

УДК 621.961

**Карнаух С. Г.
Карнаух Д. С.
Чоста Н. В.
Коляденко А.В.**

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОКАТА (ТРУБ) НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Рациональное использование металла, экономия энергоресурсов, снижение трудоемкости и улучшение качества продукции – важные задачи, которые следует решать на всех технологических этапах металлообрабатывающего производства, включая процессы обработки материалов давлением и составляющую часть этих процессов – разделение проката на мерные заготовки.

Важнейшей операцией в технологической цепочке прокатного и кузнечно-штамповочного производства является операция получения заготовок мерной длины из сортового проката и труб [1, 2]. Разделительные операции являются одними из самых распространенных в обработке материалов давлением.

Из множества способов разделения сортового проката (труб) наиболее перспективными являются безотходные способы [1, 2]. 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., Тимощенко В.А., Борисов В.М., Высоцкий Е.Н., а также ряд других отечественных и зарубежных ученых [1–5].

Однако до сих пор не предложен универсальный способ разделения сортового проката в широком диапазоне поперечных размеров и марок материала для получения заготовок высокого качества. Относительно большая вязкость конструкционных сталей требует одновременного применения нескольких способов для управления уровнем пластической деформации при разделении. Наиболее перспективным представляется вполне определенное сочетание параметров схемы нагружения и скорости приложения нагрузки. Поэтому возможность предварительного статического нагружения проката, в сочетании с высокой скоростью деформирования, позволяет создать в прокате схему напряженного состояния, обеспечивающую требуемую геометрическую точность и качество получаемых заготовок.

Разделительные операции реализуются как на специализированном кузнечно-прессовом оборудовании: ножницах, хладноломах и др., так и на универсальном: гидравлических и механических прессах, молотах, пресс-молотах [6]. Главными исполнительными механизмами в них являются: гидроцилиндры, кривошипно-шатунные, коленно-рычажные, винтовые механизмы, являющиеся, как правило, многосвязными и имеющие сравнительно невысокую жесткость. При этом конструктивная сложность, высокая металлоемкость существующего оборудования, несоответствие характера изменения силы при реализации процессов разделения проката характеру изменения силы на ползуне исполнительного механизма большинства кузнечно-прессовых машин, а также значительная энергоемкость процесса не позволяют реализовывать перспективные способы разделения проката.

Новый качественный уровень развития заготовительного производства возможен при условии создания нового кузнечно-прессового оборудования с повышенными энергетическими возможностями, жесткостью и использованием нестандартных исполнительных механизмов.

Цель данной работы – разработка специализированного оборудования для безотходного разделения сортового проката (труб) на заготовки высокого качества, обеспечивающего статико-динамическое приложение нагрузки.

Статико-динамическое нагружение можно реализовать с помощью специализированного оборудования – пресс-молотов, которые разрабатываются на кафедре основ проектирования машин ДГМА на протяжении последних 30 лет [7].

Разработана конструкция пресс-молота на базе КГШП [8] (рис. 1).

