

УДК 691.983

Шамарин Ю. Е.
Холявик О. В.**РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ**

Известен способ получения высоких и сверхвысоких давлений в жидкости путем осуществления внутри объема любой проводящей и непроводящей жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, специально сформированного импульсного электрического (искрового, кистевого или других форм) разряда. Коэффициент полезного действия данного способа растет при уменьшении активной (т. е. соприкасающейся с жидкостью) площади положительного электрода и одновременном увеличении активной площади отрицательного электрода, а также при условии максимального сокращения фронта импульса напряжения и укорочения длительности импульса тока, близкой к апериодической (авт. свид. СССР № 105011, авторы Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова, заявл. 15.04.50 № 416898, опубл. в 1957 г., бюл. № 1). Автор Юткин Лев Александрович дал название этому явлению – «электрогидравлический эффект» (ЭГЭ). Принципиальная схема осуществления электро-гидравлического эффекта представлена на рис. 1 [1].

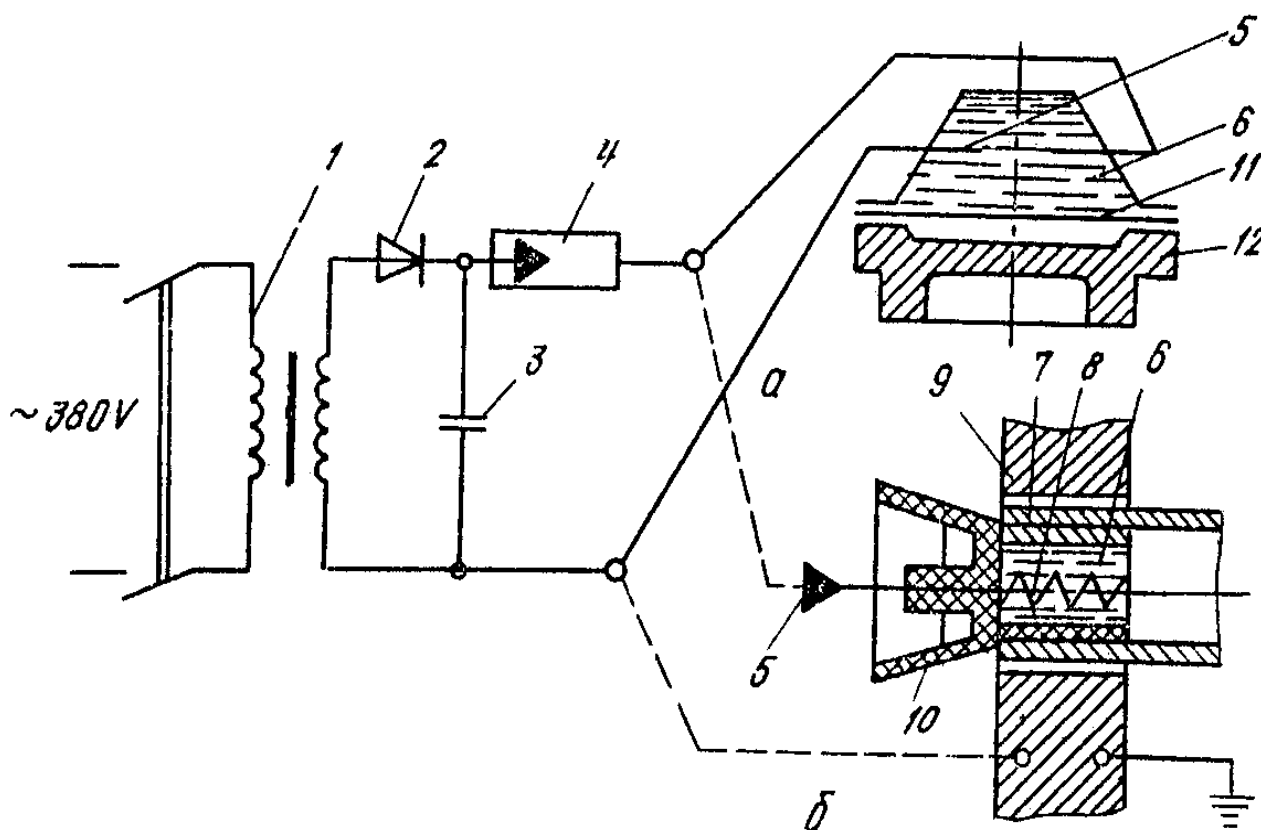


Рис. 1. Принципиальная схема электрогидравлической штамповки (а) и развальцовки (б) [1]

При помощи автотрансформатора и высоковольтного трансформатора 1, питающихся от сети переменного тока, напряжение через выпрямитель 2 подается на конденсаторную батарею 3. Накопленная энергия, благодаря пробоем формирующего промежутка 4 при заданном напряжении, выделяется в рабочем промежутке между двумя электродами 5.

