

УДК 621.7.044

А.П. МЕЛЬНИЧУК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ: ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ В ФОРМУЮЩЕЙ КАМЕРЕ

Рассмотрены возможные варианты нагружающего импульса давления в формующей камере при гидродинамической штамповке, которые различаются по форме, величине максимального давления и продолжительности. Установлены основные характеристики импульса и определены аппроксимирующие зависимости распределения давления при формообразовании тонкостенных осесимметричных оболочек на различных этапах – оформлении основного контура оболочек, оформлении элементов взаимной фиксации и компенсаторов, калибровка оболочек. Обоснована допустимость использования функции давления в формующей камере при оформлении основного контура оболочек в виде $p = p(t)$.

гидродинамическая штамповка, импульс давления, тонкостенная осесимметричная оболочка

В работе [1], основываясь на результатах экспериментальных исследований и опыте промышленного использования методов гидродинамической штамповки (ГДШ), была обоснована необходимость разделения процесса ГДШ тонкостенных осесимметричных оболочек (деталей) на три отличительных этапа: оформление основного контура оболочек, оформление элементов взаимной фиксации и компенсаторов, калибровка оболочек (рис. 1).

Для оформления основного контура оболочки необходим “мягкий” нагружающий импульс давления. Этого можно достичь увеличением массы сна-

ряда и снижением его скорости, вследствие чего возрастает длительность нагружения и деформирования заготовки. При этом скорость ее перемещения уменьшается, что приводит к снижению влияния инерционных сил, уменьшается разнотолщинность оболочки, снижается вероятность потери устойчивости. Уменьшается влияние волновых явлений в передающей среде на характер деформирования заготовки, повышается КПД процесса штамповки. Снижается скорость соударения заготовки с поверхностью матрицы, не искажается геометрия оболочки, имеющей малую жесткость. Уменьшается на-

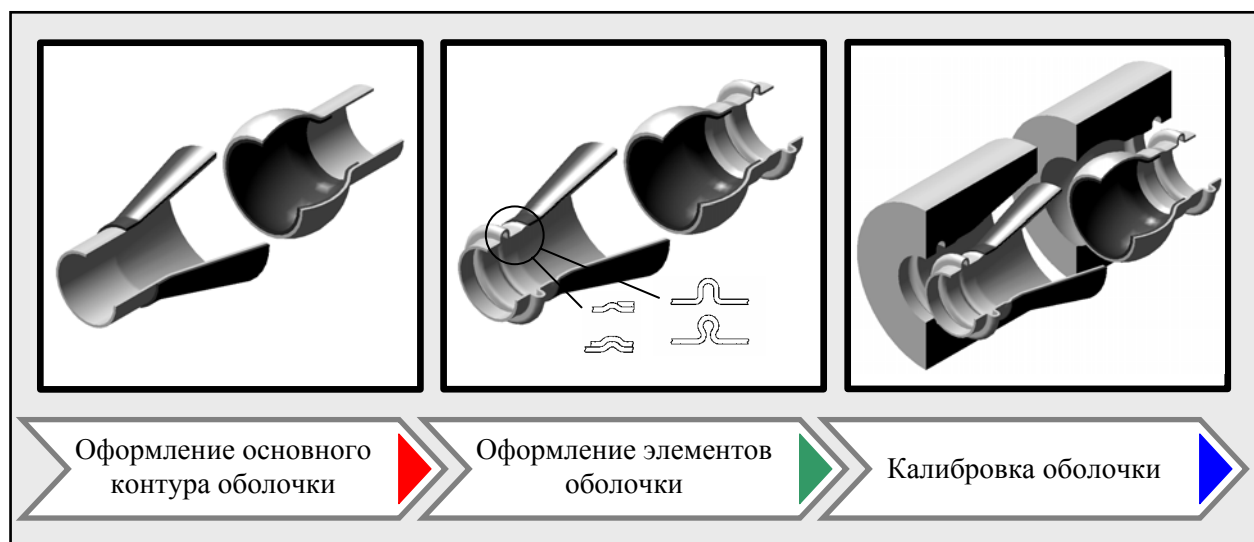


Рис. 1. Этапы формообразования тонкостенных осесимметричных оболочек при ГДШ

грузка на оборудование, повышается стойкость оснастки.

