

УДК 621.7.04

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК СО СКОльзящей КРОМКОЙ И САМОГЕРМЕТИЗАЦИЕЙ

© Мироненко Владимир Витальевич¹, e-mail: mironenko_vv@istu.edu;Осипов Сергей Александрович², e-mail: osipov_sa@istu.edu;Ершов Александр Алексеевич³, e-mail: eaa@plm-ural.ru¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, г. Иркутск² Иркутский государственный технический университет. Россия, г. Иркутск³ ГК «ПЛМ Урал». Россия, г. Екатеринбург

Статья поступила 07.11.2016 г.

На примере трех деталей показано применение и достоинства метода формообразования с перемещающейся кромкой. Показаны проблемы, возникающие при использовании данной технологии, и пути их решения. Показаны задачи, решаемые путем применения данной технологии.

Ключевые слова: пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности; формовка трубчатых заготовок.

Изготовление деталей со сложными элементами из трубчатой заготовки сопровождается значительными утонениями и степенями деформации, зачастую превышающими допустимые значения. Поэтому поиск способа формообразования, обеспечивающего утонение и деформации в пределах допуска, является актуальной задачей [1, 2].

Одним из вариантов решения этой задачи предлагается пневмотермическая формовка (ПТФ) деталей в режиме сверхпластичности с самогерметизацией скользящей кромкой, перемещающейся по поверхности оснастки к очагу деформации без потери контакта. Перемещение заготовки к очагу деформации уменьшает растяжение под воздействием давления газа и тем самым уменьшает утонение (рис. 1) [3].

В статье рассмотрены примеры моделирования процесса ПТФ деталей из трубчатой заготовки из титанового сплава ОТ4 при температуре 900 °С.

Моделирование процессов формообразования проводилось в программном комплексе RAM-STAMP 2G французской фирмы ESI Group. При моделировании использовалась упрощенная модель поведения материала в режиме сверхпластичности

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

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

Параметры материала ОТ4 для сверхпластичного формования, необходимые для моделирования, приведены ниже [4]:

Модуль Юнга, МПа	112 000
Коэффициент Пуассона	0,333
Плотность, кг/мм ³	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент пропорциональности K , МПа	114,116
Скорость деформации $\dot{\epsilon}$	0,004
Модуль скоростного упрочнения m	0,38
Максимальное относительное удлинение, %	400

При моделировании использованы зеркальные граничные условия для уменьшения времени расчета (рассматривается модель половины детали, полученная рассечением плоскостью симметрии, влияние второй половины учитывается граничными условиями).

Пример 1. Коническая задача с «двойным выворотом» во фланцевой части детали (рис. 2).

Для формообразования использована трубчатая заготовка диам. 50 мм толщиной 1,5 мм.

Проведено моделирование по двум вариантам процесса пневмотермической формов-

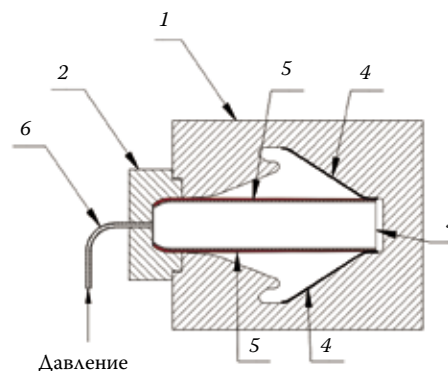


Рис. 1. Схема формообразования с самогерметизирующейся скользящей кромкой: 1 – оснастка для формообразования; 2 – герметизирующая крышка; 3 – трубчатая заготовка; 4 – антифрикционное покрытие на конической части оснастки; 5 – антифрикционное покрытие на трубчатой заготовке; 6 – трубка для подачи газа

