

Особенности операций комбинированной листовой пневмоударной штамповки эластичной средой

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

В работе представлены результаты исследований по обеспечению качества тонкостенных деталей типа «борт–стенка–борт» и «борт–стенка», получаемых методом пневмоударной штамповки эластичной средой в одном штампе при совмещении следующих операций: формовка–отбортовка с пробивкой и вырубкой. Проведена оценка точностных параметров штампованных деталей и представлена методика расчета потребных давлений необходимых для выполнения совмещенных операций при высокоскоростной штамповке деталей из низкопрочных и высокопрочных материалов толщиной от 0,3 до 1,2 мм и высотой до 30 мм. Трудоемкость снижается в 3–4 раза, а стоимость изготовления — в 5–15 раз.

Ключевые слова: листовая высокоскоростная штамповка, совмещение операций, формовка, отбортовка, пробивка, вырубка.

Введение

Обеспечение качественных показателей при снижении трудоемкости изготовления деталей из листа изделий сложной техники (машиностроительной, аэрокосмической, транспортной и т. п.) является одной из важных задач, стоящих перед производством в современных условиях.

1. Анализ последних исследований и публикаций

Тонколистовые сложнорельефные детали (0,3–1,2 мм), получаемые штамповкой, занимают весомый объем в перечисленных отраслях. Поэтому получение точных штампованных деталей без припуском под механическую обработку является актуальной задачей, особенно это касается деталей типа «борт–стенка–борт», «борт–стенка» с совмещением операций формовки, пробивки и вырубки. Штамповка таких деталей с помощью эластичных и жидкостных сред или в инструментальных штампах при статическом нагружении не позволяет в отдельных случаях получать требуемую точность и качество штампуемых деталей [1].

На рис. 1 (поз. 1–7) приведены жесткие штампы, используемые для формообразования деталей толщиной 0,2 мм, диаметром 40 мм и высотой бортов 6 мм. Их суммарная металлоемкость в десятки раз превышает металлоемкость технологической оснастки (поз. 8) с размером в плане 120 мм, используемой для изготовления данной детали методом пневмоударной штамповки (ПУШ) эластичной средой [2]. При этом применение данного метода позволяет одновременно совмещать как разделительные, так и формообразующие операции в одной технологической оснастке, например: пробивку, вырубку, отбортовку, гибку, формовку и вытяжку [2, 3].

2. Постановка проблемы

Вопросы качества и ресурсосбережения при изготовлении тонколистовых деталей методом ПУШ, особенно при совмещенных различных операциях де-

формирования, в отечественной и зарубежной литературе исследованы недостаточно.

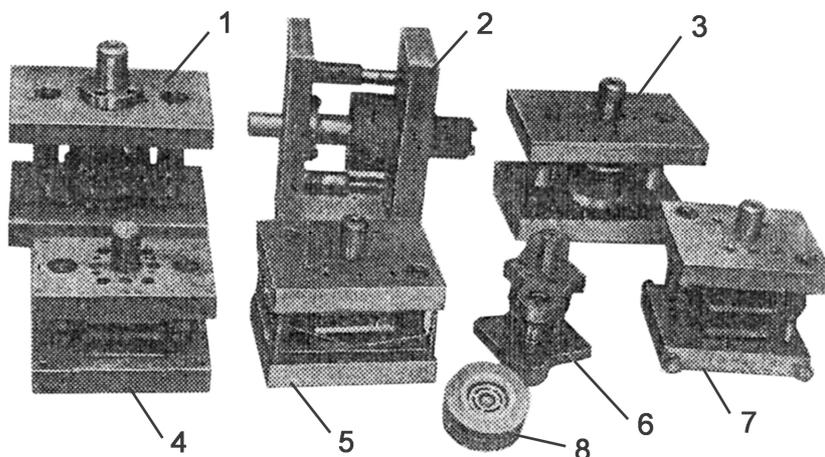


Рис. 1. Штамповая оснастка для инструментальной штамповки на прессах

При использовании в качестве передающей эластичной среды полиуретана предпочтение необходимо отдавать выполнению разделительных операций ПУШ: пробивке, вырубке, обрубке, их сочетаниям с другими формообразующими процессами штамповки. В этом случае основное достоинство этого метода — высокоскоростное деформирование и разделение металла по всему контуру независимо от его формы. Эта особенность и высокая скорость формообразования способствуют получению более качественной поверхности разделения и увеличению точности получаемых деталей [5, 6].

