

К ОЦЕНКЕ КПД ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ С ЭКРАНИРОВАНИЕМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Савченко Н.Ф., канд. техн. наук

(Харьковский государственный экономический университет)

Рассматриваются основные особенности управления параметрами внешней нагрузки, что обусловлено необходимостью повышения эффективности использования энергии импульсных энергоносителей.

В настоящее время разработаны и находят развитие достаточно эффективные с позиций современных технологий решения, в частности в области создания и развития беспрессовых методов изготовления крупногабаритных изделий [1, 2]. Однако их широкое внедрение ограничено высокими требованиями к безопасности импульсных технологий (методы взрывной штамповки), а также определенными энергетическими ограничениями (электрогидравлическая и магнитно-импульсная штамповка) и сложностью управления напряженно-деформированным состоянием штампуемых деталей.

Самым простым технологическим решением использования импульсных методов штамповки было бы применение энергии взрыва конденсированных бризантных взрывчатых ВВ, например типа аммонит. Однако высокие требования к безопасности технологических систем предприятий, отсутствие возможностей создания специализированных производств, обуславливают поиск других альтернативных методов создания внешней нагрузки, например с использованием энергии горючих газовых смесей.

Поэтому дальнейшее совершенствование методов изготовления крупногабаритных деталей размерами более 1 м из листовых и объемных заготовок может считаться одним из важных факторов интенсификации импульсной штамповки [1-3]. Актуальность проблемы и в отсутствии соответствующего типоразмера прессового оборудования, в повышенных энергозатратах при эксплуатации имеющегося парка прессов, в высокой стоимости и сложности оснастки.

Вместе с тем внедрение импульсных методов штамповки ограничивается отсутствием во многих случаях эффективных приемов увеличения длительности внешней нагрузки, которое в самом простом варианте использования в технологических целях энергии взрывчатых веществ может достигаться увеличением дистанции взрыва. Однако увеличение дистанции взрыва приводят к росту габаритов и стоимости

защитного оборудования (бассейнов, броней, бронекламер и вакуум камер) и к тому же не обеспечивает управления полем деформации, особенно в окрестности зоны заготовки, для которых $\dot{\varepsilon} \gg 0$ (скорость деформации), а $t_{ум} \approx \theta$ (время штамповки приблизительно равно времени действия внешней нагрузки). В связи с этим применяются (преимущественно за рубежом) методы многооперационной штамповки или управления внешней нагрузкой с помощью зарядов сложной формы [1,3]. Применение зарядов сложной формы позволяет управлять как интенсивностью, так и длительностью действия внешней нагрузки, обеспечивает возможность последовательного формоизменения участков заготовки. Однако развитие этого направления ограничивается отсутствием в промышленности взрывчатых веществ, одновременно удовлетворяющих требованиям техники безопасности и технологии. Для примера отметим, что увеличение длительности действия внешней нагрузки вдвое требует практически для всех типов взрывчатых веществ 7..12 - кратного увеличения дистанций и массы заряда, что из-за сложности обеспечения требуемых правил техники безопасности сдерживает широкое внедрение в производство методов взрывной штамповки.

Опыт изготовления тонкостенных деталей показывает [2,3], что при неблагоприятном, с точки зрения распределения по заготовке и длительности действия, характере внешней нагрузки волновые эффекты могут существенно ухудшать качество изделий. Ухудшение качества особенно существенно при изготовлении деталей большой гибкости (малой толщины).

Отштампованные детали могут иметь ряд дефектов: при повышенной скорости деформирования заготовок – обрывы в виде просечки материала в зоне протяжного ребра матрицы (тонкостенные заготовки) или разрушения купольной части изделия (заготовки различных толщин), отколы и расслоения.

Поэтому в настоящее время для управления внешней нагрузкой чаще используются другие энергоносители, среди которых наиболее перспективны газовые смеси применением различных технологических прокладок, размещаемых в передающей среде между заготовкой и энергоносителем.

