

УДК 621.9.044

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ВЗРЫВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПО УСЛОВИЯМ ТОЧНОСТИ СБОРКИ АГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2012 С. Ф. Глустенко, В. А. Сытник

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Исследованы проблемы теории применения взрывных процессов для повышения точности деталей, идущих на сборку агрегатов с повышенными требованиями по качеству и надежности сборки летательных аппаратов.

Формообразование, пластичность, структура, давление, оборудование, точность, качество.

В настоящее время для изготовления сложных деталей обводообразующих элементов конструкций летательных аппаратов в условиях мелкосерийного производства при повышенных требованиях к точности эффективными являются способы формообразования деталей взрывными процессами. Исследования показали, что с точки зрения технологичности их можно разделить на два вида. К первому виду относятся бесконтактные способы, при которых заряд взрывчатого вещества (ВВ) находится на расстоянии от заготовки (максимальные удельные давления на деталь $10^2 \div 10^4$ МПа). Ко второму виду относятся контактные способы формообразования, при которых заряд располагается непосредственно на поверхности заготовки (давления достигают 10^5 МПа).

Были рассмотрены существующие наиболее приемлемые для процессов обработки металлов давлением (ОМД) источники энергии при штамповке взрывом, такие как тротил порошкообразный и литой, аммоний порошкообразный и прессованный, тринитролезол, тетрил. Вычисления показали, что такие вещества отличаются большой удельной концентрацией энергии и большими скоростями детонации до 7000 м/сек., давление у поверхности заряда доходит до $2 \cdot 10^5$ МПа.

Общая энергия взрывчатого вещества, необходимая для деформации заготовки и для наиболее полного заполнения объема матрицы металлом, была рассчитана, исходя из выражения:

$$E_{\text{общ}} = \frac{NRT}{\gamma - 1}$$

где N - число молекул в газах взрыва;

R - газовая постоянная;

T - температура взрыва в градусах

Кельвина;

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

- отношение удельных теплоемкостей газов взрыва;

c_p -удельная теплоемкость при постоянном давлении;

c_v -удельная теплоемкость при постоянном объеме.

Температура разогрева T (в градусах Кельвина) газа с исходными параметрами P_0 и T_0 при сжатии до давления P :

$$T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

Из результатов эксперимента следует что распространение ударной волны связано со значительными потерями энергии и физически возможно лишь до тех пор, пока давление на фронте ударной волны превышает модуль объемного сжатия среды, которая переходит в текучее состояние. Практически область распространения ударной волны ограничена 3-7 радиусами заряда. В дальнейшем в среде наблюдается переход ударной волны в волну сжатия (рис. 1), в которой скорость распространения возмущения близка к скорости звука.

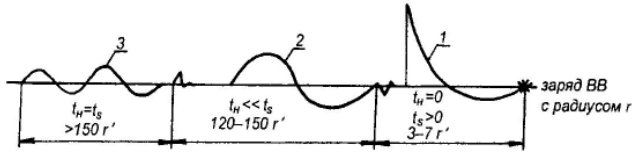


Рис.1. Зоны распространения ударных волн 1, волн сжатия 2 и сейсмических волн 3:
 t_S - время спада напряжений от \max до 0;
 t_H - время нарастания напряжений от 0 до \max ;
 r' -радиус заряда

Параметры воздушной ударной волны, необходимые для более точного описания и расчета процесса ОМД, были получены из следующих выражений:

а) при воздушном взрыве тротилового заряда:

избыточное давление на фронте ударной волны (МПа)

$$\Delta P_{\phi} = 0,084 \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} + 0,27 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{R^2} + 0,7 \frac{Q}{R^3}$$

продолжительность фазы сжатия (с)

$$\tau_+ = 1,5 * 10^{-3} \sqrt[3]{Q} * \sqrt{R}$$

импульс давления в фазе сжатия (МПа*с), отнесенный к поверхности фронта волны площадью 1 м²,

$$i = 4 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{R}$$

б) при наземном взрыве тротилового заряда:

$$\Delta P_{\phi} = 0,1 \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} + 0,43 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{R^2} + 1,4 \frac{Q}{R^3}$$

$$\tau_+ = 1,7 * 10^{-3} \sqrt[3]{Q} * \sqrt{R}$$

$$i = 6,3 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{R}$$

в) при взрыве в штольне сечением S (м²) неограниченной длины

$$\Delta P_{\phi} = 0,146 \frac{\sqrt[3]{Q}}{SR} + 0,92 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{S^2 R^2} + 4,4 \frac{Q}{S^4 R}$$

где Q- масса тротилового заряда (кг);
 R- расстояние от центра взрыва (м).

В большинстве машин ОМД рабочий орган совершает поступательные движения. Усилия, возникающие при деформации рабочего органа во время деформации металлов, всегда должно быть равно сопротивлению деформирования металла.