Для реализации процесса формообразования компенсаторов и элементов взаимной фиксации (рифты, пуклевки и т.п.), как элементов оболочки, обладающих большей жесткостью, требуется импульс давления более высокой интенсивности.

Для калибровки, где перемещения оболочки ничтожно малы, необходим жесткий остродинамичный импульс, обеспечивающий калибровочное усилие, что достигается снижением массы снаряда и увеличением его скорости. В этом случае для уменьшения величины пружинения оболочка должна соударяться с поверхностью матрицы с предельной скоростью.

Как показывают результаты экспериментальных исследований и опыт промышленного использования методов гидродинамической штамповки [2, 3], во всех случаях вид функции $p = p(z, t)$ (например, в цилиндрической системе координат) можно разде-

лить (весьма условно) на четыре варианта аппроксимации.

Опыты, проведенные Ю.Г. Мацукиным [2] по растяжке трубчатых заготовок, дают результаты, изображенные на рис. 2, на котором видно, что имеет место выравнивание распределения давления по высоте камеры и поэтому функцию $p = p(z, t)$ допустимо использовать в форме $p = p(t)$.

Функцию $p = p(t)$ при оформлении основного контура оболочки можно представить (рис. 3, а) в виде прямопропорциональной зависимости (до начала падения давления) или в виде синусоидального закона (рис. 3, б):

$$p = p_{\max} \frac{t}{n t_{\max}}; \quad (1)$$

$$p = p_{\max} \cdot \sin \left(\frac{\pi t}{t_{\max}} \right); \quad (2)$$

$$n = \frac{t_p}{t_{\max}}; \quad 0 < n \leq 1, \quad (3)$$

где p_{\max} – максимальное давление;

t_{\max} – продолжительность импульса давления;

