

УДК 621.961

Карнаух С. Г.
 Карнаух Д. С.
 Чоста Н. В.

РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ СПОСОБОВ И КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СОРТОВОГО ПРОКАТА (ТРУБ) НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

На современном этапе развития машиностроения проблема экономичного использования энергоресурсов и металла при его переработке, предъявляет все возрастающие требования к технологии и оборудованию для разделения исходных материалов на заготовки. Это объясняется тем, что мировые объемы производства стали измеряются сотнями миллионов тонн в год. К этому стоит добавить и миллионы тонн цветных металлов. Большая часть этого количества металла, так или иначе, разделяется в процессе производства. Вот почему технологиям разделения сортового проката и труб уделяется столь пристальное внимание. Ведь даже незначительное увеличение их эффективности мгновенно оборачивается ощутимым ростом рентабельности производства.

Существует достаточно много способов разделения сортового проката (труб), которые можно классифицировать на безотходные и отходные (с удалением слоя металла из зоны реза). Очевидно, что безотходные способы разделения являются материалосберегающими и экономичными, а потому перспективными для дальнейшей разработки и совершенствования.

Результаты многолетних исследований, начало которым положил Гриффитс, продолжили Колосов Г. В., Мухелишвили Н. И., Христианович С. А., Баренблатт Г. И., Леонов М. Я., Черепанов Г. П., Панасюк В. В., Финкель В. М., Высоцкий Е. Н. и др., показали, что точность и качество получаемых заготовок существенно зависят от способа и интенсивности передачи им ломающего усилия [1–4]. Предпочтение следует отдать безопорной схеме нагружения, которая исключает любой вид жесткого контакта поверхности проката с инструментом (рис. 1).

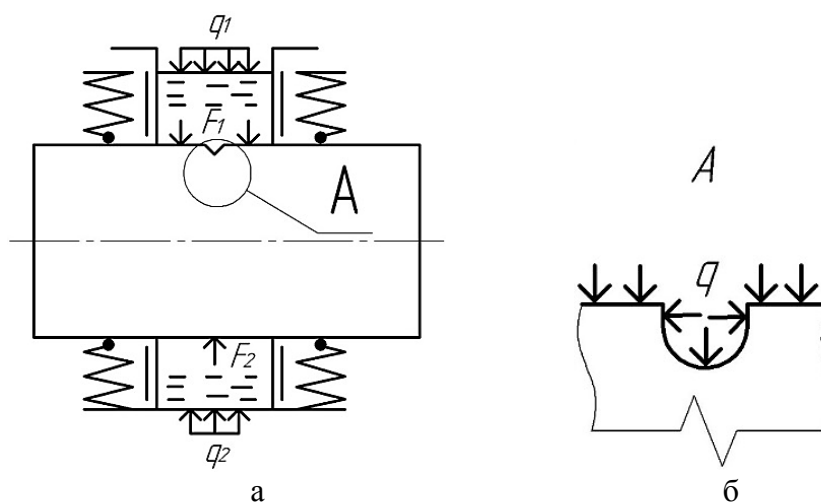


Рис. 1. Схемы холодной ломки проката изгибом [1]:

а – схема нагружения; б – расклинивание жидкостью концентратора напряжений
 q_i – интенсивность динамической нагрузки; F_i – сила ломки

Однако практического применения данный способ разделения сортового проката и труб не нашел вследствие его недостаточной изученности и конструктивной проработки оборудования для его реализации.

Целью работы является разработка новых способов и оборудования с высокими технико-экономическими показателями для получения заготовок требуемого качества при разделении сортового проката (труб) по безопорной схеме.

Известны попытки конструктивных проработок оборудования и оснастки, позволяющие реализовать схему разделения проката (труб) (см. рис. 1).

На рис. 2 показана конструктивная схема гидроимпульсного устройства для холодной ломки проката (труб) [5], в которой прокат 2, с нанесенным на него концентратором напряжений, вводится в кольцевую гидрополость В, после чего в полости А, Б, В подается рабочая жидкость. Затем к верхней гидрополости А прикладывается импульсная нагрузка интенсивностью q . При этом давление действует на некомпенсированную площадку корпуса 3, в результате чего последний начинает перемещаться на упругих элементах 4 относительно поршня 5, установленного на основании 6. Поршень 5, входя в нижнюю гидрополость Б, создает в ней давление, равное давлению в верхней гидрополости А. По достижению в кольцевой гидрополости В давления, создающего в прокате упруго-напряженное состояние, достаточное для получения в вершине концентратора растягивающих напряжений больших, чем допускаемые напряжения материала проката, в прокате зарождается трещина, которая распространяется по сечению проката и приводит к отделению заготовки 1.