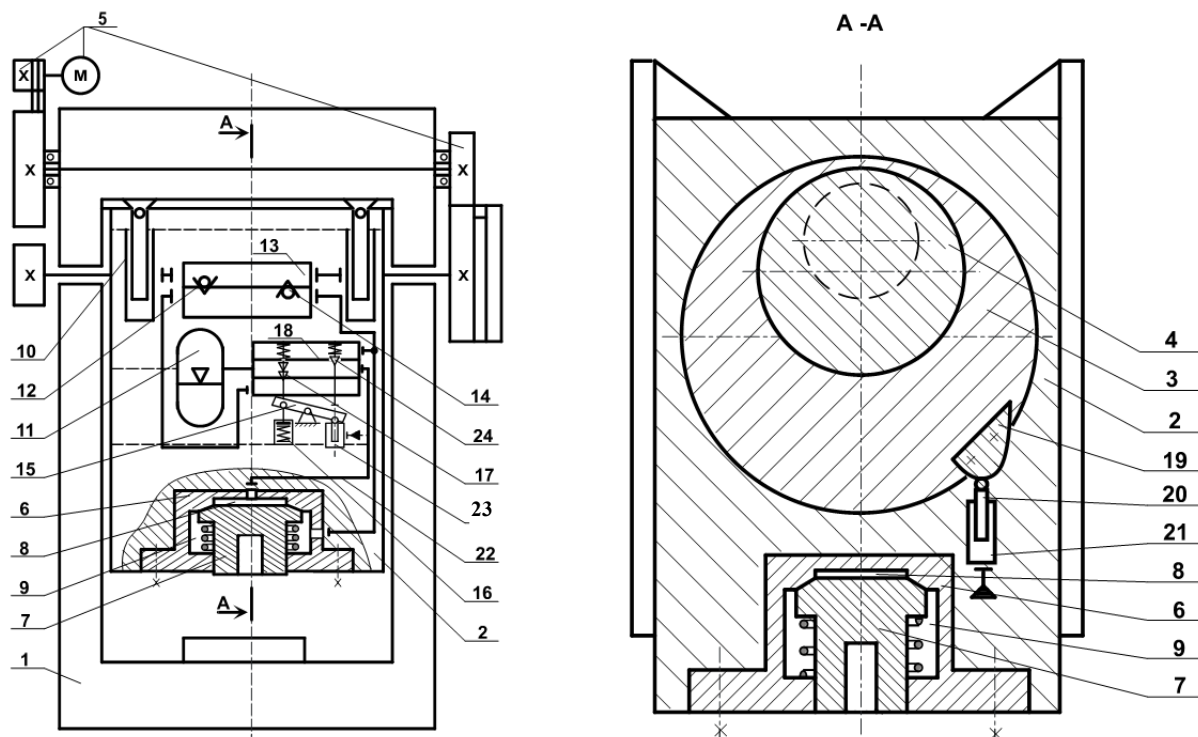


Рис. 1. Конструктивная схема пресс-молота [8]

Пресс-молот содержит станину закрытого типа 1, рамный ползун 2, установленные в ползуне круговой шатун 3 и эксцентриковый вал 4, привод эксцентрикового вала 5 и гидропружинное устройство, расположенное в ползуне 2 и состоящее из гидроцилиндра 6 с подпружиненным ударным поршнем 7, разделяющим полость гидроцилиндра на поршневую полость низкого давления 8, штоковую полость высокого давления 9 и гидропривода.

Пресс-молот работает следующим образом. На рабочем ходе пресса в плунжерных гидроцилиндрах 10 создается разрежение, и минеральное масло из пневмогидравлического аккумулятора 11 всасывается через обратный клапан 12 двухклапанного распределителя 13 в полости гидроцилиндров 10, связанных между собой. На холостом ходе пресса происходит сжатие масла в плунжерных гидроцилиндрах 10, которое через обратный клапан 14 поступает в штоковую полость 9 высокого давления гидроцилиндра 6. В исходном положении коромысло 15 с одной стороны подпружинено пружиной 16 так, что сливной клапан 17 двухклапанного распределителя 18 открыт и соединяет полость 8 с пневмогидравлическим аккумулятором низкого давления 11. В определенном положении кругового шатуна 2, расположенный на нем профилированный кулачок 19 воздействует на плунжер 20 управляющего гидроцилиндра 21, соединенного с другим управляющим гидроцилиндром 23 с помощью гидравлической связи 22. При этом плунжер второго управляющего плунжерного гидроцилиндра 23 движется вверх и переводит коромысло 15 в новое положение. Коромысло 15 воздействует на шток впускного клапана 24 двухклапанного распределителя 18, соединяя полость низкого давления 8 с полостью высокого давления 9 гидроцилиндра 6. При этом ударный поршень 7 ускоренно движется вниз, совершая полезную работу. Цикл работы пресса возобновляется.

В кривошипно-круговом механизме величина коэффициента шатуна достигает значений (0,4...0,5), что обеспечивает уменьшение активной зоны деформации и увеличение жесткости прессы в (2,2...3,0) раза. Сочетание кривошипно-кругового механизма с рамным ползуном, охватывающим его и сверху, и снизу, обеспечивает устойчивость ползуна. Развитая площадь опоры шатуна в ползуне механизма снижает удельные силы в этой опоре и способствует гашению колебаний, что в сочетании с малой деформационной зоной приводит к высокой динамической устойчивости и отсутствию раскачивания на фундаменте.

Для создания высокого давления в полости гидроцилиндра гидропружинного устройства используется холостой ход прессы. При этом не требуется дополнительное устройство для создания давления, более равномерно нагружается электродвигатель привода прессы, повышается культура производства. Широкие технологические возможности пресс-молота позволяют получать заготовки высокого качества.

