

УДК 621.981.02

В.И. Беляков<sup>1</sup>, Н.К. Резниченко<sup>1</sup>, А.Я. Мовшович<sup>1</sup>, В.В. Косенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков<sup>2</sup>ГП «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения»

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА

Рассмотрены схемы деформации при гибке и возникающие при этом изгибающие напряжения в зависимости от угла и внутреннего радиуса изгиба, а также упругих свойств материала заготовки.

**Ключевые слова:** формообразование деталей, метод пластического изгиба.

### Введение

Одним из прогрессивных методов изготовления листовых деталей является холодная штамповка, основанная на получении формы деталей путем необратимо пластической деформации заготовки.

Холодная штамповка позволяет широко использовать механизацию и автоматизацию процесса формообразования, благодаря чему достигается высокая производительность труда и низкая себестоимость изделий. Кроме того, при штамповке повышается коэффициент использования металла по сравнению с обработкой резанием.

При определенном сочетании механических свойств материала, кривизны изгиба и геометрических параметров статей части пластического элемента произойти местная потеря устойчивости последнего [1].

В связи с этим особое внимание следует уделять исследованию изгибающих напряжений, соответствующих началу момента потери устойчивости сжатой полки или стенки профиля.

Стабильная форма детали характеризуется взаимно уравновешенным состоянием остаточных напряжений [2].

### Исследование напряженного состояния заготовки при гибке

Гибкой получают большое количество деталей. И несмотря на это, процессы, происходящие в металле при гибочных операциях, не всем хорошо известны.

Гибка любого металла или неметалла сопровождается неравномерной деформацией отдельных его частей. Если изгибать металлический стержень (рис. 1, а), то наружные его слои примерно до середины растягиваются, а внутренние сжимаются. Следовательно, в наружных слоях возникают напряжения растяжения, а во внутренних – сжатия. И очевидно, имеется слой, где нет никаких напряжений, т.е. нейтральный слой. Если для изгиба стержня было приложено незначительное усилие, то после его снятия стержень примет первоначальную форму. Следовательно, деформация была *упругой*. Дефор-

мация будет *остаточной*, если стержень после снятия усилия останется изогнутым. Это происходит при больших усилиях, или нагрузках, когда возникшие в металле напряжения значительно превышают предельные. Так, если испытаниями в лаборатории установлено, что у стали марки 45 остаточные деформации появляются при напряжениях, равных  $40 \text{ кг/мм}^2$ , то это и есть предельное для нее напряжение, называемое пределом текучести. Предел текучести обозначается через  $\sigma_T$ . При еще большей нагрузке в наружных слоях могут появиться трещины, а во внутренних складки. Напряжения, при которых металл разрушается, называются пределом прочности, или временным сопротивлением. Предел прочности обозначается через  $\sigma_B$ .

Возникновение изгибающих напряжений при гибке зависит не столько от усилий гибки, сколько от угла или внутреннего радиуса изгиба. Углом изгиба называется угол между осью или стороной прямолинейной заготовки в ее исходном положении и осью или стороной заготовки после гибки. На рис. 1, а угол гибки обозначен через  $\alpha$ . При малом угле  $\alpha$ , т. е. при большом радиусе  $R_1$  (рис 1, б), в сечении изгибаемого стержня имеются только упругие деформации. Если величину напряжений, соответствующих этим деформациям, мы захотели бы изобразить отрезками линий со стрелкой, то они распределились бы в месте изгиба так, как показано на рис. 1, б. Такое же распределение напряжений произойдет и по сечению стержня. При увеличении угла  $\alpha_2$  и соответственно при уменьшении радиуса изгиба  $R_2$  появляются остаточные деформации в наружных слоях стержня, а во внутренних еще сохраняются упругие деформации (рис. 1, в). Может быть такой малый угол изгиба, при котором по всему сечению стержня деформации будут только остаточные (рис. 1, г). Особенно это относится к гибке нагретых заготовок. Здесь внутренние напряжения искажают форму поперечного сечения стержня – круглая форма становится эллиптической, а квадратная – трапецевидной (рис. 1, д). Поэтому распределение этих напряжений получается примерно таким, как указано на рис. 1 и 2, т.е. со смещением нейтральной линии в сторону сжатых слоев.

