

## **Анализ причин возникновения погрешностей при пневмоударной штамповке деталей эластичными средами и их классификация**

*Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка*

Проведен анализ и выявлены причины возникновения погрешностей при пневмоударной штамповке листовых деталей эластичными средами. Определены факторы влияющие на величину скругления кромки по периметру среза при вырубке или пробивке листовых деталей в штампах с эластичной матрицей из полиуретана на стороне детали, соприкасающейся с полиуретаном. Разработан классификатор производственных погрешностей при выполнении разделительных операций пневмоударной штамповки. Определены причины возникновения этих погрешностей, их характер и степень влияния на точность штампуемых деталей.

**Ключевые слова:** пневмоударная штамповка, эластичная среда, пробивка, вырубка, погрешность, точность.

### **Постановка задачи исследования**

Важной задачей различных отраслей машиностроения в современных условиях является выпуск высококачественных изделий при одновременном повышении производительности труда и снижении трудоемкости производства. В случае листоштамповочного производства этим требованиям в полной мере, по сравнению с традиционной штамповкой, отвечает метод высокоскоростного формообразования на основе технологии и оборудования пневмоударной штамповки жидкостью и эластичной средой [1-3]. В тоже время широкой реализации на практике технико-экономических преимуществ и положительных особенностей метода пневмоударной штамповки препятствует недостаточность научно-обоснованных практических рекомендаций по оценке точностных возможностей этого метода штамповки.

Целью данного исследования является проведение анализа и оценка погрешностей при пневмоударной тонколистовой штамповке деталей эластичными средами.

### **Основной материал**

В машиностроении производственными погрешностями называют отклонения различного рода параметров реальных деталей от номинальных данных, указанных в чертежах и технических условий [1].

Погрешности, возникающие при обработке партии деталей, можно разделить на две группы: случайные (погрешности перемещения, незакономерные) и систематические, вызывающие одинаковые отклонения всех деталей в партии.

Большинство причин, вызывающих производственные погрешности, являются чисто случайными, особенно если их отнести к производственным

партия. Действие же систематических причин выражается в смещении всей области рассеивания отклонений.

Причины, вызывающие производственные погрешности при пневмоударной штамповке весьма многочисленны и разнообразны.

К ним относятся:

1) погрешности оборудования, как-то: недостаточная жесткость станин и фундаментов, нарушение подачи смазки и т.д.;

2) погрешности инструмента, такие как: износ и недостаточная жесткость рабочих элементов (матрица, пуансон), затупление режущих кромок, неточности изготовления базовых, корпусных, держащих, фиксирующих и рабочих элементов;

3) неоднородность материала и конструктивные особенности заготовки деталей;

4) погрешности исполнителя, в частности: при установке и закреплении штампа на столе прессы, при фиксации заготовки или детали в штампе.

К деталям из тонколистовых материалов предъявляются жесткие требования в отношении качества. Качество поверхности деталей оказывает существенное влияние на их надежность в процессе эксплуатации.

По своему виду и природе образования дефекты на деталях, отштампованных в штампах с эластичной матрицей, могут быть сведены к четырем основным группам:

- вмятины на поверхности детали;
- одностороннее скругление кромки детали;
- зависание отхода;
- отклонение от формы и размеров.

Практика показывает, что на величину наблюдаемых дефектов одновременно влияют несколько факторов:

- 1) род материала и режимы предварительной термической обработки;
- 2) конструктивные особенности деталей (диаметры отверстий, величина острых углов, величина радиуса закругления острых и прямых углов, величина перемычки между отверстиями и кромками деталей, ширина пазов);
- 3) технологические условия производства (удельное давление, тип инструмента и оборудования, схема вырубки-пробивки).

При использовании штампов с эластичной матрицей на поверхности деталей, отштампованных из листа, часто появляются вмятины типа мелких точек.

Мельчайшие частицы, образующиеся в зоне разделения металла, внедряются в поверхность эластичной матрицы. Поскольку удельное давление матрицы из полиуретана действует по всей поверхности вырубаемой детали, то эти мельчайшие частицы оставляют глубокий след на поверхности деталей.

Дефект легко устранить путем удаления посторонних частиц с поверхности эластичной матрицы, плоскости бойка и копира-пуансона мягкой щеткой.