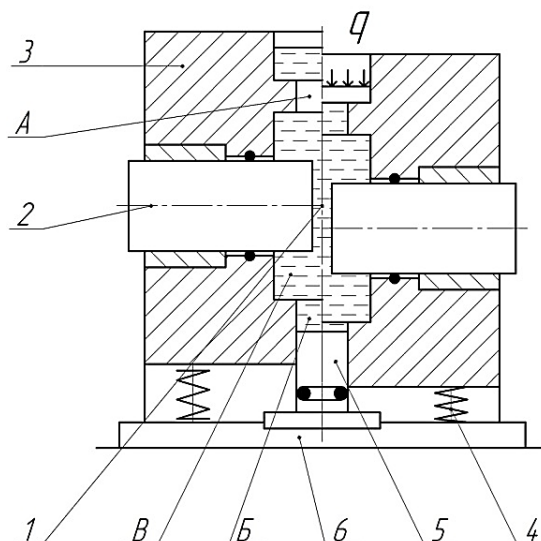


Рис. 2. Гидроимпульсное устройство для холодной ломки проката и труб [5]

В настоящее время известны способы ломки гидростатическим и гидродинамическим обжатием. Способ ломки проката гидростатическим обжатием («гидравлический пинч») заключается в том, что прокат с нанесенным концентратором напряжений вводится в кольцевую гидрополость цилиндра и обжимается гидростатическим давлением [1]. Однако оборудование с реализацией «пинч – эффекта» не нашло широкого применения в промышленности вследствие существенных недостатков данного способа разделения. К ним относят: сложность герметизации гидрополости высокого давления с введенным в нее прокатом (так как поверхность проката не обработана и имеет высокую шероховатость); необходимость обеспечения высоких значений критических давлений для разделения, что приводит к усложнению конструкции оборудования и повышению требований к его надежности и безопасности работы; образование утяжины в зоне гидравлического обжатия.

Экспериментально установлено, что гидростатическим давлением можно получать разлом практически всех металлов и сплавов независимо от их механических свойств и склонности к хрупкому разрушению. Например, для стали ШХ15 величина давления составляет около 1 400 МПа, а для стали Ст 1кп – всего 550 МПа. Нанесением концентратора напряжений на прокат можно снизить величину давления на 50–70 %. Однако величина давления и в этом случае остается достаточно высокой.

Использование гидродинамического давления позволяет частично устранить указанные выше недостатки, так как время процесса разделения составляет доли секунды, но принципиальные вопросы обеспечения герметичности на контакте уплотнения и наружной поверхности проката (труб), невысокой производительности и повышенных расходов на эксплуатацию – не решены.

Предложены различные варианты конструкций оборудования. Например, устройство для ломки проката (рис. 3) [6] состоит из неподвижного корпуса 1, жестко соединенного с основанием 2, на котором установлена опора 3. В корпусе 1 выполнена рабочая камера 4, в которую через магистраль 5 поступает жидкость, необходимая для трансформации импульсной энергии, и установлена подвижная профилированная втулка 6, плотно охватывающая прокат 7, которая исключает утечку жидкости из камеры 4. В исходном положении прокат 7 с нанесенным концентратором напряжений укладывают на опору 3 и через магистраль 5 в полость камеры подают рабочую жидкость. При достижении необходимого значения давления жидкости, к ней прикладывается импульсная нагрузка интенсивностью q , действующая одновременно на прокат 7 и подвижную втулку 6. Прокат, упруго прогибаясь под действием импульсной нагрузки q , должен был бы создавать зазор между собой и втулкой 6 по поверхности охвата. Однако втулка 6, под действием той же импульсной нагрузки q , плотно прижимается к упруго-прогибающемуся прокату и, перемещаясь совместно с ним, ликвидирует зазор по поверхности охвата, тем самым, исключая потери гидродинамического давления из полости. Кроме того, действие импульсной нагрузки q через жидкость на подвижную втулку 6 создает в прокате добавочное усилие ломки P , еще более повышая КПД устройства. По достижении предельного состояния, от концентратора напряжений распространяется разрушающая трещина, разламывающая прокат 7 на части. Подвижная втулка 6 возвращается в исходное положение, а на опору 3 устанавливается новая заготовка. Цикл повторяется.

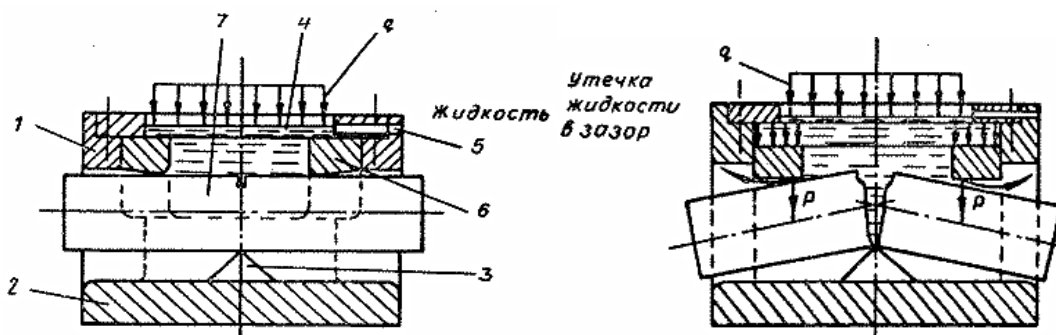


Рис. 3. Устройство для ломки проката [6]

