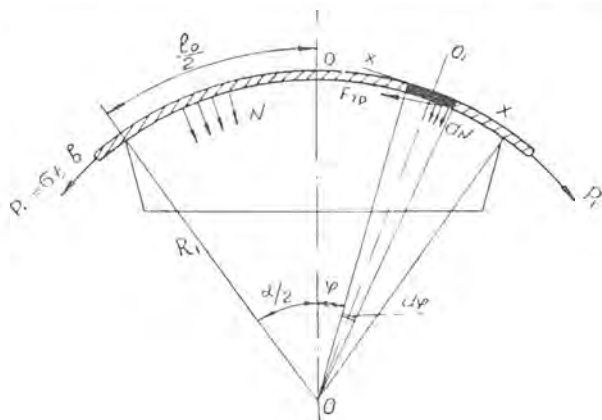


Ю. М. АРЫШЕНСКИЙ, И. И. КАЛУЖСКИЙ

РАСЧЕТ ФОРМЫ ЗАГОТОВКИ И УСИЛИЯ
ПРИ ОБТЯЖКЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ

В настоящее время для изготовления деталей обтяжкой с растяжением применяются заготовки прямоугольной формы. Применение заготовок с постоянной шириной приводит к неравномерному распределению (уменьшение к середине пуансона) деформаций и напряжений.

В результате этого при получении необходимой геометрической формы детали не удается в середине заготовки достичь нужной степени деформирования, так как на ее



Фиг. 1. Схема действия сил при обтяжке.

свободных концах (между пуансоном и зажимами) напряжения и деформации достигают опасных величин, приводящих к разрушению материала.

Чтобы избежать указанного явления, приходится обтяжку производить в несколько переходов, применяя промежуточный отжиг для снятия возникшей нагартовки. Поэтому представляет практический интерес создание такой формы заготовки, при которой напряжение и деформации будут одинаковы по всей ее длине.

Рассмотрим схему действия сил на заготовку при ее обтяжке (см. фиг. 1).

Здесь

t — толщина материала;

$B = f(\varphi)$ — ширина заготовки;

φ — угол, отсчитываемый от оси симметрии пуансона к его краю в продольном направлении. Он в пределе равен половине угла охвата $\frac{\alpha}{2}$;

R_1 — продольный радиус кривизны пуансона;

N — нормальное давление заготовки на пуансон;

$F_{\text{тр.}}$ — сила трения;

l_0 — длина дуги заготовки в зоне пуансона.

Как видно из фиг. 1, рассматривается схема линейного напряженного состояния. Подобное допущение хорошо подтверждается экспериментально.

Нормальное давление элемента заготовки выражается следующим образом:

$$dN = qBdl, \quad (1)$$

где q — удельное давление;

$dl = R_1 d\varphi$ — дифференциал дуги.

Выразим удельное давление через напряжение σ_1 с помощью известного уравнения Лапласа $q = \frac{\sigma_1 t}{R_1}$, тогда

$$dN = \frac{\sigma_1 t}{R_1} Bdl \text{ или } dN = \sigma_1 t B d\varphi. \quad (2)$$

Запишем выражение элементарной силы трения:

$$dF_{\text{тр.}} = f dN,$$

где f — коэффициент трения.

Подставляя в эту формулу dN из выражения (2), получим:

$$dF_{\text{тр.}} = \sigma_1 t B f d\varphi. \quad (3)$$

Теперь можем написать уравнение равновесия элемента заготовки, вырезанного углом $d\varphi$, проектируя силы на ось $x-x$:

$$\sigma_1 B t + d(\sigma_1 B t) - dF_{\text{тр}} - \sigma_1 B t = 0$$

или
$$d(\sigma_1 B t) - \sigma_1 t B f d\varphi = 0.$$

Так как по условию $\sigma_1 = \text{const}$ (по углу), то и $t = \text{const}$ и, следовательно, можно написать:

$$dB - B f d\varphi = 0. \quad (4)$$

После интегрирования данного дифференциального уравнения получим:

$$\ln B + C = f\varphi. \quad (5)$$

Подставляя начальные условия $\varphi=0$, $B=B_0$, где B_0 — ширина заготовки в середине, в уравнение (5), найдем, что

$$\ln B_0 + C = 0, \quad C = -\ln B_0.$$

Теперь имеем

$$\ln B - \ln B_0 = f\varphi, \quad \ln \frac{B}{B_0} = f\varphi$$

или окончательно

$$B = B_0 e^{f\varphi}. \quad (6)$$

При раскрое материала удобнее иметь данную зависимость в функции длины:

$$B = B_0 e^{f \frac{l_0}{2R_1}}. \quad (6a)$$

Практически раскрой заготовки можно вести следующим образом:

а) определить величину B_1 по формулам:

$$B_1 = B_0 e^{f \frac{\alpha}{2}} \quad \text{или} \quad B_1 = B_0 e^{f \frac{l_0}{2R_1}}. \quad (7)$$

Ввиду того, что угол охвата обшивок в продольном направлении обычно не превышает $12-18^\circ$, с достаточной для практики точностью можно пользоваться приближенными формулами:

$$B_1 = B_0 \left(1 + f \frac{\alpha}{2}\right) \quad \text{или} \quad B_1 = B_0 \left(1 + f \frac{l_0}{2R_1}\right). \quad (7a)$$

Серединная ширина B_0 должна соответствовать ширине заготовки, если бы она была прямоугольной формы.

Величина B_0 определяется следующим образом:

$$B_0 = B_d (1 + \varepsilon_2) + 2\Pi, \quad (8)$$

где B_d — ширина развертки детали;

ε_2 — деформация сужения материала при обтяжке.