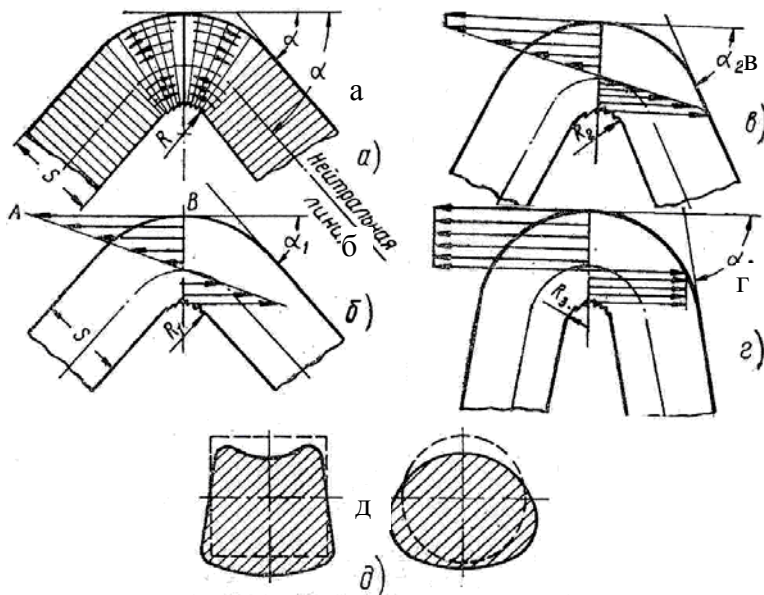


Рис. 1. Схемы деформации при гибке

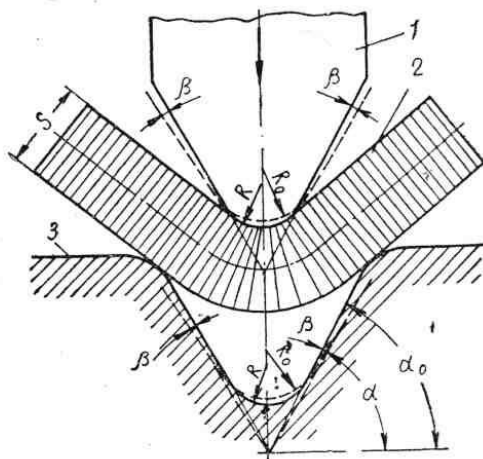


Рис. 2. Схема образования формы пуансона и матрицы

Каким же должен быть допустимый радиус изгиба  $R$ , при котором не происходило бы разрушения верхних слоев металла? Установлено, что величина радиуса зависит от толщины изгибаемой заготовки и от величины относительного поперечного сужения  $\psi$  для соответствующей марки металла. Величина относительного сужения показывает, насколько сузился образец по площади сечения при разрыве его по отношению к первоначальному размеру. Например, если первоначальная площадь поперечного сечения образца была  $100 \text{ мм}^2$ , а после разрыва она стала  $50 \text{ мм}^2$ , то относительное сужение будет

$$\psi = \frac{100 - 50}{100} = 0,5 \quad \text{или} \quad 50\%.$$

Относительное сужение определяется при испытаниях образцов металла на растяжение. Для стали марки 30 со средним содержанием углерода 0,3% оно равно 50%, или  $\psi = 0,5$ . Чем пластичнее металл, тем больше величина  $\psi$ . Для определения минимальных радиусов изгиба используется формула (1):

$$R = \frac{S(1 - 2\psi)}{2\psi}, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина заготовки;  $\psi$  – относительное сужение.

