

Ю. И. БОЛОТИН, М. И. РАЗУМИХИН

ВЫВОРОТ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК ПУТЕМ ОБЖИМА И РАЗДАЧИ

При опытном изучении процесса обжима трубчатых заготовок сначала Ю. А. Аверкиевым [1], а затем М. Н. Горбуновым было замечено явление движения концевой части заготовки навстречу верхнему инструменту.

Оказалось, что с применением местного нагрева заготовки в очаге деформаций это явление может быть положено в основу нового процесса выворота внутрь и наружу [2].

М. Н. Горбуновым предложено три схемы выворота (на рис. 1 а, б, в они представлены для случая выворота внутрь). По первой схеме (а) выворот происходит по радиусу свободного изгиба. По второй (б) и третьей (в) схемам он осуществляется, соответственно, при радиусах матриц, меньших радиуса свободного изгиба и больших его.

Практический интерес представляет изучение таких вопросов, как выявление предельных возможностей процесса, характера зависимости усилий от температуры при разных коэффициентах формоизменения ($m_{об(р)} = \frac{d_{вн}}{d_{нар}}$), а также характера изменения толщин-заготовки в очаге деформаций.

Для этого необходимо решить задачу по определению напряженно-деформированного состояния трубчатой заготовки. Это решение было проведено в тороидальной системе координат по методике, предложенной в работе [3].

В результате получены следующие выражения для максимальных меридиональных напряжений:

а) для случая выворота внутрь

$$\sigma_{\theta\theta \max} = A_t \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{1+\kappa_t} \left(2 \ln p + \omega_{\text{ср}} \ln \frac{1}{m_{\text{об}}} \right)^{\kappa_t} \left(\ln \frac{1}{m_{\text{об}}} + \mu \xi \Delta \bar{\sigma}_{\text{тр}} \right), \quad (1)$$

где
$$\Delta \bar{\sigma}_{\text{тр}} = 1 + \ln \left(\frac{1,65}{1-\xi} \right) \left(1 + \frac{\delta}{2b} \right).$$

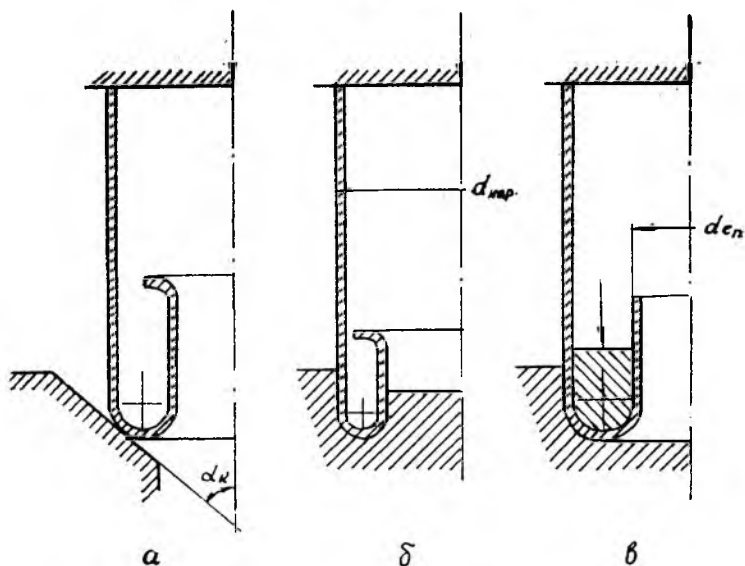


Рис. 1. Схемы выворота трубчатых заготовок
а — по радиусу свободного изгиба; б, в — по радиусам большему и меньшему, чем радиус свободного изгиба

б) для случая выворота наружу

$$\sigma_{\theta\theta \max} = A_t \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{1+\kappa_t} \left(2 \ln p + \lambda_{\text{ср}} \ln \frac{1}{m_p} \right)^{\kappa_t} \left(\ln \frac{1}{m_p} + \mu \xi \Delta \bar{\sigma}_{\text{тр}} \right), \quad (2)$$

где
$$\Delta \bar{\sigma}_{\text{тр}} = \left(1 + \frac{\delta}{2b} \right) \ln 1,65 (1 + \xi) + 1.$$

В записанных уравнениях обозначено:

A_t и κ_t — параметры аппроксимации диаграммы истинных напряжений материала заготовки при ее температуре в очаге деформаций;

$$\xi = \frac{b}{a} = \frac{1 - m_{\text{об}}(p)}{1 + m_{\text{об}}(p)} \text{ — параметр тора.}$$

$\omega_{\text{ср}}$ и $\lambda_{\text{ср}}$ — средние значения функций, зависящих от деформаций материала при обжиге и раздаче. Их значения приведены на рис. 2;

p — параметр, характеризующий влияние изгиба металла

в очаге деформаций. Его величина определяется в зависимости от отношения внутреннего радиуса изгиба ($r_{вн}$) к исходной толщине заготовки.

