

УДК 621.7.04

ПНЕВМОТЕРМИЧЕСКАЯ ФОРМОВКА В РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ РИФТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛИСТА

©Мироненко Владимир Витальевич; Колесников Алексей Владимирович;

Максименко Никита Владимирович; Станиславчик Алёна Сергеевна

Иркутский Государственный Технический Университет. Россия, г. Иркутск

Котов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук

Представительство компании ESI Group в Российской Федерации, Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина. Россия, г. Екатеринбург

Статья поступила 20.09.2013 г.

Проанализирована возможность изготовления двух деталей с рифтами на падающих молотах и пневмотермической формовкой в режиме сверхпластичности. Сделан вывод о рациональности метода изготовления деталей с рифтовыми элементами.

Ключевые слова: Пневмотермическая формовка листовых деталей; эффект сверхпластичности; вытяжка на падающих молотах.

В конструкции самолета весьма актуально использование рифтов в качестве конструктивных элементов, повышающих жесткость листовых деталей без изменения массы. Рифт формируется за счет перераспределения объема металла в зоне его расположения, т.е. за счет уменьшения толщины листа в этой зоне, для чего необходимы большие степени деформации растяжения. Суммируясь с деформациями, возникающими при формировании сложной поверхности детали, они могут достичь критических значений для применяемых материалов. Возможность получения больших степеней деформации существенно усложняет процесс их изготовления.

Анализ жесткости и поиск технологических процессов, обеспечивающих изготовление качественных деталей 1 и 2 с рифтами (рис. 1), выполнялся с использованием виртуального моделирования с помощью программного комплекса RAM-STAMP 2G французской фирмы ESI Group.

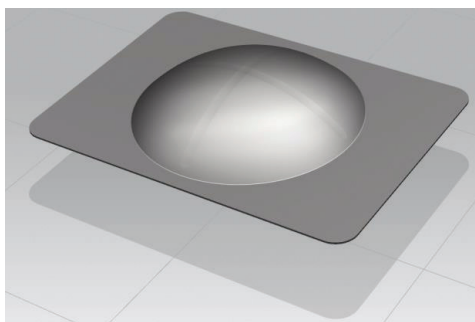
Для оценки жесткости деталей принята расчетная схема равномерного нагружения давлением (0,01 МПа) всей поверхности детали и жесткого закрепления ее торцов. Распределение толщины рассчитывали в соответствии с законом постоянства объема. В качестве критерия оценки жесткости использована величина прогиба в каждой точке поверхности в перпендикулярном направлении.

По результатам моделирования получили распределение толщины и жесткость исходной формы деталей 1 и 2 (рис. 2 и 3). Минимальная толщина на детали 1 составила 1,22 мм (утонение 18,7%), на детали 2 – 0,67 мм (утонение 16,25%).

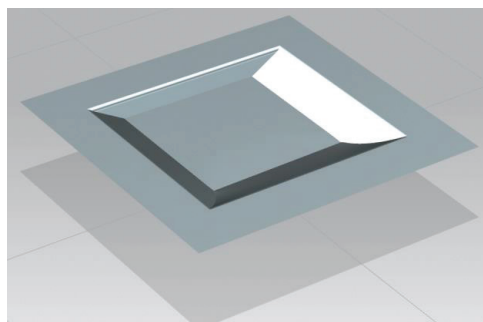
Для анализа жесткости и технологического процесса деталь 1 была дополнена двумя рифтами, деталь 2 – пятью рифтами (рис. 4).

В результате расчета по ранее описанной схеме были получены утонения на детали 1 – 51,35%, на детали 2 – 37,5% и прирост жесткости, т.е. снижение величины прогиба в перпендикулярном направлении в каждой точке поверхности (рис. 5).

Таким образом, несмотря на утонение, жесткость детали 1 повысилась на 14%, детали 2 – на 20% без изменения их массы.