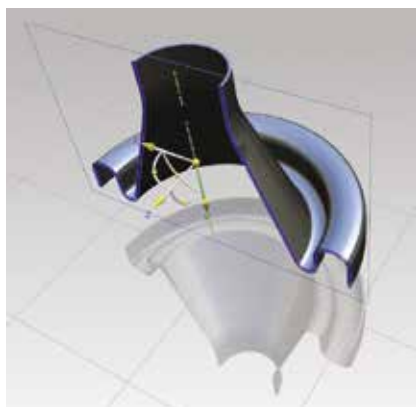


Рис. 2. Коническая деталь с двойным выворотом во фланце

ки деталей:

вариант 1 – без перемещения торцевых кромок заготовки (формируются одновременно две детали);

вариант 2 – со скольжением правой (одной) кромки заготовки к очагу деформации (формируется одна деталь). Давление газа, действующее на заготовку изнутри, прижимает ее к конусной поверхности оснастки в зоне перемещения кромки на протяжении всего процесса формовки, тем самым обеспечивая самогерметизацию.

Результаты моделирования формовки вариантов без перемещения кромок заготовки и с перемещением показаны на рис. 3 и 4.

Моделирование формовки конической детали с двойным выворотом во фланце без скольжения кромки показывает утонение 93,1%, а со скольжением одной кромки – 57,9%. Таким образом, утонение уменьшилось на 37,9%.

Пример 2. Цилиндрическая деталь с выворотом (рис. 5).

На примере цилиндрической детали с выворотом показано увеличение возможности изготовления элементов при использовании технологии формовки со скользящей кромкой.

В работе [6] описан технологический процесс выворота труб с дифференцированным нагревом для получения подобных элементов. Этот процесс смоделирован на трубчатой заготовке из титанового сплава ОТ4 diam. 54 мм толщиной 1,2 мм с нагревом очага деформации до 900 °С (предполагается, что сплав ОТ4 при таких температурах находится в состоянии сверхпластичности). Результат моделирования представлен на рис. 6.

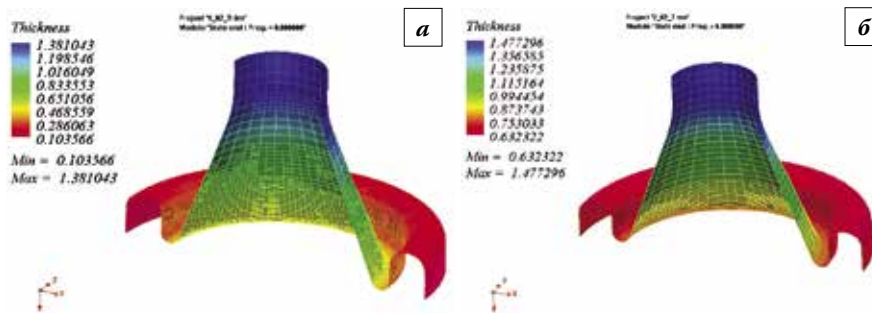


Рис. 3. Распределение толщины по поверхности детали после формовки: а – вариант 1 (утонение 93,1%); б – вариант 2 (утонение 57,9%)

