

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

В настоящее время в металлообработке начинают внедряться технологии, основанные на ударном воздействии инструмента на деформируемый объект (скоростная штамповка, резка, брикетирование стружки и т.д.). Практика показала, что наиболее эффективно разгон инструмента осуществляется в машинах (установках), приводная часть которых работает по принципу двигателя внутреннего сгорания. Рабочим телом в этих машинах являются продукты сгорания смеси воздуха с топливом – газообразным [1, 2] или жидким [3].

Критический анализ, проведенный в работе [4], показывает, что конструктивные схемы машин [1–3] и используемые в них энергоносители не в полной мере отвечают современным требованиям по надежности, энергоемкости, безопасности труда, автономности, габаритным размером, экологии.

Учитывая актуальность отмеченных требований, в НИЛ “Энергострой” БГПА была разработана и создана на базе технических решений [4, 5] газодинамическая установка ГДУ-1, предназначенная для скоростной штамповки материалов. Принцип работы этой установки основан на разгоне ударных частей за счет сгорания энергоносителя, в качестве которого используется водородно-кислородная смесь (ВКС) с соотношением компонентов 2:1 ($2\text{H}_2 + \text{O}_2$). Для получения ВКС в установке применяется процесс электролиза электролита (20% р-р КОН).

Принципиальная схема ГДУ-1 представлена на рис. 1. Установка выполнена по бесшатунной схеме и состоит из рамы 1, жестко соединенной с основанием 2. В верхней части рамы 1 имеются оси 3, на которых смонтирована камера 4 сгорания (в дальнейшем просто “камера”). В свою очередь камера 4 через промежуточные фланцы 5, 6 соединена с корпусом 7 электролизера и стволом 8. Корпус 7 электролизера частично заполнен электролитом и в нем на газоотводной трубке 9 смонтированы чашевидные электроды 10, изолированные от трубки 9 и друг от друга посредством диэлектрической втулки 11. Для пропуска горючей смеси из электролизера 7 в камеру 4 в верхнем фланце 5 выполнено отверстие 12. Для устранения обратного течения горючей смеси в отверстии 12 и в верхней части трубки 9 смонтированы обратные клапаны 13, 14. В нижнем фланце 6 выполнено отверстие 15, которое предназначено для сообщения полостей камеры 4 и ствола 8 при разгоне ударника 16. При установке ударника 16 в исходном верхнем положении полости камеры 4 и

ствола 8 разобьются за счет того, что меньшая ступень А ударника 16 перекрывает отверстие 15.

Фиксация ударника 16 в верхнем положении осуществляется с помощью подпружиненных шариков 17, которые защелкиваются в кольцевую проточку Б, выполненную на его большей ступени В. Подача напряжения на электроды 10 осуществляется через центральный токоввод 18. Для поджига горючей смеси в камере 4 предусмотрена запальная свеча 19, смонтированная в ее верхней части и подключенная к источнику электропитания (на рис. 1 не показан).

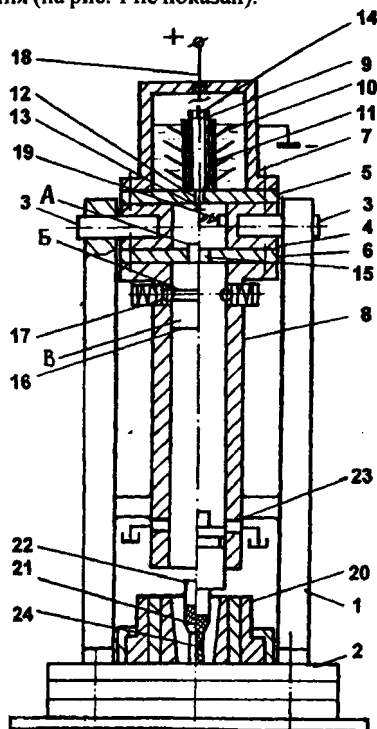


Рис. 1. Схема газодинамической установки для скоростной штамповки материалов

При работе установки ГДУ-1 энергия ударника 16 расходуется в штампе 20 на скоростную штамповку заготовки 21 (ударный импульс на заготовку 21 передается со стороны ударника 16 через мастер-боек 22). Для слива конденсата, образующегося в результате охлаждения рабочего тела – перегретого водяного пара в нижней части ствола 8 выполнены отверстия 23, связанные с дренажной системой.