Полное деформирующее усилие при условии, что оно передается через контактные поверхности получено из выражений:

$$dP_H = \sigma_H \partial F_k$$

$$dP = dP_H \cos \alpha = \sigma_H \partial F_k \cos \alpha$$

$$\partial F_k = \partial F \cos \alpha$$

где ∂F_k - элементарная площадка, выделенная на поверхности контактов;

∂F - проекция площадки ∂F на горизонтальную плоскость.

Тогда

$$dP = \sigma_H \partial F$$

$$P = \iint_F \sigma_H \partial F$$

где σ_H - закон распределения нормальных напряжений на контактной поверхности;

F - проекция площади поверхности контакта на плоскость, перпендикулярную направлению действия внешних сил.

В декартовой системе координат:

$$P = \iint_F \sigma_H dx dy$$

$$P = \iint_F \sigma_H \rho d\rho d\theta(\rho, \theta)$$

Если напряжение является величиной постоянной, то интегрирование не проводится и $P = \sigma_H F$.

Рассчитано среднее удельное

деформирование $P_{cp} = \frac{P}{F} = \frac{\iint_F \sigma_H \partial F}{F}$

По результатам расчетов можно отметить, что наибольшее подходящим вариантом оказалась штамповка взрывом с использованием воды в качестве среды, передающей давление от заряда ВВ к заготовке. Такая гидровзрывная штамповка оптимальна для получения качественной детали с приемлемым показателем точности в мелкосерийном производстве.

Были проведены расчеты нескольких способов (схем) гидровзрывной штамповки. Традиционная схема штамповки показана на рисунке 2а. Штампуемая листовая заготовка 1 укладывается на матрицу 6 и прижимается к ее фланцу с помощью прижимного кольца 5. На определенном расстоянии над заготовкой и установленным над ней зарядом опускается в бассейн 3 с водой 4. Часть энергии, высвобождаемой под действием высокого давления, деформируется, принимая форму матрицы. Для того, чтобы воздух не препятствовал деформированию заготовки, происходящей с большой скоростью, что может отразиться на качестве готовой детали, рабочую полость матрицы под заготовкой вакууммируется с помощью вакуумной системы 7.

Исходя из результатов эксперимента штамповки взрывом в бассейне, были выявлены наиболее подходящие варианты. В первом случае площадь зеркала бассейна практически равна площади заготовки, благодаря чему вся энергия ударной волны используется для формирования заготовки. Во втором случае площадь зеркала бассейна значительно превышает площадь заготовки, и заготовка в своем формоизменении нагружается дважды: сначала прямой ударной волной, а затем отраженной от стенок бассейна.

При формообразовании – раздаче трубчатых заготовок (рис. 2б) воду нужно заливать непосредственно внутрь заготовки, куда помещается затем заряд ВВ.

Для изготовления небольших партий деталей вместо стационарного бассейна актуальными оказались разовые емкости с водой, разрушаемые при взрыве (рис. 2в). Такая емкость, изготовленная из картона или тонколистового металла, устанавливается непосредственно на матрицу и заполняется водой, в которой и осуществляется взрыв заряда ВВ.

Если детали типа днищ просты по форме и не требуют высокой точности изготовления, то вместо матрицы можно применить упрощенную оснастку, состоящую из вытяжного и прижимного колец, между которыми размещается штампуемая заготовка. Возникающий при подрыве заряда импульс давления большой

интенсивности распространяется в жидкости с высокой скоростью и воздействует на заготовку. В районе расположения заряда образуется газовый пузырь, который, пульсируя (расширяясь и сжимаясь), вызывает дополнительные импульсы давления. Из расчетов следует, что величина последних меньше основного импульса давления. Во время пульсации газовый пузырь перемещается поверхности жидкости, а оставшаяся энергия пузыря выделяется в атмосферу. Это явление сопровождается выплеском жидкости. При подрыве заряда ВВ примерно 60% выделившейся энергии приходится на основной импульс давления, 25% - на первые колебания газового пузыря и остальные 15% - на последующие колебания. Приведенные величины могут изменяться в зависимости от размера заряда и типа ВВ. Энергия, которая преобразуется в механическую работу деформации, зависит от размера заряда, типа ВВ, взаиморасположения заготовки, заряда и поверхности жидкости, так как газовый пузырь для каждого заряда имеет вполне определенные размеры. Исследования показали, что при размещении заготовки на расстоянии, меньшем радиуса газового пузыря, можно добиться увеличения энергии формообразования на 60 – 80%.

При подрыве заряда на относительно небольшой глубине газовый пузырь разбивается о поверхность жидкости. Образующиеся при этом отраженные ударные волны ослабляют импульс давления, идущий к заготовке. Поэтому глубина погружения заряда больше максимального радиуса газового пузыря, который соответствует первому периоду колебаний.