Деталь 1, материал АМг6, толщина 1,5 мм



Деталь 2, материал ВТ20, толщина 0,8 мм

Рис. 1. Модели деталей исходной формы без рифтов

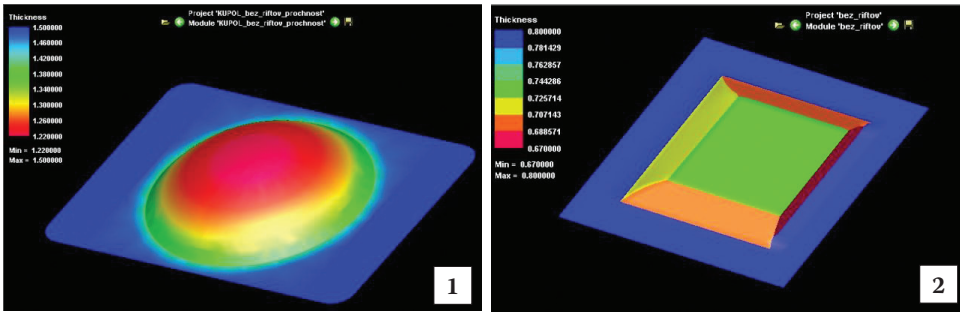


Рис. 2. Распределение толщин на деталях 1 и 2 без рифтов

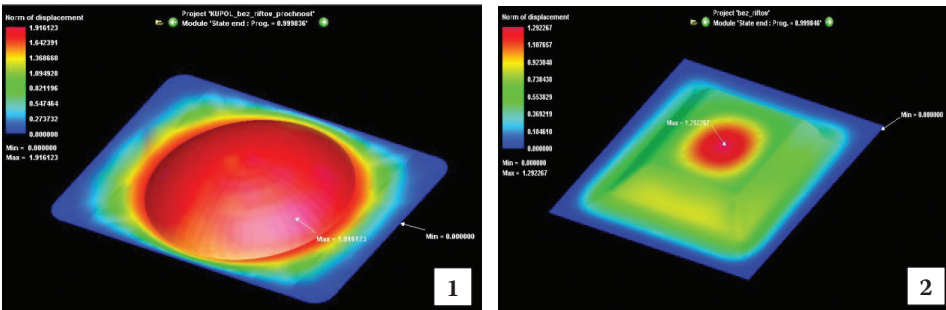


Рис. 3. Максимальная величина прогиба на деталях 1 и 2 исходной формы (красный цвет) 1,9 и 1,29 мм соответственно

