

УДК 621.7.044

А.П. МЕЛЬНИЧУК

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ: ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК

Рассмотрен процесс гидродинамической штамповки (ГДШ) как взаимосвязанная система физических явлений. Обоснована необходимость разделения процесса ГДШ тонкостенных осесимметричных оболочек на три этапа, характеризующихся различными параметрами процесса и отличающихся по постановке и методам решения, – оформление основного контура оболочек, оформление элементов взаимной фиксации и компенсаторов, калибровка оболочек. Предложен и обоснован принципиальный подход к решению задач деформирования тонкостенных осесимметричных оболочек методом ГДШ.

гидродинамическая штамповка, тонкостенная осесимметричная оболочка, формообразование

В общем случае процесс гидродинамической штамповки (ГДШ) представляет собой сложную динамическую систему, для описания которой необходимо комплексно рассмотреть целый ряд разнообразных физических явлений (рис. 1) [1]:

- аккумуляция, преобразование и передача запасенной энергии снаряду;
- динамический разгон снаряда рабочим телом (газовыми, жидкостными субстанциями) и его движение в стволе;
- удар жесткого тела (снаряда) по ограничен-

ному объему жидкости;

- нестационарное движение жидкости, сопровождающееся волновыми и кавитационными явлениями;
- взаимодействие жидкости с изменяющей свою форму и размеры деформируемой заготовкой;
- пластическое течение материала заготовки при высоких скоростях деформирования;
- соударение оболочки с твердой поверхностью матрицы.



Рис. 1. Процесс ГДШ как взаимосвязанная система физических явлений

Математическое описание подобной взаимосвязанной системы явлений представляет собой чрезвычайно сложную задачу, разрешить которую совместно практически не представляется возможным.

Обычно процесс разбивают на модули, охватывающие те или иные физические явления, где результаты решения на предыдущем уровне являются

исходными параметрами для последующего, что соответствует прямому решению задачи. Однако такой подход имеет значительные ограничения по его практическому применению. В качестве исходных параметров задают начальные параметры процесса (пороховой заряд, масса снаряда и т.п.), накладывают граничные условия. Конечный результат

(отштампованную деталь) сопоставляют на предмет соответствия геометрии конструкторскому чертежу, и в случае отклонений корректируют исходные параметры и граничные условия, т.е. достижение требуемого решения носит характер последовательного приближения к истинному, что в подобных сложных разнородных многопараметрических процессах сопряжено с определенными трудностями ввиду множества параметров и условий, влияющих на процесс.

Реализация принципа решения обратной задачи, где исходными параметрами является требуемая геометрия изделия, определяемая конструкторской документацией, а конечным результатом – потребные заряд пороха и масса снаряда, в подобной системе неосуществима в принципе. Это объясняется тем, что доверительный интервал, который является следствием доверительных интервалов для всех параметров входящих в систему, не позволяет определить удовлетворительный результат. В этом случае оправданным можно считать подход, соответ-

ствующий решению “полуобратной” задачи, где требуемые (конечные) параметры определяют значения или диапазон значений исходных (задаваемых) параметров как системы в целом, так и отдельных характерных блоков, в остальном схема соответствует решению прямой задачи.

Принципиально подход к решению подобной “полуобратной” задачи деформирования осесимметричных тонкостенных оболочек методом ГДШ можно представить как совокупность математических (аналитических или численных) и логических решений.

При создании соединений типа сфера-конус (рис. 2) с использованием методов ГДШ возникает необходимость решения задач, которые по постановке и методам решения существенно отличаются друг от друга [2]:

- оформление основного контура сферических и конусных оболочек;
- оформление элементов взаимной фиксации и компенсаторов;
- калибровка сферических и конусных оболочек.

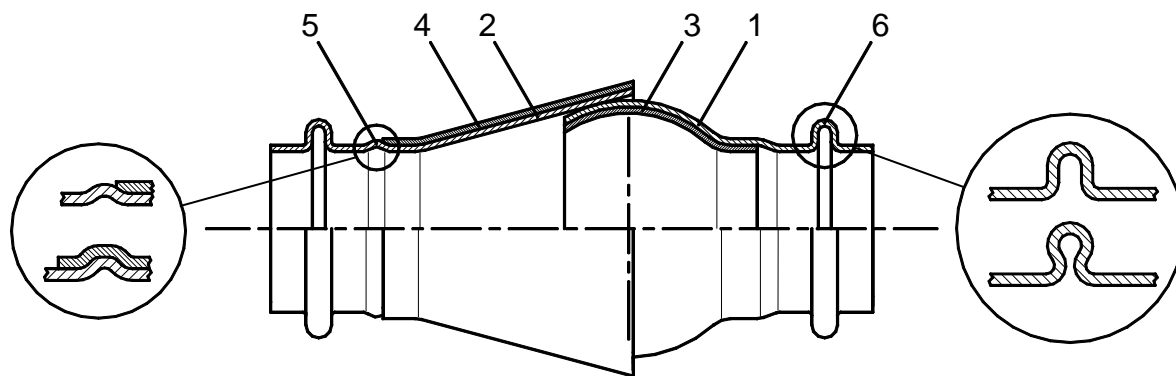


Рис. 2. Усиленное соединение сфера конус высококапacityного трубопровода:

