

УДК 621.97: 621.73

Роганов Л. Л.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МАШИН ДЛЯ РАЗНЫХ ОТРАСЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ГИДРОУПРУГИХ И КЛИНОШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Развитие машинной технологии, как и вообще технический прогресс в совершенствовании производственных сил обуславливается материальными запросами общества. Эти запросы связаны с потребностями человека и общества в новых ресурсах сырья, новых рынках сбыта, снижением себестоимости получаемой продукцией и т. п. В качестве примера можно привести развитие процессов и машин для обработки материалов давлением (ОМД). Подобные процессы происходят и в других отраслях техники. 15–16 века характеризовались бурным развитием мореплавания и, как следствие, кораблестроения. Возрастающий тоннаж кораблей требовал тяжелых якорей и другой корабельной оснастки, проковывать железные заготовки вручную стало невозможно, появились первые рычажные молоты. В качестве привода этих молотов использовалась энергия напора воды, поэтому их называли водяными молотами. Там где не было гидроэнергии, применялся конный привод или использовались падающие молоты типа копров.

Увеличение серийности выпуска деталей стрелкового вооружения дало новый толчок в развитии технологии производства: вместо ручнойковки появилась машинная штамповка. Около 1800 г. тульский оружейник В. Пастухов применил для горячей штамповки вертикальный винтовой пресс. Тогда же на тульском заводе были установлены штамповочные молоты с канатом, изготовленные по чертежам Л. Федорова. В первой половине 19 века наряду с производством оружия развивалось вагоно- и паровозостроение, производство паровых двигателей, дальнейшее развитие получило судостроение. В кузнечном производстве назрел переворот, наступление которого ознаменовало внедрение в 1839–1842 гг. парового ковочного молота. Непосредственной причиной появления первого гидравлического ковочного прессы оказалась невозможность установки (жилые кварталы, плохой грунт) тяжелого молота в Венских железнодорожных мастерских. Преимущество гидропрессов – резкое сокращение технологического процессаковки и снижение динамических нагрузок на окружающую среду – были настолько очевидны, что сразу возник вопрос о замене сверхтяжелых молотов. Для массового производства мелких изделий для нужд промышленности и ширпотреба паровые молоты и гидравлические прессы были непригодны, прежде всего, из-за высокой стоимости эксплуатации. Необходимо было создать кузнечные машины с групповым или индивидуальным механическим приводом. Появление электродвигателя особенно способствовало прогрессу в развитии кривошипных прессов, к настоящему времени самой многочисленной группы кузнечно-штамповочного оборудования машиностроительных, электротехнических и многих других заводов [1–3].

В 20–40 гг. прошлого века паровоздушный штамповочный молот стал ведущей машиной в производстве поковок для вооружения, автомобилей, тракторов, вагонов и т. п. Однако этот молот допускает лишь малую механизацию технологических процессов, сдерживая тем самым рост производительности труда, негативно воздействует на окружающую среду, что является главными из его недостатков. Поэтому в массовом и крупносерийном производстве стали применять кривошипные горячештамповочные прессы, открывшие возможности для механизации, автоматизации и внедрения экономичных процессов штамповки.

Развитие авиа и ракетостроения поставили особые задачи перед технологией холодной и горячей штамповки специальных сплавов на титановой и магниевой основе. Очень большие габариты деталей потребовали создания огромных гидропрессов с силой 650–750 МН при общей массе установки до 25000 т [1].

Особые требования возникли при внедрении в производство особо твердых и хрупких металлов и сплавов с добавлением, например, молибдена, никеля, циркония, урана оказалось, что у этих сплавов пластическое состояние наступает в особых условиях термомеханического режима: внешняя нагрузка должна быть приложена в виде мощного импульса энергии за очень малый промежуток времени. Для этого необходимо, чтобы исполнительный орган кузнечной машины к началу деформации развил скорость до 60 м/с и более. Отдача внешней энергии в подобных машинах может происходить только динамически, поэтому машины относятся к молотам с энергоносителями типа сжатого газа, взрывчатых веществ, газов, смесей топлива с газом. В последнее время получают развитие машины, использующие энергию упругой деформации сжатой жидкости и ее оболочки.