Допустим, необходимо согнуть заготовку на  $90^\circ$ , т.е. перегнуть пополам до соприкосновения концов, при этом радиус изгиба будет равен нулю ( $R = 0$ ). Какое же получится относительное сужение и, следовательно, какую сталь надо взять, чтобы ее можно было подвергать такому изгибу? Подставим в формулу (1) значение  $R = 0$ , тогда

$$0 = \frac{S(1 - 2\psi)}{2\psi}; \quad S(1 - 2\psi) = 0; \quad \psi = 0,5.$$

Таким образом, сталь марки 30 как раз подойдет для этой цели. Подойдут также стали марок 10; 20; 25; 20Г, имеющие относительное сужение, равное 50% и больше.

Для многих других марок стали такой изгиб в холодном состоянии опасен, поэтому потребуется заготовку нагревать. При нагреве до температуры даже не более  $900 - 1000^\circ$  с увеличением относительного сужения резко увеличивается пластичность стали, поэтому в нагретом состоянии заготовку можно изгибать на любой угол с любым радиусом [3].

## Выводы

На гибку в холодном состоянии значительно влияют упругие свойства металла. Особенно это относится к малопластичным высокоуглеродистым и легированным сталям, которые при гибке сильно пружинят и не позволяют получить заданный радиус изгиба без поправок в конструкции инструмента. Если нужно получить при гибке стержня 2 (рис. 2) какой-то угол, например  $60^\circ$ , и определенный радиус закругления, то, очевидно, матрицу 3 и пуансон 1 нельзя изготовлять, как показано пунктиром, под углом  $60^\circ$ . Углы их нужно взять более острыми, а радиусы закругления должны быть взяты меньшими. Угол, на который нужно сделать поправку в гибочном инструменте, называется *углом пружинения*. Величина его в значительной степени зависит от соотношения между радиусом гибки  $R$  и толщиной  $S$  материала  $R/S$ . Чем больше это соотношение, тем больше угол пружинения. Так например, для стали средней твердости, изгибаемой под углом  $90^\circ$ , при отношении  $R/S \geq 1...5$  угол пружинения составляет  $\beta = \alpha_0 - \alpha = 1^\circ$ , при большем соотношении  $\beta = 3$ . Величина изменения радиуса пружинения  $R_0$  от этого отношения зависит в меньшей степени.

## Список литературы

1. Ганаго О.А. Элементы теории пластичности в обработке металлов давлением / О.А. Ганаго. – М.: Машиностроение, 1982. – 55 с.

2. Мовшович А.Я., Морин В.Л. Заярненко Е.И. Напряженное состояние переналаживаемых гибочных штампов с наклонным основанием / А.Я. Мовшович, В.Л. Морин, Е.И. Заярненко // Вопросы оборонной техники. – 1984. – Серия II, вып. 7. – С. 18-22.
3. Беляков В.И. Штамповка на специальном оборудовании / В.И. Беляков. – М.: Машиз, 1961. – 78 с.

Поступила в редколлегию 21.01.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

#### **ДЕЯКІ ПИТАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧНОГО ВИГИНУ**

В.І. Беляков, М.К. Резниченко, О.Я. Мовшович, В.В. Косенко

*Розглянуто схеми деформації при гнучці і виникаючі при цьому вигинаючи напруги залежно від кута і внутрішнього радіусу вигину, а також пружних властивостей матеріалу заготовки.*

**Ключові слова:** формоутворення деталей, метод пластичного вигину.

#### **SOME QUESTIONS OF FORMING OF DETAILS THE METHOD OF PLASTIC BEND**

V.I. Belyakov, N.K. Reznichenko, A.Ya. Movshovich, V.V. Kosenko

*The charts of deformation are considered at bending and arising up here bendings tensions depending on a corner and internal radius of bend, and also resilient properties of material of purveyance.*

**Keywords:** forming of details, method of plastic bend.