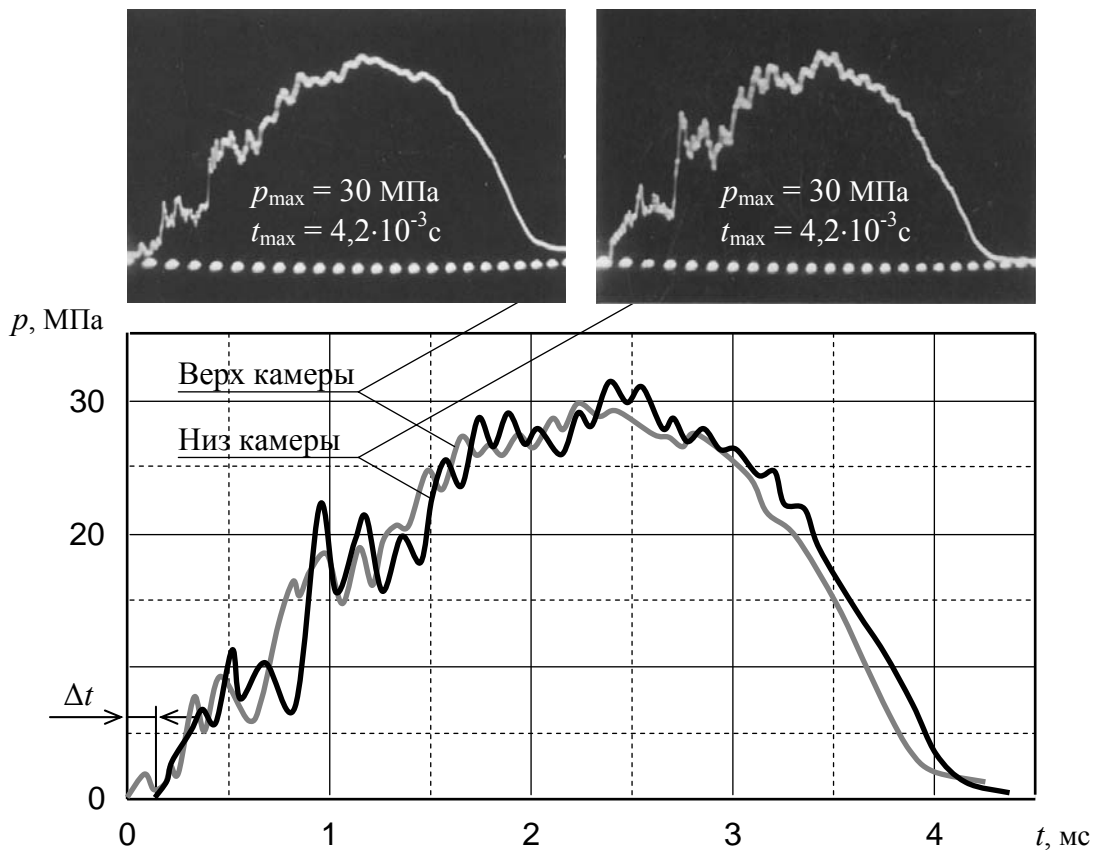


Рис. 2. Импульс давления в формирующей камере, реализуемый при оформлении основного контура при ГДШ тонкостенных оболочек: $p_{\max} = 30$ МПа; $t_{\max} = 4,2 \cdot 10^{-3}$ с; $\Delta t = 0,067 \cdot 10^{-3}$ с

p, t – текущие значения давления и времени импульса;
 t_p – продолжительность рабочей (реализуемой) области импульса давления;
 n – коэффициент, определяющий рабочую об-

ласть импульса.
 На рис. 3, а представлен вариант импульса давления жидкости, действующего на заготовку, при котором нагружение неинтенсивное (мягкое), что приближает процесс деформирования к статическому.

Такие режимы нагружения для процессов ГДШ не являются рациональными, поскольку имеют место большие потери энергии через зазоры, теряется сама сущность процесса гидродинамической штамповки – самопроизвольное запирание зазоров в формующей камере. Реализация более жесткого импульса, т.е. менее продолжительного, но более интенсивного (рис. 3, б) является более приемлемой при оформлении основного контура оболочек методом ГДШ [2, 3].

Однако, при деформировании оболочек, обладающих малой жесткостью, для которых энергетика синусоидального импульса (рис. 3, б) является избыточной, допустимо применение импульса, представленного на рис. 3, а.

Из соотношений (1) и (2) следует, что давление равномерно распределено по высоте камеры. Так, например, при $L = 0,1$ м (длина камеры), $v_e = 1500$ м/с (скорость распространения ударной волны в воде) фазовый сдвиг составляет $\Delta t = 0,067 \cdot 10^{-3}$ с (рис. 2). Поскольку $\Delta t \ll t_{max}$, то соотношение (2) справедливо, его можно считать рациональным и

