

УДК 621.771

## АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ ТОРООБРАЗНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРОЦЕССАМИ ВЫТЯЖКИ И ОТБОРТОВКИ

Сулейманова И. Р., Шляпугин А. Г.

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

В современных компоновках жидкотопливных ракет-носителей помимо горючего и окислителя используются такие компоненты, как жидкий азот и перекись водорода. Баки с этими компонентами ввиду сложной конструктивной схемы двигателя являются по своей геометрии торами (рисунок 1), и вследствие этого их изготовление является достаточно трудоёмким, материало- и энергозатратным. При изготовлении торообразных конструкций во время вытяжки образуется дефект «гофры». Это возникает из-за того, что между пуансоном и матрицей образуется свободный участок, на котором металл находится в свободном состоянии.

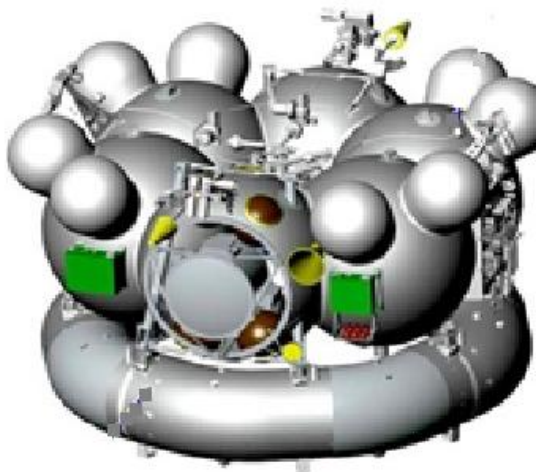


Рис. 1. Разгонный блок «Фрегат»

Избежать образования гофр за счёт использования давления прижима не удаётся, в связи с чем в технологическом процессе присутствует операция калибровки, предназначенная для разводки гофр.

Чтобы уменьшить вероятность образования складок, необходимо изменить соотношение между деформациями, уменьшив долю деформаций сжатия. Добиться этого можно применением кольцевой заготовки, которая позволит не только устранить гофрообразование, но и сократить количество переходов при вытяжке полутора до одного за счёт перемещения металла из центральной части заготовки (рисунок 2).

При вытяжке полутора из сплошной заготовки под действием сжимающих тангенциальных напряжений происходит потеря устойчивости фланца и образование гофр. При вытяжке кольцевой заготовки вследствие отбортовки схема напряжённого состояния на фланце изменяется на двухосное растяжение, что является необходимым условием устранения гофрообразования. Однако, в данном случае необходимо контролировать, чтобы увеличение отверстия не сопровождалось образованием разрывов из-за исчерпания пластичности на кромке.

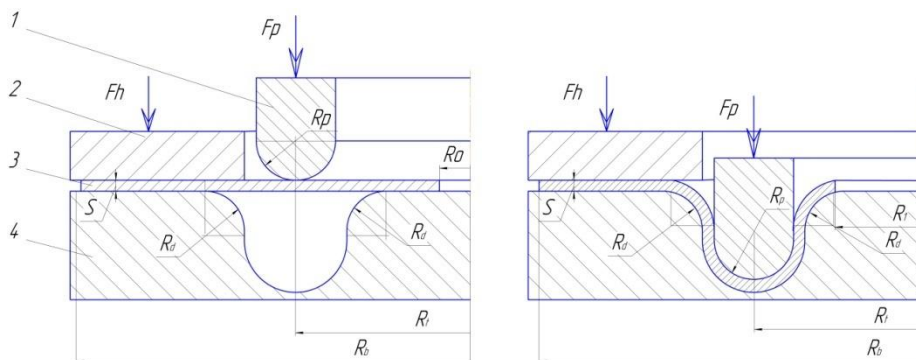


Рис. 2. Схемы вытяжки полутора из кольцевой заготовки:  
 $F_h$  – Force on blank-holder,  $F_p$  – Force on punch,  $R_0$  – радиус отверстия;  
 $R_i$  – «вершина» полутора;  $R_d$  – радиус скругления матрицы;  
 1 – пуансон, 2 – прижим, 4 – кольцевая заготовка, 5 – матрица

Моделирование проводилось в программном продукте Pam-Stamp. Созданы три контактные пары: пуансон-заготовка, прижим-заготовка, матрица-заготовка, трение на которых подчиняется закону Кулона (коэффициент трения принят равным 0,10). К прижиму в направлении оси Z приложено постоянное усилие равное 250 кН. Пуансон перемещается с постоянной скоростью по направлению оси Z, матрица – неподвижна. Пуансон, матрица и прижим считаются жёсткими телами.

Наружный радиус заготовки равен 516,5 мм. В ходе моделирования выполнялось варьирование радиусом отверстия в кольцевой заготовке: 200, 300 и 400 мм.

На рисунке 3 приведены графики распределения утонения по образующей полутора в зависимости от диаметра исходного отверстия. Видно, что для заготовки с отверстием 200 и 300 мм есть участок опасного сечения, в котором происходит интенсивное утонение материала. Этот участок заготовки соответствует перегибу на внутреннем радиусе матрицы. На практике при вытяжке без отверстия на данном участке проявляется трещина. С увеличением радиуса отверстия более 300 мм утонения в данном участке не происходит.

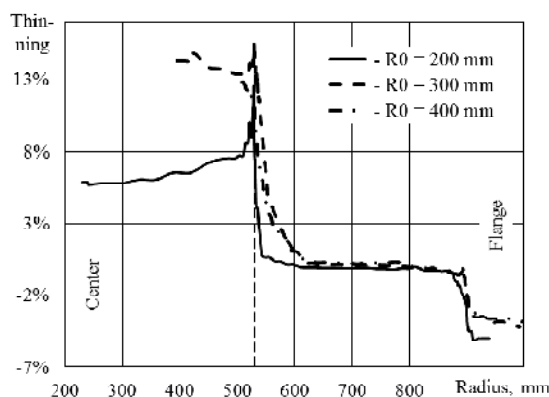


Рис. 3. Утонение при вытяжке кольцевой заготовки

Проведённое моделирование вытяжки полутора из кольцевой заготовки позволило установить следующие особенности процесса.

- Использование кольцевой заготовки снижает вероятность образования гофр на свободном участке по сравнению с вытяжкой круглой заготовки.

- Размер отверстия в заготовке оказывает значительное влияние на распределение деформаций вдоль образующей отштампованной детали.