Разработана конструкция клинового пресс-молота (рис. 2) [9], который содержит станину 1, в которой выполнен гидроимпульсный цилиндр 2, кольцевой импульсный клапан 3, притертый к цилиндру 2. Концентрично клапану 3 расположена гидравлическая полость 4. Цилиндр 2 снабжен опорой 5 плунжера 6. Опора 5 и плунжер 6 образуют радиальный канал 7 и контактируют основаниями. Устройство снабжено узлом поджима заготовки в виде подвижного стола 8 и клина 9 с дополнительным приводом. Управление пресс-молотом осуществляется по каналам 10,11,12. Штамповая оснастка устанавливается на рабочий стол и разделяемый прокат нагружается статической силой со стороны клинового механизма 9, а затем динамической нагрузкой со стороны гидроимпульсного цилиндра 2. Недостатком данной конструкции является то, что клиновой механизм создает постоянную по величине силу на всем рабочем ходе, что не соответствует типовому графику сил, характерного для разделительных процессов.

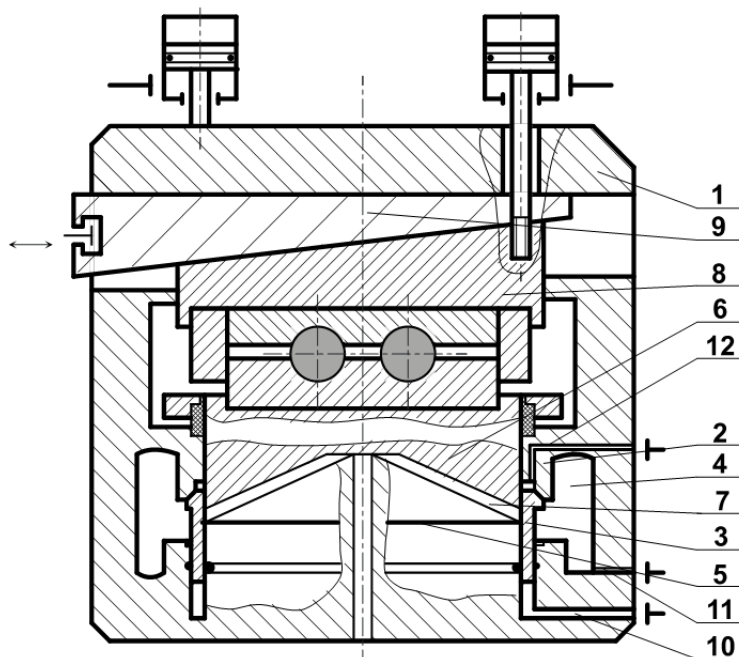


Рис. 2. Конструктивная схема клинового пресс-молота [9]

Дальнейшее развитие кузнечно-прессового оборудования для реализации разделительных операций неразрывно связано с проведением широкого круга комплексных научных исследований исполнительных механизмов машин, которые по графику изменения силы деформирования максимально приближаются к типовому графику сил, характерного для разделительных процессов. Такое силовое воздействие возможно обеспечить от разрабатываемых в ДГМА клиношарнирных механизмов.

В работе [10] разработана конструкция клиношарнирного пресс-молота с выпуклым клином (рис. 3).

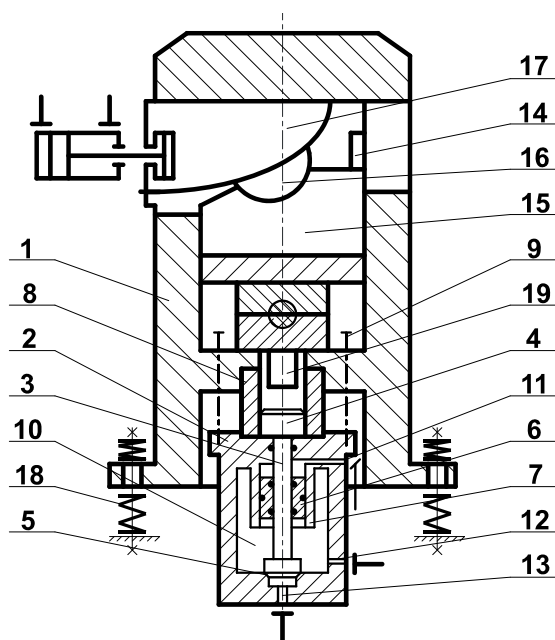


Рис. 3. Конструктивная схема клиношарнирного пресс-молота [10]

Клиношарнирный пресс-молот состоит из станины 1, с расположенным на ней гидроупругим цилиндром 2, содержащим шток 3 с бойком 4. Торец штока уплотнен относительно дна цилиндра 2 кольцевым уплотнением 5 с диаметром большим диаметра штока 3. Концентрично штоку 3 установлен кольцевой поршень 6 с направляющей 7. Цилиндр 2 центрируется относительно станины 1 проставкой 8 и крепится винтами 9 к ее столу. Внутренняя полость 10 цилиндра 2 является аккумулятором энергии. Управление цилиндром осуществляется по каналам 11,12,13. В направляющих 14 станины 1 установлена подвижная траверса 15, контактирующая с шарниром 16, на который воздействует клин 17 с цилиндрической образующей, опирающийся плоской частью на станину 1. На подвижной траверсе 15 и плите станины 1 установлена технологическая оснастка. Для снижения динамических нагрузок на фундамент устройство установлено на упругие элементы 18.

