

круг работ из числа тех, которые могут выполняться эластичной средой, и учитывают влияние не всех факторов, действующих в процессе штамповки.

УДК 621.961.2.678.665

П.Я.Пытьев

ОБРАЗОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ  
РАБОЧЕГО КОНТУРА ЖЕСТКОГО ИНСТРУМЕНТА  
ПРИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ШТАМПОВКЕ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ

Специфические особенности процесса деформирования заготовки при разделительной штамповке эластичной средой требуют несколько иного подхода к определению исполнительных размеров рабочих элементов режущего инструмента, чем при штамповке инструментальными штампами.

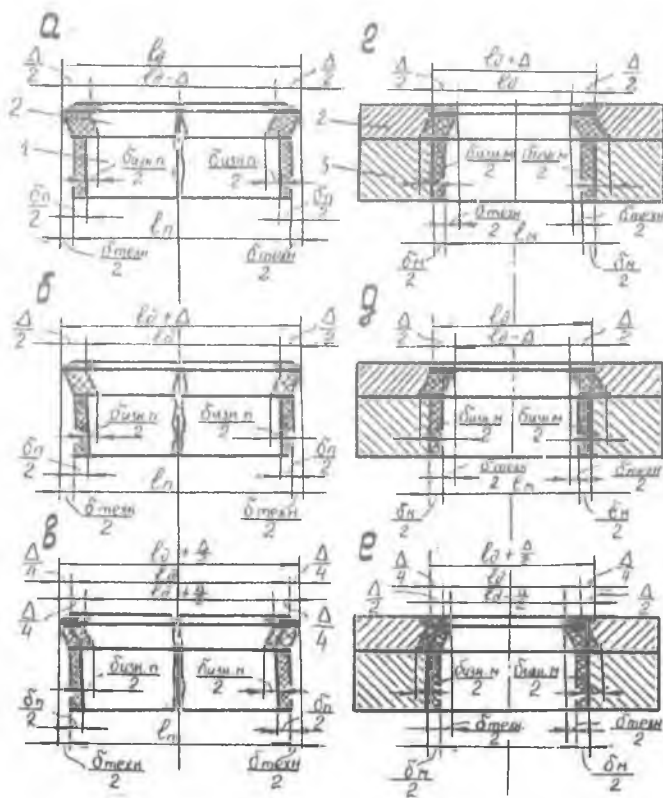
Если размеры детали при вырубке в инструментальных штампах определяются размерами проймы металлической матрицы, а размеры пробиваемого отверстия – размерами металлического пуансона, то при штамповке эластичной средой роль матрицы и пуансона на операциях вырубке и пробивки играет эластичная среда, которая не может жестко ограничить размеры детали. Размеры на деталь в этом случае могут быть перенесены только с жесткого штампующего инструмента, имеющего острые режущие кромки, в зоне которых в процессе штамповки локализируются основные деформации, приводящие заготовку к ориентированному разрушению.

Поэтому при вырубке эластичной средой размеры детали определяются размерами жесткого пуансона, а пробиваемого отверстия – размерами проймы жесткой матрицы. Исходя из этих соображений, очевидно, и должны рассчитываться исполнительные размеры рабочего контура жесткого штампующего инструмента.

Существенную роль в этих расчетах играют возникающие в процессе штамповки технологические отклонения размеров детали или отверстия от соответствующих размеров пуансона или матрицы. Экспериментальные исследования показывают, что на операциях вырубке

технологические отклонения направлены на увеличение размеров деталей, а при пробивке – на уменьшение размеров отверстия (по сравнению с соответствующими размерами рабочих элементов жесткого инструмента).

В связи с этим схемы образования исполнительных размеров жесткого инструмента при вырубке и пробивке различны и в значительной мере отличаются от схем образования размеров рабочих элементов инструментальных штампов. Основные из них приведены на рис. 1. В случае вырубki по контуру детали, поле допуска на раз-



Р и с.1. Схемы образования исполнительных размеров жесткого инструмента при вырубке и пробивке эластичной среды: 1-жесткий пуансон; 2-отштампованная деталь; 3-жесткая матрица

мер которой направлено в минус от номинального размера (рис. 1а), соответствующий размер вырубного пуансона

$$l_n = l_d - \sigma_{техн}, \quad (1)$$

где  $l_n$  - размер пуансона, соответствующий номинальному размеру детали;

$l_d$  - номинальный размер детали;

$\sigma_{техн}$  - технологическое отклонение размера детали от соответствующего размера пуансона.

Если поле допуска на размер детали направлено в плюс от номинального размера (рис. 1б), то

$$l_n = l_d + \Delta - \sigma_{техн}, \quad (2)$$

где  $\Delta$  - поле допуска на размер детали.

