

УДК 621.7.04

ВЛИЯНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СВОБОДНОЙ ЧАСТИ ЗАГОТОВКИ НА ПРОЦЕСС ПНЕВМОТЕРМИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ В РЕЖИМЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

© **Шмаков Андрей Константинович**, канд. техн. наук; **Мироненко Владимир Витальевич**; **Киришина Кристина Константиновна**; **Станиславчик Алёна Сергеевна**

ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет». Россия, г. Иркутск.

Котов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук

Представительство компании ESI Group в РФ, исполнительный директор

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина. Россия, г. Екатеринбург.

E-mail: viacheslav.kotov@esi-group.com

Статья поступила 25.12.2012 г.

Приведены результаты двух экспериментов пневмотермической формовки ячеистой детали из материала ОТ4-1 в режиме сверхпластичности. Выявлено, что в случае модели, при которой напряжения напрямую зависят от скорости деформации, нужно учитывать параметр средней скорости движения свободной части заготовки.

Ключевые слова: пневмотермическая формовка листовых деталей; эффект сверхпластичности; температурно-скоростные условия деформации.

Процесс пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности не возможен без строгого соблюдения параметров формовки, которые определяют в результате моделирования процесса и построения графика изменения давления по времени с учетом постоянства скорости деформации. Для расчета и построения этого графика обычно используется модель материала, в которой напряжения напрямую зависят от скорости деформации [1]

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

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

Эта модель достаточно упрощенно учитывает поведение материала при пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности, и многие факторы остаются неучтенными. Для исследования такого неучтенного фактора, как средняя скорость движения свободной части заготовки, выбрана ячеистая деталь толщиной 1 мм из материала ОТ4-1 (рис. 1).

Первым этапом исследования детали является создание КЭМ заготовки и оснастки. Для этой цели была использована САД-система Siemens NX и получена геометрия элементов формообразования (рис. 2).

В качестве САЕ-системы для моделирования процесса пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности использован программ-

ный комплекс PAM-STAMP 2G французской фирмы ESI Group. Для осуществления моделирования в этом программном комплексе в соответствии с описанной выше моделью были заданы следующие параметры материала ОТ4-1:

- модуль Юнга – 112 ГПа;
- коэффициент Пуассона – 0,333;
- плотность – $4,5 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³;
- коэффициент пропорциональности – 0,114116 ГПа;
- скорость деформации – 0,004 с⁻¹ [2];
- модуль скоростного упрочнения – 0,38 [2].

Заданным граничным условием в процессе моделирования является формовка заготовки только за счет утонения. Для выполнения этого условия использован метод полного закрепления кромок заготовки, что обеспечивает ее деформирование только за счет изменения толщины.

Для нагружения заготовки использован метод жидкой ячейки, деформирующей заготовку без дискретизации жидкостной среды. Для математического моделирования жидкостной среды заданы следующие параметры (рис. 3):

- модуль объемной деформации – 2 (применяется для расчета изменения давления);
- начальный объем жидкости – $1 \cdot 10^8$ мм³;
- максимальное давление жидкости – 10 ГПа;
- средняя скорость движения свободной части заготовки – 3 мм/с;
- коэффициент останковки расчета по степени контакта жидкости с заготовкой – 0,99 (т.е. при