Следует особо подчеркнуть – чтобы избежать вмятин, нужно строго соблюдать чистоту поверхности заготовок, эластичной матрицы, копира-пуансона и плоского бойка. В этом случае поверхность отштампованных деталей может быть даже полированной.

При вырубке или пробивке листовых деталей в штампах с эластичной матрицей из полиуретана на стороне детали, соприкасающейся с полиуретаном, получается радиус скругления кромки по периметру среза.

На величину скругления кромки (утяжки) влияют:

- 1) род материала и его состояние.
- 2) толщина материала.
- 3) конструкция копира-пуансона.

Так как толщина заготовки, вырубаемой на полиуретане, в настоящее время не превышает 2...3,0 мм, то скругление кромки разграничивать на величину утяжки и величину радиуса этого скругления не имеет смысла. В дальнейшем и то и другое будем называть общим термином «утяжка».

Если связать величину утяжки кромки с пределом прочности материала, то можно заметить, что с увеличением последнего ( $\sigma_{\sigma}$ ) первая уменьшается (таблица 1).

В таблице 1 материалы расставлены в порядке возрастания величины отношения предела текучести к пределу прочности  $\sigma_m/\sigma_{\sigma}$ .

Таблица 1

Значение коэффициента утяжки кромки

| Марка материала                  | $\sigma_m$ , МПа | $\sigma_{\sigma}$ , МПа | $\sigma_m/\sigma_{\sigma}$ | $k_y$ |
|----------------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|-------|
| Латунь Л 69                      | 60               | 240                     | 0,25                       | 0,800 |
| Медь М1, М2, М3                  | 70               | 240                     | 0,29                       | 0,783 |
| Латунь Л 68                      | 100              | 330                     | 0,3                        | 0,750 |
| Бронза Бр ОЦ 4-3                 | 110              | 360                     | 0,3                        | 0,750 |
| Алюминиевый сплав АмцМ           | 55               | 135                     | 0,4                        | 0,675 |
| Сталь 1Х18Н9Т                    | 350              | 750                     | 0,47                       | 0,619 |
| Сталь Х13, 3Х13                  | 315              | 600                     | 0,53                       | 0,575 |
| Сталь 10Г, 2А, 25, ХГСА, 30ХГСНА | 395              | 625                     | 0,63                       | 0,500 |
| Сталь 08кп, 10, 15, 20           | 270              | 430                     | 0,63                       | 0,500 |

Следует отметить: по этому отношению материалы одного и того же класса резко отличаются друг от друга. Например, для латуни Л62  $\sigma_m/\sigma_{\sigma} = 0,25$ , а латуни Л90 – 0,5, для алюминиевого сплава АмцМ  $\sigma_m/\sigma_{\sigma} = 0,35...0,4$ , а алюминиевого сплава АмцП – 0,75...0,8.

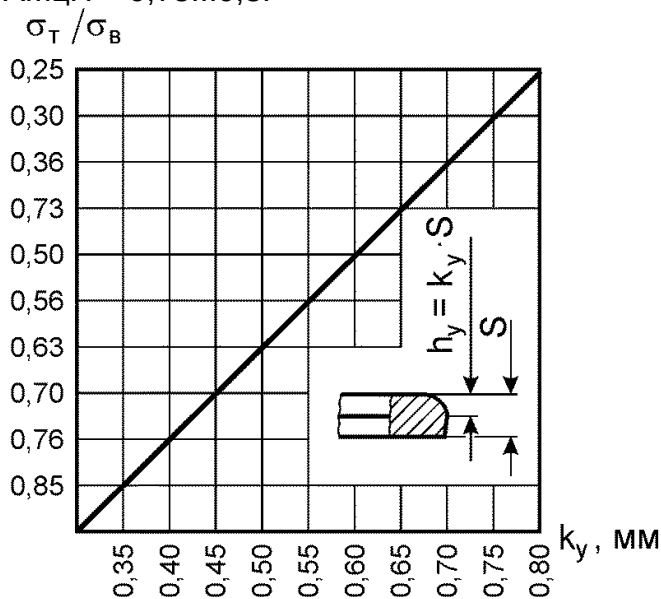


Рис. 1. График изменения коэффициента утяжки кромки в зависимости от  $\sigma_m/\sigma_{\sigma}$

Влияет на величину утяжки кромки, как уже было сказано, толщина штампуемой заготовки ( $S$ ). При  $S < 0,5$  мм этому влиянию значения не придают (оно слишком мало). Величина утяжки кромки резко возрастает по мере увеличения толщины заготовки за указанный предел ( $S > 0,5$  мм). Это показывает кривая изменения величины  $k_y$  в зависимости от  $\sigma_m/\sigma_s$  (рис.).