Так, при $\frac{r_{вн}}{\delta} > 5$

$$p = 1 + \frac{\delta}{2b} \quad (3)$$

при $3 < \frac{r_{вн}}{\delta} < 5$

$$p = \sqrt{\frac{r_{н}}{r_{вн}}}, \quad (4)$$

где $r_{н} = r_{вн} + \delta$;

при $\frac{r_{вн}}{\delta} < 3$

$$p = \sqrt{\exp\left(\frac{0,867\delta}{r_{вн}}\right) \frac{r_{н}}{r_{вн}}}, \quad (5)$$

μ — коэффициент трения.

Экспериментальное изучение процесса выворота по схемам (б) и (в) проводилось деформированием трубчатых заготовок из АМЦМ 72×69 мм в матрицах с радиусом $r_{м} = (2-12)$ мм через 1 мм. Подогрев их осуществлялся от электропечи до температур 150, 300 и 450°. Для обеспечения различной прочности сечений, передающих внешнюю нагрузку, и очага деформаций применялись охладители конвективного типа.

Некоторые образцы, вывернутые внутрь и наружу, показаны на рис 3.

Температура заготовки в очаге деформаций замерялась с помощью термопар, зачеканенных в предварительно сформированные и установленные в нагреваемую матрицу трубы.

При этом соблюдались все условия, соответствующие установившемуся процессу выворота (нагрев, охлаждение, смазка).

В результате обработки данных выявлено, что на значительной части очага деформаций температуру заготовки можно считать постоянной.

На рис. 4а — для выворота внутрь и 4б — для выворота наружу — представлено сравнение опытных данных (показаны точками и пунктиром) с расчетными (сплошные линии). Анализируя графики можно сделать следующие выводы:

1. С ростом температуры нагрева матриц $t_{м}$ значения напряжений уменьшаются.

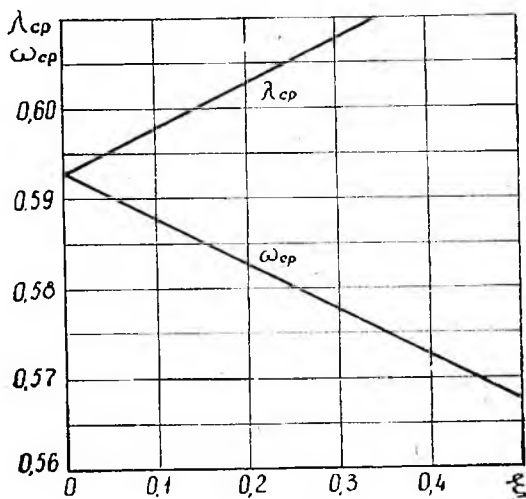


Рис. 2. Зависимость функций $\omega_{ср}$ и $\lambda_{ср}$ от параметра тора ξ .

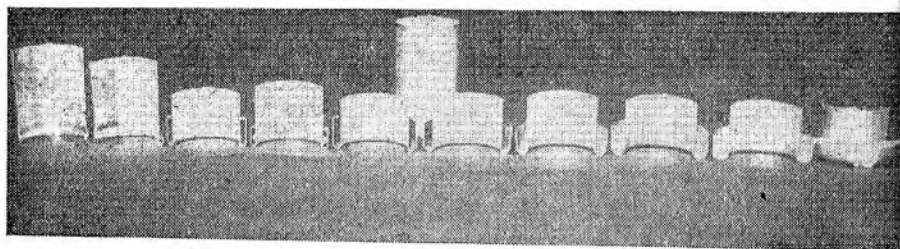
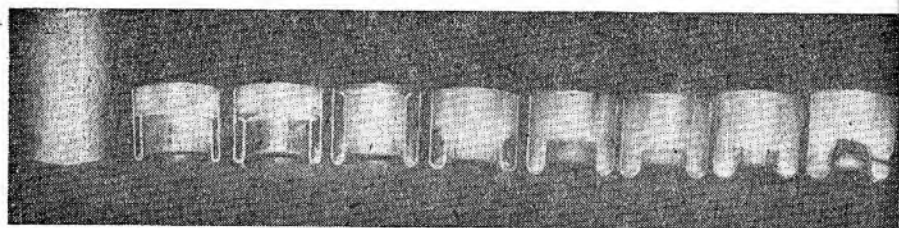


Рис. 3. Образцы труб, вывернутых внутрь и наружу

2. Кривые имеют явно выраженный минимум усилий при $r_m = 5-6$ мм, то есть при радиусах матриц, близких к радиусу свободного изгиба R_p [2].

3. При вывороте в матрицах с $r_m > R_p$ рост усилий обусловлен увеличением коэффициентов формоизменения.

4. При вывороте в матрицах с $r_m < R_p$ рост усилий обусловлен увеличением составляющей напряжений за счет изгиба, спрямления и трения заготовки о калибрующий поясok матрицы.

5. Расхождение опытных и расчетных данных составляет 10—12%.

Возможности процесса выворота внутрь при $R_p \ll r_m \ll R_p$ и выворота наружу при $r_m \ll R_p$ ограничиваются потерей устойчивости трубы в осевом направлении. Предельные коэффициенты формоизменения в этом случае могут быть определены из условия $\sigma_{max} = \sigma_{кр}$ [2].

