

Мовшович А.Я., д-р техн. наук, Кочергин Ю.А.,  
Буденный М.М., канд. техн. наук, Харьков, Украина

## К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УСИЛИЕ ШТАМПОВКИ ПРИ П-ОБРАЗНОЙ ГИБКЕ

*В статье рассмотрены новые подходы к определению усилия П-образной гибки с учетом комплекса действующих факторов. Предложены расчетные аналитические зависимости усилия штамповки.*

### Введение

Разработка технологических процессов гибки сопряжена с расчетом усилий, требуемых для осуществления пластического деформирования заготовок. Определение усилий штамповки по известным формулам приводят к значительным погрешностям, достигающим 25-90%. При гибке деталей типа лонжеронов и им подобных, небольшие в процентном отношении ошибки достигают по абсолютному значению больших величин: сотен и даже тысяч тонн.

Операция гибки сопровождается изменением кривизны срединной поверхности в одной плоскости (плоскости изгиба) и для этого к заготовке необходимо приложить как минимум изгибающий момент, рис.1. Расчетные формулы по определению усилий при П-образной гибке построены на равенстве предельного момента пластического изгиба моменту внешних сил.

$$P_1 \cdot l = \frac{1}{4} \sigma_s \cdot S^2 \cdot b \quad (1)$$

где:  $P_1$  – внешнее усилие, действующее на заготовку;

$l$  – плечо силы;

$\sigma_s$  – предел текучести материала заготовки

$S, b$  – толщина и ширина заготовки.

Переменными параметрами являются: внешнее усилие  $P_1$  плечо  $l$ , которое изменяется при опускании пуансона. Плечо  $l$ , геометрический параметр, зависящий от угла загиба или хода пуансона. Точность определения плеча  $l$  существенно сказывается на точности расчета усилия  $P_1$ .

Для определения максимальной величины усилия  $P_1$  необходимо знать положение пуансона или угла  $\alpha$ , при котором  $l = l_{min}$ . Значение угла  $\alpha$ , при котором  $l = l_{min}$  определяется по формуле:

$$\alpha = \arcsin \frac{r_m + r_n + s}{r_m + r_n + s(1+c)} \quad (2)$$

Для определения значений углов  $\alpha$ , соответствующих наибольшему значению усилий  $P_1$ , была построена номограмма (рис. 2), в которой  $\alpha = f [C; (r_m + r_n + s)]$ . При одинаковом дополнительном зазоре ( $C = \text{const}$ ), угол  $\alpha$  возрастает по мере увеличения радиусов матрицы и пуансона. Угол  $\alpha$  также увеличивается при уменьшении дополнительного зазора ( $C \rightarrow \text{min}$ ).

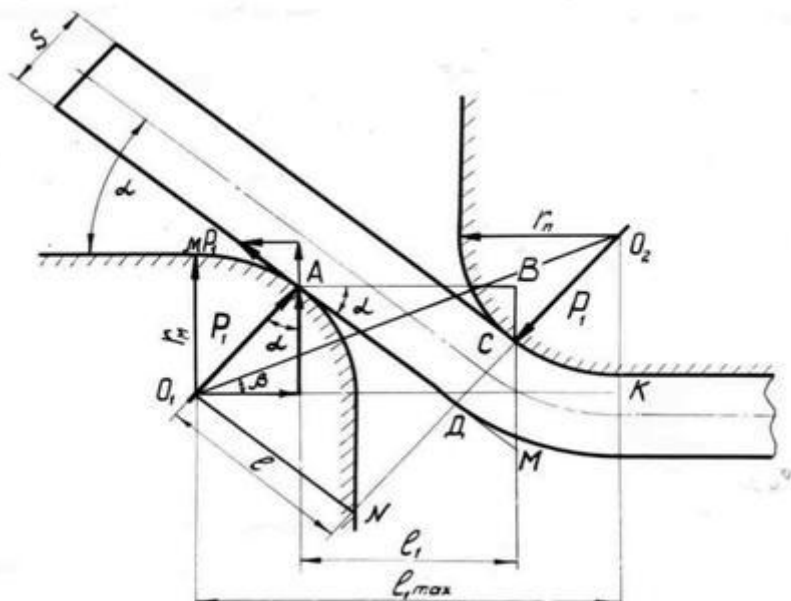


Рис. 1 – Схема сил, действующих при П – образной гибке

Усилие штамповки является вертикальной проекцией сил, действующих на заготовку (рис. 1). С учетом сил трения при двухугловой гибке

$$P_{ш} = 2 P_1 (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \quad (3)$$

Решая уравнение (3) относительно  $P_1$  и произведя все подстановки, получим формулу для определения усилия штамповки в стадии гибки полок:

$$P_m = 0,5 \frac{\cos \alpha (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{(r_m + r_n + S)(1 - \sin \alpha) + CS} \sigma_b \cdot S^2 \cdot b \quad (4)$$

где  $\sigma_b$  - предел прочности материала заготовки при одноосном растяжении;

$\mu$  - коэффициент трения.

