

**А.К. ГОРЛОВ**, канд. техн. наук, доц., НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**Е.П. РОГАЧЕВ**, канд. техн. наук, НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**А.М. ЖУКОВ**, с.н.с., НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**С.Н. ЛАШКО**, канд. техн. наук, НАКУ «ХАИ», Харьков.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОЧЕЧНЫХ НАПЛАВЛЕННЫХ ВЫСТУПОВ**

Проведені досліді показали, що розроблений пристрій для формоутворення шпівів з самоорієнтуючою і самовстановлюючою робочою порожниною матриці забезпечують:

- виготовлення шпівів без обля, якщо похибка встановлення виступу відносно робочої порожнини матриці становить не більш, ніж 1,5 мм, при будь-якій її направленості;
- зниження деформації листової заготовки (неплоскості листа) завдяки безоблойному формоутворенню виступів;
- автоматизацію формоутворення виступів з будь-якими системами автоматичного переміщення листових деталей, що забезпечують похибку встановлення виступу не більш, ніж 1,5 мм

The conducted researches have shown that the developed device for формообразования thorns with a self-orientating and self-established working cavity of a matrix provide:

- Manufacturing of thorns without обля if the error of installation of a ledge concerning a working cavity of a matrix makes no more than 1,5 mm, at its any orientation;
- Decrease in deformation of sheet preparation (неплоскості sheet) thanking безоблойному формообразованию ledges;
- Automation формообразования ledges with any systems of automatic moving of the sheet details, installations of a ledge providing an error no more than 1,5 mm.

Проведенные исследования показали, что разработанное устройство для формообразования шпиров с самоориентирующейся и самоустанавливающейся рабочей полостью матрицы обеспечивают:

- изготовление шпиров без обля, если погрешность установки выступа относительно рабочей полости матрицы составляет не более 1,5 мм, при любой ее направленности;
- снижение деформации листової заготовки (неплоскості листа) благодаря безоблойному формообразованию выступов;
- автоматизацию формообразования выступов с любыми системами автоматического перемещения листовых деталей, обеспечивающие погрешность установки выступа не более 1,5 мм.

**1. Введение.** Для увеличения противоскользких свойств грузовых полов самолётов они покрываются различными видами рифлений. Анализ эксплуатационных характеристик полов с различными рифлениями показал, что достаточно высокие противоскользкие свойства обеспечивают точечные конические шипы с относительной высотой  $\bar{h}_m = 0,4...0,5$  Такие шипы особенно эффективны на наклонных поверхностях, типа откидных рамп самолётов, в условиях неблагоприятной погоды (дождь, снег, грязь), обеспечивая уверенное перемещение людей и техники. В настоящее время на транспортных самолётах, для настилов полов используют ошипованные листовые детали с точечными выступами конической формы высотой 3...5мм и диаметром у основания 7,5... 10,0мм.

Одним из перспективных способов получения ошипованных листовых заготовок является способ электродуговой точечной дозированной наплавки электродного металла (выступа) с последующим их формообразованием в шип заданных размеров и формы [1. 2]. По сравнению с другими способами, а именно постановкой шип-заклепок, контактной приваркой шипов, прокаткой, данный способ изготовления позволяет повысить коэффициент использования материала до 98%, получать ошипованные панели с шипами различной формы.

Электродуговая дозированная наплавка позволяет получать листовые заготовки с выступами по форме близкими к полусфере. Экспериментальные исследования свойств заготовок с такими выступами показали, что микротвёрдость материала наплавленного выступа ниже по сравнению с микротвёрдостью электродной проволоки на 18...22%, и они обладают пониженными фрикционными свойствами. Усилие сдвига по сферическим выступам на 20...25% меньше, чем по коническим шипам.

Все это предопределило необходимость придания наплавленному металлу формы, способствующей увеличению противоскользящих свойств, методами пластического деформирования, что приводит также к увеличению его износостойкости, уменьшению остаточных сварочных напряжений, снижению неплоскостности заготовки в целом.

В результате пластического деформирования наплавленного металла получают шипы конической формы, а также шипы, цилиндрической формы с пирамидальными выступами (корончатого типа), обладающие более высокими противоскользящими свойствами (рисунок 1), чем выступы сферической и шипы конической формы.