При симметричном расположении поля допуска (рис. 1в)

$$l_n = l_d + \frac{\Delta}{2} - \sigma_{техн} \quad (3)$$

Аналогичным образом находятся исполнительные размеры жесткого штампуемого инструмента при пробивке отверстий. Для отверстия, поле допуска на размер которого направлено в плюс от номинального размера (рис. 1г), соответствующий размер проемы матрицы

$$l_n = l_d + \sigma_{техн}. \quad (4)$$

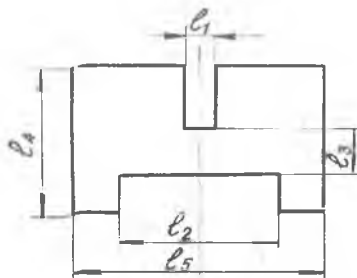
Если поле допуска направлено в минус от номинального размера (рис. 1д), то

$$l_n = l_d - \Delta + \sigma_{техн}. \quad (5)$$

При симметричном расположении поля допуска

$$l_n = l_d - \frac{\Delta}{2} + \sigma_{техн}. \quad (6)$$

При изготовлении заготовок и деталей, имеющих сложный контур с различными выступами и пазами (рис. 2), расчет исполнительных размеров элементов жесткого инструмента производят по этим же формулам. Так, если осуществляется вырубка детали, то размеры пуансона, ограничивающие его габариты ( $l_3$ ,  $l_4$  и  $l_5$ ), определяются по



Р и с. 2. К расчету исполнительных размеров жесткого инструмента для деталей сложного контура

матрицы ( $l_1$  и  $l_2$ ) - по формулам (1), (2) или (3).

Поле допуска на размеры пуансона и матрицы должно быть меньше поля допуска на соответствующие размеры детали. Это необходимо для того, чтобы иметь запас (допуск) на износ пуансона или матрицы.

Допуск на износ при вырубке детали по контуру:

$$\sigma_{изн.п} = \Delta - \sigma_n, \quad (7)$$

при пробивке отверстия

$$\sigma_{изн.м} = \Delta - \sigma_M, \quad (8)$$

где  $\sigma_n$  - поле допуска на размер пуансона;

$\sigma_M$  - поле допуска на размер проемы матрицы.

С уменьшением  $\sigma_n$  и  $\sigma_M$  допуск на износ увеличивается, но усложняется изготовление жесткого режущего инструмента ввиду повышения его точности. Поэтому величину допуска на износ определяют в зависимости от масштабов производства: чем большее количество деталей необходимо изготовить в плановом периоде, тем большую величину должен иметь допуск на износ.

В мелкосерийном и штучном производстве, где часто применяется разделительная штамповка эластичной средой, допуск на износ может быть весьма небольшим или даже равным нулю. В этом случае допуски на размеры жесткого штампуемого инструмента устанавливаются такие же, как и на размеры детали, т.е.  $\sigma_n^0 = \Delta$  и  $\sigma_M^0 = \Delta$ , что в значительной мере упрощает изготовление и снижает себестоимость инструмента.

В крупносерийном производстве допуск на износ можно брать равным половине допуска на соответствующий размер детали.

Тогда

$$\sigma_{\text{изн.п}} = \frac{\Delta}{2} = \sigma_n ; \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{изн.м}} = \frac{\Delta}{2} = \sigma_m . \quad (10)$$

Некоторую сложность как при вырубке, так и при пробивке эластичной средой составляет определение технологического отклонения размера детали от соответствующего размера инструмента ( $\sigma_{\text{техн}}$ ). Природа возникновения этого отклонения несколько иная, чем при штамповке в инструментальных штампах. Если при вырубке и пробивке жесткими пуансоном и матрицей отклонения являются следствием упругих деформаций, которые возникают в материале заготовки в процессе штамповки и после снятия внешней нагрузки исчезают за счет соответствующего изменения размеров деталей, то при штамповке эластичной средой причиной отклонений служат пластические деформации, которые, возникнув в процессе штамповки, остаются после снятия внешней нагрузки, фиксируя происшедшее изменение размеров деталей.

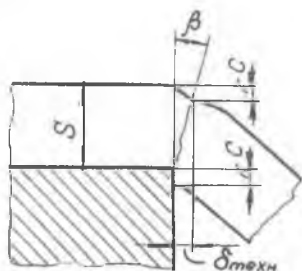
В момент начала разрушения материал в зоне режущей кромки испытывает деформацию сжатия в направлении, перпендикулярном к рабочей плоскости инструмента. Если учесть, что вдоль режущей кромки деформация отсутствует, то, исходя из условия постоянства объема, материал в плоскости заготовки должен испытывать деформацию растяжения с перемещением его частиц в сторону припуска на обрезку. Эта деформация происходит по всему поперечному сечению заготовки.

