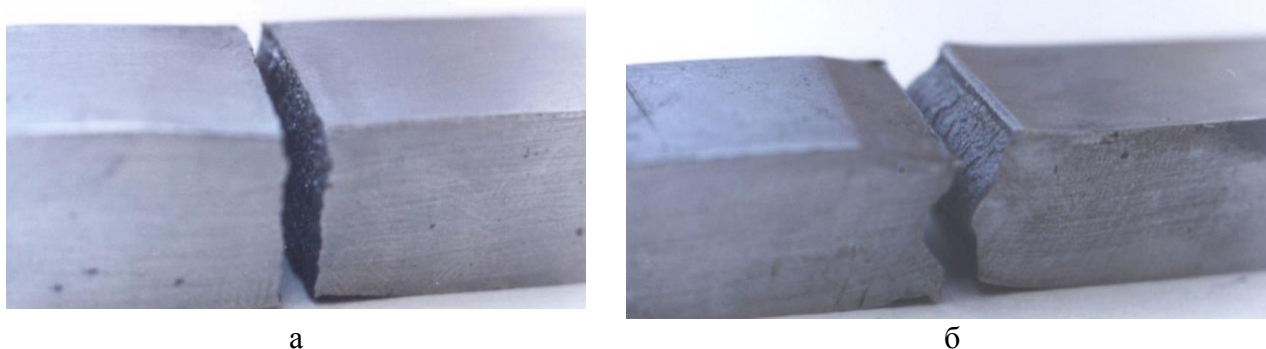


Рис. 5. Фотографии образцов из сталей: У8А (а) и ВСт3пс (б)

Высокое качество заготовок наблюдалось при разделении проката из сталей с высокими прочностными характеристиками. Заготовки из стали У8А (рис. 5,а) имели высокую геометрическую точность: продольная утяжка – 1,8 мм; поперечная утяжка – 0,3 мм; смятие продольное – 3 мм; смятие поперечное – 0,6 мм; волнистость торца – практически отсутствует; заусенец – отсутствует. Экспериментально установлено, что минимальная величина энергии, необходимая для нанесения эффективного концентратора напряжений, должна составлять не менее $(52 \pm 1)\%$ от энергии разделения заготовки отрезкой сдвигом W_p (см. рис. 4).

При разделении мягких сталей (ВСт3пс) наблюдалось удовлетворительное качество разделяемых заготовок: имела место существенная волнистость торца (рис. 5,б). Поверхность торцов состояла из двух неоднородных участков – плоского, гладкого пластического пояса, образованного пластическим внедрением ножа и шероховатого участка, образованного при разрушении. Шероховатая часть поверхности торца имела криволинейную (волнообразную) форму, образованную слиянием распространяющихся от кромок ножей трещин скалывания. Разрушение происходило вдоль линий разрыва скорости деформации сдвига по границе очага пластической деформации, имеющего форму двояковыпуклой линзы. Минимальная величина энергии, необходимая для нанесения концентратора напряжений, составила $(71 \pm 1)\%$ от энергии разделения заготовки отрезкой сдвигом W_p (см. рис. 4).

Для реализации предложенного способа разделения сортового проката разработаны оригинальные конструкции оборудования и штамповой оснастки.

Разработана установка для разделения проката (рис. 6), в которой под действием силы со стороны привода силового цилиндра 1 подвижная траверса 2 движется вниз, осуществляя зажим (с помощью упругого элемента 3) и холодную ломку проката 4 с предварительно нанесенным концентратором напряжений в плоскости разделения относительно опор 5. В момент разделения проката происходит резкий сброс силы разделения. Система: цилиндр 1, подвижная траверса 2, ломатель 6, нож 7 становится динамически неуравновешенной. Энергия, накопленная в машине за счет упругой деформации станины и привода, расходуется на совершение полезной работы – нанесение концентратора напряжений. Таким образом, в одном цикле работы установки совмещаются две операции: холодная ломка изгибом и нанесения концентратора напряжений в плоскости разделения следующей заготовки. Установка статического действия работает в динамическом режиме и обеспечивает повышенную скорость нанесения концентратора напряжений.