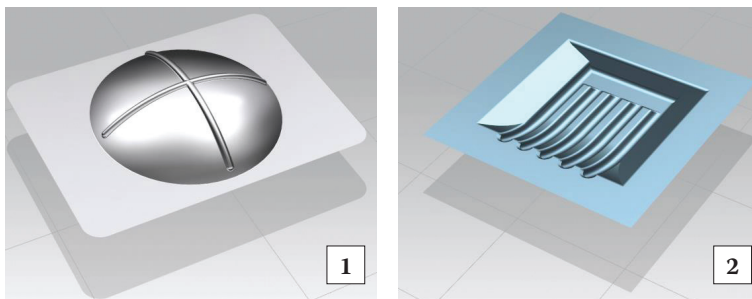


Рис. 4. Модели деталей с рифтами

а

б

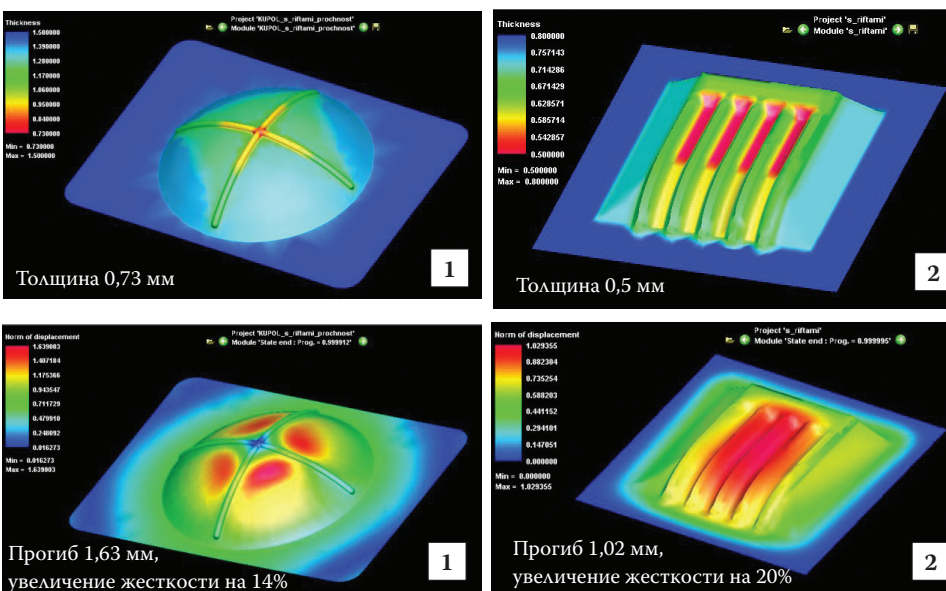


Рис. 5. Распределение минимальных значений толщины (а) и максимальных значений прогиба (б) на деталях с рифтами (красный цвет)

Выбор вариантов процессов формообразования деталей с рифтами выполнен на основе моделирования с использованием программного комплекса PAM-STAMP 2G.

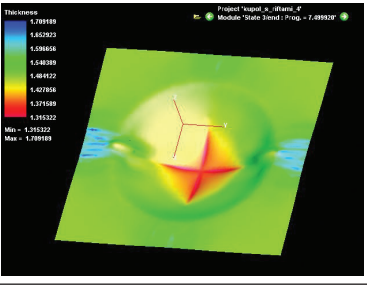
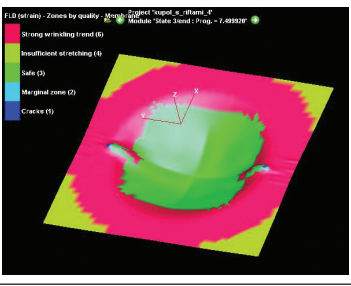
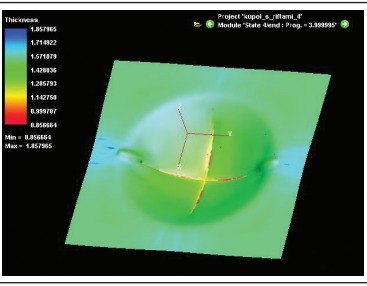
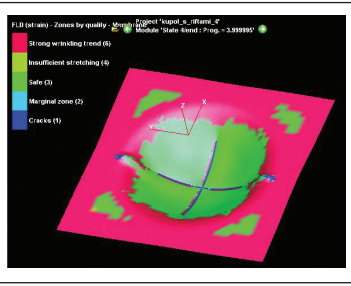
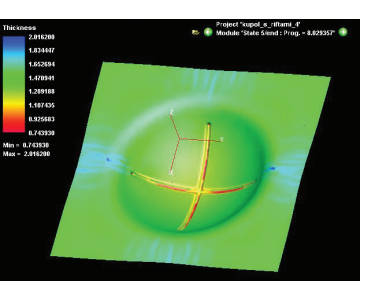
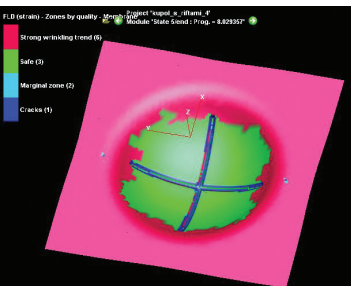
Традиционно подобные детали штампуются на листоштамповочных молотах. Формообразование деталей на листоштамповочном молоте было смоделировано с учетом следующих допущений:

- не учитывается влияние скорости деформации на напряжение;
- ограничивающие подкладки моделируются свойствами модели материала Mooney–Rivlin;
- окончание удара определяется ограничением хода пуансона;
- температура (в случае моделирования детали 2) считается постоянной в процессе формообразования, свойства материала заданы при температуре формообразования (700°С);

– пластическая часть кривой течения задана через функцию Kyrpkowsky law ($\sigma = K (\epsilon_0 + \epsilon_p)^n$, где K – коэффициент прочности; n – коэффициент упрочнения; ϵ_0 – начальный уровень деформации; ϵ_p – текущий уровень деформации, σ – текущий уровень напряжения).