В зависимости от мощности трансформатора время зарядки конденсаторов может быть от десяти долей секунды до десятков секунд. При этом время разряда измеряется

микросекундами. В связи с этим процесс приобретает характер взрыва. При сравнительно небольшой мощности генератора импульсных токов в канале разряда возникают высокие температуры (десятки тысяч градусов) и гидравлические давления до десятков тысяч атмосфер.

При этом возможен непосредственный пробой жидкости 6 или взрыв проводника 8. Последний случай наиболее часто применяется при развальцовке труб 7 в трубной доске 9 с использованием специальных патрончиков 10 (рис. 1, б).

Как видно из рис. 1, а, заготовка 11 в процессе деформирования принимает форму матрицы 12. Электрогидравлическая штамповка характеризуется рядом последовательно происходящих стадий: формирование проводящего канала между электродами; выделение в зоне канала основной доли энергии, запасенной в конденсаторах; образование волн сжатия и пульсация газового пузыря после разряда; взаимодействие ударной волны и гидропотока с заготовкой.

По сравнению с традиционными методами обработки металлов давлением электрогидравлическая штамповка имеет следующие преимущества:

- упрощается и удешевляется технологическая оснастка, что способствует сокращению сроков технологической подготовки производства и уменьшению затрат на освоение новых изделий;
- повышается точность штампуемых деталей из-за уменьшения пружинения и увеличения скорости деформирования;
- появляется дополнительная возможность совмещения ряда операций, выполняемых в одном штампе;
- увеличивается предельная глубина штамповки и критическая степень деформации из-за локализации воздействия и высоких скоростей деформирования;
- расширяются технологические возможности процесса.

По сравнению со штамповкой взрывом электрогидравлическая штамповка более предпочтительна, поскольку процесс может выполняться в обычных цеховых условиях. Кроме того, представляются возможными более простое решение вопросов техники безопасности, обеспечение точной регулировки энергии, многократное воздействие на заготовку с одной установки.

Несмотря на видимое явное преимущество электрогидравлической штамповки, темпы ее внедрения в производственные процессы за последнее время значительно снизились.

Целью работы является определение причин снижения объемов внедрения электрогидравлических методов штамповки.

По нашему мнению, это произошло по ряду причин и, в первую очередь, из-за:

- недостаточной изученности процесса;
- попыток примитивно применить электрогидравлическую штамповку там, где она экономически не совсем эффективна или даже не целесообразна.

В основу процесса электрогидравлической штамповки положены два основных физических явления:

- формирование и распространение ударной волны и гидропотока;
- взаимодействие ударной волны и гидропотока с заготовкой.

Если первое явление исследовано достаточно подробно, то физический механизм второго явления исследован недостаточно. Чаще всего для оценки эффективности используются эмпирические формулы.

Основными параметрами ударной волны являются: максимальное давление на фронте P_m и постоянная времени θ .

В результате обработки экспериментальных данных для вычисления этих параметров получены следующие эмпирические зависимости [2]:

$$P_m = 2,15 \cdot 10^3 \frac{1}{(I_{onm} CL)^{0,125}} \cdot \frac{E_K^{0,525}}{r^{1,05}}, \quad (1)$$

где E_K – энергия, выделившаяся в канале разряда:

$$l_{opt} = 0,33 \cdot 10^{-6} U_0^{1,6} \cdot \frac{C^{0,3}}{L^{0,3}} e^{-2,2 \cdot 10^{-6} U_0 \sqrt{\frac{C}{L}}}, \quad (2)$$

оптимальный рабочий промежуток, определяемый по формуле Кужекина И. П. [2];

C – емкость конденсаторной батареи;

L – индуктивность разрядного контура;

r – расстояние от канала разряда до точки измерения;

U_0 – начальное напряжение заряженных конденсаторов.

Определяющий фактор в процессе преобразования электрической энергии в механическую – общая величина запасаемой энергии, которая определяется формулой [3, 4]:

$$E_K = \frac{C \cdot U_0^2}{2}. \quad (3)$$

Если от эмпирических зависимостей перейти к точным аналитическим расчетам (авторы в настоящее время над этим работают), то с помощью электрогидравлического эффекта можно осуществлять различные операции листовой штамповки: штамповку-вытяжку, формовку, отбортовку, пробивку отверстий и просечку, а также комбинацию этих и других операций. Используя режимы многоимпульсного нагружения, можно существенно снизить уровень остаточных напряжений в отштампованных или сварных деталях. Процессы электрогидравлической штамповки достаточно гибки и могут быть встроены в технологические процессы разнотипных производств [5].