В зоне соприкосновения заготовки с поверхностью жесткого инструмента из-за больших контактных напряжений возникают горизонтальные силы трения, которые действуют в направлении, противоположном горизонтальной составляющей силы натяжения  $N$  и поэтому значительно уменьшают деформацию растяжения крайнего нижнего слоя материала. По мере удаления от режущей кромки в глубь материала тормозящее действие сил трения ослабевает, в связи с чем деформация растяжения расположенных здесь волокон увеличивается. Наибольшей она будет у поверхностных слоев с выпуклой стороны (противоположной режущей кромке). В связи с этим поверхность сре-

за имеет характерный профиль с наклоном образующей в сторону удаленного припуска, что приводит к отклонению размера детали от соответствующего размера жесткого инструмента на величину  $\frac{\delta_{техн}}{2}$  на сторону (рис.3).

Экспериментальные исследования показывают, что  $\delta_{техн}$  зависит от ряда факторов, основными из которых являются: физико-механические свойства штампуемого материала и толщина заготовки. Значительно меньшее влияние оказывают такие факторы, как острота режущих кромок, твердость эластичной среды, размер пробиваемого отверстия (для операций пробивки) и ряд других.

Исходя из приведенного анализа, величину  $\delta'_{техн}$  в зависимости от основных факторов (механических свойств штампуемого материала и его толщины) можно найти аналитическим путем. Согласно схеме, представленной на рис. 3, отклонение  $\delta_{техн}$  найдем из геометрических условий:



$$\frac{\delta_{техн}}{2} = (s-c) \operatorname{tg} \beta, \quad (II)$$

где  $S$  - толщина штампуемого материала;

$C$  - глубина внедрения режущей кромки в штампуемый материал к началу разрушения;

$\beta$  - угол между образующей поверхности среза и вертикалью к плоскости инструмента.

Р и с.3.Схема, поясняющая возникновение погрешностей размеров деталей при разделительной штамповке эластичной средой

Если принять, что относительное уменьшение поперечного сечения заготовки в зоне режущей кромки в момент начала разрушения эквивалентно относительному сужению стандартного образца при испытании на растяжение в момент его разрыва, то степень деформации материала в зоне режущей кромки можно выразить соотношением

$$\psi_{ш} = \frac{s-(s-c)}{s} = \frac{c}{s} = \psi_p, \quad (I2)$$

где  $\psi_{ш}$  - относительное уменьшение поперечного сечения заготовки в зоне режущей кромки в момент начала разрушения;

$\psi_p$  - относительное сужение площади сечения стандартного образца при разрыве (определяется специальным испытанием штампуемого материала или берется из справочников).

Сопоставляя выражения (I1) и (I2), найдем

$$\sigma_{\text{техн}} = 2S(1 - \psi_p) \operatorname{tg} \beta. \quad (I3)$$

Обозначив  $\operatorname{tg} \beta = K$ , получим

$$\sigma_{\text{техн}} = 2KS(1 - \psi_p). \quad (I4)$$

Исследования показывают, что средняя величина угла  $\beta$  при разделительной штамповке эластичной средой колеблется в пределах  $4-7^\circ$ , увеличиваясь с повышением пластичности штампуемого материала. Следовательно, в формуле (I4) коэффициент  $K = 0,07-0,12$ . Причем большие значения  $K$  характеризуют более пластичный материал.

Для сравнительно неточных расчетов коэффициент  $K$  можно принять равным 0,1. Тогда формула (I4) примет более простой вид:

$$\sigma_{\text{техн}} = 0,2S(1 - \psi_p). \quad (I5)$$

Подставляя значение  $\sigma_{\text{техн}}$ , найденное по формуле (I4) или (I5), в равенство (I), (2), (3), (4), (5) и (6), можно рассчитать исполнительные размеры рабочего контура жесткого штампуемого инструмента.

Расчитанные по формуле (I4) отклонения при вырубке по наружному контуру и пробивке отверстий до диаметра  $d \geq (8 \div 10)S$  (для сплавов алюминия и малоуглеродистой стали) хорошо совпадают с их экспериментальными значениями. При  $8S > d > 4S$  расхождение расчетных и экспериментальных данных достигает 20-25%, а при  $d < 4S - 50\%$  и более, что свидетельствует об изменениях в соотношении главных напряжений штампуемого материала в зоне режущей кромки, которые формулой (I4) не учитываются.