Пресс-молот работает следующим образом. В исходном положении подвижная траверса 15 вместе со штамповой оснасткой поднята, клин 17 выведен из станины 1. Шток 3 с бойком 4 гидроупругого цилиндра 2 находится в нижнем положении на кольцевом уплотнении 5. При рабочем ходе клин 17 вводят в станину 1. Клин 17 воздействует на шарнир 16, который, поворачиваясь относительно своей оси на рабочий угол, опускает по направляющим 14 подвижную траверсу 15. При этом происходит деформирование проката. Привод клина 17 может быть как статического, так и динамического действия. После набора давления в полости цилиндра 10 жидкость подают под кольцевое уплотнение 5 по каналу 13 под давлением. Происходит разгон штока 3 с бойком 4 и удар по промежуточной проставке 19. В процессе удара производится разделение проката. После удара и отскока бойка 4 за счет дополнительной деформации заготовки технологическая сила на подвижную траверсу 15 снижается или снимается полностью. Приводом клина 17 осуществляется его вывод из станины 1 и подъем подвижной траверсы 15. Цикл работы повторяется. Возможна реализация схемы нагружения, при которой вначале динамической нагрузкой (гидроупругим цилиндром) наносится концентратор напряжений, а окончательное разделение происходит под действием динамической силы со стороны клиношарнирного механизма.

Однако клиношарнирные механизмы с выпуклым клином не обеспечивают максимальную технологическую силу в начале рабочего хода, что характерно для процессов разделения. Наиболее перспективными для разделительных операций являются клиношарнирные механизмы с вогнутым клином (рис. 4) с типовым графиком усилий, представленным на рис. 5 [11].

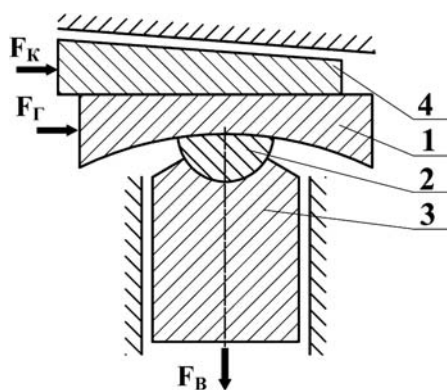


Рис. 4. Схема клиношарнирного механизма прессы с вогнутым клином: (1 – клин переменной клиновидности; 2 – шарнир; 3 – ползун; 4 – клин постоянной клиновидности [11])

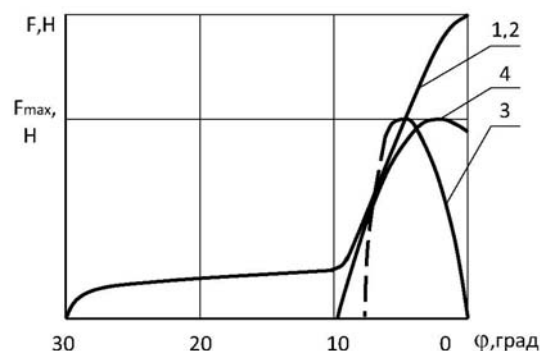


Рис. 5. Типовые графики усилий кузнечно-прессовых машин (1, 2 – кривошипный и клиношарнирный прессы с выпуклым клином; 3 – клиношарнирный пресс с вогнутым клином; 4 – типовой график сил при отрезке сдвигом)

Для подтверждения гипотезы о положительном влиянии статико-динамического нагружения на качество разделяемых заготовок проведены теоретические и экспериментальные исследования в этом вопросе.