В результате моделирования процесс штамповки детали 1 без нагрева осуществляется за пять ударов. Максимальное утонение составляет 50,67%, растяжение пре-

Таблица 1. Результаты моделирования процесса штамповки детали 1 на листоштамповочном молоте

	Распределение толщины	Степень деформации
3-й удар		
	Минимальная толщина 1,31 мм (красный цвет), утонение 12,67%	Превышение деформационной способности материала (синие зоны)
4-й удар		
	Минимальная толщина 0,85 мм (красный цвет), утонение 43,3%	Развитие у основания гофров и появление в центре детали на пересечении рифтов (синие зоны)
5 удар		
	Минимальная толщина 0,74 мм (красный цвет), утонение 50,67%	Превышение деформационной способности материала, окончательное формирование на рифтах (синие зоны)

вышает деформационные способности материала, т.е. деталь разрывается по рифтам. Результаты моделирования последних трех ударов по толщине детали и степени деформации показаны в табл. 1, откуда видно, что деталь 1 не может быть изготовлена путем вытяжки на листоштамповочном молоте.

Аналогичные результаты получены при моделировании детали 2. Деталь получается за пять ударов с нагревом до 700 °С. Максимальное утонение и критические точки степени деформации сосредоточены в местах рифтов и проявляются на 4-м и 5-м ударах, это говорит

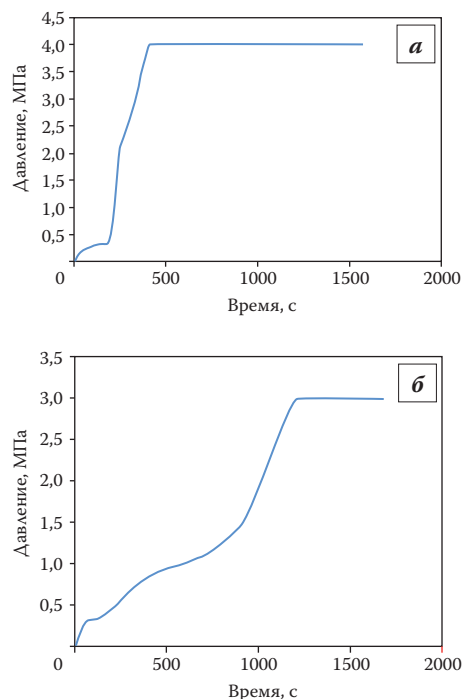


Рис. 6. Зависимость изменения формирующего давления от времени формирования детали 1 (а) и детали 2 (б)

о невозможности изготовления этой детали с рифтами путем вытяжки на листоштамповочном молоте. Результаты моделирования последних трех ударов показаны в табл. 2.

Для изготовления деталей 1 и 2 в качестве альтернативного варианта рассматривается процесс пневмотермической формовки (ПТФ) в режиме сверхпластичности. При моделировании процесса ПТФ в программном комплексе RAM-STAMP 2G ис-

пользовалась упрощенная модель поведения материала в режиме сверхпластичности в соответствии с выражением*:

$$\sigma = K\dot{\epsilon}^m,$$

где K – коэффициент пропорциональности; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации; m – модуль скоростного упрочнения; σ – напряжение.

Характеристики материала деталей 1 и 2, необходимые для моделирования, указаны в табл. 3.

Для моделирования принято допущение, что формообразование ведется только за счет утонения заготовки. Результат моделирования процес-

Таблица 2. Результаты моделирования детали 2 на падающих молотах

	Распределение толщин	Степень деформации
3-й удар	<p>Минимальная толщина 0,54 мм (красный цвет), утонение 32,5%</p>	<p>Отсутствие синих зон, показывающих превышение деформационной способности материала и появление трещин</p>
4-й удар	<p>Минимальная толщина 0,45 мм (красный цвет), утонение 43,75%</p>	<p>Образование синих зон точно на концах рифтов в глубине детали</p>
5-й удар	<p>Минимальная толщина 0,2 мм (красный цвет), утонение 75%</p>	<p>Образование синих зон на переходных радиусах рифтов</p>

Таблица 3. Параметры материалов для сверхпластичного формования

Характеристики	Деталь 1	Деталь 2
	АМг6 (температура формовки 420 °С)	ВТ20 (температура формовки 900 °С)
Модуль Юнга	26000 МПа	112000 МПа
Коэффициент Пуассона	0,333	0,333
Плотность, кг/мм ³	2,6·10 ⁻⁶	4,5·10 ⁻⁶
Коэффициент пропорциональности K, МПа	272,86	313,864
Скорость деформации $\dot{\epsilon}$	0,0025	0,0016**
Модуль скоростного упрочнения m	0,38	0,32**
Максимальное относительное удлинение	240%	400%**

