

УДК 621.974.063

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БАБЫ МОЛОТА

Тамара Васильевна Милевская

*Аспирант 1 года,
кафедра «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.И. Семёнов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Инструменты, основанные на ударном взаимодействии, являются, пожалуй, одним из самых древних в истории человечества. Известно, что простейшие молотки использовались еще 2.600.000 лет до н.э. Конструкции их были элементарны: камень, привязанный к палке полосками кожи или сухожилиями животных – но уже тогда люди понимали, насколько это эффективно. Удар всегда был одним из самых мощных способов воздействия на различные объекты. С его помощью можно с легкостью разделять предметы на части или придавать им требуемую форму.

С развитием человечества совершенствовались и сами ударные инструменты. Постепенно их стали делать из металла. Появились различные разновидности инструмента. Они отличались по форме и назначению, но основывались на ударном взаимодействии: кузнечные молоты, столярные, молоты каменщиков, всевозможные кувалды, дубины и прочие. Молоты использовались всюду: в быту, в мастерских, на войне. Люди настолько ценили и возвышали силу удара, что молоты стали артефактами богов во многих мифах и легендах. В эпоху индустриализации общества с развитием техники и энергетики люди начали применять удар в промышленности.

Первыми простейшими молотами были молоты с фрикционной доской, подъем падающих частей которых осуществлялся за счет силы трения. В период развития паровых машин появились и паровые молоты. На протяжении всего 20 века происходило развитие молотов и усовершенствование их конструкции. Они позволяют изготавливать массивные и крупногабаритные поковки и штамповки. Также следует отметить среди достоинств молотов, что при недостаточной эффективной энергии деформирование можно осуществить за счет увеличения количества ударов. Главным же недостатком является низкий коэффициент полезного действия (КПД) удара, повышение которого приведет к значительному энергосбережению, что сегодня является очень актуальной задачей.

В физике различают несколько видов удара двух тел в зависимости от принятых допущений. Простейший случай ударного взаимодействия – упругий удар. Процесс удара двух упругих тел разделяют на две фазы. В течение первой – нагрузочной – происходит монотонное нарастание ударных сил, так как кинетическая энергия переходит в энергию упругого деформирования сталкивающихся тел в точках их контакта. После максимального сближения, соответствующего максимуму ударной силы, начинается вторая фаза процесса – разгрузочная – с монотонным спадом ударных сил вплоть до прекращения контакта тел. Размеры и форма их восстанавливаются. В идеальной системе при разгрузке энергия деформированного состояния полностью восстанавливает свой первоначальный уровень, в реальной – только частично.

Динамика системы, состоящей из двух сталкивающихся масс молота в условиях так называемого жесткого удара, лишь с определенной степенью приближения может

быть охарактеризована законами сохранения количества движения и кинетической энергии. В нормальных условиях эксплуатации между сталкивающимися массами закладывают металл, и развивающиеся ударные силы вызывают в нем пластическое течение. Это уже не соударение твердых упругих тел, а упругопластический удар со своими закономерностями. Однако можно полагать, что система замкнута, так как силы, действующие на металл, уравновешены реакцией связи основания (шабота), встречных подвижных частей или рамы. Следовательно, количество движения осталось без изменения, произошло только его перераспределение между столкнувшимися массами. Однако после удара общий уровень кинетической энергии в системе уменьшается вследствие необратимых потерь, обусловленных пластической деформацией (не учитывая рассеяния энергии на колебания и т. п.). Поэтому для реального удара вводят эмпирический коэффициент восстановления (отскока), устанавливающий соотношение между проекциями скоростей на линию центров до и после удара:

$$k_{om} = \frac{v_{m'k} - v_k}{v_0 - v_{m'}}$$

где k_{om} - коэффициент восстановления (отскока); v_0 - начальная скорость бабы; $v_{m'}$ - начальная скорость шабота; v_k - конечная скорость бабы; $v_{m'k}$ - конечная скорость шабота.

Для идеально упругого удара разгрузочный импульс равен нагрузочному и $k_{от} = 1$. Для шаботного молота начальная скорость шабота $v_{m'} = 0$, поскольку последний опирается на подшаботную прокладку, фундамент и грунт. Подшаботная прокладка, обладая определенной жесткостью, вызывает отпор. Опыт показывает, что влияние отпорного импульса отпора невелико, поэтому при анализе энергетики им можно пренебречь и считать шабот свободным.

