

Совершенствование средств технологического оснащения процессов СПФ деталей и сборочных единиц

Ю. Л. Апатов¹, Р. Р. Фасхутдинов², К. Ю. Апатов³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,

Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: apatov.yu@yandex.ru

²магистрант кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: rinatinho67@yandex.ru

³кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: usr03913@vyatsu.ru

Аннотация. Актуальность данного направления заключается в необходимости получения теоретических и практических основ разработки новых и перспективных видов средств оснащения процессов сверхпластической формовки (СПФ).

Целью работы послужило теоретическое и экспериментальное изучение и обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить эффективность процесса, а также расширить его технологические возможности.

Методика исследований заключалась в проведении экспериментов на опытной технологической оснастке с варьированием основных параметров процесса СП-формовки: материала заготовки, температуры, давления сжатого газа и времени протекания – с теоретическим анализом полученных данных.

Появились практические доказательства возможности ведения указанного процесса по предложенной нами схеме: вне прессы большой мощности на автоматизированных установках с разбиением процесса на отдельные этапы. Разработан способ формовки изделий с неразъемными соединениями деталей.

Материалы данной статьи предназначаются, главным образом, конструкторам-разработчикам новой техники в области создания средств технологического оснащения штамповочного автоматизированного производства.

Ключевые слова: сверхпластичность, штамповый блок, формообразование детали, беспрессовая формовка, соединение, моделирование оснастки.

Вступление. Общеизвестны расширенные технологические возможности метода сверхпластической формовки (СПФ) объемных деталей из листа [1]. Практическое использование этого явления позволяет изготавливать самые разнообразные по размерам, форме и профилю поверхности полые детали, в том числе с нанесением на них художественно-декоративного микрорельефа.

Однако следует отметить, что в ходе конструкторской проработки экспериментальных средств оснащения исследований и последующего углубленного изучения полученных образцов с учетом определения реологических характеристик поведения материала заготовки при варьировании режимами процесса были выявлены недостатки метода и не до конца решенные проблемы. Так, например, невысокая производительность при использовании известной (прессовой) схемы, обусловленной большим основным технологическим временем проведения процесса, которое может достигать 10–15 мин. в расчете на одну отформованную деталь. Также для осуществления самого процесса требовалось мощное и дорогостоящее прессовое оборудование.

На кафедре технологии машиностроения ВятГУ совместно и под руководством специалистов головного института (тогда МИСиС г. Москвы) были проведены экспериментальные исследования процесса формообразования деталей-оболочек в условиях СП-формовки из тонколистовых заготовок [2]. В дальнейшем на основании полученных результатов исследования в этом направлении были продолжены и осуществлялись опытно-конструкторские работы по совершенствованию средств технологического оснащения, повышению производительности и универсальности указанного метода.

Цель статьи. Теоретические и экспериментальные исследования средств технологического оснащения процесса СП-формовки, направленные на обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить производительность процесса, расширяют его возможности и создают предпосылки для его автоматизации.

Задачи исследования:

1. Разработка новых путей повышения производительности метода СП-формовки посредством прогрессивных видов оснастки.

2. Прочностные расчеты автономного штампового блока на основе 3D-моделирования и анализ полученных данных при варьировании режимами.

3. Предложения по совершенствованию конструкций штамповых блоков для получения многокомпонентных изделий с неразъемными соединениями деталей из листовых заготовок, в том числе и многономенклатурных.

Ведущий подход. Специально спроектированная и изготовленная оснастка для проведения в широком диапазоне варьирования технологических параметров позволила получить большой объем данных, которые подтвердили широкие возможности изучаемого метода и перспективы его практического использования. После проведения экспериментов нам удалось предложить новое направление использования листовой СП-формовки – способ получения многокомпонентных изделий, признанный изобретением [3].

При его практическом использовании получается неразъемное соединение, которое образуется из общей базовой детали (выполненной из материала со свойствами сверхпластичности) и нескольких присоединяемых деталей-компонентов. Как выяснилось, последние могут выполняться из материалов и не обладающих свойством сверхпластичности, в том числе и неметаллических (например, из керамики). Физическая основа соединения заключается в обтекании материалом заготовки специально предусмотренных элементов, удерживающих в осевом и круговом направлениях входящие в изделие детали.