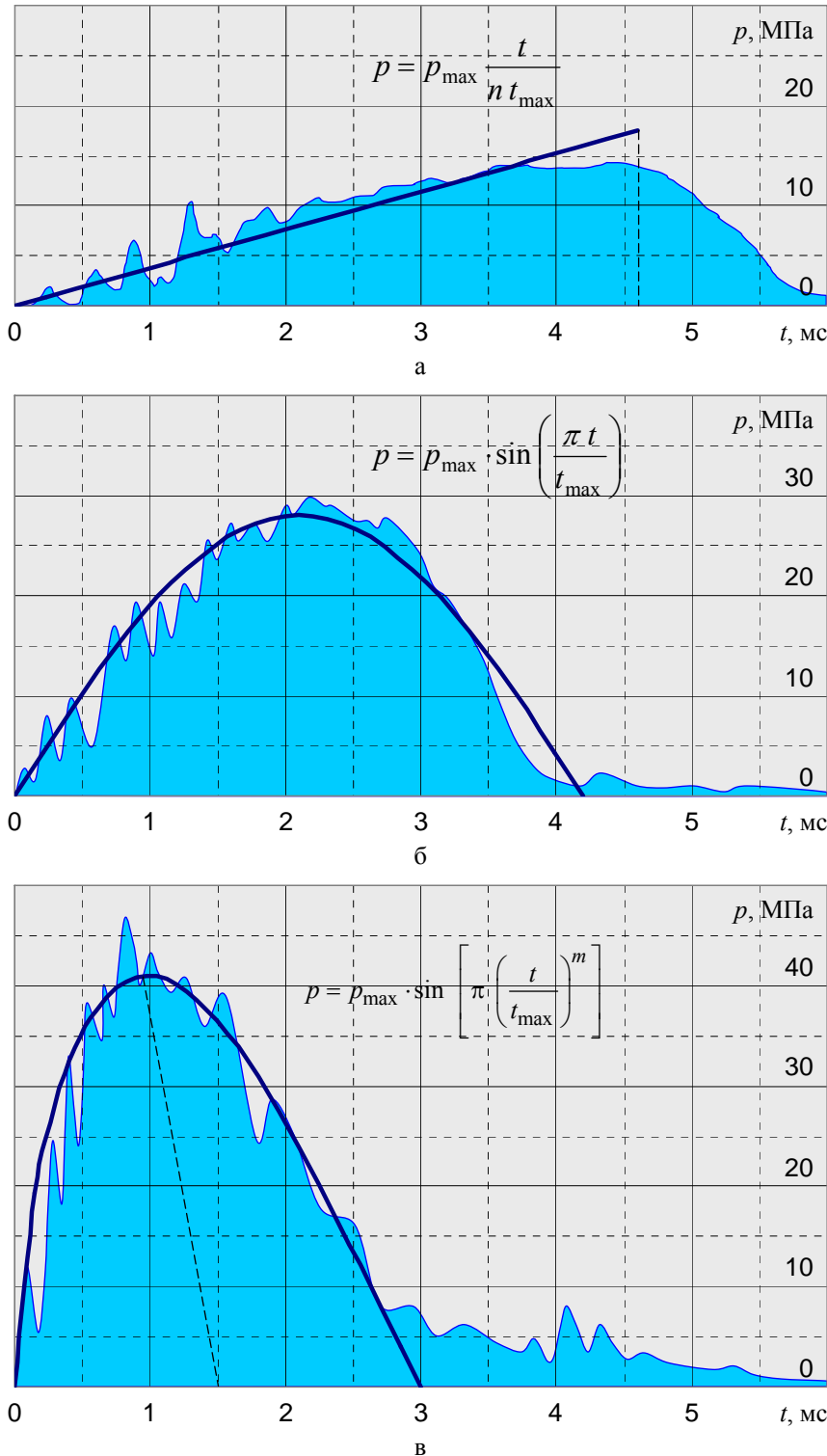


Рис. 3. Варианты аппроксимации функции $p = p(t)$ при ГДШ

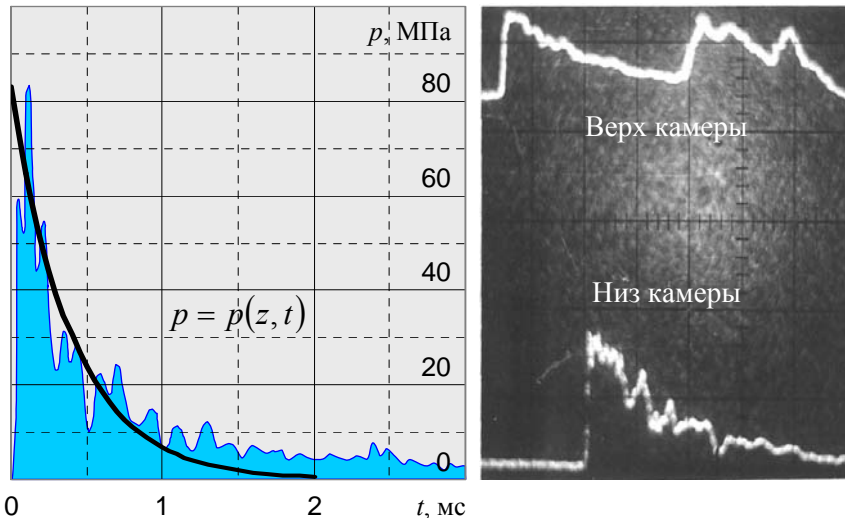


Рис. 4. Калибровочный импульс давления в формирующей камере (отчетливо видно изменение величины давления по высоте камеры)

использовать как функцию нагружения импульсом давления оболочки при оформлении основного контура.