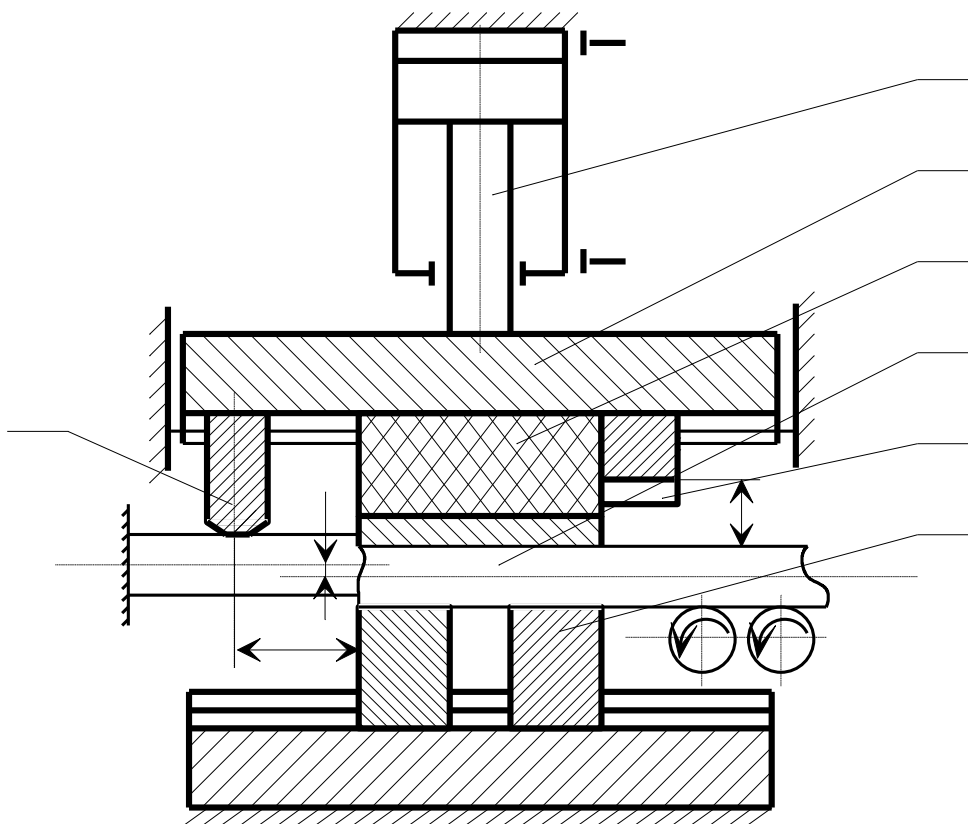


Рис. 6. Установка для разделения проката

Предложена конструкция штамповой оснастки для разделения сортового проката по схеме «сдвиг – ломка» (рис. 7), которая состоит из станины 1, в направляющих 2 которой установлен нож-ломатель 3 с возможностью возвратно-поступательного движения. Нож-ломатель 3 имеет П-образную форму. При этом с одной стороны он представляет собой ломатель, а с другой – нож, который смещён относительно ломателя на величину ΔH . Прокат 4 зажимается с помощью винта 6 в зажимных полувтулках 5. Направляющие 2 крепятся к станине с помощью болтов 7. Пресс работает следующим образом. Прокат 4 зажимается в зажимных полувтулках 5. Под действием усилия прессы нож-ломатель 3 перемещается вниз, осуществляя ломку проката по консольной схеме. В момент разрушения проката система «пресс – нож-ломатель – прокат» становится динамически неуравновешенной. Нож-ломатель 3 разгоняется на ходе ΔH и наносит на прокат концентратор напряжений. Цикл работы штампа возобновляется.