Она выбирается в зависимости от необходимой степени деформирования вдоль оси растяжения. Для ее определения необходимо ε_1 умножить на коэффициент поперечной деформации, т. е. $\varepsilon_2 = \mu' \varepsilon_1$.

Для изотропных материалов (типа Д16, В-95 и др.) $\mu' = 0,5$. Для титановых сплавов ВТ1-2 и ОТ4-1 (трансверсально изотропные тела) $\mu' = 0,65$. P — величина технологического припуска на обрезку;

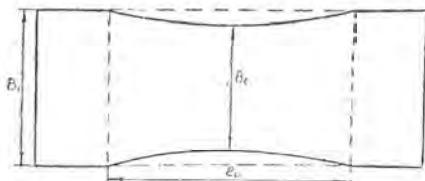
б) вычислить длину заготовки по формуле, рекомендованной д. т. н. А. Н. Громовой [1],

$$L = l_0 + 2P_1 + 2P_2, \quad (9)$$

где P_1 — припуск, необходимый для зажима заготовки;

P_2 — припуск между зажимом и краем пуансона, величина которого выбирается экспериментальным путем;

в) соединить точки, соответствующие B_1 и B_0 дугами окружности (фиг. 2);



Фиг. 2. Схема раскроя заготовки.

г) вырезать заготовку; места перехода кривых линий на прямые запилить и заполировать наждачной бумагой.

Необходимо также отметить, что указанная форма заготовки, помимо снижения числа переходов, позволяет получить обшивки с постоянной толщиной по всей поверхности.

Применяемые в настоящее время формулы для расчета усилия обтяжки растяжением либо слишком сложны для использования на производстве, либо слишком приближены и могут служить только для прикидочного расчета.

В связи с этим были выведены формулы для расчета усилия обтяжки, которые учитывают влияние сил трения, изменение площади поперечного сечения материала в процессе деформирования. И наконец, они содержат истинное напряжение S , вместо принятого в приближенных формулах временного сопротивления разрыву σ_B .

В случае прямоугольной формы заготовки нужно применять следующую формулу:

$$P = t \cdot B_0 (1 - \varepsilon_1) S e^{\frac{\eta}{2}}, \quad (10)$$

где $(1 - \varepsilon_1)$ — коэффициент, учитывающий изменение поперечного сечения материала в процессе деформирования.

В случае заготовки предложенной выше формы, усилие обтяжки необходимо определять по следующей формуле:

$$P = t \cdot B_1 (1 - \varepsilon_1) S. \quad (11)$$

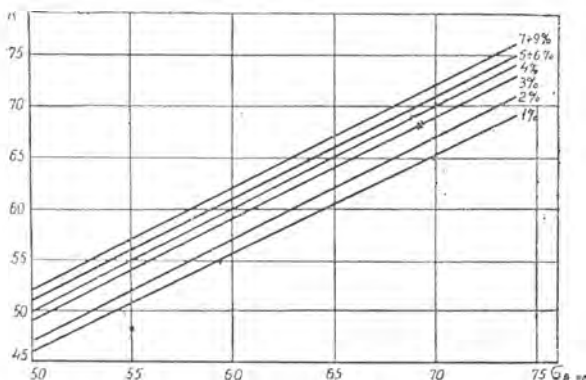
Для удобства пользования формулами (10) и (11) на производстве, их можно преобразовать к виду:

$$P = t \cdot B_0 \cdot K \quad (10a)$$

и

$$P = t \cdot B_1 K_1. \quad (11a)$$

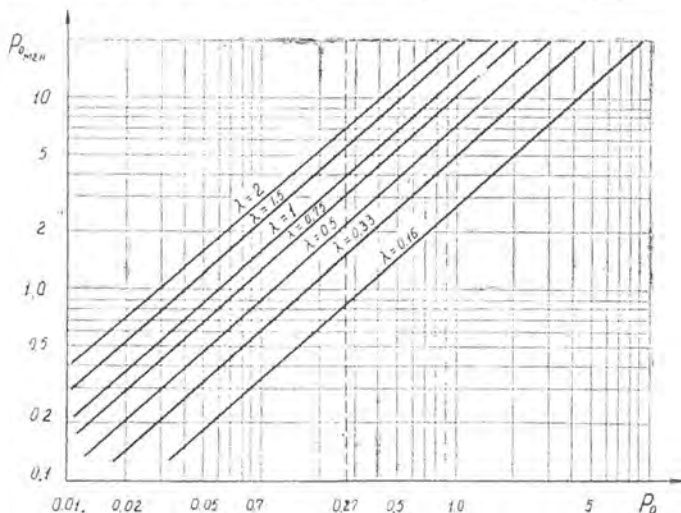
Если обтягиваемый материал имеет незначительное колебание временного сопротивления разрыву σ_B , коэффициент



Фиг. 3. Значение коэффициента K для расчета усилия обтяжки заготовки прямоугольной формы из сплавов ВТ1-2 и ОТ4-1.

ты K и K_1 можно представить в виде зависимости $K(K_1) = f(\epsilon_1)$. Такую зависимость можно использовать для сплавов Д16, АМг6 и некоторых видов сталей.

Титановые сплавы ВТ1-2 и ОТ4-1, а также некоторые другие сплавы имеют значительный разброс механических свойств, поэтому коэффициенты K и K_1 нужно представлять в виде зависимости от σ_B и процента растяжения (ϵ_1).



Фиг. 1. Значение коэффициентов K_1 для расчета усилия обтяжки заготовок специальной формы из сплавов ВТ1=2 и ОТ4-1.

Проведенная экспериментальная проверка формул (10-а) и (11-а) на сплавах ВТ1-2 и ОТ4-1 дала хорошее совпадение расчетных данных и показания манометра на прессе ПГР-7.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Гримова и др., Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве. Оборонгиз, 1960.