Целью данной работы является исследование особенностей и оценка качественных показателей деталей, получаемых ПУШ эластичной средой (полиуретаном).

3. Изложение основного материала исследования

Своеобразная схема напряженно-деформированного состояния при беспуансонной штамповке определяет форму поверхности разделения, которая существенно отличается от идеальной цилиндрической поверхности и имеет две характерные зоны: криволинейную зону утяжки радиусом r и прямолинейную зону разрушения, определяемую углом β , в плоскости оси пробиваемого отверстия. Чем пластичнее материал, тем больше радиус утяжки. Для таких материалов, как стали Ст3 ($\sigma_b = 400$ МПа) и X18H10T ($\sigma_b = 540$ МПа, $\delta = 40\%$) $r = (0,2...0,3)S$, увеличение пластичности ведет к уменьшению угла β , который, как правило, не превышает $10...15^\circ$.

Шероховатость поверхности разделения оценивали в двух сечениях: в зоне округления и на прямолинейном участке в плоскости заготовки. В результате обработки профилограмм установлено, что шероховатость поверхности разделения равномерна по всему вырубаемому контуру и определяется в основном физико-механическими свойствами обрабатываемого материала. Для сталей Ст3 и X18H10T высота микронеровностей $Rz = 12...18$ мкм и $Rz = 1,3...2,3$ мкм соответственно.

При беспуансонной пробивке размеры получаемых отверстий зависят не только от размеров инструмента (матрицы), но и от толщины и прочностных характеристик обрабатываемого материала, диаметра пробиваемого отверстия. Существенное влияние на величину отклонений размеров получаемых отверстий оказывает и прогиб заготовки перед разделением. Размеры отверстий определяли на просвет в двух взаимно перпендикулярных сечениях. В целом с учетом систематических и случайных погрешностей отклонение для данных материалов укладывается в поле допуска 11–14 квалитетов.

Как показали исследования точность размеров штампуемых деталей следующая: при $d/S > 14...21$ и $\delta/S > 8...15$ находится в пределах 11–12-го квалитета, а при $d/S < 14...21$ и $\delta/S < 14...21$ в пределах 12–14-го квалитета (d – диаметр штампуемой детали, S – толщина штампуемого материала). Как видно, с уменьшением толщины заготовки точность получаемых отверстий увеличивается. Наиболее точные отверстия получаются в диапазоне 10...40 мм.

Значительный практический интерес представляет выбор минимально допустимой ширины перемычки между отверстием и краем заготовки. При слишком малой ширине перемычек происходит перекрытие зон пластической деформации, что может вызвать их разрушение. Во избежание этого размер перемычки должен быть несколько больше, чем суммарная ширина зон пластической деформации. При одновременной пробивке близкорасположенных отверстий распределение напряжений по обе стороны от перемычки будет одинаковым, что позволяет уменьшить минимально допустимую ее ширину до значения порядка $(1,5...1,8)S$.

Поэтому к критериям, определяющим минимальные размеры деталей и их конструктивные элементы, относятся минимальные размеры круглых и прямоугольных деталей, выступов, пазов, перемычек и радиусов округлений и т. д. В работе [5] приведены основные показатели качества, которые можно реализовать методом ПУШ эластической средой.

Рассмотренные критерии отнесены к показателям качества штампуемых деталей, потому что при изготовлении деталей и их конструктивных элементов с размерами, меньшими минимально допустимых, возникают различные виды брака: искажение формы деталей и их элементов, разрывы деталей по перемычкам, обрывы штампуемого материала в углах отверстий и др.

Эти виды брака деталей возникают в том случае, если нарушается равновесие сил, удерживающих деталь или ее конструктивный элемент от пластической деформации в плоскости матрицы и растягивающих усилий, действующих со стороны отхода. Если в процессе совмещенной штамповки деталей силы, удерживающие деталь и их конструктивные элементы от пластической деформации в плоскости матрицы, больше растягивающих усилий, то размеры деталей и их конструктивных элементов достаточны, брак исключен. Для этого необходимо точно рассчитать результирующее давление, необходимое для разделения заготовки и формообразования детали. Его можно рассчитать по следующей формуле

$$g_p = K_p \cdot g_g, \quad (1)$$

где $K_p = 1,2...1,3$ – коэффициент, учитывающий дополнительное давление, необходимое для формообразования бортов.