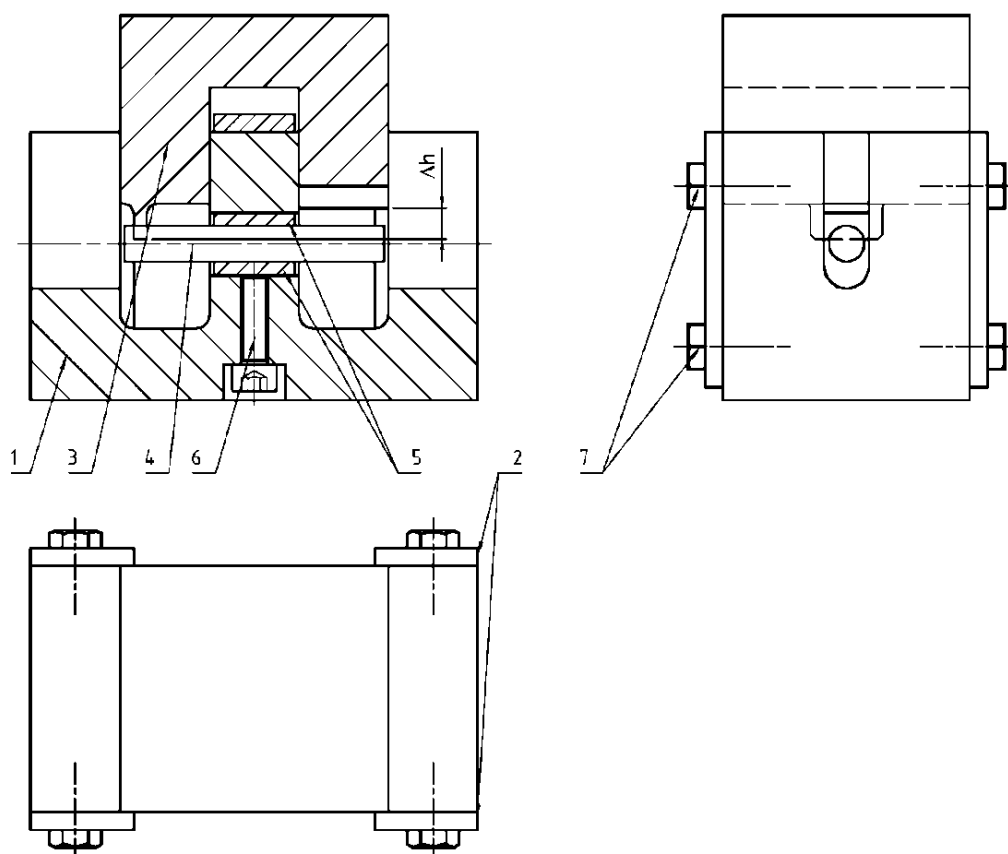


Рис. 7. Штамп для разделения сортового проката по схеме «сдвиг–ломка»

В устройстве для разделения проката холодной ломкой изгибом [11] (рис. 8) реализуемая схема ломки – трехточечная консоль. Усилием рольганга прокат 1 подается до упора 2. Под действием силы привода, клин 3 движется и расклинивает систему «опора 4 – зажимная втулка 5», зажимая прокат. Под действием силы со стороны ползуна (не показан), подпружиненная подвижная втулка 6, преодолевая сопротивление пружины 7, движется вниз, совместно с подпружиненным ножом 8, который зафиксирован на ней с помощью роликов 9. При этом происходит сдвиг одной части проката относительно другой на величину ΔH , т.е. наносится эффективный концентратор напряжений, величина которого зависит от механических характеристик материала и размеров поперечного сечения. Подвижная втулка 6 сопрягается с втулкой 10 по цилиндрической поверхности и крепится на подвижной плите 11. Под действием силы сдвига, ролики 9 выжимаются из сопрягаемых с ними поверхностей, выполненных в ноже 8, и прижимаются к внутренней поверхности втулки 10. Поскольку внутренняя поверхность втулки 10 выполнена так, что цилиндрическая поверхность переходит в коническую 12, то ролики 9 прижимаются к конической поверхности 12 и, при дальнейшем движении подвижной втулки 6, выходят из зацепления с поверхностями, выполненными в ноже 8. Таким образом, нож 8 и подвижная втулка 6 разъединяются, после чего происходит холодная ломка проката изгибом в плоскости концентратора напряжений. Цикл работы устройства возобновляется.

На рис. 9 представлена конструкция установки для разделения проката холодной ломкой изгибом [12]. Реализуемая схема – трехточечная консоль. Прокат подается до упора 1. Под действием силы гидроцилиндра, клин 2 движется горизонтально, расклинивая систему «опора 3 – зажимная втулка 4» и осуществляя зажим проката.