Особенно перспективна, на наш взгляд, возможность соединений тонкостенной корпусной детали с крепежными деталями типа винтов, гаек, втулок и т. п., которые затруднительно и даже невозможно получить другим путем (например, сваркой или склеиванием), если учитывать разнородность материалов, из которых изготовлены эти детали. Вторым положительным моментом таких соединений является сохранение ими герметичности внутри изделия.

Результаты исследований и их обсуждение. Новым подходом к проектированию средств технологического оснащения была апробированная в экспериментальной части исследований беспрессовая схема СПФ. Стало возможным применение прессы с кратковременным и небольшим усилием для первоначального смыкания частей штампового блока (матрицы и крышки) с целью образования на заготовке герметизирующих рифтов по периметру формообразующей полости матрицы.

Предлагаемая схема позволяет избежать применения в общепринятых процессах СПФ мощного прессового оборудования, когда пресс постоянно удерживает крышку штампового блока в закрытом состоянии, в то время как на нее воздействует весьма значительное усилие, которое легко рассчитывается, исходя из известной площади заготовки в плане и удельного давления сжатого газа, выполняющего в данном случае функцию пуансона.

Более того, такой подход позволяет разбивать операцию СП-формовки, характеризующуюся большим временем протекания, на отдельные технологические переходы, что способствует использованию основных принципов автоматизации при создании автоматизированных установок, с целью значительного увеличения производительности самого изучаемого процесса.

По итогам проведенных теоретических исследований работ и дальнейшей экспериментальной проверки метода сверхпластичной листовой формовки нам удалось предложить новый способ, позволяющий получать многокомпонентные изделия, когда одна из деталей (базовая) выполняется из материала со сверхпластическими свойствами, а другие детали-компоненты изделия могут быть выполнены из иных материалов, в том числе и неметаллических. Получаемые соединения являются постоянными (неразъемными). В этом случае изделие состоит из тонкостенной детали-оболочки, в которой посредством неразъемного термомеханического соединения закреплены другие детали. При этом отпадает необходимость проведения последующих операций по соединению их в изделие, например, в виде пайки, сварки, склеивания и т. п.

Необходимо наличие у этих деталей элементов, образующих поднутрения, служащих для удержания их постоянном положении в готовом изделии, в том числе исключаящие их вращение. Так, например, для винтов разность диаметральных размеров головки и стержня образует конструктивный элемент профиля, удерживающего их в осевом направлении, а шлиц служит элементом, предохраняющим винт от его поворота вокруг вертикальной оси.

Для осуществления данного способа листовая заготовка укладывается на корпус штампового блока, в котором при наладке устанавливается сменная матрица нужной конфигурации и требуемого поверхностного рельефа. В матрицу, в специально выполненные отверстия, устанавливаются фиксирующие стержни, на которые помещаются присоединяемые детали-компоненты будущего изделия. Обязательным условием является наличие на этих деталях поднутрений и других элементов профиля, находящегося в зоне будущего соединения. В других случаях детали-компоненты стержневой формы могут устанавливаться непосредственно в отверстия матрицы.

Устройство накрывается крышкой с отверстием для подачи сжатого газа и подвергается обжиму заготовки по периферии матрицы для получения герметизирующих рифтов, обеспечивающих герметичность пространства между крышкой блока и заготовкой. Закрываются поворотные кулачковые замковые механизмы и производится нагрев в соответствующей зоне установки для СП-формовки. После прогрева штампового блока и находящейся в нем заготовки до температуры возникновения явления сверхпластичности, через отверстие в крышке подается сжатый газ, после чего начинается свободное выпучивание заготовки в направлении матрицы и деталей-компонентов, закрепленных в ней. По мере опускания заготовки происходит обтекание ее материалом выступающих элементов деталей-компонентов в зоне их поднутрений, что приводит к образованию прочных неразъемных соединений.