Исходя из закона сохранения количества движения и выражений для кинетических энергий к началу удара и после его окончания, устанавливаем работу пластического деформирования:

$$A_{деф} = L_{\text{э}} - L_{\text{э,к}} = \frac{m}{m + m'} (1 - k_{om}^2) L_{\text{э}}$$

где $A_{деф}$ - работа пластического деформирования; $L_{\text{э}}$ - кинетическая энергия к началу удара; $L_{\text{э,к}}$ - кинетическая энергия после окончания удара; m и m' - массы падающей части и шабота соответственно.

Следовательно, энергетический КПД удара, т. е. отношение полезно используемой энергии к ее начальной величине,

$$\eta_y = (1 - k_{om}^2) k_{m'} = (1 - k_{om}^2) \frac{\xi_{m'}}{1 + \xi_{m'}}$$

где $\xi_{m'} = m' / m$ - коэффициент масс шабота m' и падающих частей m .

Наиболее оптимальным является значение $\xi_{m'} = 10 \dots 20$. Оно позволяет не утяжелять машину и не снижать КПД.

Если бы обрабатываемый материал обладал идеальной пластичностью, а элементы конструкции молота были абсолютно твердыми, то разгрузочный импульс отсутствовал, и вторая фаза удара характеризовалась бы условием $k_{om} = 0$.

В действительности $k_{om} > 0$, и тем больше, чем выше деформирующая сила. В интервале температур ковки-штамповки для схем деформации с невысокими значениями напряжений (операции ковки, заготовительные переходы объемной штамповки) $k_{om} = 0,15...0,4$.

Таким образом, одним из способов повысить КПД удара является уменьшение отскока падающей массы. В простейшем варианте такая проблема была решена для обычного бытового молотка. Еще в 70-е годы 20го столетия в США было заявлено большое количество патентов на конструкцию ударной части молотка. Все эти конструкции объединяло одно – головка имела полость, которая заполнялась песком или свинцовой дробью. Такая конструкция получила широкое распространение и большое количество коммерческих предложений. Она уменьшала отскок молотка при ударе, чем повышала его эффективность. Безынерционный молоток и сейчас пользуется успехом у потребителей. Стоит отметить, что такой инструмент использовался в СССР на космических станциях, потому что эта конструкция делала возможным использование молотка в условиях невесомости.

На мой взгляд, есть все основания полагать, что использование того же принципа проектирования устройства ударной части промышленных молотов позволит повысить их КПД удара.

Основным недостатком известных устройств (простой молот, молот для листовой штамповки, дизель-молот для забивки свай, штамповки деталей, работающих за счет энергии падающих частей) является кратковременное действие удара. При формообразовании детали в конце возникают высокие силы, вследствие чего часть энергии рассеивается и достаточной деформации не получается, что отрицательно сказывается на качестве получаемых изделий.

Ликвидировать указанный недостаток можно повышением КПД удара за счет увеличения времени действия удара при взаимодействии бабы молота с обрабатываемым изделием, ведущего к увеличению степени деформации материала. Примером реализации этой идеи является патент на изобретение № 2438825, зарегистрированный 10 января 2012 года.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что баба молота содержит полость с размещенным в ней наполнителем. Она выполнена с внутренней кольцевой полостью, в верхней части которой размещены пружины для фиксации наполнителя в виде шариков с силой, равной или большей веса всех шариков наполнителя:

$$P_{пуж} \geq m_{шар} \cdot g ,$$

где: $P_{пуж}$ - сила пружины;

$m_{шар}$ - масса шариков;

$g \approx 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения, причем, масса шариков составляет 20...50 % от массы бабы, а отношение массы бабы к массе одного шарика лежит в пределах:

$$\frac{m_{б}}{m_{шар}} = 2 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^3$$

при этом количество шариков можно регулировать.

Также внутренняя полость бабы молота может быть выполнена в виде нескольких цилиндрических углублений количеством N.

Сущность изобретения поясняется в патенте чертежом (рис. 1), на котором изображена в разрезе баба молота, с наполнителем во внутренней кольцевой полости.