В работе [12] разработана комплексная модель процесса статико-динамического нагружения образцов по схеме трехточечной холодной ломки изгибом на пресс-молоте (рис. 6). Анализ проведенных расчетов (рис. 7, 8) показывает, что предварительное статическое нагружение при холодной ломке изгибом с высокими скоростями нагружения позволяет снизить высокочастотные колебания системы «инструмент – образец – опоры», исключить нарушение контакта образца с опорами, понизить пиковые величины сил со стороны инструмента и опор. Наличие статической силы в момент удара обеспечивает определенный исходный уровень растягивающих напряжений в зоне концентратора напряжений, что повышает управляемость трещиной. Предполагается, что разрушающая трещина при этом всегда будет распространяться в области растягивающих напряжений, а возникающие реактивные силы со стороны опор, от действия статической силы, совпадают с направлением инерционных сил половинок образца и дополнительно доламывают образец. Величина статической силы, необходимая для исключения отрыва образца от опор, зависит от жесткости контакта инструментов и увеличивается с ростом последней.

Наличие статической нагрузки F_{cm} в момент удара (см. рис. 7, б) приводит к более плавному нагружению образца, резкие пики сил на расчетных кривых исчезают. Увеличение статической составляющей приводит к плавному росту амплитуды сил F_4, F_6 . Хотя максимальное значение амплитуды для ударного нагружения выше в связи с наличием пиковых значений сил.

Величина статической нагрузки F_{cm} , необходимая для предотвращения отрыва образца от опор повышается с ростом жесткости контакта C_2 (см. рис. 7, в). Увеличение статической нагрузки F_{cm} вызывает пропорциональный рост исходного угла изгиба образца α (рис. 8). При этом снижается время t_{max} достижения максимального угла изгиба α_{max} , величину которого следует ограничивать в пределах $0,14 \text{ рад}$ для обеспечения качества получаемых заготовок.

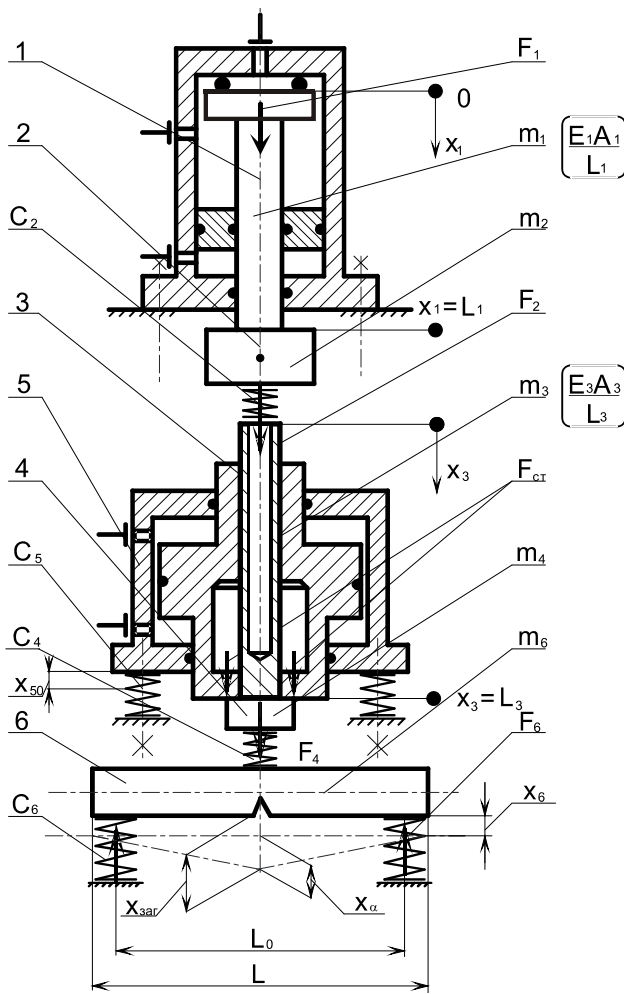
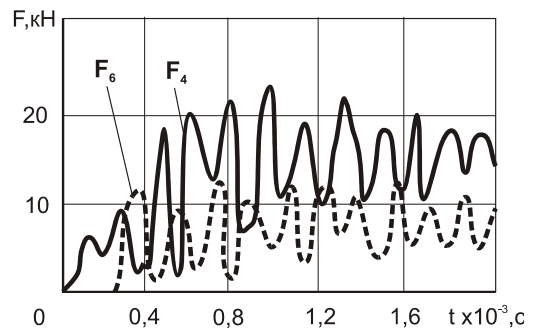
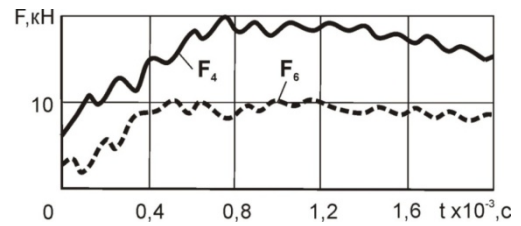