Были предложены конструкции автономных штамповых блоков (рис. 1).

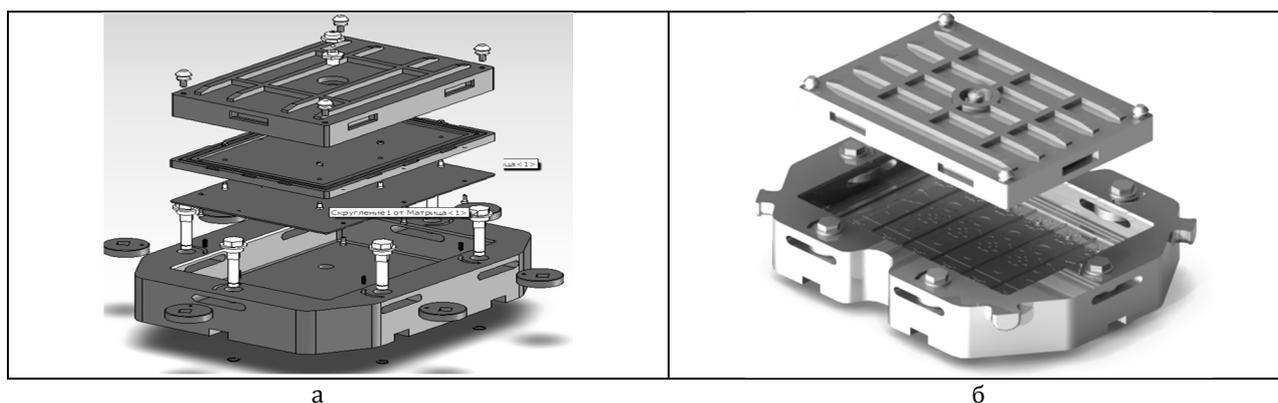


Рис. 1. Трехмерные модели автономных штамповых блоков для процесса СП-формовки: а – многокомпонентного изделия; б – получения плоской детали

При использовании штампового блока с применением принципа автоматизации процесс легко разбивается на отдельные технологические переходы:

- загрузка листовой заготовки в штамповый блок;
- сборка блока с запираемостью замковых механизмов;
- передвижение штампового блока в зону нагрева;
- подача сжатого газа (углекислого либо одного из инертных) под заданным давлением в герметичную полость над заготовкой;
- прогрев до требуемой температуры и выдержка по времени;
- возврат блока для разборки и извлечения готовой детали (изделия).

Для этого достаточно использования простых стержневых выталкивателей, которые воздействуют на изделие в наиболее прочных его частях (под деталями-компонентами) во избежание прорыва листа основной детали.

Предложенный способ был апробирован в экспериментальных исследованиях, когда в качестве деформирующей среды использовался углекислый газ с рабочим давлением в пределах 0,5–1,5 МПа. Температурный режим процесса поддерживался в интервале 550–700 °С (в зависимости от материала основной детали), материалом которой служила латунь марки Л63 (модифицированная 0,13% Si). Применялась в экспериментах также латунь марки ЛЖМц 59-1-1 по ГОСТ 15527-70. Время выдержки заготовки под давлением целенаправленно изменялось в пределах от 5 до 15 минут. Предварительной термообработки листов в диапазоне толщин 0,4–0,6 мм нами не производилось.

Ниже, на рис. 2, приведены фотоснимки полученных образцов соединений базовой детали из листовой заготовки с крепежными резьбовыми деталями.