Одним из критериев динамичности процесса и эффективности управления внешней нагрузкой может служить отношение времени действия внешней нагрузки ко времени ее распространения по заготовке. В качестве элементов повышения длительности внешней нагрузки используются как присоединенные массы в виде прокладок – воздушные прослойки, листы тонколистового металла (стали, алюминия или свинца)

и резины, – так и жесткие, недеформирующиеся совместно с заготовкой, экраны. При этом размеры присоединенных масс и экранов выбираются с учетом размеров зон деформирования и величины деформации таким образом, чтобы работа формоизменения одной части поверхности детали, той, где размещено опасное сечение (преимущественно центральной, ограниченной зоной двухосного растяжения) была не меньше работы формоизменения другой, труднодеформируемой периферийной зоны [3]. Это достигается применением экранирования для увеличения длительности внешней нагрузки $\Theta \rightarrow t_{шт}$ и улучшением ее распределения по заготовке в целях повышения несущей способности донной части заготовки, выбором экранов в виде жестких присоединенных масс с диаметром или условным размером, большим размеров зон двухосного растяжения (искусственное увеличение зоны двухосного растяжения); искусственным завышением величины радиуса протяжного ребра матрицы, то есть уменьшением размеров периферийной зоны - зоны фланца.

Для определения эквивалентной массы импульсного энергоносителя будем исходить из рекомендаций [1, 2]. Величина массы:

$$G = \frac{W}{\eta \cdot E}, \quad (1)$$

где W – работа деформирования заготовки; η – коэффициент полезного действия внешней нагрузки; E – полная работа, выделившаяся при импульсном выделении энергии:

$$E = \dot{L} \cdot K \cdot Q \cdot G.$$

Здесь \dot{L} – механический эквивалент тепла, кгс · м/ккал; Q – теплота взрыва ккал/кг; K – коэффициент, учитывающий неполноту химической реакции энергоносителя. Коэффициент полезного действия η может быть определен:

$$\eta = (\eta_{У.В.}^{\Sigma} + \eta_{Г.П.}^{\Sigma}) \eta_{\Theta} \quad (2)$$

где значения $\eta_{У.В.}^{\Sigma}$ и $\eta_{Г.П.}^{\Sigma}$ определяют долю энергии взрыва, передаваемой ударной волной и гидротоком. Согласно [1] их можно определить как

$$\eta_{У.В.}^{\Sigma} = \eta_{У.В.} \cdot (\Omega \cdot \eta_{У-З} + \eta_{К}^B \cdot \Omega_K \cdot \eta_K \cdot \eta_{К-З}), \quad (3)$$

$$\eta_{Г.П.}^{\Sigma} = \eta_{Г.} \cdot \eta_{Г.П.} \cdot \Omega_{Г.П.} \cdot \eta_{Г.П.}^B \cdot \eta_{Г-З}. \quad (4)$$

При этом значения $\eta_{У.В.}$ – доли энергии заряда в ударной волне; Ω – доли потока энергии в ударной волне в направлении экрана; $\eta_{У-З}$ – доли энергии, переданной экрану в период «разгона» ударной волной; η_K – доли энергии ударной волны в кавитирующей жидкости; $\eta_{К-З}$ – коэффициента передачи энергии экрану от кавитирующей жидкости; Ω_K – доли потока энергий кавитирующей жидкости в направлении экрана; η_K^B – коэффициента, учитывающего боковой выброс кавитирующей жидкости; $\eta_{Г.П.}$ – доли энергии заряда в гидротоке; $\eta_{Г.}$ – доли энергии гидротока в направлении экрана; $\Omega_{Г.П.}$ – коэффициента передачи энергии от

гидропотока к экрану; $\eta_{Г.П.}^B$ – коэффициента, учитывающего боковой выброс гидропотока - определяется по методике, разработанной исследователями МВТУ [1].

