

УДК 621.7; 621.9: 629.7

Совмещение традиционных операций листовой штамповки и пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности для изготовления изделий авиационной техники

М.В. Ковалевич, А.А. Климова

Аннотация

Большинство деталей летательных аппаратов изготавливаются из высокопрочных и, как правило, труднодеформируемых сплавов. Одним из перспективных направлений интенсификации операций штамповки является применение эффекта сверхпластичности. Последнее обеспечивает возможность изготовления сложных по форме деталей с чрезвычайно большими степенями общей и местной деформации. В связи с тем, что деформация происходит исключительно за счёт утонения свободной части заготовки без перемещения фланца, и степени деформации имеют очень большие значения, детали, получаемые пневмотермической формовкой, обладают значительной разнотолщинностью. Успешное освоение процесса требует разработки эффективных методов и способов управления распределением толщины по сечению детали.

Результаты проведённого исследования количественно доказали эффективность применения совмещения процессов листовой штамповки и ПТФ для уменьшения утонения. Следует сказать, что внедрение технологии пневмотермической формовки на производстве позволит создавать новые конструкции деталей, снизить себестоимость и цикл изготовления деталей, сократить сроки подготовки производства, и, таким образом, снизить затраты на предприятиях и улучшить тактико-технические характеристики изделий.

Ключевые слова

Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности; разнотолщинность; гибка; вытяжка; совмещение операций.

Общие сведения о процессе

Прогресс ведущих отраслей машиностроения неразрывно связан с возрастающим применением высокопрочных и, как правило, труднодеформируемых малопластичных сплавов. Последнее ставит ряд сложных проблем в области обработки их давлением и, в частности, листовой штамповки. Разработка и создание перспективных конструкций требуют интенсификации формоизменяющих операций штамповки – расширения возможностей формоизменения за счет выхода на оптимальные режимы и условия деформации, применения рациональных способов и схем штамповки [1].

Одним из перспективных направлений интенсификации операций штамповки является применение эффекта сверхпластичности. В состоянии сверхпластичности относительное удлинение сплавов достигает нескольких сотен процентов. Последнее обеспечивает возможность изготовления сложных по форме деталей с чрезвычайно большими степенями общей и местной деформации.

Характерной особенностью процесса пневмотермической формовки в режиме сверхпластичности (ПТФ) является формообразование изделия исключительно за счет утонения свободной части заготовки (без перемещения фланца, как это имеет место при вытяжке).

Процесс ПТФ (рис.1) в общем случае включает:

1. Нагрев заготовки до рабочей температуры деформации;
2. Жесткое защемление заготовки по контуру с созданием герметичной рабочей полости;
3. Формообразование заготовки избыточным давлением газа;
4. Удаление изделия из технологической оснастки.

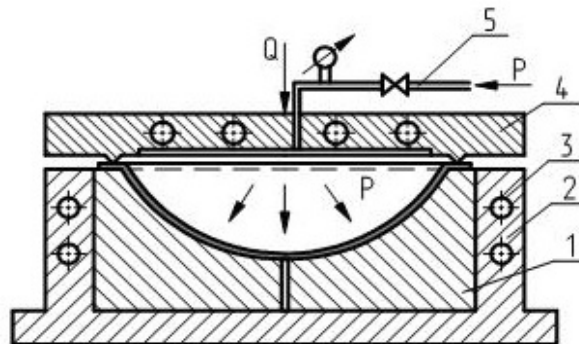


Рис 1. Схема процесса пневмотермической формовки:

1 – матрица; 2 – корпус; 3 – нагреватель; 4 – крышка;

5 – система подачи избыточного давления газа

Серьезным недостатком процесса является сильно выраженная разнотолщинность штампуемых деталей. Перепад толщины зависит в общем случае от формы изделия, степени общей и местной деформации, характеристик материала, режимов формовки и может превышать 3–5-кратный.

Для высокой эффективности процесса необходимо поддержание постоянных температурно-скоростных режимов деформации [2]. Оптимальное значение температуры и скорости деформации зависит от марки материала и может быть взято из справочников.

Поддержание постоянной температуры достигается применением специального изотермического оборудования – нагревательного блока. В качестве нагревательных элементов возможно применение ТЭНов.