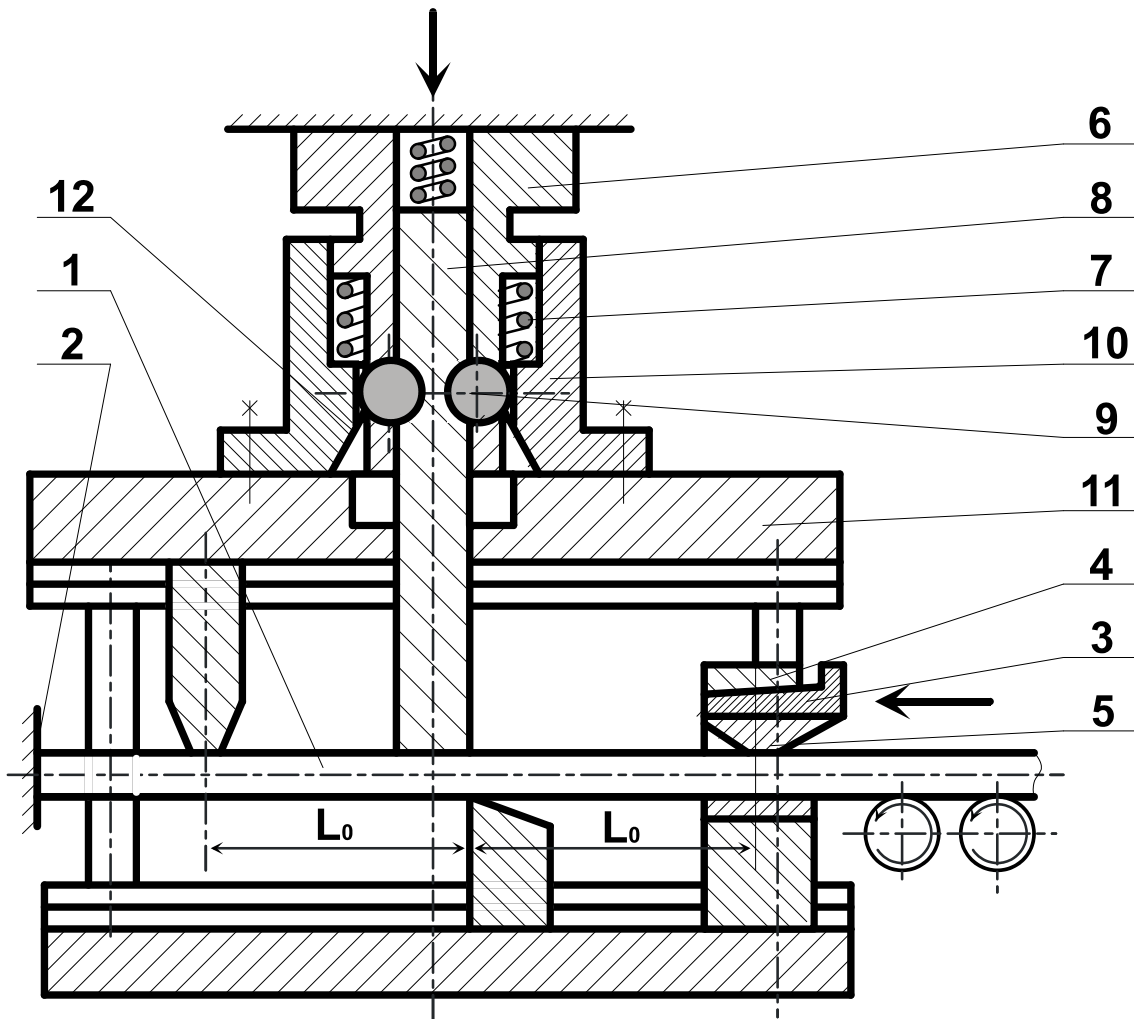


Рис. 8. Устройство для разделения проката [11]