Высота копира-пуансона мало влияет на величину утяжки кромки детали и в расчетах ее можно не учитывать.

Если в конструкции копира-пуансона (рис. 2) учтено одновременное применение периферийного шаблона, то величина утяжки кромки будет меньше. Эта величина зависит от ширины щели «с» между копиром-пуансоном и периферийным шаблоном. Исследования показали, что по мере увеличения щели «с'» величина утяжки возрастает, но не больше чем на 25...30% ее (утяжки) общей величины при штамповании детали без периферийного шаблона.

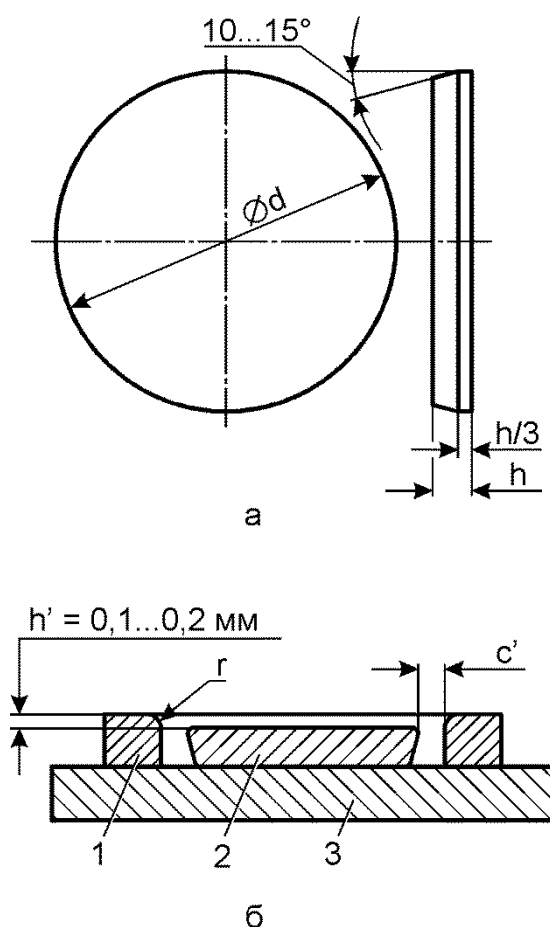


Рис. 2. Копир-пуансоны:

а – простой; б – с периферийным шаблоном:

- 1 – периферийный шаблон; 2 – копир-пуансон; 3 – плита основания;  
 $c'$  – зазор между копир-пуансоном;  $r$  – радиус периферийного шаблона;  
 $h'$  – разница высот копира-пуансона и периферийного шаблона

Таким образом, разрабатывая технологический процесс вырубki-пробивки деталей в штампах с эластичной матрицей, следует обратить внимание на два

основных фактора, влияющих на величину утяжки кромки – на отношение  $\sigma_m / \sigma_e$  и толщину вырубаемой заготовки.

Один из характерных дефектов, снижающих качество детали – это зависание отхода. Этот дефект можно предупредить, если будут соблюдены (выбраны):

- оптимальное отношение диаметра отверстия  $d$  к высоте копира-пуансона;
- соответствующие род материала и его состояние;
- хорошее состояние режущей кромки копира-пуансона;
- удачная конструкция копира-пуансона.

Если в деталях, изготавливаемых в штампах с эластичной матрицей из полиуретана, имеются отверстия, то обязательно должно быть выдержано условие

$$d_{омв} / H_k \geq 2,5 \quad (1)$$

где  $d_{омв}$  – диаметр отверстий, мм;  $H_k$  – высота копира-пуансона, мм.

При отношении  $d_{омв} / H_k \leq 2,5$  происходит зависание отхода в отверстиях.

Практика внедрения рассматриваемого метода показывает, что при штамповке с помощью одного копира-пуансона свыше 1000 – 1800 деталей зависание отхода не наблюдалось.