Поддержание постоянной скорости деформации представляет собой более сложную задачу. Достигается постоянным регулированием давления формующего газа по ходу процесса. Производится расчет кривой нагружения – зависимости давления формовки от времени. Наиболее простым является регулирование давления вручную при помощи крана и манометра. Существуют сложные системы, основанные на применении системы односторонних клапанов, настроенных на разное давление. Перспективной представляется разработка системы управления с ЧПУ.

В основу методики расчета положен принцип обеспечения контролируемой скорости деформации участка заготовки, получающей максимальную степень деформации [3].

Методы борьбы с утонением материала

Одним из существенных недостатков этой технологии является значительное утонение материала при формовке. В ряде случаев это является ограничивающим фактором для внедрения сверхпластической формовки в производство.

Указанный недостаток не является непреодолимым. Существует ряд методов, позволяющих не только уменьшить разнотолщинность детали, но и изготавливать детали с заданным распределением толщины.

Эти методы можно разделить на следующие группы [5]:

1. Использование сил трения.

Данный метод основан на уменьшении деформации в местах контакта листа с подвижным элементом и сосредоточивании её в участках заготовки, находящихся между подвижным элементом и зажатым фланцем.

2. Реверсивная формовка.

При реверсивной формовке лист сначала выпучивают в полость, противоположную полости матрицы на высоту, большую, чем требует её форма. Затем давление подают в противоположную полость для выдувки листа в матрицу и получения нужной формы. Цель этого способа – увеличение толщины в углах формы матрицы за счёт большего утонения в полюсе.

3. Управление полем температур.

Суть этого метода сводится либо к искусственному понижению температуры в зоне, получающей максимальную степень деформации, либо к повышению температуры в зоне с

наименьшей деформацией за счёт нагревания оснастки. Задавая определённую неравномерность температуры по заготовке, можно сосредоточить сверхпластическую деформацию в определённых зонах, и использовать это для устранения разнотолщинности, которая будет иметь место в противном случае. Подобный эффект может быть также достигнут нанесением специального зонального покрытия, либо использованием исходной заготовки переменной толщины, хотя последнее обладает достаточно высокой трудоёмкостью, что является серьёзным препятствием для его внедрения в производство.

4. Местное изменение микроструктуры заготовки.

Посредством термической, ультразвуковой обработки или обработки давлением в опасном участке увеличивается размер зерна, что уменьшает степень деформации материала в этой зоне.

В «МАТИ» - РГТУ имени К.Э. Циолковского на кафедре ТПЛА были проведены экспериментальные работы по уменьшению разнотолщинности образцов при помощи реверсивной формовки. При этом разнотолщинность образцов значительно уменьшилась. Результаты экспериментов подтверждают приемлемость данного метода для изготовления деталей сложной формы для авиационной техники.

5. Совмещение операций листовой штамповки с ПТФ.

Этот способ является наиболее приемлемым для производства. Он заключается в том, что листовую заготовку предварительно штампуют для увеличения площади поверхности материала заготовки внутри формблока для последующей формовки. После гибки или вытяжки материал утоняется в значительно меньшей степени, чем при формовке. За счёт этого увеличиваются возможности формоизменения, уменьшается разнотолщинность, а значит, и улучшается качество получаемой детали.

В случае предварительной вытяжки можно сохранить однопереходность процесса, размещением вытяжного пуансона на крышку формблока, что значительно снижает трудоёмкость.