Особое место в кузнечно-штамповочном оборудовании занимают гидравлические устройства для листовой штамповки, где в качестве энергоносителя используется детонационная волна в жидкости, вызванная электрическим разрядом (электрогидравлический эффект). Подобное устройство имеют и установки, использующие электромеханические силы взаимодействия магнитного поля с электрическим током в металлической заготовке. К подобным установкам можно отнести и термопресса, использующие для технологического воздействия тепловое расширение – сжатие колонн или других элементов машины, которые нагреваются наведенными токами Фуко. Подобные установки можно отнести к устройствам, в которых для осуществления движения, деформирующего заготовку, используют электрическую энергию и особенности физических свойств рабочего тела, деталей конструкции или заготовки. Если рассматривать конструктивные схемы кузнечно-штамповочных машин [2], то можно выделить главные механизмы, которые можно отнести к приводу машины:

- гидравлические или газовые статы, в силовую камеру которых, где располагается заготовка, подается жидкость или газ под давлением в несколько килобар;
- гидравлические прессы-машины квазистатического действия, в них используется энергия рабочей жидкости, сжатой до давления 10–300 МПа которая воздействует на плунжер и через него на обрабатываемый материал;
- кривошипные прессы, в которых энергия от электродвигателя затрачивается на разгон маховика, а затем часть этой энергии идет на деформацию заготовки;
- ротационные машины характеризуются эффективной энергией вращательного движения, которое воздействует на заготовку;
- винтовые прессы относятся к машинам ударного воздействия на материал заготовки;
- молоты относятся к машинам ударного действия на заготовку эффективной кинетической энергией поступательного движения рабочих масс, которую сообщает им привод;
- импульсные машины, воздействуют на материал заготовки одиночными или последовательными импульсами давления продуктов сгорания взрывчатого вещества, импульсами давления жидкости, электрическим разрядом в жидкости, электромагнитного тока и т. п.

Каждый из рассмотренных механизмов отличается конструктивными особенностями, характером действия на обрабатываемый материал и используется в той или иной кузнечной машине (КМ). Можно выделить одну из особенностей кузнечно-штамповочных машин – они отличаются видом применяемых для привода механизмов.

Целью статьи является обзор и направление применения новых механизмов в машиностроении.

В Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) разработано два совершенно новых механизма для КМ – гидроупругий механизм (ГУМ) и клиношарнирный механизм (КШМ), которые изучались, исследовались, внедрялись в виде процессов и машин в производство, начиная с 1972 г. (ГУМ) [3] и с 1980г (КШП) [4]. На базе этих двух механизмов разработано и внедрено в производство более 30 различных машин, предназначенных в основном для процессов ОМД. Как показали исследования, возможности ГУМ

и КШМ значительно превышают их применение для процессов ОМД. Если ГУМ предназначен для динамических, быстродействующих процессов и машин, то КШМ относится к приводу процессов и машин квазистатического действия. ГУМ и КШМ используются в технологических процессах и машинах очень широкого круга применения практически для всех отраслей машиностроения, по которым академия готовит специалистов и проводит исследования.

Принцип действия ГУМ состоит в том, что для привода машин используется энергия упругой деформации предварительно сжатой в емкости (аккумуляторе) жидкости и ее оболочки, воспринимающей давление жидкости. Расчет накопленной жидкостью и ее оболочкой энергии производится по формуле:

$$W_y = \frac{p_p^2 \cdot Q_{ж}}{2E_{np}}, \quad (1)$$

где  $W_y$  – накопленная упругая энергия, энергия последующего удара;

$p_p$  – рабочее давление жидкости;

$Q_{ж}$  – объем жидкости, находящейся под давлением;

$E_{np}$  – приведенный модуль упругости жидкости и ее оболочки.