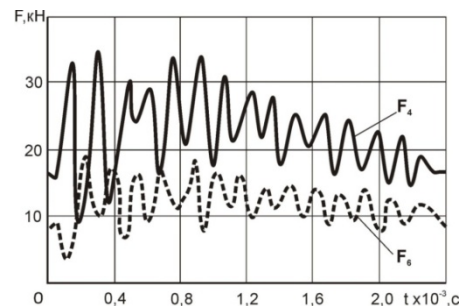
Рис. 6. Расчётная схема нагружения образцов на пресс-молоте [12]



а



б



в

Рис. 7. Расчётные кривые изменения сил на контакте инструмента с образцом $F_4 = f(t)$ и образца с опорами $F_6 = f(t)$: а – ударное нагружение $C_2 = 100 \text{ МН/м}$; б – статико-динамическое нагружение $F_{cm} = 5 \text{ кН}$, $C_2 = 100 \text{ МН/м}$; в – статико-динамическое нагружение $F_{cm} = 15 \text{ кН}$, $C_2 = 500 \text{ МН/м}$.

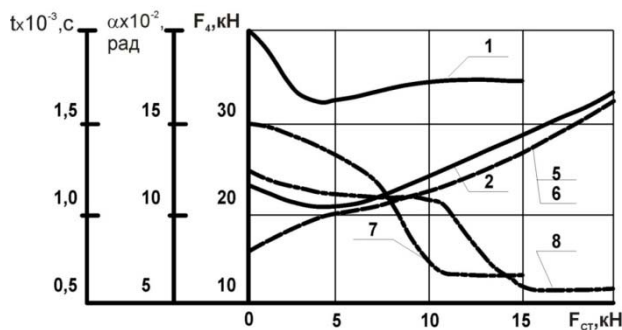
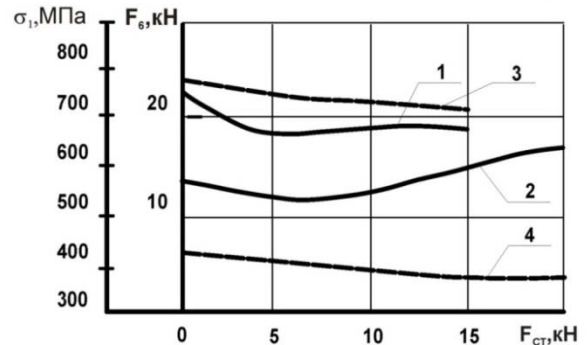


Рис. 8. Зависимость амплитудных значений деформирующей силы F_4 , реакций опор F_6 , напряжений в штоке σ_1 , угла изгиба α и соответствующего ему времени t_α от статической нагрузки F_{cm} : 1,2 – F_4, F_6 ; 3,4 – σ_1 ; 5,6 – α ; 7,8 – t_α



Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических расчетов. В эксперименте использовались образцы диаметром 20 мм и длиной 100 мм из следующих марок сталей: ВСтЗпс, 30, 40, 50ХФА. На образцы предварительно, с помощью токарного резца, наносили одинаковые концентраторы напряжений в форме кольцевой канавки с параметрами $\Delta H = 1,5\text{мм}$; $r = 0,15\text{мм}$ и нагружали статико-динамической нагрузкой на пресс-молоте конструкции ДГМА, схема которого представлена на рис. 6.

Зависимость величины отклонения траектории трещины δ_i от величины статической нагрузки F_{cm} для сталей разных групп твердости представлена на рис. 9. Анализ зависимостей $\delta_i = f(F_{cm})$ показывает, что для получения высокого качества заготовок рекомендуется выбирать величину статической силы F_{cm} в диапазоне (40...50)% от силы трехточечной холодной ломки изгибом F_l . На основании анализа зависимости величины отклонения траектории трещины от механических свойств разделяемых образцов $\delta_i = f(\sigma_B)$ (рис. 10) установлено, что с увеличением прочности материала повышается качество получаемых заготовок.