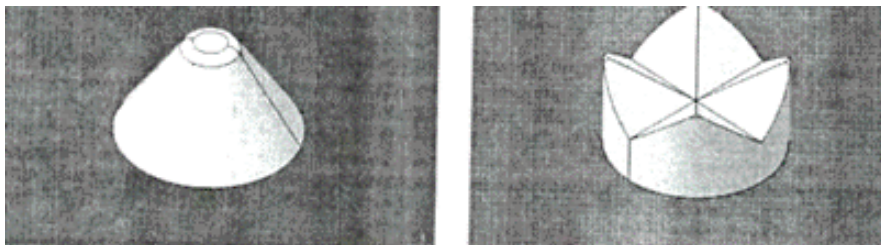


Рис. 1. Формы шипов

Формообразование шипов из наплавленного выступа возможно открытой или закрытой штамповкой.

Формообразование в открытых штампах рекомендуется для изготовления шипов конической формы и шипов в форме усеченного конуса с относительной высотой  $\bar{h}_{ш} = 0,4...0,5$ . При формообразовании выступов по данной схеме рабочая полость матрицы выполняется по форме и размерам готового шипа.

Формообразование в закрытых штампах рекомендуется для изготовления шипов корончатого типа. Как правило, такие шипы имеют три или четыре выступа на общем цилиндрическом основании. В связи с чем, удельное давление несколько

увеличивается, чтобы обеспечить заполнение вершины шипа, а также формирование его боковой поверхности.

Рабочий инструмент представляет собой матрицу с цилиндрической полостью диаметром равным диаметру готового шипа у основания, а также пуансон, на торце которого тем или иным способом изготовлены полости по форме и размерам пирамидального выступа матрицы.

Таким образом изготовление шипов по данному способу происходит в два этапа. Учитывая огромное количество шипов на листовых заготовках, эти этапы изготовления шипов должны быть автоматизированы.

Процесс изготовления, нанесения выступов наплавкой, на листовую заготовку с заданным шагом и расположением полностью автоматизированы, т.к. перемещение листовой заготовки относительно наплавочной головки осуществляется с применением станков ЧПУ [3].

Однако, при автоматизации процесса формообразования выступов возникла существенная проблема, а именно, проблема точной установки наплавленного выступа относительно рабочей полости формообразующего устройства. В связи с этим необходимо было провести исследования по выявлению факторов, влияющих на точность нанесения выступов, разработке мер по их устранению и снижению их влияния и определить пути решения поставленной задачи, автоматизации процесса формообразования выступов.

Данная работа проводилась в рамках темы «Досконалення імпульсних технологічних систем виробництва деталей аерокосмічної техніки та автомобільної техніки». Тема Д104-2/2011-П № РО111U001073.

**2. Теоретическое рассмотрение вопроса.** Теоретические и экспериментальные исследования показали, что основной проблемой в решении задачи автоматизации формообразования выступов стала нестабильность точности наплавки выступов,  $R = \sqrt{4\chi^2 + 4\gamma^2}$  (рисунок 2).



Рис. 2. Отклонение центра наплавленного выступа

Факторами, определяющими точность постановки наплавленного выступа, являются: блуждание дуги, вызывающее колебания и отклонения капли от оси

электрода; снос капли металла восходящими потоками на стадии перехода; несимметричность температурных полей, обусловленная блужданием дуги (различная зона катодной очистки); несовершенство конструкции наплавочной головки, в результате чего возникает несимметричность потока защитного газа, неперпендикулярность электрода и листовой заготовки, несоосность приложения управляющей силы.

Отклонение оси выступа относительно оси наплавочной головки, как показали проведенные исследования, составляет  $R=0.3\dots 0,9$  мм, причем направление этого отклонения носит случайный характер и заранее не прогнозируется. Кроме того не исключается возникновение погрешности, вызванной точностью перемещения листовой заготовки на шаг, определяющий расстояние между соседними наплавленными выступами, что может вызвать увеличение отклонения.

Естественно, что при любой жесткой автоматической системе относительного перемещения листовой заготовки с выступами и формообразующего устройства на шаг, будет возникать погрешность установки наплавленного выступа относительно рабочей полости формообразующего устройства. Как показали экспериментальные исследования, такое расположение выступа относительно рабочей полости приводит к появлению облоя, искажению формы шипа и деформации листовой детали, вследствие, появления усилий сдвига и роста удельных давлений на листовую деталь.

Исследования течения металла в коническую полость матрицы (рисунок 3) показал, что на начальной стадии процесса происходит формирование боковой поверхности конуса без увеличения высоты. В движении находятся периферийные участки, объем которых растет по мере увеличения контактирующей поверхности наплавленного металла с пуансоном.

При дальнейшем движении матрицы, когда истечение материала между матрицей и листовой заготовкой становится затруднительным, происходит интенсивное увеличение высоты и окончательное оформление конической поверхности шипа. Эта стадия аналогична процессу течения металла в коническую полость и проходит при значительном увеличении потребного усилия деформирования. Полученные результаты характерны для случая, когда ось выступа совпадает с осью рабочей полости с матрицей.