Поскольку практическая реализация разделения проката обжатием жидкостью связана с трудностью обеспечения хорошей компрессии в гидравлической системе, вместо рабочей жидкости предложено использовать электромагнитное поле. Разработана конструкция устройства для ломки проката (рис. 4) [7], которая содержит: соленоид 1, концентрично установленный с прокатом 2 в зоне концентратора напряжений 3, самозаклинивающиеся шайбы 4, установленные вплотную с торцовыми поверхностями соленоида 1 через изолирующие прокладки 5. Самозаклинивающиеся шайбы имеют ребра жесткости 6 и высокоэлектропроводные кольцевые прокладки 7, расположенные по плоскостям, прилегающим к соленоиду. Подача проката 2 осуществляется рольгангом 8. Соленоид 1 питается от батареи конденсаторов 9. Устройство работает следующим образом. Прокат 2 с помощью рольганга 8 подается так, чтобы ось проката совпадала с осью соленоида 1, а плоскость концентратора 3 с плоскостью соленоида 1. Шайбы 4 находятся на равных расстояниях от плоскости концентратора 3 и установлены вплотную к торцовым поверхностям соленоида 1 через прокладки 5, 7. Через соленоид 1 пропускается ток от батареи конденсаторов 9, при этом

в зазорах между шайбами и поверхностями соленоида генерируется импульсное магнитное поле, действующее на шайбы в осевом направлении. Шайбы при этом заклиниваются на прокат и в нем создаются растягивающие напряжения. Обжимающие усилия от магнитного поля соленоида, действующие на прокат непосредственно в радиальном направлении, способствуют стабилизации движения трещины в плоскости, нормальной к оси проката. Осевые усилия, приводящие к заклиниванию шайб с прокатом, приводят к растяжению проката и к зарождению и развитию трещины в месте нанесенного концентратора.

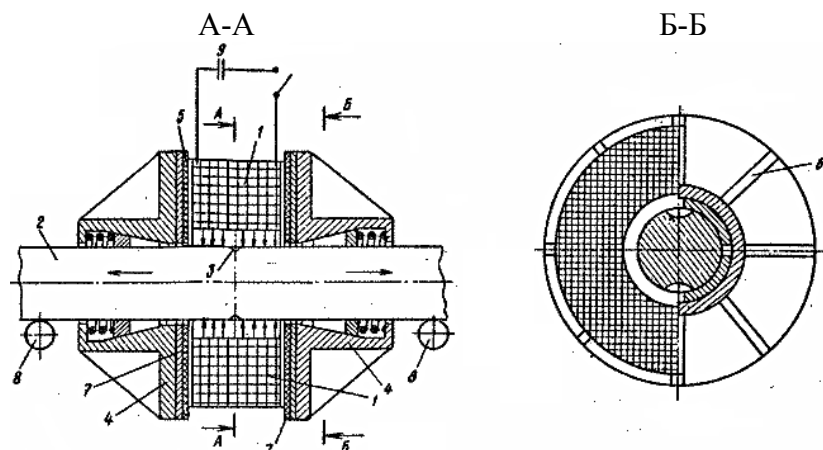


Рис. 4. Устройство для ломки проката [7]

Одним из перспективных направлений разделения сортового проката (труб) является разделение торцевым ударом (методом откола). Его достоинство состоит в простоте, с которой можно достичь резкого повышения производительности труда, используя множественный откол, а ударный характер нагрузки позволяет получить напряжение, превосходящее предел прочности. При этом обеспечивается высокое качество разделяемых заготовок.

Данный способ разделения реализован в устройстве для ломки проката (рис. 5) [8].