- 1, 2 – основные элементы сферического и конического наконечников;
- 3, 4 – усиливающие элементы сферического и конического наконечников;
- 5 – элементы фиксации (рифты), обеспечивающие взаимную фиксацию внешней и внутренней составляющих элементов;
- 6 – компенсаторы, обеспечивающие компенсацию угловых и линейных перемещений элементов под воздействием эксплуатационных нагрузок

При штамповке деталей из тонкостенных заготовок оптимальным следует считать такое нагружение рабочим импульсом давления, когда при оформлении основного контура детали заготовка подходит к матрице с минимальной скоростью, а затем произ-

ходит оформление элементов рельефа и калибровка давлением более высокой интенсивности. На практике создание таких условий нагружения невозможно. Нельзя за один переход (рабочий цикл) качественно наложить оболочку на матрицу, отформовать

более жесткие элементы и добиться калибровочного эффекта, поскольку это принципиально разные процессы, требующие различных подходов и условий. Поэтому обычно штамповку деталей производят за несколько переходов, первые из которых являются

формообразующими, а последний калибровочным.

В подобных процессах можно считать рациональным разделение операции формообразования на переходы, классифицируя их по характерным отличительным признакам (табл. 1, рис. 3).

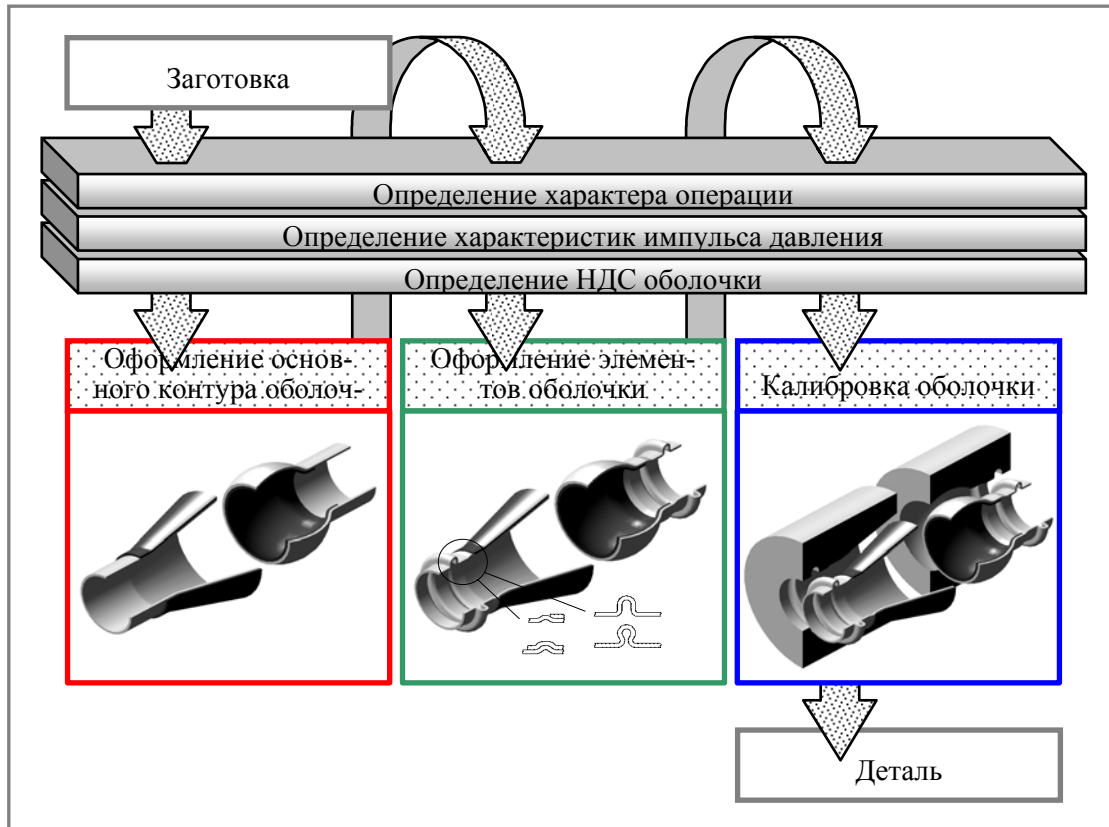


Рис. 3. Схема принципиального подхода к решению задач деформирования тонкостенных осесимметричных оболочек методом ГДШ