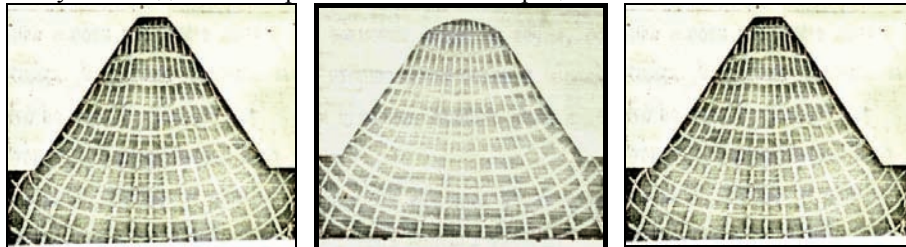


Рис. 3. Координатная сетка разъемных образцов после деформирования

Таким образом, для решения данной проблемы необходимо применять следующие устройства или системы, обеспечивающие требуемую точность установки наплавленного выступа относительно рабочей полости формообразующего устройства. Однако, учитывая непрогнозируемый характер направления и величину погрешности установки выступа, как показал анализ, необходимо применять сложные и дорогостоящие системы.

В связи с этим был внедрен процесс формообразования выступов с ручным перемещением листовой заготовки, который обладает простотой организации процесса, вследствие, применения стандартных оборудования и приспособлений для установок и поддержки листовых заготовок, а главное, возможностью высокой точности установки выступа относительно рабочей полости формообразующего устройства.

Применение серийного оборудования и оснастки позволило значительно сократить срок внедрения предложенного способа в производство. На рисунке 4 показана схема процесса формообразования выступов с применением серийного пресса КП-204.

Листовую заготовку 2 устанавливают на рабочие поверхности поддерживающих устройств 4 выступами вниз. Устройство для формовки 3 устанавливается на нижний хобот пресса, а плоский пуансон 1 на подвижный шток. Для перемещения заготовки на шаг, штамповщик вручную перемещает её до тех пор пока выступ не будет установлен в рабочую полость матрицы. При включении пресса пуансон 1 подводится к листовой заготовке, прижимает ее к устройству для формообразования, штампует выступ и возвращается в исходное положение.

После этого штамповщик вручную перемещением листовой заготовки обеспечивает установку следующего выступа в полость матрицы - рабочий цикл повторяется.

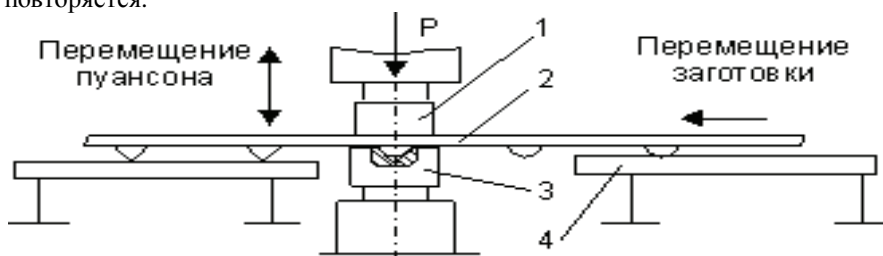


Рис. 4 Схема процесса формообразования выступов на прессе КП-204.

1- пуансон; 2- листовая заготовка; 3- устройство для формообразования выступов (матрица); 4- стол для поддержки листовых заготовок; 5- рольганг.

Процесс позволяет получать шипы заданной формы высокого качества благодаря возможности установки выступа относительно рабочей полости матрицы с достаточно высокой точностью. Опыт производства ошипованных листовых деталей по данной схеме формообразования выступов показал, что наряду с достоинствами он имеет существенные недостатки, а именно, не высокую производительность и неблагоприятные условия труда. Повышенная утомляемость

рабочего-штамповщика связана с достаточно большими габаритами листовой заготовки, монотонностью процесса, неудачным расположением рабочей зоны штамповки.

Одним из направлений совершенствования процесса формообразования шипа является его автоматизация.

Предполагается следующая схема процесса:

– закрепление заготовки с наплавленными выступами (выступом вверх) в выбранной системе координат на устройстве обеспечивающем программное автоматическое перемещение;

– автоматическое совмещение оси рабочей полости матрицы с осью выступа;

– формообразование выступа;

– перемещение заготовки на шаг (по программе аналогичной что используется при наплавке выступа).

В связи с этим, для реализации данного процесса было предложено устройство для формообразования выступов, рабочая полость которого самоориентируется и самоустанавливается точно по оси выступа. Принцип работы такого устройства поясняется рисунком 5.