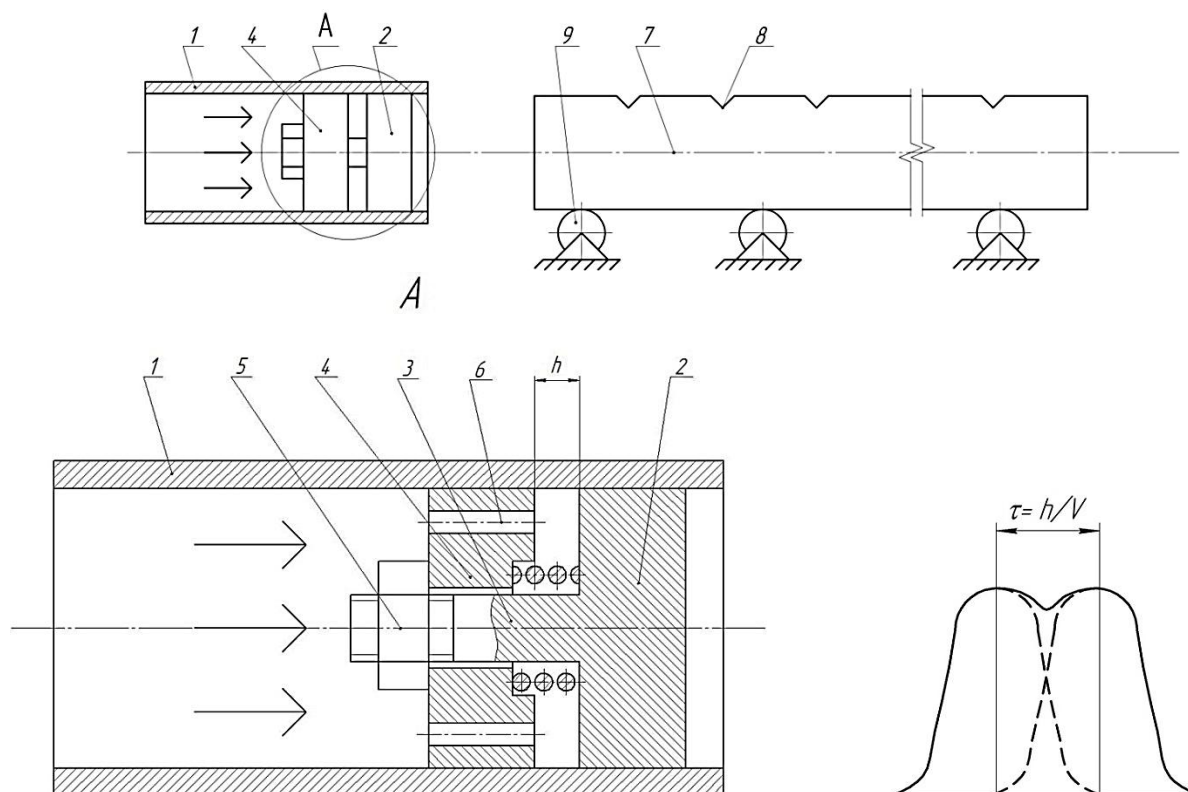


Рис. 5. Установка для ломки проката [8]

Устройство содержит ствол 1, основной боек 2 со штоком 3, дополнительный боек 4. На штоке 3 смонтирован регулятор 5. Расстояние между основным 2 и дополнительным бойком 4 – h . В теле дополнительного бойка 4 выполнены сквозные отверстия 6 для прохода газа. Прокат 7 с концентраторами напряжений 8 расположен на рольганге 9 соосно со стволом 1.

На рис. 6 представлена схема способа ломки проката отколом [9]. Прокат 1 с нанесенным концентратором напряжений 2 локально закалывают, например, с помощью устройства для контактной сварки, на расстоянии от концентратора, равном, примерно, половине размера закаленной зоны. Торцовое нагружение осуществляется посредством удара по торцу бойком 3.

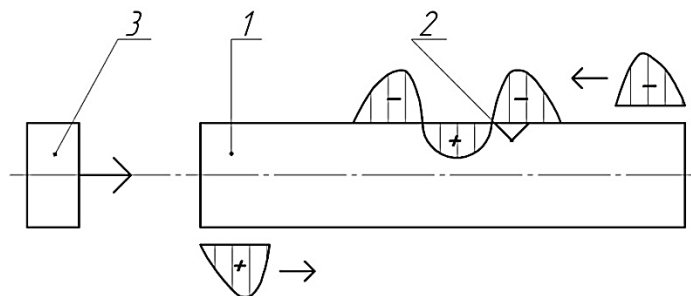


Рис. 6. Способ ломки проката [9]

Возникшие на границе закаленной и незакаленной зоны растягивающие напряжения складываются с растягивающими напряжениями в импульсе в месте расположения концентратора (на рис. 6 растягивающие напряжения обозначены знаком «-», а сжимающие – знаком «+»), что приводит к значительному уменьшению нагрузок торцового импульса, необходимых для ломки. Благодаря этому можно также устранить дорогостоящую операцию охлаждения проката, применяемую для охрупчивания металла и снижения работы разрушения.

Однако рассмотренный выше способ ломки проката (труб) отколом не нашел практического применения в промышленности вследствие недостаточной изученности и конструктивной проработки оборудования для его реализации.

Из литературных данных известен способ резки проката (труб) путем трансформации кинетической энергии (adiaбатический), в котором используется эффект от сильного удара в узком диапазоне, что позволяет осуществить разделение по молекулярному строению материала (рис. 7). В результате, возможна исключительная быстрота и качество обрезаемых поверхностей. Ширина контрольного участка – 0,025–0,075 мм. От мгновенной трансформации энергии этот участок нагревается до высокой температуры и тут же остывает при разделении материала. При этом устраняется местное закаливание материала и не требуется отпуск. Этим способом можно резать любые профили заготовок [9].