Таким образом, усилие штамповки будет иметь наибольшую величину при таком угле, когда выражение

$$m = \frac{\cos \alpha (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{(r_m + r_n + S)(1 - \sin \alpha) + CS} \quad (5)$$

достигает максимального значения.

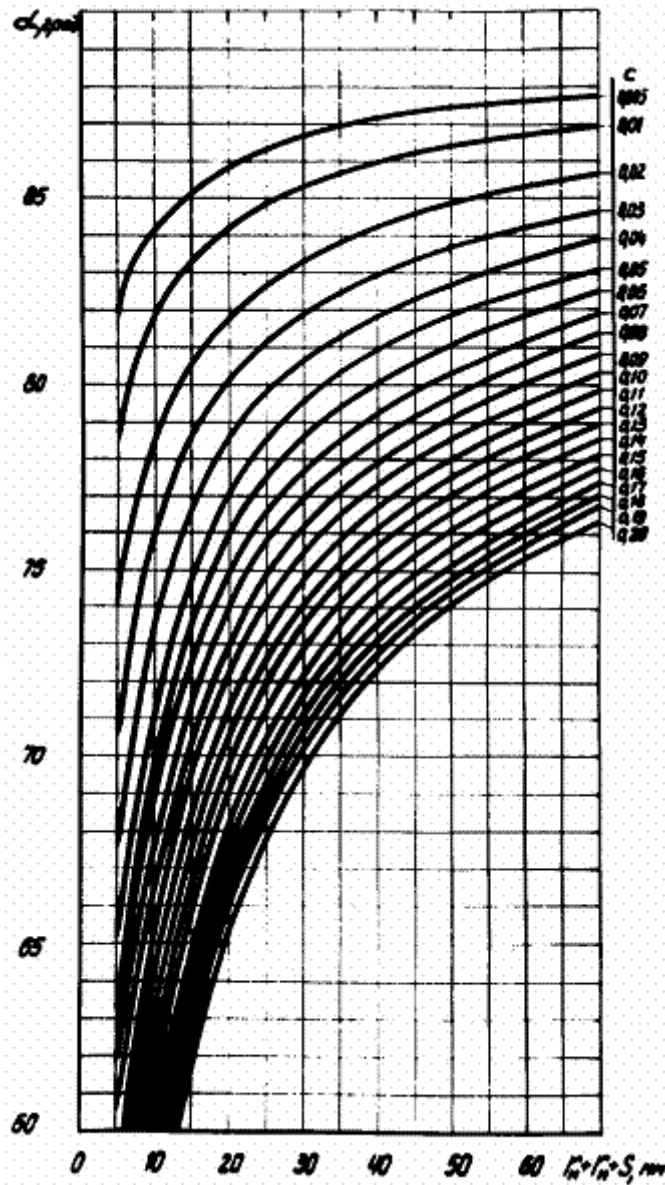


Рис. 2 – Номограмма для определения угла  $\alpha$

На рис. 3 приведено сравнение усилий штамповки, рассчитанных по формуле (5) с данными различных авторов

- 1- по Смирнову – Аляеву;
- 2- по Мощнину;
- 3- по Зубцову;
- 4- по Сгибневу – Дряшину;
- 5- фактические значения;
- 6- по предлагаемой формуле.

Фактическое усилие гибки исследовалось в промышленных условиях. Эксперименты выполнялись на заводе СКМЗ. Гибка проводилась на кривошипном прессе К-2534 усилием 25 МПа.

Универсально – сборный штамп для изготовления П-образной детали размерами 90x135x160 был собран из комплекта стандартизированных деталей УСШ – 16.