Можно применить приемы, позволяющие повысить эффективность электрогидравлической штамповки.

Например, известен способ электрогидравлической штамповки, расширяющий технологические возможности процесса (ав. свид. СССР № 1741351, авторы С. П. Мартюк, Ю. Ф. Чёрный, Ю. Е. Шамарин и др.), заключающийся в предварительном деформировании заготовки путем ее статического нагружения и последующем окончательном формообразовании посредством воздействия на заготовку, размещенную в заполненной жидкостью замкнутой камере, высоковольтным разрядом.

При этом статическое нагружение осуществляют давлением находящейся в камере жидкости., которое нарастает до величины, определяемой следующим образом:

$$P = I \cdot S \cdot \sigma_T, \quad (4)$$

где P – гидростатическое давление в камере;

I – периметр заготовки;

S – толщина заготовки;

σ_T – предел текучести материала заготовки.

Высоковольтный разряд осуществляют, не снимая давления, с энергией в импульсе, определяемой следующим соотношением:

$$W \geq \frac{P^2 \cdot L \cdot C \cdot h}{0,06 \cdot \rho_0}, \quad (5)$$

где P – гидростатическое давление в камере с заготовкой;

ρ_0 – плотность жидкости, заполняющей разрядную камеру;

h – зазор между электродами разрядного контура.

На промышленных предприятиях достаточно широко применяются электрогидравлические установки для очистки отливок [6]. Эта установка состоит из генератора импульсных токов (ГИТ) и технологического узла. Если для такой установки изготовить дополнительный технологический узел, обеспечивающий штамповку деталей, то коэффициент использования действующего технологического оборудования значительно повысится.

Для получения возможности управления параметрами процесса с целью наиболее эффективного преобразования энергии необходимо проведение фундаментальных исследований в следующих направлениях:

- установление функциональной связи между характеристиками разрядного контура и параметрами плазмы;
- построение теории гидродинамических течений при электрическом разряде в жидкости;
- изучение процесса импульсного воздействия на материал, его структуру и свойства.

ВЫВОДЫ

Расширение областей применения электрогидравлической штамповки возможно за счет:

- более детального изучения процесса взаимодействия ударной волны и гидротока с заготовкой;
- правильного выбора номенклатуры штампуемых деталей;
- расширения технологических возможностей внедренного оборудования;
- применения комбинированных методов в обработке металлов давлением.

С целью повышения эффективности электрогидравлической штамповки предусматривают:

- жесткую фиксацию оснастки и заготовки во время штамповки;
- применение разрядных камер закрытого типа;
- оптимизацию объема рабочей полости разрядной камеры за счет использования специальных вставок и др. [7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамарин Ю. Е. *Высокопроизводительные методы обработки металлов давлением*. / Ю. Е. Шамарин, В. Т. Лис, М. М. Подоровская. – Киев : Техника, 1991. – 102 с.
2. Шамарин Ю. Е. *Электрогидравлический процесс формоизменения металлов* / Ю. Е. Шамарин, В. Н. Чачин, Ю. Е. Шарин. – Киев : УкрНИИИТИ, 1971. – 24 с.
3. *Листовая штамповка с использованием штампуемых нагрузок* / В. Н. Чачин, Ю. Е. Шамарин, А. Ю. Журавский и др. – Киев : УМК ВО, 1989. – 108 с.
4. Шамарин Ю. Е. *Спеціальні методи обробки металів тиском* / Ю. Е. Шамарин, С. С. Коваленко, Л. Т. Кривда, В. Т. Лис. – Київ : НМК ВО, 1992. – 208 с.
5. Тараненко М. Е. *Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы* / М. Е. Тараненко. – Харьков : НАУ «ХАИ», 2011. – 272 с.
6. *Високошвидкісні методи обробки металів тиском : підручник* / В. А. Титов, Ю. Е. Шамарин, А. І. Долматов та ін. – Київ : КВГЦ, 2010. – 304 с.
7. *Высокоскоростные методы обработки металлов давлением: учебник* / В. А. Титов, Ю. Э. Шамарин, А. И. Долматов и др. – Киев : Изд. СПД Карпук С.В., 2008. – 322 с.

Шамарин Ю. Е. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПИ»;

Холявик О. В. – канд. техн. наук, ассистент НТУУ «КПИ».

НТУУ «КПИ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

E-mail: k_omd@ukr.net

Статья поступила в редакцию 11.12.2013 г.