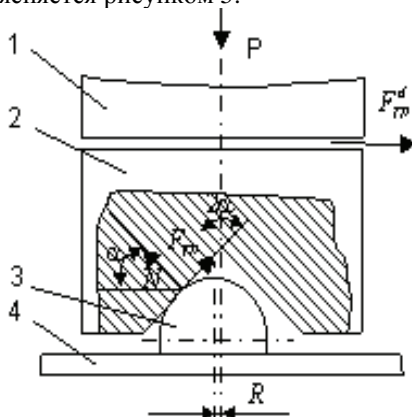


Рис. 5 Принципиальная схема устройства: 1 – опора; 2 – матрица; 3 – выступ; 4 – листовая заготовка

Предположим, что наплавленный выступ 3 установлен относительно рабочей полости матрицы 2 с погрешностью  $R$ . При соприкосновении боковой конической поверхности рабочей полости матрицы с полусферической поверхностью вершины выступа возникает сила реакции  $N$  со стороны поверхности неподвижного выступа, направленная перпендикулярно боковой поверхности матрицы. Если связь между соприкасающимися поверхностями опоры 1 и матрицы 2 не жесткая, то под действием этой силы произойдет перемещение матрицы в направлении, указанном на схеме.

В результате такого перемещения оси рабочей полости матрицы и выступа совместятся и погрешность установки выступа будет устранена. После этого, дальнейшим перемещением матрицы происходит формообразование выступа. Если обеспечить перемещение матрицы

относительно опоры во всех направлениях, в плоскости их соприкосновения, то рабочая полость матрицы будет самоориентироваться и самоустанавливаться при любых направлениях погрешности установки.

Силе реакции  $N$  противодействуют сила трения  $F_{тр}$ , действующая при движении боковой поверхности рабочей полости матрицы относительно поверхности выступа, а также сила трения  $F_{тр}^d$ , действующая между соприкасающимися поверхностями опоры и матрицы.

Поскольку, здесь, действуют силы трения, величины которых зависят от материалов взаимодействующих поверхностей, а также угла  $\alpha$  при вершине рабочей полости матрицы, то для обеспечения работы устройства необходимо создать определенные условия. А именно, чтобы сумма сил, направленных на перемещение матрицы была больше или равна сумме сил, противодействующих этому перемещению.

Исследования показали, что на работоспособность устройства влияют угол при вершине рабочей полости  $\alpha$ , а также коэффициенты трения  $f_1$  и  $f_2$  между поверхностями рабочей полости матрицы и выступа, и между поверхностями опоры и матрицы соответственно.

Чем меньше значение коэффициентов трения, тем надежнее будет работать устройство. В связи с этим трение скольжения между поверхностями опоры и матрицы можно заменить на трение качения, что позволит значительно снизить усилие трения. Для этого между соприкасающимися поверхностями опоры и матрицы можно установить шаровые опоры, которые не только снизят трение, но и дадут возможность перемещаться матрице относительно опоры во всех направлениях.

Коэффициент трения  $f_1$  зависит от материалов матрицы и выступа, поэтому его снизить можно смазкой поверхностей рабочей полости матрицы или выступа. Такой вариант возможен при холодном формообразовании выступа.

Угол при вершине конуса рабочей поверхности существенно влияет на работоспособность устройства. При больших углах  $\alpha$  может возникнуть заклинивание матрицы. Поэтому необходимо соблюдать условия:

$$\alpha_{ш} = \alpha_M \leq \alpha_{кр} \quad (3)$$

где:  $\alpha_{кр}$  – критический угол при вершине конической поверхности рабочей полости матрицы при котором возможно заклинивание матрицы;

$\alpha_{ш}$  – угол при вершине конического шипа.

Экспериментальные исследования показали, что для надежной работы устройства угол  $\alpha$  не должен превышать  $130^\circ$ .

**3. Результаты расчетов.** На основании предложенной принципиальной схемы устройства была разработана его конструкция, приведённая на рисунке 6.