Конструкция бабы молота по предлагаемому изобретению состоит из бабы 1, крышки 2, размещенной в верхней части бабы 1, пружины 3 для фиксации наполнителя 4 в виде шариков, размещенного во внутренней кольцевой полости (с наружным и внутренним диаметрами $D_{нар}$ и $D_{внутр}$ и глубиной H) либо в N цилиндрических углублениях (диаметром $D_{цил.углуб}$ и глубиной H) бабы 1.

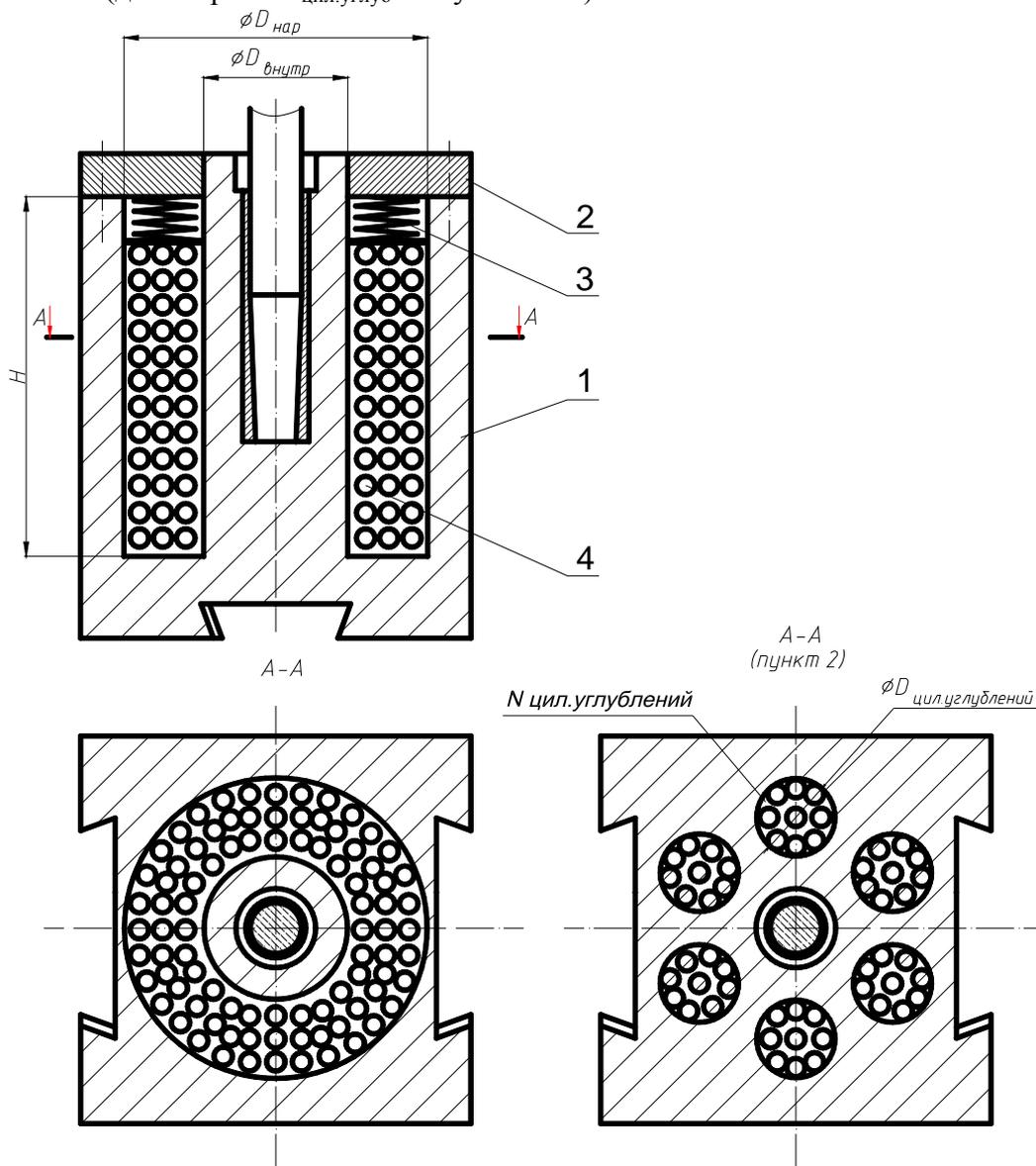


Рис. 1. Чертеж конструкции бабы молота

Планируется изменение конструкции бабы молота с целью повышения КПД удара. Предполагается заменить стандартную бабу на специальную бабу с шариками. В ходе эксперимента будет варьироваться общая масса шариков, их диаметр и способ закрепления. Для обеспечения возможности сравнения результатов экспериментов по осадке обычной и специальной бабой их массы принимаются одинаковыми и равными 22,3 кг. Масса засыпаемых шариков ограничена 40% от общей массы бабы, что связано с максимальными размерами полости в специальной бабе, которые ограничены конструктивными возможностями изготовления бабы по критериям прочности при эксплуатации.

Известно, что работы в этом направлении уже проводились ранее рядом исследователей. В результате работ В.Ю. Лавриненко КПД удара молота повысился примерно на 30 %.

В связи с вышеизложенным задача повышения КПД удара молотов является актуальной задачей. Вместе с тем, в литературе этот вопрос освещен недостаточно. Поэтому необходимы экспериментальные и теоретические исследования процесса удара при осадке на молотах по следующим направлениям:

1. Разработка методики экспериментального исследования удара при осадке.
2. Экспериментальное исследование удара при осадке с различными параметрами удара (T , v и т.д.) и использованием специальных устройств и приспособлений (например, пустотелая баба с наполнением).
3. Построение математической модели процесса удара при осадке и определение оптимальных параметров удара, обеспечивающих повышение КПД.
4. Определение оптимальных параметров специальных устройств, обеспечивающих повышение КПД.
5. Разработка методики компьютерного моделирования удара при осадке.
6. Проверка адекватности математической модели данным физического эксперимента.
7. Разработка на основе проведенных исследований методики проектирования технологического процесса осадки с увеличенным КПД удара.