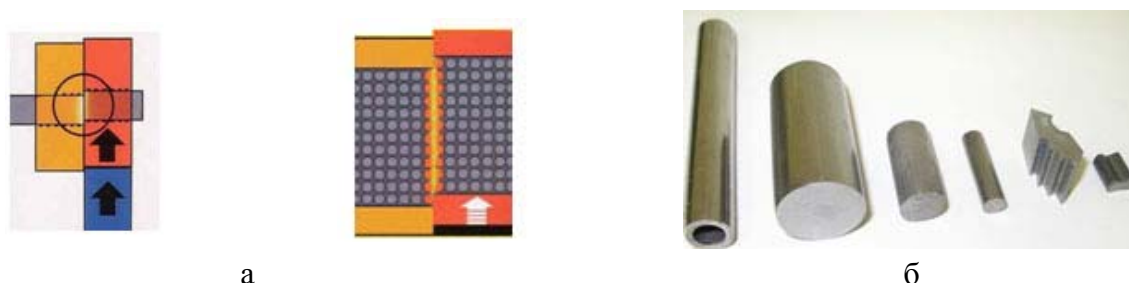


Рис. 7. Схема нагружения проката (а) и отрезанные мерные заготовки (б) [9]

Однако информацию о реализации подобного оборудования, а также его конструкции найти не удалось.

Перспективным представляется схема разделения труб, представленная на рис. 8, в которой разрушение трубы происходит за счет создания разности давлений внутри и снаружи трубчатой заготовки [10].

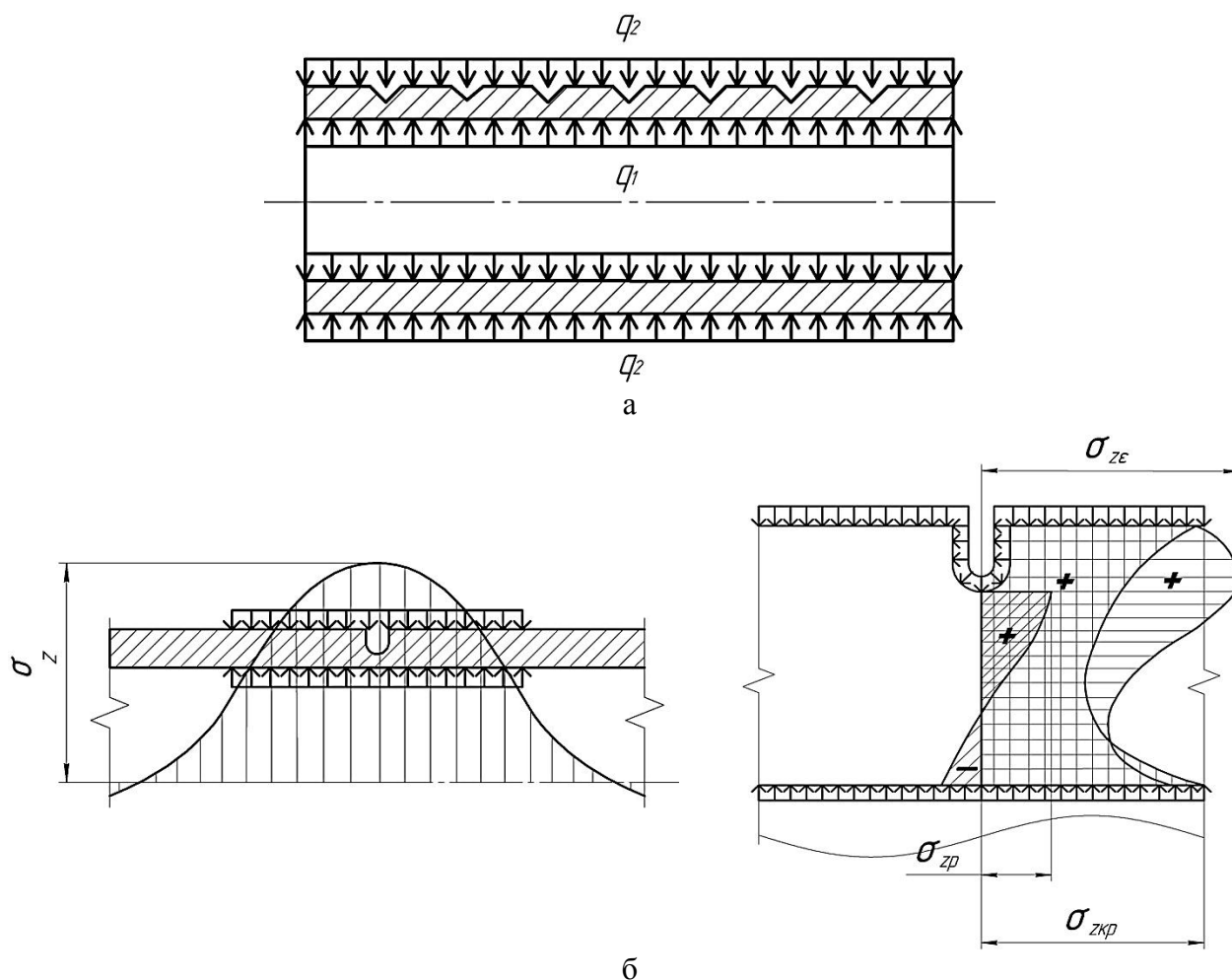


Рис. 8. Схема нагружения (а) и эпюры распределения напряжений (б) в трубчатых заготовках при разделении ломкой [10]