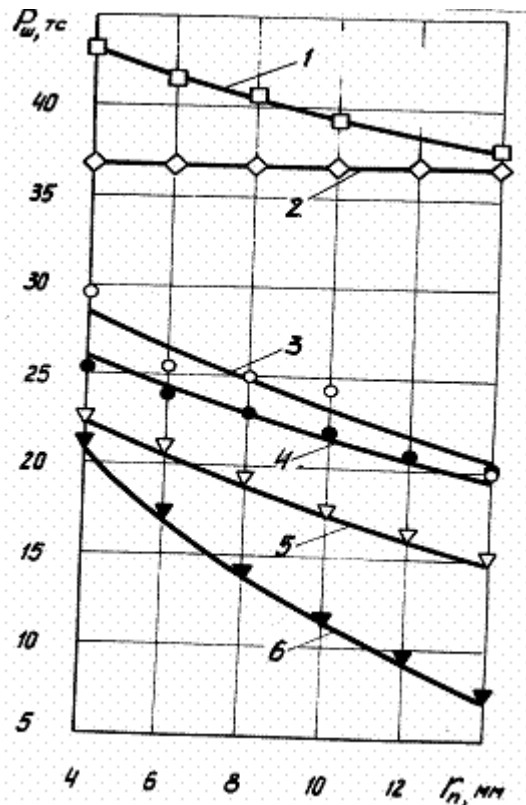


Рис. 3 – Зависимость усилия штамповки от радиуса пуансона

Радиусы матриц и пуансонов изменялись в широком диапазоне:

$R_M = 8; 10; 14$  мм.  $R_{II} = 4; 6; 8; 10; 14$  мм.

Толщина заготовок также изменялись в широком диапазоне: 5; 6; 8; 10 мм. В качестве штампуемого материала применялись стали ст.3; ст.20; 1X18H10T. Гибка производилась со смазкой и без смазки. Фактически величины усилий штамповки и горизонтальные усилия замерялись специально разработанным прибором – двухкомпонентным пуансоном – динамометром. Одновременно записывался ход пуансона при помощи специального ходографа, в котором использовался ферродинамический преобразователь ПФ-1. Запись всех параметров осуществлялась на осциллографе Н-700 с тензоусилителем ТА-5.

На рис. 4 показана зависимость плеча  $l$  от угла  $\alpha$  для различных стадий гибки.

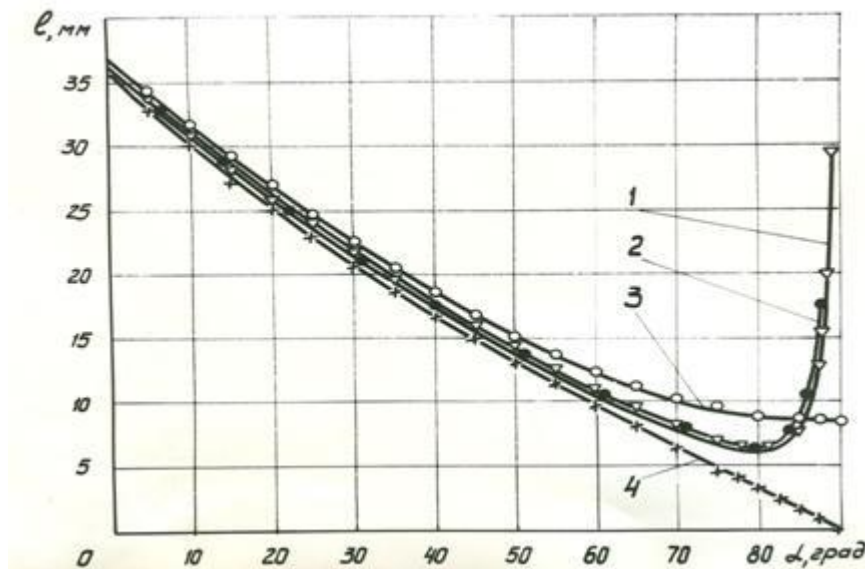


Рис. 4 – Зависимость величины плеча  $l$  от угла  $\alpha$  при гибке П-образных деталей;  
1, 2, 3, 4 – формовка полок, правка полок, калибровка доньшка, обратный ход пуансона.

Операция П – образной гибки состоит из нескольких стадий, отличающихся деформированием того или иного элемента штампуемой детали. Стадии гибки сопровождаются разными сочетаниями силовых воздействий. Так, на первом этапе, в стадии гибки полок на заготовку действует два усилия: вертикальное ( $P_{ш}$ ) и горизонтальное ( $N$ ). Величины этих усилий возрастают от нуля до максимальных значений. При этом угол  $\alpha$  не равен  $90^0$ . Затем в стадии правки полок усилия падают и с момента соприкосновения заготовки или выталкивателя с нижней плитой штампа (начало следующей стадии)  $P_{ш}$  начинает возрастать. Этой стадии гибки соответствует калибровка радиусов и спинки. В стадии калибровки спинки на заготовку и элементы штампа воздействует, в основном, вертикальное усилие, которое