Давление g_g , необходимое для разделения заготовки, рассчитывается по формуле

$$g_g = (0,86D_{p.k}h_0\sigma_g) / (D_{p.k}\delta + \delta^2), \quad (2)$$

где $\delta = (D_{p.k} - d)/2$;

$D_{p.k}$ – диаметр режущей кромки обоймы;

d – диаметр формообразующего пуансона;

σ_s – предел прочности материала заготовки;

h_0 – толщина заготовки.

Если разность давления результирующего и давления необходимого для пробивки отверстий положительная, то можно изготовить деталь за один переход.

Давление, необходимое для пробивки отверстий в стенке детали, определяем по формуле

$$g_{np} = (0,86\sigma_s L h_0 K_\delta) / S, \quad (3)$$

где L и S – соответственно периметр и площадь наименьшего отверстия в плане;

K_δ – коэффициент динамичности, равные 1,2...1,25.

Проведенные эксперименты по стойкости (способности сохранять первоначальную геометрию) режущих кромок инструмента при пробивке-вырубке заготовок из стали и алюминиевых сплавов в процессе ПУШ позволяют сделать следующие рекомендации для выбора оптимальных составов и элементов технологической оснастки (шаблонов): максимальной стойкостью при импульсном нагружении обладают вырубные элементы оснастки, изготовленные из инструментальной стали ХВГ с твердостью HRC 53–57.

На рис. 2–4 представлены типовые детали и типовой штамп для изготовления методом ПУШ эластичной средой деталей типа: борт-стенка, борт-пробивка-вырубка-формовка, формовка-вырубка.

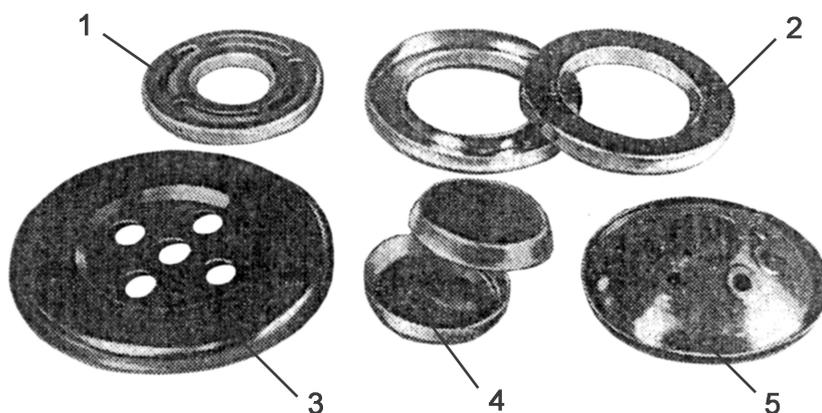


Рис. 2. Детали, полученные ПУШ гибкой-формовкой:
1, 2 – типа «борт-стенка-борт»; 3, 4, 5 – типа «борт-стенка»

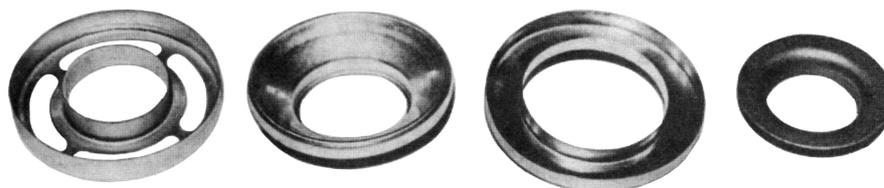


Рис. 3. Детали, полученные на штампах для выполнения операций
обтяжки, обрезки фланца и вырубки пазов