Для реализации формообразования компенсаторов и гофров, где жесткость заготовки значительно выше, чем при оформлении основного контура оболочки, согласно результатам экспериментальных исследований [3], закон изменения импульса давления по времени с некоторыми допущениями может быть представлен функцией $p = p(t)$ в форме искаженной (наклоненной) синусоиды (рис. 3, в), которая аппроксимирована зависимостью вида

$$p = p_{\max} \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{t}{t_{\max}} \right)^m \right]; \quad (4)$$

$$0 < m \leq 1, \quad (5)$$

где m – коэффициент, определяющий угол наклона синусоиды.

При оформлении элементов взаимной фиксации и компенсаторов, где толщина заготовки соизмерима с радиусом ее изгиба, требуется более энергоемкий и жесткий импульс, характеризующийся более интенсивным нарастанием величины давления по времени (рис. 3, в), чем при штамповке маложестких оболочек. Продолжительность импульса давления меньше, чем в случаях, соответствующих рис. 3, а и рис. 3, б, влияние волновых процессов на деформи-

рование заготовки, может быть более существенным и при некоторых параметрах нагружения допущение, что $p = p(t)$, уже нельзя считать приемлемым. Соотношение (4) целесообразно использовать применительно к процессам формообразования компенсаторов.

Калибровка и формовка рифтов, пуклевок и т.п. производится при весьма незначительном приращении объема внутренней полости детали и в условиях необходимости соз-

дания в рабочих камерах высоких давлений.

При решении задачи калибровки и оформления элементов рельефа, требующих импульса высокой интенсивности, функцию давления жидкости в формирующей камере необходимо определять с учетом волновых процессов, протекающих в камере.

Экспериментальные исследования [4] показывают, что функцию изменения давления во времени можно аппроксимировать экспонентой и изменение давления по высоте камеры при этом весьма значительно (рис. 4). Поэтому функцию $p = p(z, t)$ следует определять с учетом взаимодействия снаряда с жидкостью. Решение этой задачи несколько упрощается с учетом относительной малости перемещений заготовки в процессе калибровки.

Результаты исследований наглядно представлены на рис. 5, на котором отображены возможные формы импульса давления в гидравлической камере при ГДШ, их силовые и временные параметры и соответствующие этим импульсам рациональные технологические процесс ГДШ тонкостенных осесимметричных оболочек.

В случае некорректного определения параметров нагружающего импульса, не соответствующего требуемой операции, как показывают эксперименты [5], в итоге не получится качественного изделия, что

объясняется чувствительностью тонкостенных оболочек к отклонениям энергетических параметров процесса от оптимальных.

На рис. 6 отражена динамика изменения по времени t окружных деформаций ε_θ тонкостенной цилиндрической заготовки при нерациональных параметрах нагружения. Здесь отчетливо видно, что значительные деформации ($\varepsilon_{\theta\max} = 0,15$), характерные для операции оформления основного контура оболочки, достигаются нагружением жестким импуль-

сом ($t_{\max} = 2,2$ мс), свойственным калибровке (рис. 4). В результате ярко выраженных волновых процессов давление в жидкости распределено неравномерно по высоте заготовки, что приводит к ее неравномерному деформированию. Оболочка при перемещении подвергается ненужным и губительным для материала изгибам (перегибам), что влияет на ресурсные характеристики готового изделия и требует больших энергозатрат на деформирование. Вследствие резкого нарастания давления на одном