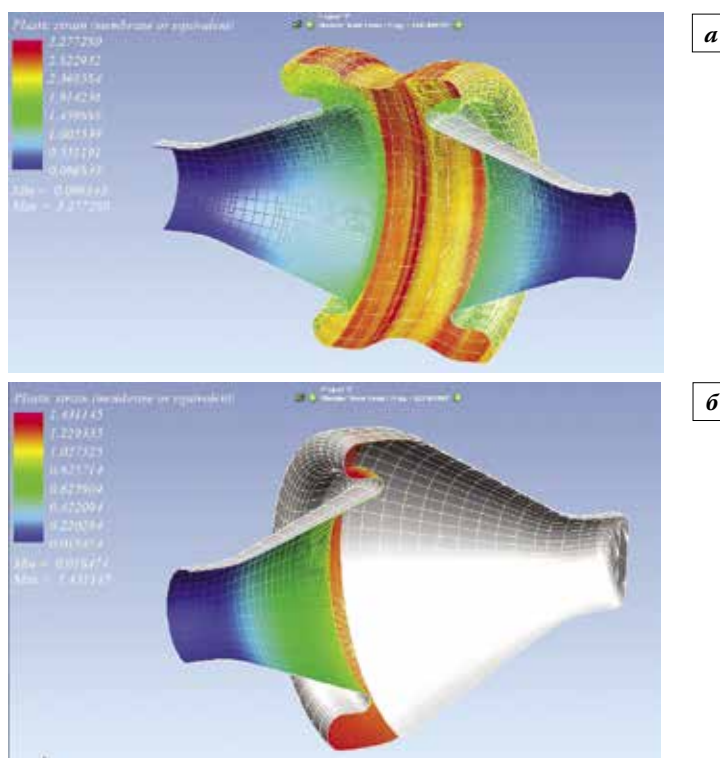


Рис. 4. Распределение деформаций по поверхности заготовки после формовки: а – вариант 1 (максимальная деформация 327%); б – вариант 2 (максимальная деформация 143%)

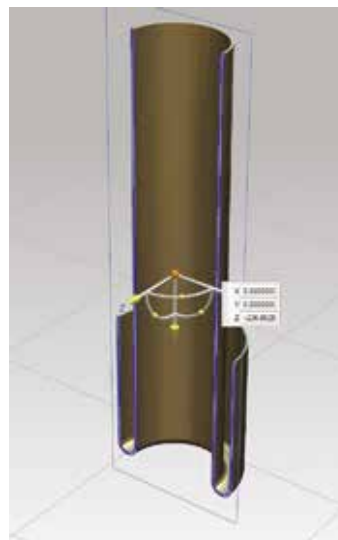


Рис. 5. Цилиндрическая деталь с выворотом на кромке

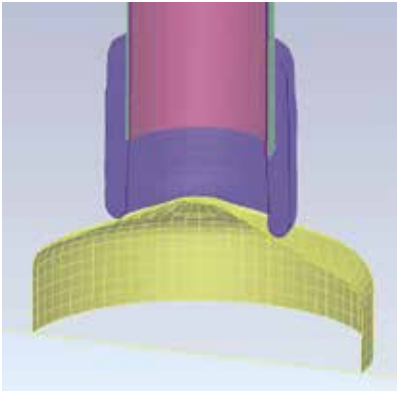


Рис. 6. Результат моделирования процесса выворота трубы с нагревом очага деформации

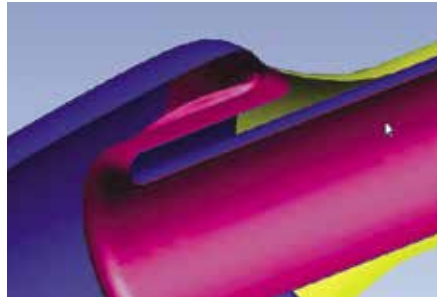


Рис. 7. Результат моделирования выворота трубы со скольжением кромки по поверхности оснастки



Рис. 8. Деталь после формообразования

Недостатки этой технологии:

- нагрев на воздухе и локально;
- невозможность получения дополнительных элементов деталей на цилиндрической поверхности выворота;
- сложность контроля толщины выворота;
- необходимость усилия осадки.

Моделирование процесса выворота этой же трубчатой заготовки пневмотермической формовкой в состоянии сверхпластичности и скольжением кромки показало (рис. 7 и 8), что при этом возникает сжимающее усилие, и на образуемом цилиндрическом вывороте происходит потеря устойчивости в виде гофров. Потеря устойчивости возникает в связи с растяжением заготовки на начальном этапе скольжения по конической поверхности оснастки и последующей посадки на оснастку меньшего диаметра.

Гофрообразование можно уменьшить путем увеличения площади поверхности оснастки в зоне выворота. Выполнено моделирование для двух вариантов увеличения площади оснастки в зоне выворота при формировании бочкообразной формы выворота вместо цилиндрической или рифтов на цилиндрической части выворота.

Результаты моделирования процесса ПТФ выворота бочкообразной формы этой же трубы представлены на рис. 9, а, с рифтами на цилиндрической части выворота – на рис. 9, б.