**Новиков И.И., Портной В.К. Сверхпластичность сплавов с ультрамелким зерном. М.: Металлургия, 1981.

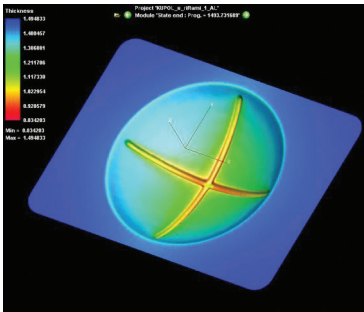
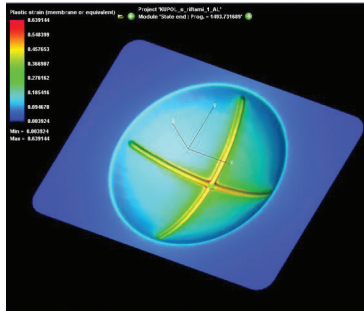
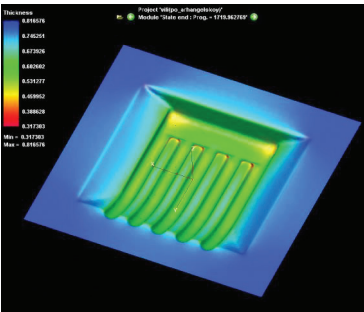
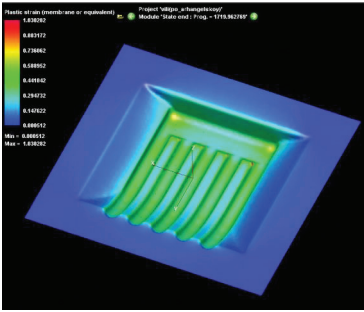
са ПТФ детали 1 показал, что деталь получается без дефектов, деформационная возможность материала не превышена, утонение не критично для данного процесса (табл. 4), а также получен закон изменения формирующего давления от времени процесса (рис. 6, а). График рассчитан с учетом условия постоянства скорости деформации и ограничения оборудования по максимальному давлению. Время формования составило 1493 с и максимальное давление 4 МПа.

В результате моделирования процесса формования детали 2 получены аналогичные результаты, деталь получается без дефектов (табл. 4). Получен график изменения формирующего давления от времени процесса с учетом условия постоянства скорости деформации (рис. 6, б). В результате



Рис. 7. Изготовленные детали

Таблица 4. Результаты моделирования процесса формовки деталей 1 и 2

Время формовки, с	Распределение (красный цвет)	
	толщин	деформации
1493	<i>Деталь 1</i>	
	 <p>Минимальная толщина 0,83 мм; утонение 44,67%</p>	 <p>Максимальная деформация 63,91%; максимальная деформационная способность материала 240%</p>
1719	<i>Деталь 2</i>	
	 <p>Минимальная толщина 0,31 мм; утонение 61,25%</p>	 <p>Максимальная деформация 103%; максимальная деформационная способность материала 400%</p>

время формования составило 1719 с с учетом калибровочной выдержки 500 с и максимальное давление 3 МПа.

По полученным графикам зависимости давления от времени, были изготовлены детали на лабораторной установке для пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности FSP 60T (рис. 7).

Заключение. Моделирование процесса изготовления деталей с рифтами показало, что штам-

повка на листоштамповочном молоте невозможна из-за появления трещин и разрывов на рифтах, а возможна способом пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности. Изготовленные детали с рифтами без дефектов подтвердили результаты моделирования.

Для изготовления листовых деталей с рифтами со сложным рельефом поверхности рекомендуется использовать метод ПТФ в режиме сверхпластичности.

PNEUMOTHERMAL FORMING IN A MODE OF SUPERPLASTICITY OF RIFT DESIGNS FROM A SHEET

© Mironenko V.V.; Kolesnikov A.V.; Maksimenko N.V.; Stanislavchik A.S.; Kotov V.V., Cand. Sc. (Eng.)

The possibility of manufacturing of two rift parts using trip hammers and pneumothermal forming in a mode of superplasticity was analyzed. The conclusion about rationality of manufacturing method of rift parts was made.

Keywords: sheet pneumothermal forming; superplastic effect; trip hammer drawing.