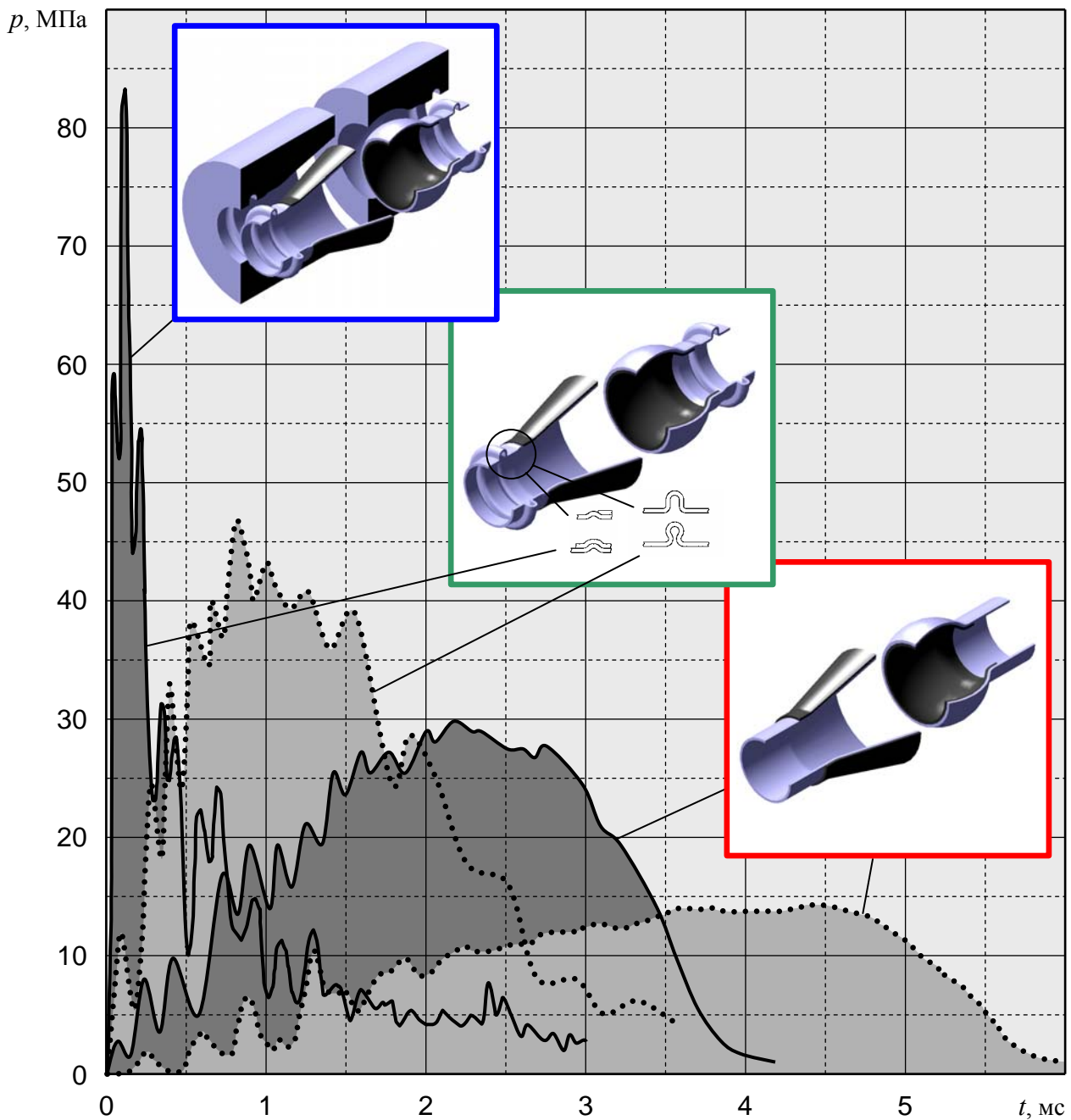


Рис. 5. Возможные варианты импульсов давления жидкости в формирующей камере и область их практического использования при ГДШ тонкостенных осесимметричных оболочек

из торцов существенна разнотолщинность оболочки по ее высоте.