Получение правильной формы детали размерами согласно чертежу (особенно сложных по конфигурации) – основная задача в проектировании технологического процесса и изготовлении детали.

Отклонениями от формы и размеров вырубаемой детали могут быть:

- неправильность геометрических форм детали (вместо круга – эллипс, вместо квадрата или прямоугольника – параллелепипед, то же самое относится и к отверстиям);
- утонение (утяжка) в перемычках между отверстиями и между отверстием и наружным контуром детали;
- несоответствие размеров в пазах деталей и на ее выступах размерам, указанным в чертеже;
- угловое смещение элементов свыше допустимого;
- несоответствие размеров наружного и внутреннего контуров детали размерам, указанным в чертеже.

От того, насколько полно и правильно будут определены причины отклонения от формы размеров детали, зависит качество штампуемых деталей.

На точность формы и размеров деталей, изготавливаемых пневмоударной штамповкой с эластичными матрицами влияют:

- 1) род и состояние материала;
- 2) точность изготовления копира-пуансона по форме и размерам;
- 3) конструкция копира-пуансона;
- 4) состояние поверхности копира-пуансона и полиуретана;
- 5) соотношение конструктивных элементов деталей (минимальная перемычка между отверстиями и наружным контуром штампуемой детали, ширина пазов и выступов штампуемой детали).

Следует особо подчеркнуть, что отклонение формы как внутреннего, так и наружного контура детали от заданной чертежом связано с нарушением точности изготовления копира-пуансона так как практика внедрения показала, что штампуемая деталь по размерам и форме полностью соответствует копиру-пуансону.

Малопластичные материалы хорошо сохраняют придаваемые им при штамповке форму и размеры. Они почти не подвержены утяжке в местах перемычек между отверстиями и между отверстиями и наружным контуром детали и на узких выступах [5].

Пластичные же материалы, наоборот, сильно подвержены этому явлению, из-за чего штампуемые детали часто уходят в брак.

Для пластичных материалов должно быть выдержано условие  $a/S \geq 6$ , где  $a$  – перемычка между отверстиями и наружным контуром детали.

Для деталей из малопластичных материалов отношение  $a/S \geq 3$ .

Уменьшение перемычек при вырубке деталей с отверстием, близко расположенным к наружному контуру детали, или при вырубке кольцевых деталей чаще всего происходит в силу того, что усилия, необходимые для вырубки наружного и внутреннего контуров детали, неодинаковые и отличаются друг от друга на большую величину.

Величина износа копира-пуансона пробивной матрицы в каждом конкретном случае определялась нами экспериментальным путем.

Вырубной копир-пуансон находится в контакте с поверхностью заготовки на участке высотой  $h$ , которая по экспериментальным данным составляет –  $0,3S$ .

При вырубке и пробивке без прижима материала размеры вырубаемых и пробиваемых контуров изменяются не только за счет износа режущих элементов, но и в результате пружинения материала деталей.

В зависимости от состояния и толщины материала получается различное его пружинение. Чем мягче материал, тем меньше абсолютные значения отклонений вырубленных деталей от номинальных размеров изделий.

С увеличением относительной толщины металла  $S/D$  максимальное значение погрешностей уменьшается.

Влияние анизотропии металла на поверхность при вырубке-пробивке заключаются в том, что механические свойства его в различных направлениях пробивки не однородны: в продольном направлении прокатки прочностные показатели ниже чем в поперечном направлении, а пластические показатели, наоборот, выше. Это оказывает определенное влияние на упругие деформации и на отклонение размеров вырубленных деталей от номинального диаметра изделия.

При этом следует отметить, что в связи со сложностью определения величины внутренних напряжений, вызываемых анизотропией влияние ее на результирующую точность штамповки изучено крайне недостаточно.

На точность штамповки определенное влияние оказывают колебания размеров заготовки по ширине и толщине: первые приводят к тому, что перемычки между вырубаемыми деталями и по краям полосы оказываются неодинаковыми, что приводит к искажению формы деталей и рассеиванию размеров; вторые приводят к довольно значительным колебаниям деформаций.

По своему характеру вышеперечисленные погрешности следует отнести к случайным погрешностям.