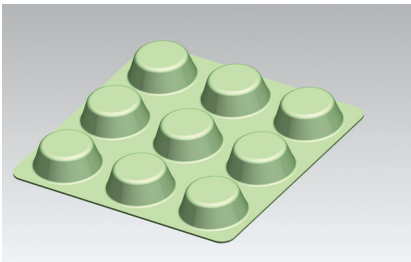


Рис. 1. Исследуемая деталь

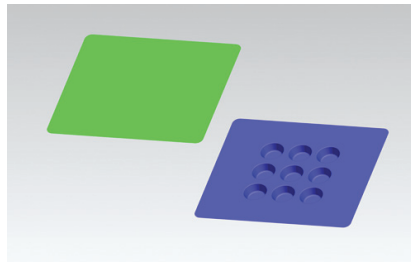


Рис. 2. Заготовка и оснастка для исследуемой детали

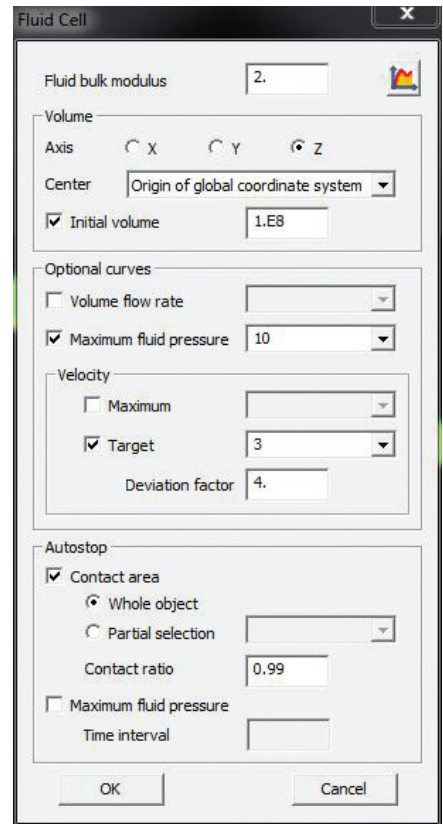


Рис. 3. Задание параметров жидкой ячейки

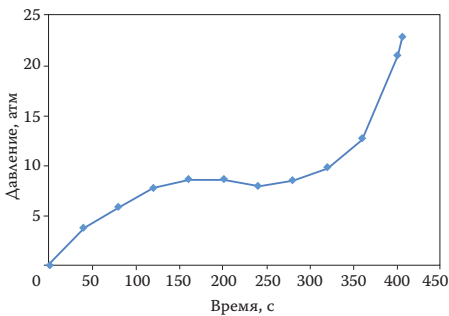


Рис. 4. График изменения давления во времени, полученный по результатам моделирования



Рис. 5. Деталь, полученная в результате эксперимента в соответствии с графиком (см. рис. 4)

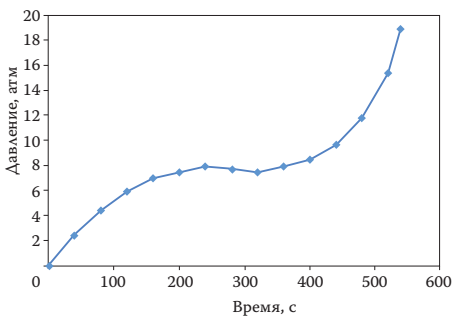


Рис. 6. График изменения давления во времени, полученный по результатам моделирования процесса с уменьшенной средней скоростью движения свободной части заготовки



Рис. 7. Деталь, полученная в результате эксперимента в соответствии с графиком (см. рис. 6)

99% контакта жидкости с заготовкой расчет останвится).

В результате моделирования процесса формовки исследуемой детали была определена зависимость давления от времени, обеспечивающая постоянство скорости деформации, в которой максимальное давление составило 22,9 атм и время формовки 405 с (рис. 4).

По параметрам, полученным в результате моделирования, проведен эксперимент. Произведена пневмотермическая формовка листа титанового сплава ОТ4-1 при температуре 910 °С в соответствии с графиком изменения давления во времени. В результате эксперимента при задан-

ных параметрах процесса форма детали не была получена (рис. 5) – деталь, что называется, «вышла из режима».

Это, в первую очередь, видно по большому размеру зерна в очаге деформации, а также по возникшим на детали двум трещинам. Самым обычным при таких дефектах выводом является уменьшение скорости деформации в модели и получение детали за большее время. Однако был выбран альтернативный вариант – была изменена средняя скорость движения свободной части заготовки с 3 мм/с на 1 мм/с.

Все остальные данные были оставлены без изменения. В результате получен иной график изменения давления во времени, в соответствии с которым деталь формируется за большее время (рис. 6).

В соответствии с результатом моделирования процесса по второму варианту с уменьшением скорости движения свободной части заготовки получено максимальное давление 18,9 атм и время формовки 538 с. По этому графику был проведен второй эксперимент на том же материале. В результате была получена деталь без дефектов (рис. 7).