Процесс оформления основного (генерального) контура детали характеризуется значительными величинами проштамповки, что при деформировании мало жестких оболочек требует, чтобы нагружающее воздействие было как можно более плавным, приближающимся к статическому. Решение этой задачи возможно с использованием положений классических теорий тонких оболочек и пластического течения в динамической постановке. В большинстве работ, посвященных решению подобных задач, для описания НДС осесимметричных оболочек использованы результаты, полученные в работе [3].

В исследованиях по гидростатическому и гидродинамическому формообразованию деталей рас-

смотрены теоретически и экспериментально процессы получения деталей с рифтами различного направления, с пуклевками и компенсаторами. Рифты, как и пуклевки, могут быть различной формы: сферические, прямоугольной формы, трапециевидные и т.п. Компенсаторы также могут быть различной формы: с прямоугольными полками, тороидальной формы и т.п. При решении задачи описания НДС таких деталей следует учитывать, что для построения расчетной модели нельзя использовать гипотезу Кирхгофа-Лява, поскольку радиусы кривизны отдельных элементов оболочки соизмеримы с толщиной заготовки.

В процессе гидродинамической калибровки осе-

симметричных оболочек необходимо рассматривать две стадии их радиального деформирования [2]:

- движение заготовки под действием импульсного давления;
- соударение заготовки и матрицы, а также их пружинение.

В работе [4] получены соотношения для определения скорости v_c соударения заготовки и матрицы,

которую необходимо реализовать для того, чтобы обеспечить нулевое пружинение заготовки. Однако при превышении скорости соударения свыше определенной предельной величины v_{np} происходит “пластическое сращивание” заготовки с металлической матрицей. Поэтому максимальная скорость подхода заготовки к поверхности матрицы не должна превышать v_{np} (табл. 2).

Таблица 1
Особенности деформирования тонкостенных осесимметричных оболочек при ГДШ

Оформление основного контура сферических и конусных оболочек	Оформление элементов взаимной фиксации и компенсаторов	Калибровка сферических и конусных оболочек
$\frac{\delta}{D} \leq 0,02$; $\delta \ll r_s$; $\frac{\Delta W}{W_0} \geq 0,05$; $3 \text{ мс} < t < 10 \text{ мс}$; $10 \text{ МПа} < p < 50 \text{ МПа}$	$\delta \approx r_s$; $\frac{\Delta W}{W_0} \ll 1$; $1 \text{ мс} < t < 4 \text{ мс}$; $30 \text{ МПа} < p < 100 \text{ МПа}$	$\frac{\Delta W}{W_0} \rightarrow 0$; $0,5 \text{ мс} < t < 1,5 \text{ мс}$; $80 \text{ МПа} < p < 300 \text{ МПа}$
δ – толщина заготовки; D – диаметр заготовки; r_s – радиус кривизны элемента оболочки; ΔW – приращение объема внутренней полости детали; W_0 – начальный объем; p – давление жидкости; t – время действия импульса давления		

Таблица 2

Значения предельной скорости соударения для заготовок из различных материалов

Материал матрицы	Материал заготовки	v_{np} , м/с
Инструментальная сталь	Сталь 12Х18Н10Т	250
	Титановый сплав ОТ4-1	320...350
	Алюминиевый сплав АМгАМ	200

При невозможности обеспечить заданную точность детали при $v_c \leq v_{np}$ следует скорректировать в сторону увеличения диаметр матрицы, компенсируя этим пружинение детали после снятия нагрузки.

Литература

1. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 1966. – 223 с.
2. Кривцов В.С., Мельничук А.П. Особенности описания деформирования тонкостенных цилиндрических деталей при гидродинамической штамповке // Авиационно-космическая техника и технология. – Х., 2001. – Вып. 25. – С. 28-34.

3. Уитмер, Балмер, Лич, Пиан. Большие динамические деформации балок, колец, пластин и оболочек // Ракетная техника и космонавтика. – 1963. – № 8. – С. 111-123.

4. Громова А.Н., Сотников В.С. и др. Исследование механизма калибровки кольцевых деталей при импульсных процессах штамповки. – М.: НИАТ, 1973. – 244 с.

Поступила в редакцию 1.02.2008

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