На рис. 10 показано распределение толщины на деталях, полученное в результате моделирования процесса ПТФ выворота со скольжением кромки.

Таким образом, технология с использованием скользящей кромки заготовки может обеспечить получение выворота более сложной формы или позволяет добавлять элементы жесткости на поверхности выворота, в результате чего повышает-

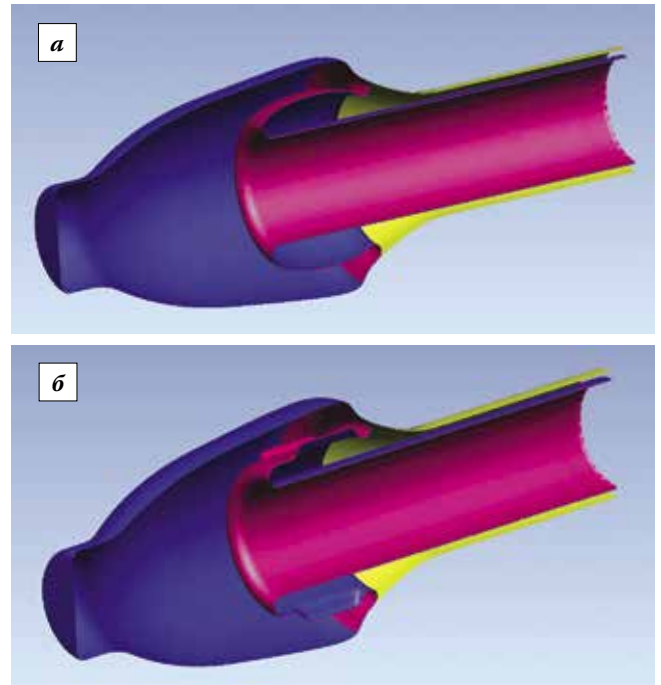


Рис. 9. Результаты моделирования ПТФ выворота бочкообразной формы (а) и выворота с рифтами (б)

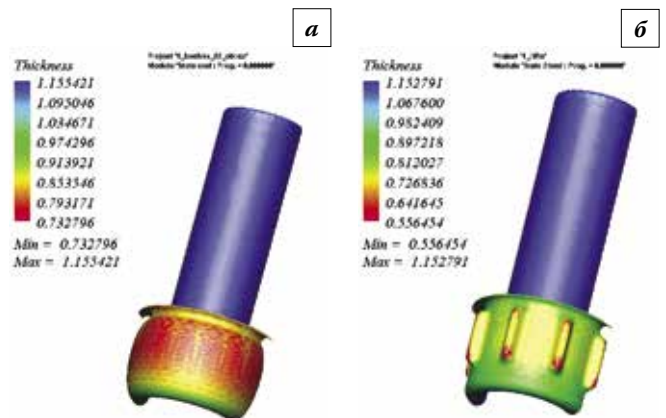


Рис. 10. Распределение толщины на деталях: а – выворот бочкообразной формы (максимальное утонение 39%); б – цилиндрический выворот с рифтами (максимальное утонение 53,7%)

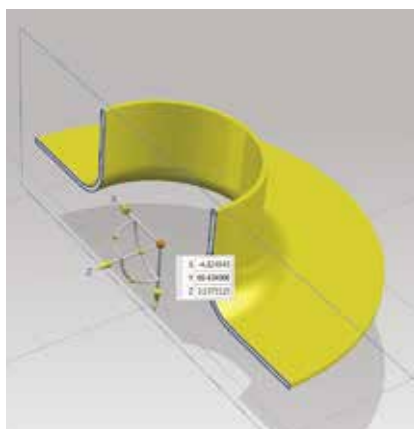


Рис. 11. Цилиндрическая деталь с плоским фланцем



Рис. 13. Результаты моделирования процесса формовки со скольжением кромки по интегральной поверхности оснастки