Погрешности связанные с неточностью фиксации и базировки, возникают в случае фиксации заготовок по трафаретам или упорам без дополнительного принудительного прижима к базовым поверхностям. В данном случае числовое значение погрешностей базировки не должно превышать поле допуска на размеры контуров заготовки, по которым осуществляется фиксация. Погрешность

базировки следует учитывать, как случайную погрешность, подчиняющуюся закону нормального распределения.

Классификатор производственных погрешностей представлен в таблице 2.

Таблица 2

## Классификация производственных погрешностей

| Причины погрешности                                   | Характер погрешностей | Степень влияния |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Пружинение материала детали                           | систематическая       | существенная    |
| Износ рабочих частей                                  | систематическая       | доминирующая    |
| Неточность изготовления оснастки                      | случайная             | малая           |
| Неточность фиксации заготовки (детали)                | случайная             | малая           |
| Анизотропия материала заготовки                       | систематическая       | малая           |
| Рассеивание размеров по габаритам и толщине материала | систематическая       | существенная    |
| Затупление режущих кромок рабочих частей              | систематическая       | существенная    |

**Заключение**

В результате разработки классификатора производственных погрешностей возникающих при выполнении разделительных операций пневмоударной штамповкой, определены причины возникновения этих погрешностей, их характер и степень влияния на размерную точность штампуемых деталей

**Список литературы**

1. Фролов Е. А. Формообразование жаропрочных материалов в условиях пневмоударного нагружения / Е. А. Фролов // Авиационно-космическая техника и технология : труды ХАИ. – Харьков, 2002. – Вып. 30. – С. 147–150.
2. Фролов Е. А. Оценка качественных показателей деталей из листа при операциях пробивки – вырубки эластичной средой на пневмоударном оборудовании / Е. А. Фролов, И. В. Манаенков, Т. В. Дякова // Зб. наук. праць / Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Х., 2008. – Вип. 99. – С. 250–256.
3. Пути повышения качества технологической системы пневмоударной штамповки деталей / Е. А. Фролов, С. С. Тимофеев, И. В. Манаенков, Т. В. Дякова // Зб. наук. праць / Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Х., 2008. – Вип. 88. – С. 116–122.
4. Макино Икюю. Исследование качества поверхности среза [Текст] / Макино Икюю. – Пурэсу гидзюцу. – 1975. – 13. – № 5. – С. 93 – 98.
5. Мовшович, А.Я. Исследование сопротивлению срезу при штамповке листового материала [Текст] / А.Я. Мовшович, В.А. Долгов, Е.И. Заярненко // Технология и организация производства. – 1975. – № 2. – С. 28 – 30.

Поступила в редакцию 12.12.2016

## **Аналіз причин виникнення похибок при пневмоударному штампуванні деталей еластичними середовищами та їх класифікація**

Проведено аналіз та виявлені причини виникнення похибок при пневмоударному штампуванні листових деталей еластичними середовищами. Визначено фактори, які впливають на величину заокруглення кромки по периметру зрізу при вирубці або пробиванні листових деталей в штампах з еластичною матрицею з поліуретану на стороні деталі, що стикається з поліуретаном. Розроблено класифікатор виробничих похибок при виконанні розділових операцій пневмоударного штампування. Визначено причини виникнення цих похибок, їх характер і ступінь впливу на точність штампованих деталей.

**Ключові слова:** пневмоударне штампування, еластичне середовище, пробивання, вирубка, похибка, точність.

## **The analysis of origins of errors in case of pneumoshock stamping details with the help of the elastic environments and their classification**

The analysis is carried out and origins of errors in case of pneumoshock stamping of sheet details are established by the elastic environments. The factors influencing value of a rounding off of an edge on cutoff perimeter in case of cutting or a snapping of sheet details in stamps with an elastic matrix from polyurethane on the side of the detail adjoining to polyurethane are defined. The qualifier of production errors in case of execution of separating operations of pneumoshock stamping is developed. Origins of these errors, their character and a level of influence on accuracy of the stamped details are defined.

**Keywords:** pneumoshock stamping, elastic environment, snapping, cutting, error, accuracy.

### **Сведения об авторах:**

**Фролов Евгений Андреевич**, д.т.н., профессор, зав. каф. технологии машиностроения, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.

e-mail: frolov.polntu@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6257-7022.

**Ясько Станислав Георгиевич**, аспирант, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.

e-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6228-705X.