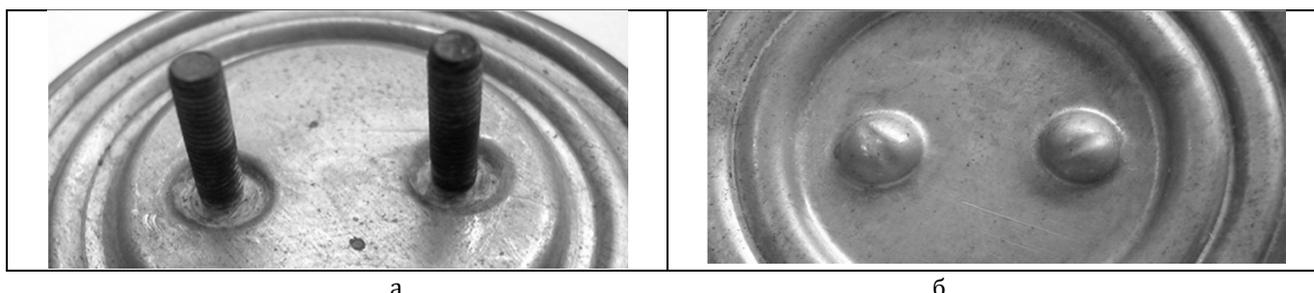


Рис. 2. Пример одного из полученных образцов многокомпонентных изделий: а – корпус – два винта М4 х 20 ГОСТ 17474 – 82; б – его обратная сторона

Полученные образцы позволили выявить основные этапы процесса, характер распределения металла и оценить достигаемую прочность соединения.

Блок проверялся с помощью программных средств Cosmos Desing STAR, начиная с построения 3D-модели матрицы, крышки, замковых механизмов в Solid Works. Потребовалась оптимизация конструкции по критериям минимально допустимых толщин стенок, минимизации деформаций, а также равномерного распределения температурных полей. Эти параметры обуславливают уменьшение металлоемкости конструкции, сокращение времени прогрева до заданной температуры и, в целом, снижение энергоемкости всего процесса.

Ответственным конструктивным элементом автономных штамповых блоков являются их замковые механизмы, которые призваны удерживать элементы блока в постоянном положении друг относительно друга в течение всего процесса формовки. Нами были предложены замки на основе торцевых поворотных эксцентриковых кулачков с углом самоторможения на рабочих опорных поверхностях. Для проверки прочности кулачков прикладывалось усилие, возникающее при давлении в 1,5 МПа, приложенном ко всей площади рабочей части крышки. Результаты показали, что деформация кулачка в экспериментальной конструкции блока чрезвычайно мала и не превышает 0,05 мкм с запасом прочности до 15 крат, что также дает возможность пересмотреть и минимизировать его размеры в последующих вариантах конструкции блока.

Можно также привести в качестве примера возможные варианты компоновки автоматизированной установки для СП-формовки по предлагаемым схемам в виде эскиза, показанного на рис. 4. Она позволяет совмещать по времени выполнение отдельных технологических переходов. Компоновка по рис. 4а включает в себя пресс 1, служащий для герметизации рабочей полости штампового блока, поворотный многопозиционный стол 2, печь 3 для нагрева блоков, позицию 4 с механизмом раскрытия замков, непосредственно штамповый блок 5, крышку 6 блока (круглая, показана в снятом положении) и рабочее место 7.

Оператор в рабочей позиции 7 извлекает из штампового блока готовое изделие, наносит защитное разделительное покрытие матрицы с помощью пульверизатора. Затем он берет новую заготовку (щипцами, учитывая рабочую температуру процесса) из накопителя заготовок и укладывает ее на матрицу.