Работа установки ГДУ-1 осуществляется следующим образом. При подаче постоянного напряжения через токоввод 18 на электроды 10 в электролизере 7 происхо-

дит процесс разложения воды, находящейся в р-ре КОН, с образованием ВКС, которая накапливается под возрастающим давлением сжатия в верхней части электролизера 7 над поверхностью электролита. При достижении в полости электролизера 7 давления открытия клапанов 13, 14 ВКС через газоотводную трубку 9 поступает в полость камеры 4. Продолжительность электролиза определяется количеством ВКС, необходимым для получения заданной энергии удара. В момент достижения нужной величины давления в камере 4 процесс электролиза прекращается и напряжение питания подается на запальную свечу 19, с помощью которой осуществляется поджиг энергоносителя, переходящий в горение по всему объему. Образующиеся при этом продукты горения (в дальнейшем рабочее тело) в основном состоят из перегретого водяного пара, состояние которого характеризуется высокими значениями давления и температуры. Под действием высокого давления со стороны рабочего тела на малое сечение А ударника 16, последний смещается вниз, преодолевая сопротивление пружинных шариков 17. При этом происходит разгерметизация полости 4 и высокое давление перегретого пара, действуя на всю площадь В ударника 16, разгоняет его в стволе 8 до заданной скорости. При соударении ударника 16 с заготовкой 21 происходит ее пластическая деформация в штампе 20, которая завершается формированием готового изделия 24.

При этом, на завершающей стадии процесса, в результате смещения ударника за границу отверстий 23, последние сообщаются с дренажной системой, что позволяет обеспечить слив конденсата (конденсат образуется в результате охлаждения рабочего тела – перегретого водяного пара) из ствола 8 установки ГДУ-1.

После осуществления процесса деформации ударник 16 перемещается вверх по стволу 8 (на данной установке перемещение ударника 16 по стволу 8 без особых усилий осуществляется вручную, но, при необходимости, для этой цели можно использовать пневмоцилиндр) и фиксируется в крайнем верхнем положении с помощью шариков 17.

Испытания опытного образца ГДУ-1 показали достаточно высокую эффективность применения ВКС в качестве энергоносителя и метода электролиза как источника его получения и сжатия.

Повышенная эффективность ВКС обусловлена высокой теплотворной способностью водорода (теплота сгорания H_2 в пересчете на массу в 3 раза больше, чем у органического горючего [6]) и отсутствием вредного воздействия продуктов сгорания (конечным продуктом реакции горения ВКС является вода) на окружающую среду.

Оценивая эффективность электролизного метода, необходимо отметить то, что он позволяет практически бесплатно сжимать энергоноситель в рабочей камере. Эксперименты с электролизером показали, что интенсивность нарастания давления P_0 в рабочей камере зависит от напряжения питания. Из рис. 2 видно, что с увеличением напряжения от 24 до 42 В время нарастания давления P_0 до заданного значения уменьшится в 1,5÷1,7 раза.

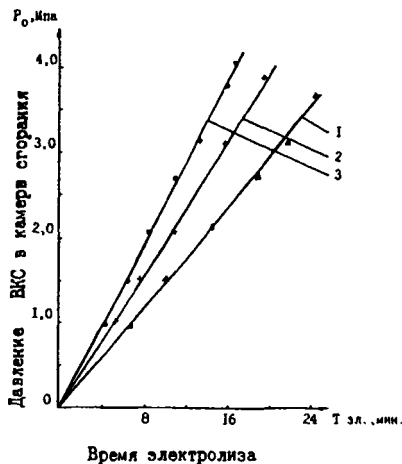


Рис. 2. Характер изменения давления P_0 в камере сгорания в зависимости от напряжения питания U ; 1 – $U = 24$ В; 2 – $U = 36$ В; 3 – $U = 42$ В

Таким образом, конструктивная схема ГДУ-1 была разработана без использования насосно-компрессорного оборудования и сложных электро-пневмосистем, что позволило повысить ее надежность, энергоемкость, безопасность (для осуществления электролиза использовалось безопасное напряжение питания, изменяемое от 24 до 42 В).