Стенка ломаемой трубы с концентратором напряжений нагружается по периметру гидростатической (гидродинамической) нагрузкой с внешней и внутренней сторон так, что для исключения деформации стенки нагрузка q_1 с внутренней стороны трубы больше нагрузки q_2 с внешней стороны стенки трубы. При этом в плоскости ожидаемого разлома возникают сжимающие тангенциальные, радиальные и осевые напряжения. Осевое напряжение $\sigma_{z\epsilon}$ состоит из напряжения расклинивания σ_{zp} , возникающего от проникновения жидкости высокого давления в полость концентратора напряжений, и напряжения разрыва σ_{zkp} , получаемого в стенке трубы от нагрузки, прилагаемой по периметру трубы с внешней и внутренней сторон.

Анализ выполненных выше исследований позволил сделать следующий вывод. Снизить величину гидростатического или гидродинамического давления можно, если одновременно нагружать разделяемую трубу давлением снаружи-изнутри и торцевым ударом. А если решать проблему уплотнения трубы принципиально, то целесообразно заготовку (прокат) поместить в рабочую гидрополость полностью, таким образом, чтобы нагружать ее по всей длине профиля и осуществить одновременную ломку нескольких заготовок (множественный способ ломки).

Для реализации данного способа разделения разработана конструкция установки для разделения труб (рис. 9), в которой в качестве технологической среды для передачи трубе динамических нагрузок использована жидкость. Установка состоит из цилиндра 1, во внутренней полости которого располагается заготовка (прокат или труба) 2 и бойка 3. Способ

разделения проката заключается в том, что заготовка 2 с нанесенными множественными концентраторами напряжений вводится в кольцевую гидрополость, образованную цилиндрами 1, 4, и первоначально обжимается гидростатическим давлением. Затем по бойку 3 наносится удар, под действием которого последний разгоняется на ходе X и соответственно ударяет по торцу заготовки 2. При этом заготовка одновременно обжимается гидродинамическим давлением и в ней развивается продольная волна сжатия. В заготовке развивается сложное напряженное состояние, приводящее к разделению на мерные заготовки (множественная ломка). Под действием пружин система возвращается в исходное положение. Цикл работы устройства возобновляется.

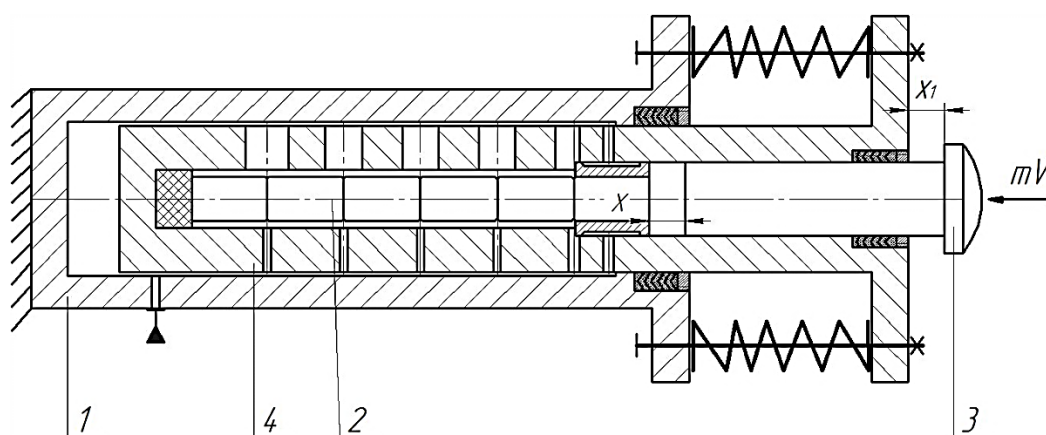


Рис. 9. Установка для разделения проката (труб) [4]

При этом волна сжатия, распространяясь до второго торца заготовки и отражаясь от него, превращается в волну растяжения, которая быстро становится плоской, с фронтом по сечению заготовки ортогональным поверхности. Это обеспечивает качество отломанных заготовок, особенно с учетом того, что жидкость в плоскости концентратора напряжений создает одновременно, как осевые растягивающие, так и радиальные сжимающие напряжения, что обеспечивает стабилизацию траектории трещины. При этом жидкость под давлением проникает в наименьшие поры, что создает дополнительное расклинивание, содействующее появлению трещины, тем самым снижается величина давления, необходимого для разделения. Совместное воздействие на заготовку гидродинамического давления и продольной волны сжатия позволяет снизить примерно на 20–30 % величину давления в рабочей камере, что положительно сказывается на надежности работы установки. При этом, так как реализуемая схема – «безопорная», поверхность излома не имеет сколов, вырывов, макротрещин и зон пластической деформации металла. Данный способ разделения обеспечивает высокую производительность процесса.