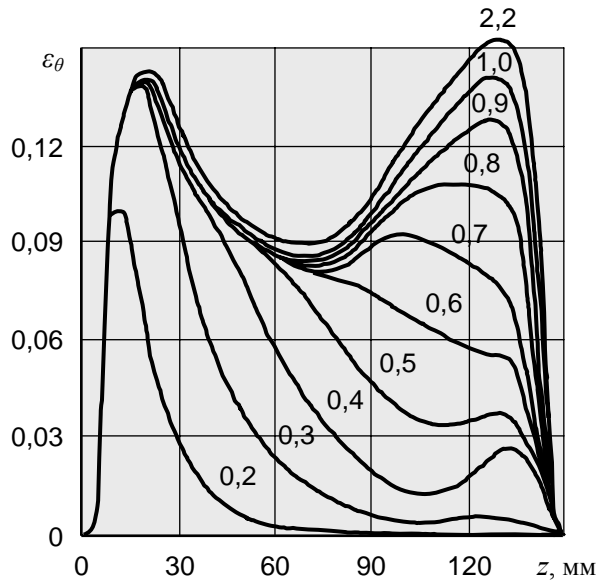


Рис. 6. Положение срединной поверхности цилиндрической заготовки в различные моменты времени ($t, 10^{-3}$ с) при неверно выбранных параметрах нагружения импульсом давления

Следует также отметить, что в относительно глубоких гидравлических камерах имеет место потеря величины давления по высоте камеры. В этом слу-

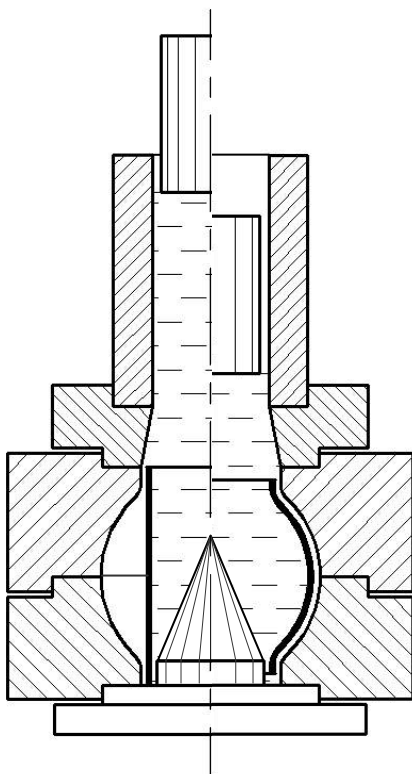


Рис. 7. Схема ГДШ с использованием центральных тел

чае для сохранения равномерного поля давления по высоте камеры в процессах ГДШ широко используют различного типа технологические вставки (центральные тела), которые размещают в рабочей камере и этим обеспечивают перераспределение гидродинамических потоков, а, следовательно и поля давления, что способствует выравниванию величины давления по высоте камеры. Для обеспечения условия $p = p(t)$ чаще всего используют конические и коноидальные осесимметричные вставки (рис. 7) [4].

Литература

1. Мельничук А.П. Исследование процессов гидродинамической штамповки: обоснование принципиального подхода к решению задач деформирования тонкостенных осесимметричных оболочек // Авиационно-космическая техника и технология – 2008. – № 1 (47). – С. 36-39.
2. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 1966. – 223 с.
3. Касьян В.Г. Исследование энергетических и технологических параметров типовых процессов гидродинамической штамповки на пресс-пушках: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 1972. – 181 с.
4. Муравьев С.Д. Разработка, исследование и внедрение технологических процессов калибровки и рельефной формовки на гидродинамических пресс-пушках с интенсификацией внешней нагрузки в формующих камерах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 1985. – 184 с.
5. Родько С.Я. Исследование, разработка и внедрение процессов гидродинамического формообразования тонколистовых деталей летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 1985. – 238 с.

Поступила в редакцию 3.03.2008

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Ю.А. Боборыкин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.