Высокие скорости деформирования и удельные давления обеспечивают получение точных, фактически откалиброванных деталей, что снижает до 60% объем трудоемких ручных доводочных работ.

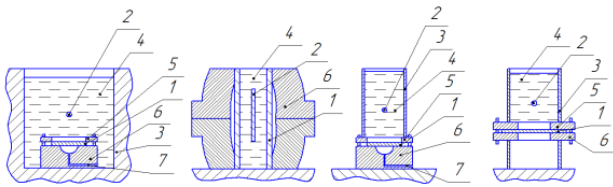


Рис. 2. Основные схемы штамповки взрывом бризантных ВВ:

- а – гидровзрывная штамповка в стационарном бассейне;
- б - гидровзрывная штамповка детали из трубчатой заготовки;
- в - гидровзрывная штамповка в съемном бассейне (разовой емкости);
- г - гидровзрывная штамповка на упрощенной оснастке

С помощью гидровзрывной штамповки можно осуществлять и формообразование нагретого металла. Схема одной из установок, показана на рис. 3.

Матрица, состоящая из двух половин 1, размещена в корпусе 2. Заготовка прижимается в матрице с помощью кольца 4 и клинового устройства 10. Вода 7 наливается в резиновый мешок 8, между стенками которого и пиротехническим составом 11 укладывается асбест 9. Заряд 6, смонтированный из листового и шнурового ВВ, повторяет форму заготовки. Шнур 5 используется для воспламенения пиротехнического состава, с помощью которого осуществляется нагрев заготовки.

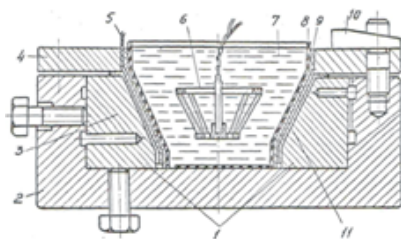


Рис. 3. Схема установки для гидровзрывной штамповки с нагревом

При штамповке труднодеформируемых металлов с нагревом в качестве среды, передающей давление от ВВ к заготовке, рассмотрен песок. На рис. 4 показаны схемы штамповки взрывом в песке. В матрицу 4 с уложенной на нее заготовкой 1 засыпается песок 3, в котором осуществляется взрыв заряда ВВ 2 (рис. 4а). Согласно другим схемам требуемая форма детали достигается штамповкой по пуансону 5, причем заготовка может быть как плоской (рисю 4б), так и предварительно сваренной в виде конструкции сложной формы (рис. 4в).

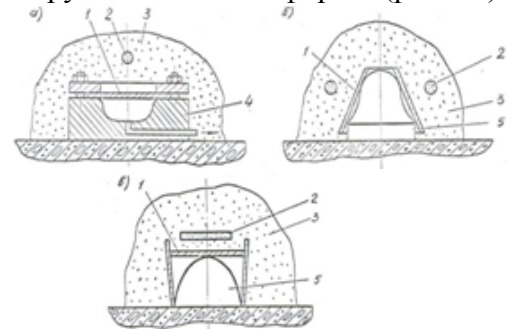


Рис. 4. Схемы штамповки взрывом в песке:

- а – штамповка в матрице;
- б – штамповка деталей из плоской заготовки по пуансону;
- в – штамповка деталей сложной формы из заготовки – конические трубы

Песок засыпается в разрушаемую емкость до высоты расположения заряда ВВ. После этого устанавливается заряд, и емкость продолжает заполняться песком поверх заряда. Песок для штамповки обладает мелкой однородной структурой, без примесей, в противном случае расчет технологического процесса будет затруднен. Было установлено, что увлажненный песок значительно влияет на силовые параметры процесса ОМД, так как плотность песка меняется.

SHAPING PARTS EXPLOSIVE PROCESSES ON CONDITIONS EXACTLY ASSEMBLY AIRCRAFT COMPONENTS

© 2012 S. F. Tlustenko, V. A. Sitnik

At present, for the manufacture of complex structural elements of aircraft in a small-scale production with high accuracy requirements are effective ways of shaping parts explosive processes.

Change of form, plasticity, structure, pressure, equipment, exactness, quality.

Информация об авторах

Тлустенко Станислав Федотович, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: titan250@mail.ru. Область научных интересов: обработка металлов давлением, способы формообразования деталей, сборка авиационных конструкций.

Сытник Владимир Александрович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: vladimir63r@mail.ru. Область научных интересов: обработка металлов давлением, способы формообразования деталей.

Tlustenko Stanislav Fedotovich, Candidate of Technical Science, Associate professor of metal forming, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: titan250@mail.ru. Area of research: metal forming, assembly of aircraft structures.

Sitnik Vladimir Aleksandrovich, student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: vladimir63r@mail.ru. Area of research: treatment of metals, methods of forming of details, pressure.