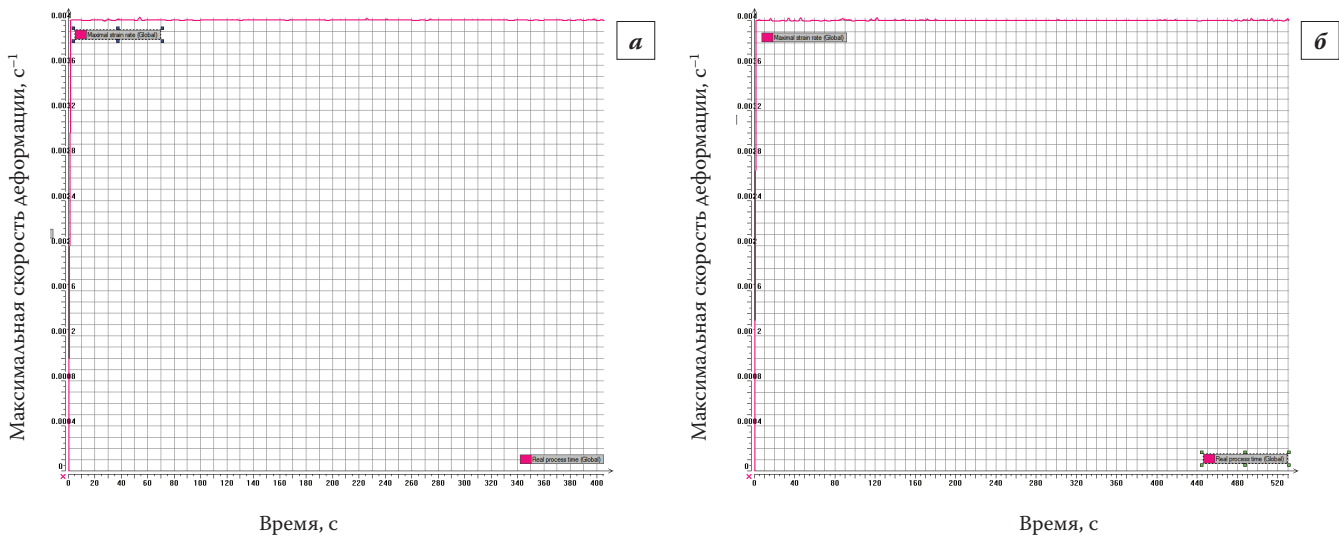


Рис. 8. Графики зависимости скорости деформации от времени по первой (а) и второй (б) моделям

Самое логичное по этим результатам предположить, что средняя скорость движения свободной части заготовки влияет на скорость деформации в модели и уменьшает ее. По моделям двух вариантов процессов были построены графики зависимости максимальной скорости деформации от времени. Анализ графиков показал, что скорость деформации одинакова и постоянна в первом и втором случаях (рис. 8).

Вывод. По составленным моделям и проведенным экспериментам видно, что при использовании модели, в которой напряжения напрямую зависят от деформации, важно учи-

тывать такой параметр, как средняя скорость движения свободной части заготовки, так как ее оптимальное значение обеспечивает получение качественной детали с заданными параметрами.

Библиографический список

1. Чумаченко Е.Н., Смирнов О.М., Цепин М.А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии. М.: Ком Книга, 2009. 320 с.
2. Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.

THE INFLUENCE OF THE AVERAGE SPEED OF THE FREE PART OF THE WORKPIECE ON THE PROCESS OF FORMING PNEVMO TERMICHESKOY MODE SUPERPLASTICITY

© Shmakov A.K., PhD; Mironenko V.V.; Kirishina K.K.; Stanislavchik A.S.; Kotov V.V., PhD

The results of two experiments for pneumothermal forming for cellular details from material OT4-1 at mode of superplasticity are given. It is revealed, that in the case of model at which the pressure is directly dependent on the strain rate, it is necessary to take into account a mean velocity of movement of free part of workpiece.

Keywords: pneumothermal forming of sheet details; effect of superplasticity; temperature-speed conditions of deformation.