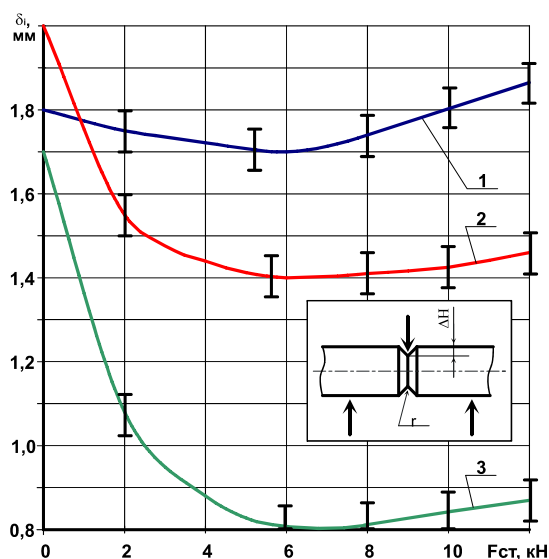


Рис. 9. Зависимость отклонения траектории трещины от величины предварительной статической нагрузки на пресс-молоте (1 – ВСтЗпс; 2 – Сталь 30; 3 – Сталь 40)

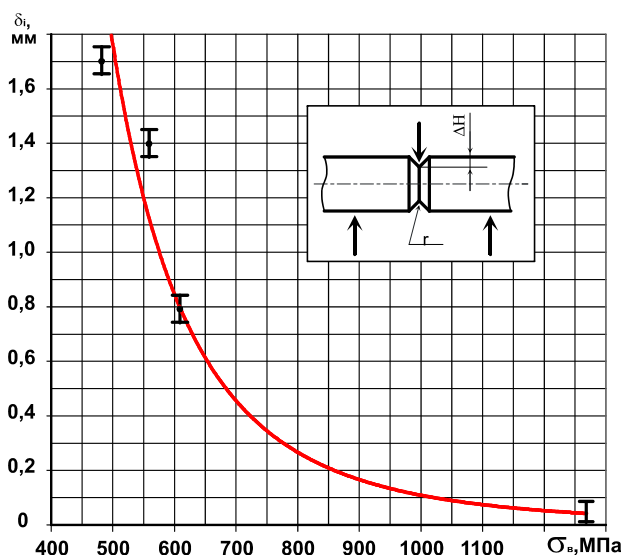


Рис. 10. Зависимость величины отклонения траектории трещины от предела прочности разделяемых материалов

Эксперимент показал, что комбинированное статико-динамическое нагружение образцов при холодной ломке изгибом положительно влияет на качество разделяемых заготовок, что подтверждает теоретические выводы. Существенное повышение качества наблюдалось при разделении сталей средней группы твердости – величина отклонения траектории трещины δ_i уменьшилась в среднем на 75% по сравнению с динамическим нагружением.

На рис. 11 показаны фотографии заготовок, полученных способом трехточечной холодной ломки изгибом при статико-динамическом нагружении.



Сталь 50ХФА, поверхность раздела матовая Сталь 30, $\delta_i = (1,4 \pm 0,05)$ мм Сталь 40, $\delta_i = (0,8 \pm 0,05)$ мм

Рис. 11. Фотографии образцов

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа перспективных направлений развития заготовительного производства предложены новые конструкции оборудования для разделительных процессов статико-динамического действия с высокими технико-экономическими характеристиками.

2. Анализ проведенных теоретических исследований подтверждает, что предварительное статическое нагружение при разделении позволяет снизить высокочастотные колебания системы «инструмент – образец – опоры», исключить нарушение контакта образца с опорами, понизить пиковые величины сил со стороны бойка и опор. Наличие статической силы в момент удара обеспечивает определенный исходный уровень растягивающих напряжений в зоне концентратора напряжений, что повышает управляемость трещиной.

3. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что для получения заготовок высокого качества рекомендуется выбирать величину статической силы в диапазоне (40...50)% от величины динамической силы разделения.

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. Роганов Л.Л. *Сдвиговая отрезка заготовок ножами с клиновыми выступами* / Л. Л. Роганов, А. В. Исаев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1989. – № 4. – С. 16–19.
4. Соловцов С.С. *Состояние и перспективы развития производства точных заготовок из сортового проката* / С. С. Соловцов, Н. Л. Лисуец // *Перспективы производства точных заготовок и деталей методами объемного деформирования*. – МДНТП. – 1990. – С. 76–81.
5. Кириловский В.В. *Новые схемы ломки проката* / В. В. Кириловский, В. А. Тимощенко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1990. – № 9. – С. 9–11.
6. 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.: ил.
7. Роганов Л.Л. *Теоретические основы разработки и внедрение эффективных кузнечно-прессовых машин на базе гидроупругого привода: Дис...д-ра техн. наук: 05.03.05*. – Краматорск, 1988. – 506 с.
8. А.с. 1833770 СССР, МКИ В30 В1/26. *Механо-гидравлический пресс* / О.М. Шинкаренко, С.Г. Карнаух (СССР).- № 4801537/27; Заявлено 15.01.90; Опубл. 15.08.93, Бюл. № 30.- 4 с.