Альтернативной конструкцией оборудования для разделения проката по этой схеме может быть конструкция устройства для холодной ломки труб (рис. 11) [11–12], в которой не требуется герметизация полости высокого давления, что значительно упрощает его конструкцию. При этом использование в качестве рабочего тела резины позволяет обеспечить равномерную нагрузку по периметру заготовки и исключить металлический контакт инструмента с трубой. В результате чего имеем меньшие значения контактных напряжений и минимальный уровень пластической деформации заготовок. При этом за один цикл работы машины осуществляется множественное разделение трубы, что обеспечивает высокую производительность процесса разделения.

Устройство работает следующим образом. В исходном положении труба с предварительно нанесенными концентраторами напряжений подается в полость корпуса 1, устанавливаются резиновые вставки 6, 8, которые поджимаются штоком 2 с помощью болтов 9 и гаек 11. При этом торец 12 пуансона 4 с помощью шайбы 5 смещен относительно торца 13 штока 2 на величину Δl , что обеспечивает большее значение нагрузки с внутренней стороны трубы,

чем с внешней на величину, которая исключает деформацию стенки трубы. Величина смещения Δl зависит от механических свойств материала трубы. Под действием внешней силы со стороны привода, трубу 7, за счет деформации резиновых вставок 6 и 8, равномерно нагружают с внутренней и внешней сторон высоким давлением. При достижении осевыми нагрузками предельного значения в вершине концентратора напряжений наводится трещина, которая отламывает заготовку. При этом упрощается конструкция, повышается надежность работы машины и производительность процесса разделения труб на мерные заготовки, повышается культура производства.

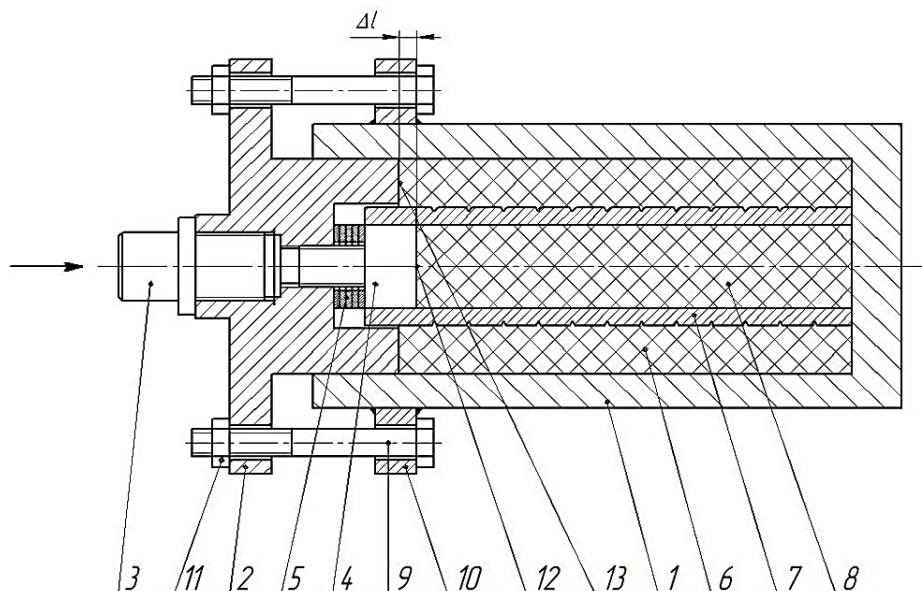


Рис. 11. Устройство для холодной ломки труб [12]

ВЫВОДЫ

На основе анализа перспективных направлений развития заготовительного производства, предложены новые способы разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки, а также новые конструкции оборудования и оснастки для их реализации с высокими технико-экономичными характеристиками. Переход к безопорной схеме разделения позволяет исключить смятие на контактных поверхностях заготовки и инструмента. Совместное воздействие на заготовку высокого гидродинамического давления и продольной волны растяжения позволяет снизить величину давления и энергии удара, необходимые для разделения, обеспечить высокое качество разделенных заготовок, особенно с учетом того, что жидкость в плоскости концентратора напряжений создает одновременно, как осевые растягивающие, так и радиальные сжимающие напряжения, что обеспечивает стабилизацию траектории трещины. Повышается производительность труда, так как за один цикл работы машины осуществляется множественное разделение сортового проката (труб) на мерные заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкель В. М. *Холодная ломка проката* / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М. : Металлургия, 1982. – 192 с.
2. Королев А. В. *Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Часть 6. Энергосберегающая технология безотходного разделения изделий на основе локального направленного разлома* / А. В. Королев, А. М. Чистяков, В. В. Болкунов. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 1998. – 124 с.
3. Роганов Л. Л. *Анализ технологий и оборудования для разделения труб на мерные заготовки. Сообщение 1* / Л. Л. Роганов, Д. С. Карнаух, С. Г. Карнаух // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (34). – С. 120–128.
4. Роганов Л. Л. *Анализ технологий и оборудования для разделения труб на мерные заготовки. Сообщение 2* / Л. Л. Роганов, Д. С. Карнаух, С. Г. Карнаух // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (35). – С. 147–153.