достигает наибольшего значения при крайнем нижнем положении пуансона,

$$P_{max} = (1,3 \div 1,4) P_{ш} \quad (6)$$

а горизонтальное усилие имеет небольшую величину и им можно пренебречь. В стадии гибки полук усилие  $P_{ш}$  и  $N$  возрастает синхронно до того момента, пока  $P_{ш}$  не достигает наибольшего значения. После этого вертикальное усилие начинает падать, а горизонтальное растет до максимального. Усилия  $P_{ш}$  и  $N$  сдвинуты по фазе на некоторый угол  $\Delta\alpha$ . Это обстоятельство необходимо учитывать при расчете прочности и жесткости штампов. Наибольшее усилие, по которому производится подбор прессы, будет соответствовать стадии калибровки спинки и при нормальной настройке штампа оно будет равно:

$$P_{ш} = (0,65 - 0,7) \frac{\cos\alpha(\cos\alpha + \mu \sin\alpha)}{(r_{ш} + r_{н} + S)(1 - \sin\alpha) + CS} \sigma_b \cdot S^2 \cdot b \quad (7)$$

Изменение  $r_n$  существенно сказывается на величине  $P_{ш}$ . Прирост  $P_{ш}$ , определенный по формуле (1), при изменении  $r_n$  от 14 до 4 мм составил 14 тс.

Исследование влияния  $r_n$  на величину  $P_{ш}$  было выполнено аналитически и экспериментально. При этом все параметры кроме  $r_n$  были постоянными. Замер фактических усилий производился, как указано выше. Результаты расчетов и замеров изображены на графиках (рис. 3).

Существенно влияет на усилие штамповки дополнительный зазор  $CS$ , задаваемый коэффициентом  $C$ . Исследование выполнено аналитически для случая, когда  $r_n = r_m = 14$  мм;  $S = 8$  мм;  $b = 160$  мм; материал – ст.3. Установлено, что с уменьшением зазора усилие возрастает. Причем, чем ближе абсолютное значение коэффициента  $C$  к нулю, тем больше прирост усилия  $P_{ш}$ .

На усилие штамповки значительно влияет сила трения, регламентируемая нормальным давлением и коэффициентом трения  $\mu$ , который можно определить экспериментально. Как известно, коэффициент  $\mu$  зависит от большого количества факторов, и выбирать его необходимо для каждого конкретного случая. Была предпринята попытка установить значение  $\mu$  экспериментально на действующем рабочем штампе при гибке черных горячекатаных заготовок из сталей: ст.3; ст.20 и 1X18H10T. Для этого в процессе штамповки записывались усилия штамповки, горизонтальные усилия ( $N$ ) и ход пуансона. По записанному ходу пуансона определялась стадия гибки, т.е. угол загиба  $\alpha$ . На основе замеренных величин определялся коэффициент  $\mu$  путем расчета по формуле:

$$\mu = \frac{P_{ш} \sin\alpha - 2N \cos\alpha}{P_{ш} \cos\alpha + 2N \sin\alpha} \quad (8)$$

В начальный момент гибки  $\mu=0,12$ ; затем его величина падает до  $\mu=0,018$ ; потом возрастает почти линейно до своего наибольшего значения ( $\mu=0,405$ ). В этот момент  $P_{ш}=\max$ .

При дальнейшем движении пуансона, когда прямолинейная часть пуансона попадает в прямолинейный участок матрицы,  $\mu$  падает до значения  $\mu=0,37 \div 0,38$ .

Таким образом, при расчете усилий гибки черных горячекатаных стальных заготовок должно приниматься значение  $\mu=0,4$  ( $\mu$  было бы правильно называть коэффициентом сопротивления движению).

#### Выводы:

1. Операция П-образной гибки состоит из нескольких этапов, отличающихся деформированием того или иного элемента штампуемой детали. Существует три стадии: гибка полук, правка полук; калибровка радиусов и спинки. Каждая стадия характеризуется разными сочетаниями силовых воздействий на заготовку и элементы штампа.

2. Усилие штамповки является величиной переменной, зависящей от комплекса переменных: марки материала, геометрических размеров заготовки, коэффициента трения, геометрических параметров и настройки штампа. С увеличением относительных радиусов закруглений и дополнительных зазоров усилия штамповки уменьшаются.

3. Наибольшей величины усилие штамповки достигает в тот момент, когда центры кривизны закруглений матрицы и пуансона лежат на одной прямой. Стадия гибки при этом характеризуется углом  $\alpha$ , который изменяется в широких пределах (от 60 до 88<sup>0</sup>) и отыскивается по формуле (3) или номограмме (рис. 2).

**Список литературы:** 1. Романовский В.П. – Справочник по холодной штамповке. М-Л, Машгиз, 1965. – 380 с. 2. Смирнов-Аляев Г.А., Вайнтрауб Д.А. – Холодная штамповка в приборостроении. М.-Л. Машгиз, 1963. - 420 с. 3. Сгибнев В.Ф., Дряшин И.Б. – О способах расчета усилий при двугуговой гибке. // Кузнечно-штамповочное производство. 1969,- №4. – с. 45-52.

Поступила в редакцию 15.07.2009