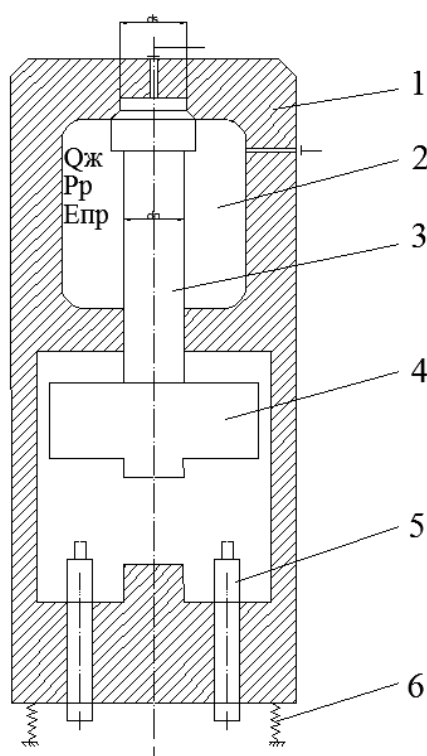


Рис. 1. Гидроупругий механизм:

1 – корпус; 2 – цилиндр;  
3 – ступенчатый плунжер; 4 – баба; 5 – штамп;  
6 – заготовка

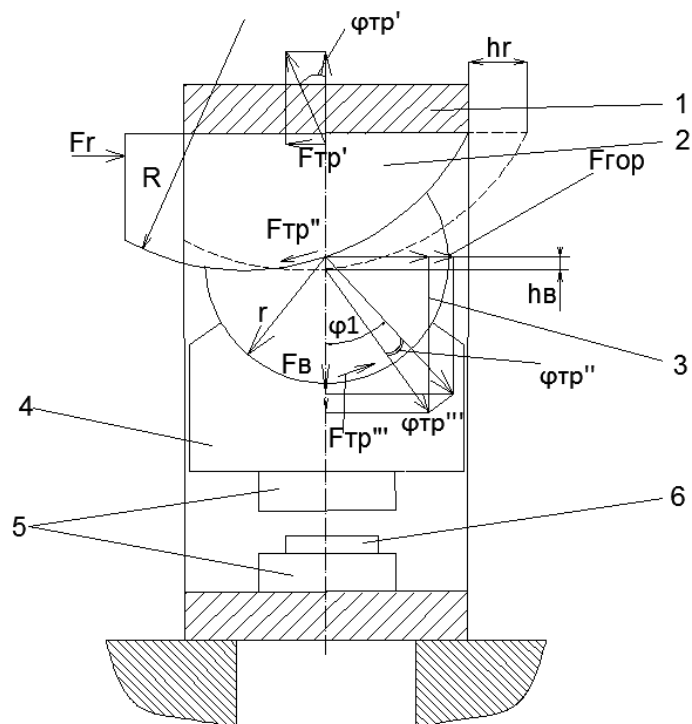


Рис. 2. Клиношарнирный механизм:

1 – станина; 2 – клин; 3 – шарнир; 4 – ползун;

5 – штамп; 6 – заготовка

Машины с ГУМ имеют следующие преимущества перед другими машинами:

– накопленная энергия оперативно и точно регулируется с точностью показаний приборов давления;

– возможно создавать машины в широком диапазоне энергией удара от лабораторных (настольных) до уникальных, с энергией до 30 МДж;

– для питания ГУП применяется стандартная, широко используемая в технике гидроаппаратура;

– время освобождения энергии упругой деформации достигает величины 0,005–0,01 с.

Принцип действия КШМ (рис. 2) основан на создании клиновой пары с криволинейными поверхностями клиньев с радиусом  $R$ , с установкой между этими поверхностями промежуточного элемента – шарнира с радиусом  $r$ , который передает силу от одной поверхности к другой. При этом угол  $j_1$  в новой клиновой паре с шарниром величина переменная и изменяется от  $60^\circ$  до  $0^\circ$ .

Соотношение между приводной  $F_\Gamma$  и получаемой силой  $F_B$  имеет вид:

$$F_B = \frac{F_\Gamma}{\tan(j_1 + \sum j_{\text{тр}})}, \quad (2)$$

где  $F_\Gamma$  и  $F_B$  – приводная и получаемая силы;

$j_1$  – начальный угол клина;

$\sum j_{\text{тр}}$  – сумма углов трения на поверхностях клиньев.