Определение коэффициента передачи энергии от экрана $\eta_{\text{Э}}$ к заготовке требует дальнейшего исследования.

Коэффициент передачи энергии ударной волны от экрана к заготовке $\eta_{\text{Э}}$ можно представить как

$$\eta_{\text{Э}} = \eta_1 + \eta_2, \quad (5)$$

где η_1 – коэффициент передачи энергии от экрана в окружающую среду; η_2 – коэффициент, определяющий передачу энергии в результате последовательных взаимодействий волн, распространяющихся между экраном и заготовкой. Коэффициент η_1 определяется как

$$\eta_1 = \frac{E_{\text{Э}}}{E}. \quad (6)$$

Здесь $E_{\text{Э}}$ – энергия, поглощенная экраном. Ее значение может быть определено с помощью интеграла Фурье

$$E_{\text{Э}} = \frac{2\beta}{\pi \cdot m} \int_0^{\infty} [F_P(\omega)]^2 \frac{\omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\beta^2 \omega^2} d\omega, \quad (7)$$

где 2β – сила сопротивления среды, приходящаяся на единицу массы при единичной скорости; m – масса колебательной системы, равная сумме масс экрана и жидкости; $\omega_{\text{Э}}$ – частота колебательной системы; ω_0 – резонансная частота; q – жесткость заготовки.

Для экспоненциального импульса модуль спектральной плотности равен $F_P(\omega)$ [4]

$$F_P(\omega) = \frac{p_m \theta}{\sqrt{1 + \omega^2 \theta}}. \quad (8)$$

С учетом формул (2.67) и (2.66) получим

$$E_{\text{Э}} = \frac{p_m^2 \theta^2}{2\beta m \pi \theta} \operatorname{arctg} \frac{\theta(\omega_2 - \omega_1)}{1 + \theta^2 \omega_1 \omega_2} = \frac{p_v^2 \theta^2}{2m(1 + \theta^2 \omega_0^2)}. \quad (9)$$

Так как

$$E_0 = \frac{p_v^2 \theta^2}{2m},$$

то

$$\eta_1 = \frac{E_{\text{Э}}}{E} = \frac{1}{1 + \theta^2 \omega_0^2} \quad (10)$$

Величину η_2 можно считать равной

$$\eta_2 = \eta_{PPP} + \eta_{PSP} + \eta_{PRP}, \quad (11)$$

Где η_{PPP} , η_{PSP} , η_{PRP} - учитывают энергию, распространяющихся в экране продольной, поперечной и релеевской волн. Их значения для продольных

волн (в случае нормального падения):

$$\eta_{PPP} = \frac{2\beta}{2\beta + 1}, \quad (12)$$

$$\text{где } \beta = \frac{\rho_0 c_0 \theta}{s_{\text{Э}} h_{\text{Э}}} = \frac{\rho_0 c_0 \theta}{\rho_{\text{Э}} c_{\text{Э}}} \cdot \frac{c_{\text{Э}}}{h_{\text{Э}}} = \frac{1}{\chi_P} \cdot \frac{\theta}{t_{\text{Э}}}, \quad \chi_P = \frac{\beta \cdot c_{\text{Э}}}{\rho_0 c_0}, \quad t = \frac{h_{\text{Э}}}{c_{\text{Э}}}$$

для поперечных волн

$$\eta_{PSP} = \frac{2\beta_S}{2\beta_S + 1} \cdot \cos \alpha, \quad (13)$$

$$\text{где } \beta_S = \frac{1}{\chi_S} \cdot \frac{\theta}{t_S}, \quad \chi_S = \frac{\rho_{\text{Э}} \cdot c_{\text{Э}S}}{\rho_0 c_0}, \quad c_{\text{Э}S} - \text{ скорость распространения поперечных волн}$$

$$c_{\text{Э}S} = \sqrt{\frac{G}{\rho_{\text{Э}}}},$$

$\cos \alpha_S$ – среднее значение косинуса угла падения ударной волны на поверхность заготовки:

$$\cos \alpha_S = \frac{\int \cos \alpha dF}{F}$$

для релеевских волн

$$\eta_{PRP} = \frac{2\beta_R}{2\beta_R + 1} \cos \alpha_R, \quad (14)$$

$$\text{где } c_{\text{Э}R} = \frac{0,874 + 1,12\mu}{1 + \mu} \sqrt{\frac{G}{\rho_{\text{Э}}}}, \quad \cos \alpha_R = \frac{\int \cos \alpha dF}{F}.$$

Из уравнений (2), (5), (12), (14) можно установить, что минимальный вклад в энергию деформирования заготовки при (рассматривается случай применения экранов как элементов, не деформирующихся совместно с заготовкой) принадлежат продольным волнам. Для них КПД составляет менее 2...5% в случае применения экранов с акустическим сопротивлением в 10 и более раз большим, чем передающей среды (экраны из Д16Т и стали). Поперечные волны несут 20...30% энергии прямых, а релеевские 60...70%. Это обусловлено тем, что их скорость распространения больше, чем других типов волн. Подобный вывод можно получить и из анализа условий распространения упругих волн в твердом слое.

Предположим, что через выделенную произвольно единичную площадку, находящуюся на расстоянии r пройдет определенное количество энергии E . Считаем, что поглощение энергии за счет трения и тепловых явлений отсутствует.

$$Am = \sqrt{\frac{G}{\zeta \cdot r}} \ell^{-\frac{1}{2}\zeta \cdot r} \cdot r^2 \quad (15)$$

Для двух различных точек экрана с координатами r_2 и r_1 отношение амплитуд будет выражено

$$\frac{Am_2}{Am_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} \cdot \ell^{-\frac{1}{2}(r_2 - r_1)}$$

Отсюда несложно определить степень затухания колебаний

$$\zeta = \frac{2 \ln \frac{Am_2}{Am_1} \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}}{r_2 - r_1} \quad (16)$$

Анализ выражения (16) показывает, что высокочастотные колебания (для них $T_2 \rightarrow 0$) передают энергию колебательного движения на значительно меньшие расстояния, чем низкочастотные.

Сделанный вывод объясняет явление прохождения колебаний более низких частот, чем резонансная частота, и поглощения более высоких.

Проведенные расчеты показывают, что суммарный КПД при экранировании находится в пределах (0,5...0,7) η и зависит от относительной толщины экрана, определяемой как отношение толщины экрана к произведению скорости звука его материала на условную длительность действия внешней нагрузки, а также жесткости обрабатываемой заготовки. Уменьшение жесткости обрабатываемой заготовки существенно повышает вклад в КПД кинетической энергии экрана, метаемого как жесткое тело.

Список литературы

1. Штамповка взрывом. Основы теории. Под ред. д. т. н. М.А. Анучина. -М.: Машиностроение. 1972. – 152 с.
2. Мазуровский Б.Я, Сизев А.Н. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке. -К.: Наук. думка, 1983. – 192 с.
3. Савченко Н.Ф., Краснокутский А. М. Об оценке максимальных давлений при экранировании импульсного источника. Импульсная обработка металлов давлением. Тематич. сб. науч. тр. ХАИ, вып. 6, Х.: 1977, С.27-30.
4. Исакович М.А. Общая акустика. -М.: Наука, 1973. – 496 с.

Анотація

До оцінки КПД імпульсного штампування з екрануванням енергонасіїв

Розглянуто основні особливості управління параметрами зовнішнього навантаження, що обумовлено необхідністю підвищення ефективності використання енергії імпульсних енергоносіїв.

Abstract

To the estimation of efficiency of pulse punching with shielding energy carriers

The main features of control of parameters of an external loading are esteemed, that is conditioned by necessity of increase of productivity of energy of pulse power supplies.