Планируемая работа будет проводиться на лабораторном копре, расположенном на кафедре «Технологии обработки давлением» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана с использованием современной цифровой скоростной видеоаппаратуры.

Постановка экспериментов по пластическому деформированию стали в горячем состоянии в лабораторных и производственных условиях связана со значительной трудоемкостью и большими затратами. Поэтому целесообразно процессы горячего деформирования моделировать на свинце с использованием теории подобия. Данный метод моделирования позволяет провести качественное и количественное изучение процесса деформирования на уменьшенных моделях, определять основные закономерности формоизменения, энергосиловые и другие параметры исследуемого процесса, а также разрабатывать на основе полученных данных новые технологические процессы.

Свинец при комнатной температуре (20 °С) деформируется с одновременной рекристаллизацией, как и сталь при ковочных температурах. Кривые упрочнения различных сталей в горячем состоянии и свинца качественно почти не отличаются.

После обработки и анализа полученных результатов и разъяснения физических основ происходящего процесса будет построена математическая модель для компьютерного моделирования. В зависимости от результатов моделирование будет осуществляться в программном комплексе «Динамика-2» (НИИ Механики Нижегородского государственного университета им. Лобачевского) или LS-DYNA.

По завершении всех физических экспериментов, получении результатов моделирования и проведении сравнительной оценки будут даны рекомендации по проектированию технологического процесса осадки на молотах с увеличенным КПД удара

Литература

1. *Атрошенко А.П., Булат Е.П.* Штамповка на молотах, фрикционных и гидравлических прессах. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1981 – 113с.
2. *Балуев С.А., Экарев М.С.* Совершенствование технологических процессовковки. – М: Машиностроение, 1984. – 67 с.
3. *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.
4. *Мигачев Б.А.* Деформируемость и качество в процессахковки – Екатеринбург, 1995. – 149 с.
5. *Петров Л. Н., Касатонов В.Ф., Этин И.З.* Ковка на молотах и гидравлических прессах. Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1980. – 127 с.
6. Патент РФ № 2438825
7. Патент США № 3,088,506
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hammer>
9. <http://toolmonger.com/2007/01/24/preview-sk-dead-blow-hammers/>