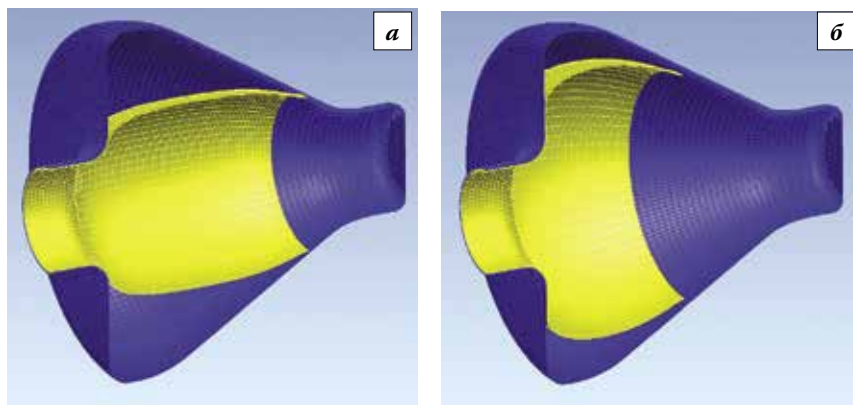


Рис. 12. Результаты моделирования процесса формовки со скользящей кромкой по конической поверхности оснастки: а – уменьшение площади контакта кромки заготовки с оснасткой в зоне скольжения; б – потеря контакта кромки заготовки с оснасткой и смятие детали

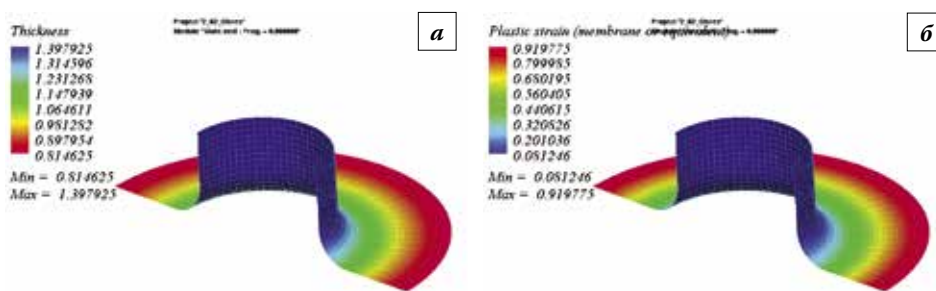


Рис. 14. Утонение и степень деформации на детали: а – утонение на 45,7%; б – максимальная деформация 92%

ся жесткость и прочность конструкции детали в необходимых местах и направлениях.

Пример 3. Трубчатая деталь с плоским фланцем (рис. 11).

На примере этой детали показана возможность получения плоского фланца на трубе по технологии со скользящей кромкой.

Для моделирования процесса создана оснастка с конической частью в зоне скольжения кромки (аналогичная примеру 1). Смоделирован процесс формообразования из трубчатой заготовки диам. 52 мм толщиной 1,5 мм из сплава OT4 пневмотермической формовкой в режиме сверхпластичности.

Моделирование показало (рис. 12), что при перемещении кромки значительно уменьшилась площадь контакта заготовки с оснасткой (рис. 12, а), в результате чего произошел отрыв кромки трубы от поверхности оснастки (рис. 12, б), и далее должно произойти смятие заготовки, поэтому дальнейшее моделирование процесса не имело смысла и было прекращено.

Для предотвращения потери контакта заготовки коническая поверхность оснастки заменена интегральной вогнутой формой. Моделирование процесса формовки с такой поверхностью оснастки (рис. 13) показало, что отрыва кромки не происходит, что позволяет получить деталь окончательной формы.

Распределение толщины и деформации детали, полученное в результате моделирования процесса формовки по оснастке интегральной формы в зоне скольжения кромки, представлено на рис. 14. Деформационная способность материала не превышена.

Результаты моделирования вариантов схем формовки трубчатых деталей позволяют сделать вывод о том, что технология формообразования трубчатой заготовки с использованием скользящей кромки позволяет решать несколько задач:

- уменьшать величину утонения заготовки;
- уменьшать степень деформации;
- получать детали со сложными конструктивными элементами.