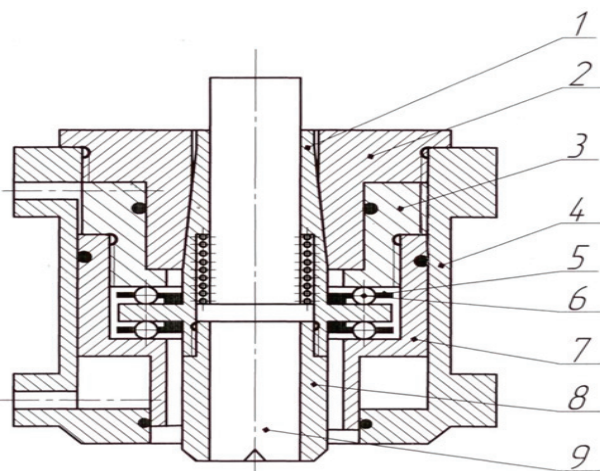


Рис. 6 Конструкция самоустанавливающейся формообразующей матрицы

В состав конструкции устройства входят: пневмоцилиндр, состоящий из корпуса 4; центрирующей крышки – 2; поршня – 7 и опорной крышки поршня – 3. В корпусе поршня 7 установлена подвижная обойма 1, опирающаяся на шариковые опоры, расположенные вокруг обоймы. Для предотвращения их скатывания друг к другу, предусмотрены сепараторы 5. Применение шариковых опор позволяет обойме перемещаться во всех направлениях. В обойму 1 по скользящей посадке устанавливается матрица 9 и закрепляется в ней опорной гайкой 8.

Пружина обеспечивает усилие, необходимое для перемещения матрицы при установке на выступ.

Сопрягающие поверхности центрирующей крышки 2 и обоймы 1 имеют конические поверхности, что позволяет обойме центрироваться относительно оси устройства в исходном положении.

Устройство работает в следующем образом:

При подаче сжатого воздуха в верхнюю полость цилиндра 4 поршень 7 совместно с обоймой 1 и матрицей 9 начинают перемещаться вниз, при этом обойма выходит из центрирующей полости крышки 2, что позволяет ей в дальнейшем совершать перемещения во всех направлениях. При дальнейшем движении обоймы с матрицей вниз, рабочая поверхность полости матрицы соприкасается с поверхностью наплавленного выступа. Под действием возникающей силы реакции, действующей со стороны поверхности выступа на поверхность рабочей полости матрицы и благодаря её подвижности, она смещается в сторону направления погрешности и центрируется относительно оси выступа. После этого включается пресс, который своим рабочим ползуном давит на матрицу 9, в результате чего происходит формообразование выступа.



По окончании формообразования в нижнюю полость пневмоцилиндра подается сжатый воздух и поршень вместе с обоймой и матрицей возвращается в исходное положение. При этом обойма входит в коническую полость крышки 2 и центрируется относительно оси формообразующего устройства.

Разработанное устройство закрепляется в рабочей зоне пресса между опорной площадкой и рабочим ползуном. Лист с наплавленными выступами располагается между опорной площадкой пресса и устройством для формообразования. К устройству подводится пневмосеть через управляющие пневмоклапаны.

В ходе экспериментальных исследований по формообразованию выступов предложенным устройством были произведены изготовление ошпированных листовых деталей из алюминиевых и титановых сплавов. Листовые детали из *Al*-сплавов были изготовлены с коническими шипами, а листовые титановые детали – с шипами корончатого типа. Формообразование шипов из *Al*-сплавов производилась в холодном состоянии, открытой штамповкой, а титановых шипов – в горячем состоянии, в закрытой штамповкой.

**4. Выводы.** Анализ проведенных исследований показал, что разработанное устройство для формообразования шипов с самоориентирующейся и самоустанавливающейся рабочей полостью матрицы обеспечивают:

- изготовление шипов без облоя, если погрешность установки выступа относительно рабочей полости матрицы составляет не более 1,5мм, при любой её направленности;
- изготовление шипов различных форм, как в холодном так и в горячем состоянии при различных схемах формообразования;
- снижение деформации листовой заготовки (неплоскостности листа ) благодаря безоблойному формообразованию выступов;
- автоматизацию формообразования выступов с любыми системами автоматического перемещения листовых деталей, обеспечивающие погрешность установки выступа не более 1,5.

**Список литературы:** 1. Тарасов Н.М., Рогачев Е.П., Капустин О.С., Кладченко В.С. Получение наплавкой ошпированных листовых заготовок из алюминиевого сплава Д16АТ для настила пола самолёта.//Автоматическая сварка. –1995.–№2 с. 36-38,51. 2. Тарасов Н.М., Горлов А.К. Образование конических выступов на листовых заготовках с помощью дозированной наплавки и формовки.//Высокоскоростная обработка материалов давлением: Сб. научн. ст.– Харьков, 1982 г. – Вып.8.–с. 138-142. 3. Тарасов Н.М., Варуха Н.А., Горлов А.К., Рогачев Е.П. Автоматизация технологического процесса нанесения титановых шипов на настил грузового пола.//Прогрессивные технологические процессы оборудования и инструмент: Темат. Сборник научных трудов. – Харьков. 1987 г. – с.114-119.

*Поступила в редакцию 6.07.2011*