Из описания принципа действия ГДУ-1 видно, что термодинамические процессы, протекающие в энергоузле установки, относятся к рабочему циклу с подводом тепла при постоянном объеме. Принимая допущения об отсутствии сил трения и теплообмена, а также используя в качестве рабочего тела идеальный газ, для установки ГДУ-1 была построена диаграмма идеального цикла с подводом тепла при постоянном объеме (рис. 3). Из диаграммы, построенной в P - v координатах (P – давление, v – удельный объем), видно, что рабочее тело с начальными параметрами P_n ($P_n = P_{атм}$) и $v_{он}$ ($v_{он}$ – начальный удельный объем в камере сгорания) сжимается в камере сгорания по изотерме “ $O_n - O$ ” до состояния, характеризуемого точкой “ O ” с параметрами v_0 и P_0 . Затем рабочему телу по изохоре $0-1$ сообщается количество теплоты q_1 , приводящее к возрастанию давления от P_0 до P_1 , (в этом процессе $v_0 = v_1$). В процессе $1-2$ рабочее тело расширяется по адиабате, совершая разгон ударника 16 в стволе 8 установки. В конце стадии разгона при сообщении отверстий 23 с дренажной системой рабочее тело отдает тепло в количестве q_2 по изохоре $2-3$, что приводит к снижению давления от P_2 до $P_n = P_{атм}$. Последний отрезок диаграммы $3-O_n$ соответствует возврату ударника 16 в исходное верхнее положение, после чего установка ГДУ-1 готова к осуществлению очередного рабочего цикла.

Рассмотрим определение параметров, характеризующих работу ГДУ-1. Для изохорного процесса горения ВКС в камере 4 (отрезок 0-1 на диаграмме P-v) уравнение состояния запишется в следующем виде [7]

$$P_1 = P_0 \frac{T_1}{T_0}, \quad (1)$$

где P_0, T_0 – начальные значения давления и температуры компонентов ВКС (точка "0" на рис. 3) перед поджигом; P_1, T_1 – значения давления и температуры перегретого водяного пара после сгорания ВКС (точка "1" на рис. 3).

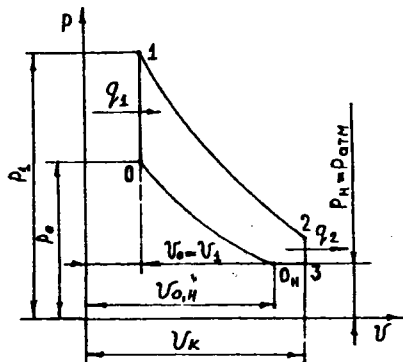


Рис. 3. Цикл газодинамической установки с подводом тепла при постоянном объеме

Принимая температуру перегретого пара T_1 равной 3000°K [7], а начальную температуру $T_0 = 300^\circ \text{K}$, из (1) получим, что $P_1 = 10 P_0$.

Перегретый пар с параметрами P_1, T_1 , смещая ударник 16 вниз, освобождает его от блокирующего действия шариков 17 и затем, адиабатно расширяясь, обеспечивает разгон ударника 16 в ствол 8.

Изменение удельного объема Δv перегретого пара в процессе адиабатного расширения (участок 1-2 диаграммы, на рис. 3) будет равно

$$\Delta v = v_k - v_0, \quad (2)$$

где v_k – удельный объем перегретого пара в конце адиабатного расширения.

Полезная энергия E_n , приобретаемая ударником 16 при адиабатном расширении перегретого пара, определяется из выражения [2]

$$E_n = \frac{P_1 V_1}{K-1} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{S \cdot h}{V_1}\right)^{K-1}} \right] - P_n S_n h, \quad (3)$$

где V_1 – объем камеры сгорания; S_1 – площадь большого сечения В ударника 16; h – перемещение ударника 16 в стволе 8 установки; P_A – атмосферное давление окружающей среды ($P_A = 10^5$ Па); K – показатель адиабаты (для ВКС $K=1,17$ при режиме горения и $K=1,21$ при режиме детонации [7]).