Впервые появилась возможность применять клиновую пару с переменным по ходу приводного клина углом клиновидности, чего в технике не существовало до появления КШМ. Следует отметить, что в обычной клиновой паре можно выделить три поверхности трения, а в КШМ добавляются две дополнительных поверхности трения (трение на шарнире).

Для отдельных специальностей машиностроительного вуза можно рекомендовать следующие направления обучения и исследований с применением ГУМ и КШМ.

1. Для специальности «Оборудование для обработки давлением и обработка материалов давлением»:

1.1 ГУМ в молотах шаботных, бесшаботных, высокоскоростных и низкоскоростных;

1.2 Машины для статико-динамического воздействия (пресс-молоты) на листовом материале, все виды ОМД;

1.3 Клиношарнирные прессы разного назначения для листового и объемного штамповки:

1.4 Клиношарнирные прессы с дополнительным ударным механизмом (ГУМ);

1.5 Кривошипные прессы с дополнительным ГУМ;

1.6 Малые и средние бесшаботные молоты с механической связью баб;

1.7 Бесшаботные молоты на базе пневматических молотов;

1.8 Копры динамического и статикодинамического действия для листового штамповки эластичной средой;

1.9 Устройство для полезного использования энергии упругой деформации гидропрессов и других машин;

1.10 Двухоперационные машины ОМД, которые на одной операции не употребляют электроэнергию из сети;

1.11 Пластомеры статодинамического действия для испытания материалов при ОМД;

1.12 Машины для формирования из листового материала труб.

2. Для специальности «Металлургическое оборудование»:

2.1 Разрезка слябов и толстого листа на установках с клиношарнирными ножами и ГУМ взамен газовой резки;

2.2 Устройства для клеймления проката;

- 2.3 Машины открытия и заделки лётков на печах для плавки металла;
  - 2.4 Машины для ремонта сводов печей, разрушения облицовки ковшей и т. п.;
  - 2.5 Отрезка движущегося проката на машинах с ГУП и КШМ;
  - 2.6 Получение литьем прокаткой листового материала шириной больше длины бочки действующих листовых станов на 30–40 %;
  - 2.7 Исследование возможности использования гофрированного широкого листа для цистерн, судов, резервуаров и т. п.;
  - 2.8 Предохранительные устройства на клетях, шпинделях;
  - 2.9 Устройство для точного и оперативного дозирования раскрытия межвалкового зазора;
  - 2.10 Клиношарнирный привод нажимных устройств прокатных клетей.
3. Для специальности «Подъемно-транспортные машины»:
    - 3.1 ПТМ для дробления негабаритов;
    - 3.2 Устройства для аккумуляторного запуска двигателей внутреннего сгорания;
    - 3.3 Устройство для ударно-вибрационной очистки ковшей экскаваторов;
    - 3.4 Машины статико-динамического действия при прокладке скважин в грунте;
    - 3.5 Машины для рыхления и уплотнения грунта;
    - 3.6 Машины для безвзрывной сейсмической разведки полезных ископаемых (ударом о грунт);
    - 3.7 Мелиоративные машины для полива, внесения удобрений для сельского хозяйства;
    - 3.8 Добыча полезных ископаемых струей жидкости высокого давления;
    - 3.9 Аккумулирование энергии в грузоподъемных машинах;
    - 3.10 Грузоподъемные машины с консольным удержанием груза;
    - 3.11 Разработка планетарного привода барабанов грузоподъемных машин;
    - 3.12 Системы плавного подъема и торможения грузов.
  4. Для специальности «Литейное производство и оборудование»:
    - 4.1 Машины с ГУП для уплотнений литейных грунтов в опоках;
    - 4.2 Машины для инерционного уплотнения песчано-глинистых форм;
    - 4.3 Машины для очищения литейных отливок от пригаров;
    - 4.4 Машины для отбивки прибылей от отливок;
    - 4.5 Машины для встряхивания литейных отливок при их кристаллизации в кессонах;
    - 4.6 Устройства с ГУМ для привода импульсных клапанов сечением до  $\varnothing 600$  мм и более с целью снижения давления сжатого воздуха до 0,5 МПа;
    - 4.7 ГПМ сдвиговых перекрытий опок большой площади;
    - 4.8 Устройство для уменьшения и устранения внутренних напряжений в отливках;
    - 4.9 Разрезание дерева в модельном производстве;
    - 4.10 Обработка отливок струей жидкости высокого давления.
  5. Для специальности «Процессы и машины для сварки материалов»:
    - 5.1 Статико-динамические стенды для испытания сварных швов и металлоконструкций;
    - 5.2 Устройство для снятия внутренних напряжений в металлоконструкциях;
    - 5.3 Устройства для упрочнения ударом сварных швов;
    - 5.4 Устройства для соединения деталей ударным воздействием.
  6. Для специальности «Технология машиностроения, станки и инструменты»:
    - 6.1 Устройства для глубокого сверления с импульсной подачей СОЖ в зону резания и выноса стружки;
    - 6.2 Устройства для снятия внутренних напряжений ударом в обрабатываемых деталях, литье, металлоконструкциях;
    - 6.3 Устройства для отбивки центров, частей деталей;
    - 6.4 Ударные стенды для испытания деталей, узлов, машин.