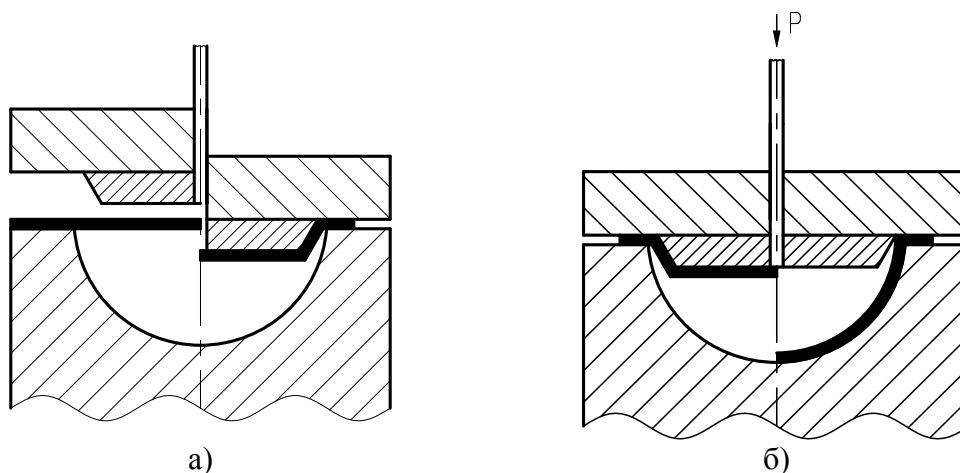


Рис. 2. Схема процесса совмещения вытяжки и формовки

Процесс совмещения операций гибка и ПТФ

Применение способа показано на примере изготовления детали «законцовка».

Опытные работы проведены на ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Установка включает универсальный блок ПТФ, с размерами рабочей зоны 900×300 мм, систему прижима на базе прессы ПА-2648, систему нагрева, систему избыточного давления воздуха и пульт управления.

Блок ПТФ состоит из верхней и нижней сборных плит со встроенными в них нагревательными элементами (ТЭНами). Верхняя плита (крышка) крепится к траверсе прессы и соединена с системой избыточного давления воздуха. Нижняя плита (корпус) крепится к столу прессы через асбоцементную плиту. Блок оснащен теплоизоляционным кожухом из асбоцементных плит.

Технология изготовления детали включает в себя предварительную гибку по радиусу фланца с последующей пневмотермической формовкой.

Результаты измерений детали, полученной формовкой листовой заготовки толщиной $S=1,5$ мм представлены на рис.4 и в табл.1, а результаты измерений детали, полученной формовкой листовой заготовки толщиной $S=2$ мм представлены в табл.2.



Рис. 3. Заготовка на две детали для «законцовки»

Таблица 1

Результаты измерений ($S_0=1,5$ мм)

№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм
1	1,5	5	1,28	9	1,2	13	1,2	17	1,2
2	1,5	6	1,3	10	1,2	14	1	18	1,1
3	1,4	7	1,25	11	1,2	15	0,97	19	1,2
4	1,32	8	1,2	12	1,3	16	1,1	20	1,1

Таблица 2

Результаты измерений ($S_0=2$ мм)

№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм	№ п\п	s, мм
1	2	5	1,68	9	1,65	13	1,71	17	1,3
2	2	6	1,6	10	1,65	14	1,65	18	1,35

На ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» внедрена технология пневмотермической формовки для изготовления 8 наименований деталей. Полученные детали отвечают требованиям чертежа и ТУ на изготовление.

Совмещение традиционных процессов листовой штамповки и ПТФ позволяет еще более расширить возможности по изготовлению листовых деталей сложной формы, а также значительно снизить разнотолщинность деталей.

В настоящее время ведутся работы по разработке методики расчета зависимости давления формовки от времени для совмещенных операций

Библиографический список

[1] Сверхпластическая формовка конструкционных сплавов / Под ред. Пейтона Н., Гамильтона К.: Пер. с англ. – М.:Металлургия, 1985, 312 с

[2] Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1979, 188 с.

[3] Пашкевич А.Г., Шумаков С.Г. и др. Применение эффекта сверхпластичности при штамповке листовых деталей из сплава 1420, «Авиационная промышленность», №8, 1985, ДСП.

[4] Ковалевич М.В. Исследование процесса пневмотермической формовки деталей коробчатой формы в режиме сверхпластичности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МАТИ, 2007, 160 с.

[5] Листовая штамповка: Расчет технологических параметров: Справочник/В.И. Ершов, О.В. Попов, А.С. Чумадин и др. – М.: Изд-во МАИ, 1999.

Сведения об авторах

Ковалевич Михаил Владимирович, инженер, к.т.н. ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», kovalevich_mv@mail.ru, 89264211333.

Климова Анастасия Александровна, ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», anastasia-kipris@mail.ru, 89169806472.