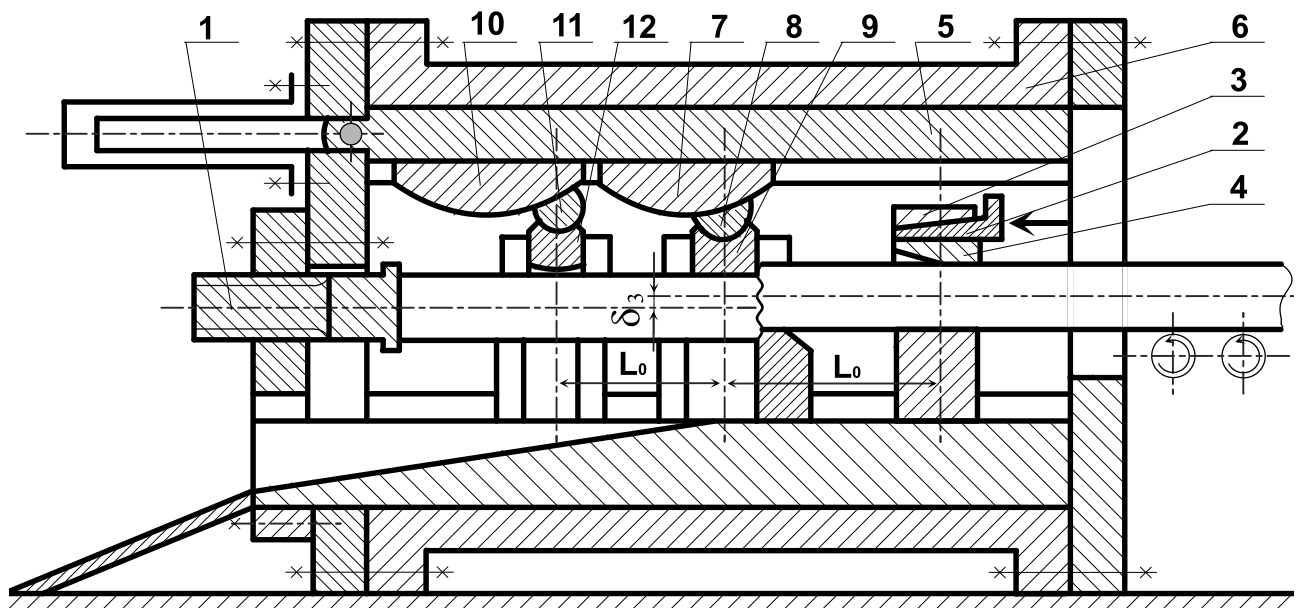


Рис. 9 Установка для раскроя проката [12]

Под действием силы со стороны привода, подвижная плита 5 перемещается по направляющим станины 6, выполненной в виде трубы. При этом клин 7 с выпуклой цилиндрической поверхностью воздействует на шарнир 8, который поворачивается относительно оси. Таким образом, горизонтальное движение клина 7 переходит в вертикальное движение ползуна 9. Ползун 9 совершает возвратно-поступательное движение, нанося на прокат концентратор напряжений. При дальнейшем движении клина 7, ползун 9 движется вверх и уходит из зоны реза. При этом клин 10 клиношарнирного механизма ломателя (который также установлен на подвижной плите 5) воздействует на шарнир 11, который, поворачиваясь относительно оси ползуна 12, превращает горизонтальное движение клина 10 в вертикальное движение ползуна 12. Таким образом, когда ползун 9 механизма нанесения концентратора напряжений начинает движение вверх, ползун 12 ломателя воздействует на прокат, изгибая и ломая последний в плоскости концентратора напряжений. Цикл работы устройства возобновляется. Выполнение станины 6 в виде трубы обеспечивает высокую прочность и жесткость конструкции устройства. Использование клиношарнирного механизма обеспечивает выигрыш в силе привода, необходимой для нанесения концентратора напряжений и холодной ломки проката изгибом.

ВЫВОДЫ

1. Применение нового способа безотходного разделения сортового проката позволяет уменьшить энергоемкость процесса по сравнению с отрезкой сдвигом. При этом в целом снижается установочная мощность оборудования и нагрузки, действующие на детали конструкции. Новый способ «сдвиг–ломка» удачно реализуется за один рабочий ход машины, позволяет утилизировать энергию упругой деформации станины и привода и использовать ее для совершения полезной работы – нанесения концентратора напряжений. При этом упрощается конструкция машины за счет исключения из нее специальных амортизаторов для гашения избыточной энергии.