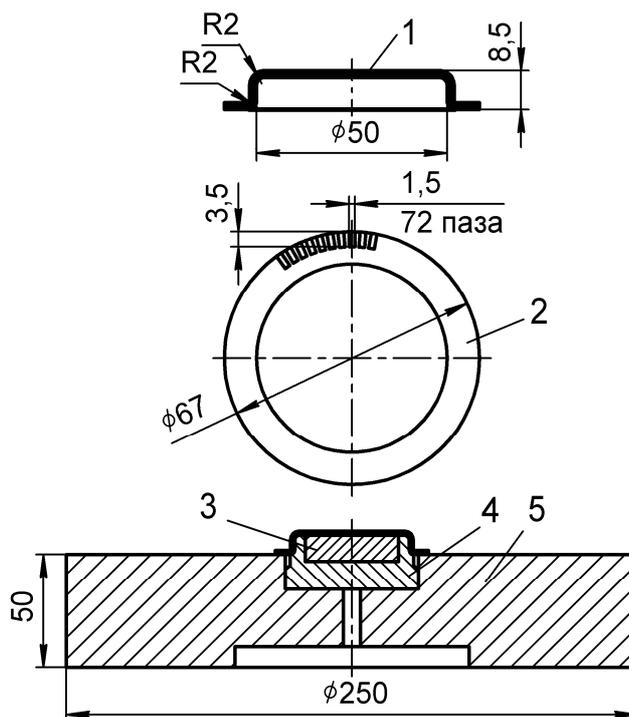


Рис. 4. Штамп для обтяжки, обрезки фланца и вырубке пазов:
1 – деталь; 2 – заготовка; 3 – вставка; 4 – матрица; 5 – плита

Промышленное апробирование данной технологии показало экономическую целесообразность ее применения при годовых программах выпуска изделий до 20 тыс. шт. при значительном снижении трудоемкости и затрат на подготовку производства и повышении качества деталей.

Выводы

1. На основании проведенных исследований определены качественные показатели деталей, изготавливаемых методом пневмоударной штамповки полиуретаном при совмещении формообразующих и разделительных операций в одной штамповой оснастке.
2. Представлена методика расчета необходимых давлений для проведения операций совмещенной штамповки методом ПУШ эластичной средой.

Список литературы

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 520 с.
2. Зорик В.Д. Процессы листовой штамповки взрывом с совмещением операций / В.Д. Зорик // Кузнечно-штамповочное производство. – 1976. – № 7. – С. 25-30.
3. Манаенков И.В. Исследование точности разделительных операций пневмоударной штамповкой листовых деталей [Текст] / И.В. Манаенков // Високі технології в машинобудуванні: сб. науч. тр. НТУ «ХПИ». – Вып. № 2. – Х., 2009. – С. 86-89.

4. Фролов Е.А. Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами [Текст]: моногр. / Е.А. Фролов, А.Я. Мовшович, И.В. Манаенков и др. – Х.: УкрГАЗТ – Краматорск: ДГМА, изд. центр НТУ «ХПИ», 2010. – 286 с.

5. Манаенков И.В. Распределение погрешности при выполнении разделительных операций пневмоударной штамповкой [Текст] / И.В. Манаенков, А.Я. Мовшович, М.М. Буденный // Сб. науч. тр. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып. 88. – С. 41-44.

6. Фролов Е.А. Определение показателей качества листовых деталей при ударно-импульсных разделительных операциях эластичной средой [Текст] / Е.А. Фролов, А.Л. Комарова, И.В. Манаенков // Вестник ХНАДУ. – Вып. 54. – Х., 2011. – С. 149-152.

Поступила в редакцию 11.09.2015.

Особливості операцій комбінованого листового пневмоударного штампування еластичним середовищем

У роботі представлені результати досліджень забезпечення якості тонкостінних деталей типу «борт–стінка–борт» і «борт–стінка», які отримуються методом пневмоударного штампування еластичним середовищем в одному штампі за рахунок суміщення наступних операцій: формовка–відбортовка з пробиванням і вирубкуванням. Проведена оцінка параметрів точності штампованих деталей і представлена методика розрахунку необхідного тиску для виконання суміщених операцій під час високошвидкісного штампування деталей із матеріалів низької та високої міцності товщиною від 0,3 до 1,2 мм та висотою до 30 мм. Трудомісткість знижується у 3–4 рази, а вартість виготовлення — у 5–15 разів.

Ключові слова: листове високошвидкісне штампування, суміщення операцій, формовка, відбортовка, пробивка, вирубка.

Peculiarities of operations of the combined sheet pneumoshock stamping by the elastic environment

The paper presents the results of research on quality assurance of the thin-walled details like «board-wall-board» and «board-wall», obtained by the method of pneumoshock stamping by the elastic environment in one stamp when combining the following operations: forming-flanging with perforation and logging. The assessment of precision parameters of stamped details is carried out and a methodology of calculation of the required pressure necessary to perform multiple operations in high-speed stamping details from low quality and high-strength materials with a thickness from 0.3 to 1.2 mm and a height of 30 mm. is presented. Labor input decreases by 3–4 times, and the manufacturing cost at 5-15 times.

Keywords: sheet high-speed stamping, combination of operations, forming, flanging, punching, cutting.