Процесс выворота наружу при $r_m \gg R_p$ ограничивается разрывом концевой части заготовки в окружном направлении. Предельные коэффициенты раздачи можно определить из следующего трансцендентного уравнения:

$$\sigma_{в(t)} = A_t \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{1+\alpha_t} \left(2 \ln p + \lambda_{ср} \ln \frac{1}{m_p} \right)^{\alpha_t} \left(\ln \frac{2.73}{m_p} + \mu \bar{\epsilon} \Delta \bar{\sigma}_{тр} \right), \quad (6)$$

где $\sigma_{в(t)}$ — предел прочности материала на растяжение. Замеры толщины заготовки в очаге деформаций показали, что изменение температуры в очаге деформаций при $m_{об(р)} = \text{const}$ не влияет на величину утолщений $\frac{\delta_x}{\delta}$.

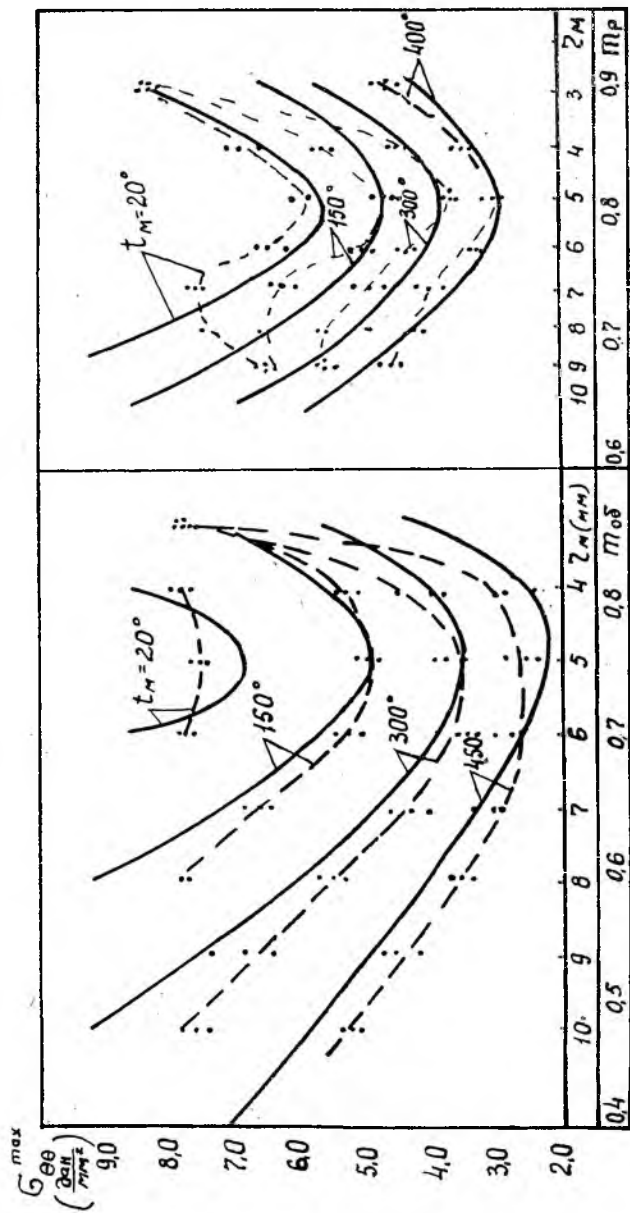


Рис. 4. Зависимость максимальных меридиональных напряжений от радиуса матрицы и коэффициента отбортовки
 а — для выворота внутрь; б — для выворота наружу

Наилучшее совпадение с опытными данными при вывороте внутрь дает соотношение

$$\frac{\delta_x}{\delta} = \frac{1 + \xi}{1 - \xi \cos \theta}, \quad (7)$$

где θ — меридиональная координата.

Это уравнение получено из условия постоянства изменения площади меридионального сечения заготовки в единицу времени.

При вывороте труб наружу наблюдается чрезмерное утонение концевой части заготовки, в остальной части очага деформаций толщина остается исходной. Это положение отмечалось и в работе [2]. Момент разрыва заготовки в окружном направлении характеризуется уменьшением усилий выворота (см. пунктир на рис. 4б).

Таким образом, в работе приведены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса выворота труб внутрь и наружу в торовидных матрицах. Полученные уравнения правильно отражают влияние основных факторов, сопровождающих процесс выворота, и могут быть рекомендованы для проектирования технологических процессов, связанных с выворотом трубчатых заготовок, с целью получения различных деталей сложных форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Аверкиев. Исследование обжима полых цилиндрических заготовок. Сб. Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. Машгиз, М., 1957.
2. М. Н. Горбунов. Штамповка деталей из трубчатых заготовок. Машгиз, М., 1960.
3. Ю. Н. Алексеев. Вопросы пластического течения металлов. Изд. ХГУ, Харьков, 1958.