Использование такой технологии расширяет возможности формообразования трубчатых заготовок в режиме сверхпластичности, а также

обеспечивает снижение деформации и утонения по сравнению с классической схемой формообразования.

На технологию формообразования трубчатых заготовок со скольжением кромки оформлена заявка на пат. 2015144617.

Библиографический список

1. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Колесников А.В. и др. Выбор рационального метода формообразования детали средствами инженерного анализа с применением CAE-систем // *Металлург*. 2014. № 12. С. 24–31.
2. Чеславская А.А., Мироненко В.В., Берсенева С.А., Котов В.В. Формовка деталей типа «тройник» с использованием совмещенного процесса пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности и диффузионной сварки // *Металлург*. 2012. № 12. С. 32–34.
3. Осипов С.А., Мироненко В.В., Максименко Н.В., Котов В.В. Управление разнотолщиной при пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности // *Металлург*. 2013. № 2. С. 26–29.
4. Колесников А.В., Чеславская А.А., Шмаков А.К. Определение показателей состояния сверхпластичности ти-

танового сплава ОТ4-1 // *Вест. Иркутского гос. техн. ун-та*. 2015. № 10. С. 57–62.

5. Говорков А.С. Методика количественной оценки технологичности конструкции изделий авиационной техники // *Вест. Московского авиационного ин-та*. 2013. Т. 20, № 1. С. 31–37.

6. Мозгов В.А. Исследование процесса выворота трубчатых заготовок с дифференцированным нагревом. Дис. ... канд. техн. наук. М.: МАТИ, 1971. 158 с.

7. Белых С.В., Буренин А.А., Бормотин К.С. и др. О больших изотермических деформациях материалов с упругими, вязкими и пластическими свойствами // *Вест. ЧГПУ им. И.Я.Яковлева. Сер. Механика предельного состояния*. 2014. № 4 (22). С. 144–156.

8. Аксенов С.А., Захарьев И.Ю., Колесников А.В., Кищик М.С. Определение характеристик сверхпластичности на основе экспериментов по свободной газовой формовке при постоянном давлении: Матер. междунар. науч.-практич. конф. «Информационные технологии. Проблемы и решения». М., 2015. С. 181–187.

9. Shmakov A.K., Mironenko V., Kirishina K.K. et al. Effect of the average velocity of the free part of the semifinished product on the process of pneumothermal forming in the superplastic regime // *Metallurgist*. 2013. Vol. 57, No. 1–2. С. 8–12.

FORMING OF TUBULAR BLANKS WITH SLIDING EDGE AND SELF-SEALING

© Mironenko V.V., Osipov S.A., Ershov V.A.

For example, the three parts shows the use and advantages of the method of forming a moving edge. Showing the problems arising from the use of this technology and solutions. Showing the problems solved by the application of this technology.

Keywords: pneumatic heat forming in the superplasticity mode; forming tubular blanks.

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ЕВРАЗ НТМК повышает энергоэффективность

На ЕВРАЗ НТМК завершилась реализация инвестиционного проекта по замене существующего насосного оборудования на более экономичное. Это позволит снизить энергопотребление на 6,1 млн кВт·ч в год.

Четыре новых насоса мощностью от 45 до 55 кВт установлены на трех насосных станциях цеха водоснабжения, который подает техническую воду во все цехи комбината. Агрегат мощностью 500 кВт смонтирован на линии подачи оборотной воды для газоочистки доменных печей № 5 и 6. Благодаря изменению схемы подачи воды один из насосов исключен из технологии.

Современные агрегаты позволяют повысить эффективность работы. Система автоматического управления непрерывно отслеживает изменения параметров напора воды, нагрузку на двигатели и узлы и выбирает оптимальный режим работы, что позволяет продлить срок эксплуатации оборудования и значительно уменьшить потребление электроэнергии.

Кроме того, снижение уровня шума и вибрации на насосных станциях помогло значительно улучшить условия труда в подразделении.



Региональный центр корпоративных отношений «Урал»
Управление по связям с общественностью
20 декабря 2016 г.