6.5 Регулируемые втулки в подшипниках, цилиндрических направляющих для борьбы с износом;

6.6 Сохранение зазоров в цилиндрических трущихся парах как в автоматическом, так и ручном режимах;

6.7 Регулируемые втулки-уплотнения для цилиндров гидросистем станков;

6.8 Регулируемые удерживающие устройства для гидроцилиндров гидросистем машин;

6.9 Статико-динамическое уплотнение порошковых материалов для изготовления инструмента.

7. Для специальности «Системы автоматизации, электропривод»:

7.1 Принцип действия ГПМ и КШМ применительно к приводу машин;

7.2 Добавление энергии в цикле работы машины с целью сглаживания пиков нагружения электропривода машин;

7.3 Привод высоковольтных переключателей с ГУМ для линий электропередач;

7.4 Устройства с ГУМ для поворота больших валов турбин при их монтаже и ремонте;

7.5 Разборка лопаток турбин при их ремонте;

7.6 Быстродействующие устройства в электротехнике (время срабатывания до 0,01 с).

Все разработки можно использовать в учебном процессе кафедры информационных технологий проектирования, менеджмента и других кафедрах академии.

## ВЫВОДЫ

Рассмотрены более 60 различных технологических процессов, машин и установок для их осуществления. Эти процессы и машины являются новыми для дисциплин, которые изучаются в техническом вузе типа ДГМА. Их основной особенностью является использование разработанных в ДГМА ГУМ и КШМ. По всем предложенным схемам машин и устройств разработаны методики расчета, проектирования; многие из них опробованы на моделях и макетах, на некоторые получены патенты.

Кроме этих механизмов разработаны схемы игрушек, медицинских приборов, мелкого бытового инструмента, образцы военной техники (например, катапульты для самолетов) и т. п. Можно с уверенностью утверждать, что применение ГУМ и КШМ открывает новые возможности в области машиностроения, техники и экономики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А. Ф. Объемная штамповка на гидравлических прессах / А. Ф. Белов, Б. В. Розанов, В. П. Линц. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с., ил.

2. Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства. Т. IV – 4 / Ю. А. Бочаров, И. В. Матвеевко и др.; под общ. ред. Ю. А. Бочарова, И. В. Матвеевко. – 2005. – 926 с., ил.

3. А. с. 247755 МПК В23j. Импульсный цилиндр / Л. Л. Роганов. – Заявл. 12.05.1968; опубл. не публ., зарегиср. 22.06.1969.

4. А. с. 816780 МПК В30 В1/40. Клиновой пресс / Роганов Л. Л., Харлашкин В. В. – Заявл. 28.06.1976; опубл. 30.03.1981, Бюл. № 12.

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТО ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [lev.roganov@dgma.donetsk.ua](mailto:lev.roganov@dgma.donetsk.ua)