2. Применение безотходного способа разделения сортового проката на мерные заготовки по схеме «сдвиг–ломка» обеспечивает работу оборудования статического действия в динамическом режиме, что повышает качество разделяемых заготовок. Разработаны перспективные схемы оборудования и штамповой оснастки для реализации способа «сдвиг–ломка». Даны рекомендации по величине концентраторов напряжений, необходимых для получения заготовок удовлетворительного качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловцов С. С. *Безотходная разрезка сортового проката в штампах* / С. С. Соловцов. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
2. Финкель В.М. *Холодная ломка проката* / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М.: Металлургия, 1982. – 192 с.
3. Веселовский С.И. *Разрезка материалов*. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
4. Охрименко Я. М. *Технология кузнечно-штамповочного производства*. – М.: Машиностроение, 1966 – С. 27–59.
5. Тимошенко В.А. *Обобщение и разработка разделительных процессов обработки металлов давлением: Дис...д – ра техн. наук: 05.03.05*. – Кишинев, 1987. – 512 с.
6. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. *Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов* / Под ред. Л.И. Живова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 560 с.: ил.
7. *Процессы, происходящие в гидравлических прессах при мгновенном исчезновении технологической нагрузки* / Ю. В. Беляев, Н. Н. Киселев, Ф. И. Когановский и др. // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1969. – № 10. – С. 12–14.
8. *К динамике разделения проката на мерные заготовки на гидравлическом прессе при мгновенном исчезновении технологической нагрузки* / С. Г. Карнаух, Л. Л. Роганов, А. Ф. Тарасов и др. // *Импульсная обработка металлов давлением*. – Харьков, 1997. – С. 123–133.
9. 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.
10. 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: Збірник наукових праць ДДМА. – Краматорськ. – 1999. – С.269–271.
11. А. с. 1821298 (СССР), МКІ В 23 D 31/00. Устройство для разделения проката / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, А. В. Исаев (СССР). – № 4932088/27 ; заявл. 29.04.91 ; опубл. 15.06.93, Бюл. № 22.
12. А. с. 1775245 (СССР), МКІ В 23 D 31/00, 23/00. Установка для раскроя проката / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, А. В. Исаев (СССР). – № 4932443/27 ; заявл. 29.04.91 ; опубл. 15.11.92, Бюл. № 42.

REFERENCES

1. Colovcov S. S. Bezothodnaja razrezka sortovogo prokata v shtampah / S. S. Solovcov . – М.: Mashinostroenie, 1985. – 176 s.
2. Finkel' V.M. Holodnaja lomka prokata / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov.– М.: Metallurgija, 1982. – 192 s.
3. Veselovskij S.I. Razrezka materialov. – М.: Mashinostroenie, 1973. – 360 s.
4. Ohrimenko Ja. M. Tehnologija kuznechno–shtampovochnogo proizvodstva. – М. : Mashinostroenie, 1966 — S. 27–59.
5. Timoshhenko V.A. Obobshhenie i razrabotka razdelitel'nyh processov obrabotki metallov davleniem: Dis...d – ra tehn. nauk: 05.03.05. – Kishinev, 1987. – 512 s.
6. Zhivov L.I., Ovchinnikov A.G., Skladchikov E.N. Kuznechno–shtampovochnoe oborudovanie: Uchebnik dlja vuzov / Pod red. L.I. Zhivova. – М.: Izd–vo MGTU im. N.Je.Baumana, 2006. – 560 s.: il.
7. Processy, proishodjashhie v gidravlicheskih pressah pri mgnovennom ischeznovenii tehnologicheskoy nagruzki / Ju. V. Beljaev, N. N. Kiselev, F. I. Koganovskij i dr. // Kuznechno–shtampovochnoe proizvodstvo. – 1969. – № 10. – S. 12–14.
8. K dinamike razdelenija prokata na mernye zagotovki na gidravlicheskom presse pri mgnovennom ischeznovenii tehnologicheskoy nagruzki / S. G. Karnauh, L. L. Roganov, A. F. Tarasov i dr. // Impul'snaja obrabotka metallov davleniem. – Har'kov, 1997. – S. 123–133.
9. Roganov L. L. Doslidzhennja novogo sposobu podilu sortovogo prokatu za shemoju “zsuv lamannja” / L. L. Roganov, S. G. Karnauh, O. O. Bigunov // Mashinoznavstvo. – 2001. – Vip. №6. – S.33–35.
10. Karnauh S. G. Matematicheskoe modelirovanie processa nanesenija koncentratora naprjazhenij na gidravlicheskom presse s poleznym ispol'zovaniem jenerгии uprugoj deformacii staniny i privoda / S. G. Karnauh, A. A. Begunov // Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobki tiskom u mashinobuduvanni ta metalurgії: Zbirnik naukovih prac' DDMA. – Kramators'k. – 1999. – S.269–271.
11. А. с. 1821298 (SSSR), МКІ В 23 D 31/00. Устройство для разделения проката / L. L. Roganov, S. G. Karnauh, A. V. Isaev (SSSR). – № 4932088/27 ; zajavl. 29.04.91 ; opubl. 15.06.93, Bjul. № 22.
12. А. с. 1775245 (SSSR), МКІ В 23 D 31/00, 23/00. Установка для раскроя проката / L. L. Roganov, S. G. Karnauh, A. V. Isaev (SSSR). – № 4932443/27 ; zajavl. 29.04.91 ; opubl. 15.11.92, Bjul. № 42.

Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц. ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

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

Статья поступила в редакцию 23.02.2016 г.