5. А. с. № 499065 СССР, МКИ В 23 D 27/00. Гидроимпульсное устройство для холодной ломки проката / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков. – Заявл. 15.05.74 ; опубл. 15.01.75 ; Бюл. № 2.
6. А. с. № 464408 СССР, МКИ В 23 D 23/00. Устройство для ломки заготовок / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков. – Заявл. 02.10.72 ; опубл. 25.03.75 ; Бюл. № 11.
7. А. с. № 667343 СССР, МКИ В 23 D 23/00, В 23 D 27/00. Устройство для ломки проката / Ю. И. Головин, В. М. Финкель, А. А. Слетков. – Заявл. 12.12.77 ; опубл. 15.06.79 ; Бюл. № 22.
8. А. с. № 624790 СССР, МКИ В 26 F 3/00, В 23 D 23/00. Устройство для ломки проката / В. М. Финкель, А. А. Слетков, В. М. Умрихин, Ю. И. Головин. – Заявл. 01.04.77 ; опубл. 25.09.78 ; Бюл. № 35.
9. MEI Machine Tool Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mei-machine.info/catalog/oborud_trub/spec_method.
10. А. с. № 495168 СССР, МКИ В 23 D 27/00. Способ холодной ломки труб / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков – Заявл. 15.05.74 ; опубл. 15.12.75 ; Бюл. № 46.
11. Патент на корисну модель 74405 Україна, МПК (2012.01) В 23 D 23/00. Пристрій для холодної ломки труб / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух. – u2012 04703 ; заявл. 17.04.12 ; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.
12. Патент на корисну модель 85225 Україна, МПК (2013.01) В23D 31/00, В23D 23/00. Пристрій для холодної ломки труб / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух. – u2013 06948 ; заявл. 03.06.13 ; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21.

REFERENCES

1. Finkel' V. M. *Holodnaja lomka prokata* / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov. – М. : Metallurgija, 1982. – 192 s.
2. Korolev A. V. *Novye progressivnye tehnologii mashinostroitel'nogo proizvodstva. Chast' 6. Jenergosberegajushhaja tehnologija bezothodnogo razdelenija izdelij na osnove lokal'nogo napravlennogo razloma* / A. V. Korolev, A. M. Chistjakov, V. V. Bolkunov. – Saratov : Sarat. gos. tehn. un-t, 1998. – 124 s.
3. Roganov L. L. *Analiz tehnologij i oborudovanija dlja razdelenija trub na mernye zagotovki. Soobshhenie 1* / L. L. Roganov, D. S. Karnauh, S. G. Karnauh // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2013. – № 1 (34). – S. 120–128.
4. Roganov L. L. *Analiz tehnologij i oborudovanija dlja razdelenija trub na mernye zagotovki. Soobshhenie 2* / L. L. Roganov, D. S. Karnauh, S. G. Karnauh // *Obrobka materialiv tiskom : zb. nauk. pr.* – Kramators'k : DDMA, 2013. – № 2(35). – S. 147–153.
5. А. с. № 499065 SSSR, МКИ V 23 D 27/00. Гидроимпульсное устройство для холодной ломки проката / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков. – Заявл. 15.05.74 ; опубл. 15.01.75 ; Бюл. № 2.
6. А. с. № 464408 SSSR, МКИ V 23 D 23/00. Устройство для ломки заготовок / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков. – Заявл. 02.10.72 ; опубл. 25.03.75 ; Бюл. № 11.
7. А. с. № 667343 SSSR, МКИ V 23 D 23/00, V 23 D 27/00. Устройство для ломки проката / Ю. И. Головин, В. М. Финкель, А. А. Слетков. – Заявл. 12.12.77 ; опубл. 15.06.79 ; Бюл. № 22.
8. А. с. № 624790 SSSR, МКИ V 26 F 3/00, V 23 D 23/00. Устройство для ломки проката / В. М. Финкель, А. А. Слетков, В. М. Умрихин, Ю. И. Головин. – Заявл. 01.04.77 ; опубл. 25.09.78 ; Бюл. № 35.
9. MEI Machine Tool Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.meimachine.info/catalog/oborud_trub/spec_method.
10. А. с. № 495168 SSSR, МКИ V 23 D 27/00. Способ холодной ломки труб / В. М. Финкель, Г. Б. Родюков – Заявл. 15.05.74 ; опубл. 15.12.75 ; Бюл. № 46.
11. Патент на корисну модел' 74405 Україна, МПК (2012.01) V 23 D 23/00. Пристрій для холодної ломки труб / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух. – u2012 04703 ; заявл. 17.04.12 ; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.
12. Патент на корисну модел' 85225 Україна, МПК (2013.01) V23D 31/00, V23D 23/00. Пристрій для холодної ломки труб / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух. – u2013 06948 ; заявл. 03.06.13 ; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21.

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

Карнаух Д. С. – преп. МК ДГМА

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

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

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

Статья поступила в редакцию 04.03.2015 г.