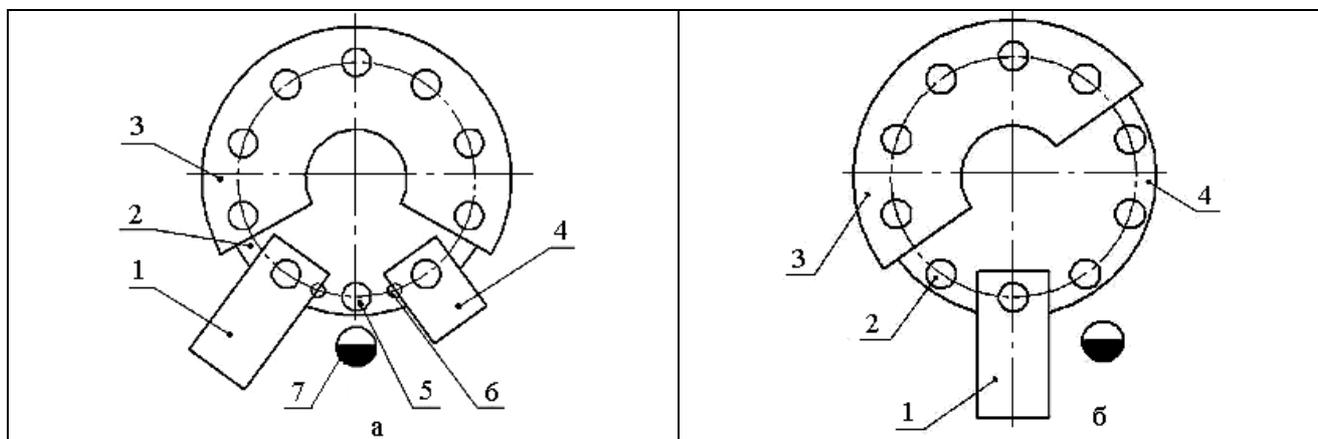


Рис. 4. Примеры компоновок автоматизированных установок для СП-формовки:
а – с разделенными позициями закрывания и раскрытия замков штампового блока;
б – вариант с совмещенной позицией

Выводы. В статье приведены результаты исследований с выходом на повышение производительности и эффективности СП-формовки. Предложены новые схемы проведения таких операций, даны конструктивные решения штамповых блоков с приведением результатов прочностных расчетов в широком диапазоне режимов формовки. Кроме того, дано подробное описание нового способа формообразования с получением многокомпонентных изделий.

Материалы, приведенные в статье, могут быть полезными специалистам, занятым разработкой нестандартной технологической штамповой оснастки.

Список литературы

1. Чумаченко Е. Н., Смирнов О. М., Цепин М. А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии. М. : Ком. книга, 2005. 320 с.
2. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Апатов Ю. Л., Поляков С. М. Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на полезную модель № 54541 МКИ В21D26/22. 2006.

3. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Африкантов А. А., Апатов Ю. Л. Способ получения изделий из листовых заготовок в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на изобретение № 2306996 МКИ В21D26/02. 2007.

Improvement of means of technological equipment of SPF processes of parts and assembly units

Y. L. Apatov¹, R. R. Faskhutdinov², K. Y. Apatov³

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: apatov.yu@yandex.ru

²master student of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: rinatinho67@yandex.ru

³PhD of technical sciences, associate professor of the Department of engineering graphics, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr03913@vyatsu.ru

Abstract. The relevance of this direction is the need to obtain theoretical and practical foundations for the development of new and promising types of equipment for superplastic forming processes (SPF).

The aim of the work was the theoretical and experimental study and justification of a new approach to the design of special devices – autonomous die blocks, which can improve the efficiency of the process, as well as to expand its technological capabilities.

The research method was in carrying out experiments on experimental tooling with varying the main parameters of the SP-forming process: the workpiece material, temperature, pressure of the compressed gas and the flow time – with a theoretical analysis of the data.

Practical evidence of the ability to conduct a specified process in our proposed scheme - outside the press of high power for automated installations by splitting the process into separate stages - appeared. A method of forming products with permanent joints of parts is worked out.

Materials of this article are intended, mainly, to designers-developers of new equipment in the field of creation of means of technological equipment of stamping automated production.

Keywords: superplasticity, die block, part forming, pressure-free forming, connection, tooling modeling.

References

1. Chumachenko E. N., Smirnov O. M., Cegin M. A. *Sverhplastichnost': materialy, teoriya, tekhnologii* [Superplasticity: materials, theory, technology]. M. Com. kniga. 2005. 320 p.
2. Apatov K. Yu., Cegin M. A., Apatov Yu. L., Polyakov S. M. [Device for sheet forming in superplasticity state. Russian patent for utility model № 54541 МКИ В21D26/22]. 2006.
3. Apatov K. Yu., Cegin M. A., Afrikantov A. A., Apatov Yu. L. [Method of obtaining products from sheet blanks in a state of superplasticity. Russian patent for invention № 2306996 МКИ В21D26/02]. 2007.