9. Заявка № 94096869, МКИ В 23 Д 31/100. Установка для разделения проката / А.Ф.Тарасов, Л.Л.Роганов, С.Г.Карнаух (Украина); Заявлено 06.09.94, Заявлено 06.09.94, Промислова власність, Офіц. бюл. № 4, 1997.

10. Заявка № 93006886, МКИ В30 В 1/26. Устройство статико - динамического нагружения / А.Ф.Тарасов, Л.Л.Роганов, С.Г.Карнаух (Украина); Заявлено 16.07.93, Промислова власність, Офіц. бюл. № 3, 1995.

11. Совершенствование клиношарнирных механизмов прессов для разделительных процессов обработки давлением / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста, В. Е. Шоленинов // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов №2 (21). – ДГМА, Краматорск, 2009. – С. 333–338.

12. Карнаух С. Г. Исследование процесса статико-динамического нагружения заготовок по схеме трехточечной холодной ломки изгибом на пресс-молотах / С. Г. Карнаух // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2001. – Вып. №2. – С.8–12.

REFERENCES

1. Colovcov S. S. Bezothodnaja razrezka sortovogo prokata v shtampah / S. S. Solovcov. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 176 s.

2. Finkel' V.M. Holodnaja lomka prokata / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov.- M.: Metallurgija, 1982. – 192 s.

3. Roganov L.L. Sdvigovaja otrezka zagotovok nozhami s klinovymi vystupami / L. L. Roganov, A. V. Isaev // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1989. – № 4. –S. 16–19.

4. Solovcov S.S. Sostojanie i perspektivy razvitiija proizvodstva tochnyh zagotovok iz sortovogo prokata / S. S. Solovcov, N. L. Lisunec // Perspektivy proizvodstva tochnyh zagotovok i detalej metodami obemnogo deformirovanija. – MDNTP. – 1990. – S. 76–81.

5. Kirilovskij V.V. Novye shemy lomki prokata / V. V. Kirilovskij, V. A. Timoshhenko // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1990. – № 9. – S. 9–11.

6. Zhivov L.I. Kuznechno-shtampovocnoe 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.: il.

7. Roganov L.L. Teoreticheskie osnovy razrabotki i vnedrenie jeffektivnyh kuznechno-pressovyh mashin na baze gidrouprugogo privoda: Dis...d-ra tehn. nauk: 05.03.05. – Kramatorsk, 1988. – 506 s.

8. A.s. 1833770 SSSR, MКИ V30 V1/26. Mehano-gidravlicheskij press / O.M. Shinkarenko, S.G. Karnauh (SSSR).- № 4801537/27; Zajavleno 15.01.90; Opubl. 15.08.93, Bjul. № 30.- 4 s.

9. Zajavka № 94096869, МКИ В 23 Д 31/100. Ustanovka dlja razdelenija prokata / A.F.Tarasov, L.L. Roganov, S.G.Karnauh (Ukraina); Zajavleno 06.09.94, Zajavleno 06.09.94, Promislova vlasnist', Ofic. bjul. № 4, 1997.

10. Zajavka № 93006886, МКИ V30 V 1/26. Ustrojstvo statiko- dinamicheskogo nagruzenija / A.F. Tarasov, L.L. Roganov, S.G. Karnauh (Ukraina); Zajavleno 16.07.93, Promislova vlasnist', Ofic. bjul. № 3, 1995.

11. Sovershenstvovanie klinosharnirnyh mehanizmov pressov dlja razdelitel'nyh processov obrabotki davleniem / L. L. Roganov, S. G. Karnauh, N. V. Chosta, V. E. Sholeninov // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnyh trudov №2 (21). – DGMA, Kramatorsk, 2009. – S. 333–338.

12. Karnauh S. G. Issledovanie processa statiko dinamicheskogo nagruzenija zagotovok po sheme trehtochechnoj holodnoj lomki izgibom na press molotah / S. G. Karnauh // Kuznechno shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2001. – Вып. №2. – S.8–12.

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

Карнаух Д. С. – преподаватель МК ДГМА

Чоста Н. В. – канд. техн. наук, доц. ДГМА

Коляденко А.В. – студент ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;
МК ДГМА – Машиностроительный колледж Донбасской государственной машиностроительной академии, г. Краматорск.

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

Статья поступила в редакцию 19.04.2016 г.