Полный кпд η установки определяется из отношения

$$\eta = \frac{E_n}{E_{эл}}, \quad (4)$$

где $E_{эл}$ – электрическая энергия, затраченная на производство ВКС в процессе электролиза.

Величина $E_{эл}$ в (4) определяется из выражения

$$E_{эл} = U \cdot J \cdot t_{эл}, \quad (5)$$

где U – напряжение питания электролизера; J – сила тока, проходящего через электролит; $t_{эл}$ – время электролиза.

Лабораторные испытания показали, что работа установки ГДУ-1 характеризуется следующими параметрами: полезная энергия $E_n = 4+20$ кДж, скорость ударника $V = 45+105$ м/с; давление $P_0 = 2+10$ МПа (давление P_0 в камере сгорания создается чисто электролизным путем); время цикла $t_{ц} = 10+24$ мин; энергоемкость $e = 10+57$ Дж/кг; полный кпд $\eta = 9,7\%$ [4].

Оценивая приведенные значения параметров и учитывая дополнительные факторы (отсутствие вредных выбросов в окружающую среду; исключение из приводной части насосно-компрессорного оборудования и сложных систем электро-пневмоавтоматики, высокая степень автономности, малые габаритные размеры) можно сделать вывод о высокой перспективности машин данного типа в условиях индивидуального и мелкосерийного производства, например, инструментального. Использование импульсных машин в данной сфере промышленного производства позволяет за счет замены операций резания на точную скоростную штамповку повысить коэффициент использования металла до значений $0,95+0,98$ и обеспечить выпуск качественного, износостойкого инструмента с высоким физико-механическими и эксплуатационными свойствами [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М. Штамповка на высокоскоростных молотах. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
2. Степанов В.Г., Шавров И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 278 с.
3. Барановский М.А., Подрабинник И.М. Новая технология и оборудование штамповочного производства. - Мн.: Беларусь, 1981. – 191с.
4. Разработка способа повышения эффективности работы газодинамических машин ударного

действия: Отчет о НИР/БГПА: Рук. И.В. Качанов; №ГР20001157: – Мн.: 2000. – 94с.
5. Качанов И.В., Кондратович А.Н., Ивашечкин В.В. Высокоскоростной молот; заявка № И20010024 от 31.01.2001 на выдачу патента РБ на полезную модель. 6. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение. Справ. изд.; Под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. – М.: Химия, 1989. – 672 с. 7. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз, 1960.– 595 с. 8. Исаевич Л.А., Качанов И.В. Новые технологии изготовления стержневого инструмента с упрочненной рабочей поверхностью.//Тез. докл. Международной научной конф. “Новые конкурентноспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка”. 18–19 мая 2000 г. Могилев.– С.72–73.

УДК 621.9.06-52

И. А. Каштальян, П. К. Жуковский

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% всей машиностроительной продукции. В настоящее время эта задача решается посредством создания и использования станков с ЧПУ (числовым программным управлением), значительная часть которых составляет группа токарных станков. Несмотря на известные преимущества токарных станков с ЧПУ, точность обработки деталей на них без периодической поднастройки не превышает 8–9 квалитетов и при этом за рабочим-оператором, так же как и на обычном станке, остается один из важнейших этапов обработки – процесс размерной настройки и поднастройки технологической системы [1]. Трудоемкость этого процесса достигает 80% от общего подготовительно-заключительного времени и составляет в среднем 20–30 минут.

В ряде случаев повышения точности обработки добиваются либо методом коррекции управляющих программ по результатам измерений обработанных деталей, либо методом их предсказания на этапе подготовки. Однако широкое использование этих методов сдерживается простоями станков при измерении деталей и коррекции программ, а также большой трудоемкостью их разработки. Поэтому для повышения производительности и точности обработки на токарных станках с ЧПУ находят применение системы управления, основанные на использовании информации, получаемой в ходе обработки резанием (адаптивные системы). Такие системы строятся на базе техно-