

УДК 621.983; 539.374

DOI: 10.12737/article_5a5a44e7af0b11.86223240

В.Н. Чудин, д.т.н.

(Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, ул. Часовая, 22/2)

E-mail: vladimir-chudin@yandex.ru

Горячее выдавливание внутренних ступеней на корпусах

Предложены технологическая схема и расчет процесса выдавливания ступеней на корпусах. Горячий материал заготовки принят вязкопластичным в процессе обработки. Использована экстремальная теорема пластичности применительно к разрывному полю скоростей перемещений. Приведены расчетные результаты.

Ключевые слова: вязкопластичность; мощность; давление; повреждаемость; критические режимы.

V.N. Chudin, D. Eng.

(Russian University of Transport (MIEC), 2/22, Chasovaya, Moscow)

Hot extrusion of inner stages in housings

A technological scheme and computation for the process of stage extrusion in housings of high-strength aluminum alloys are offered. Blank material is assumed to be viscoplastic during hot working, that is, deformation strengthening is followed by softening in view of viscous deformations growth (short-term creep). An extreme theorem of plasticity is used, in accordance with which the deformation kinematics defines the upper boundary assessment of pressure. The flow kinematics is defined with the aid of a discontinuous field of traverse speeds. At the same time a power in the deformation areas and on the surfaces of a speed gap is computed. The pressure of the operation is defined through a power equation of equilibrium in powers and depends upon strengthening and a rate of deformation. The assessment of damageability of blank material is given according to equations of the energetic and kinetic theories of strength at viscoplasticity. The calculated data and a product sample are shown.

Keywords: viscoplasticity; power; pressure; damageability; critical modes.

Ряд изделий специальной техники имеют в своей конструкции конические пустотелые корпуса с внутренними ступенями (полками) для монтажа входящих элементов изделия. Материалы корпусов – высокопрочные легкие сплавы. Обработка давлением заготовок для корпусов более эффективна, чем обработка резанием. Деформирование производится на гидропрессовом оборудовании с нагревом зоны деформаций. Схема процесса формообразования ступени на внутренней поверхности корпуса показана на рис. 1, а.

Горячий деформируемый материал заготовки находится в состоянии вязкопластичности. При этом развиваются упрочняющие пластические деформации и разупрочняющие деформации ползучести [1, 2] и состояние материала определяется уравнением:

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^m \xi_i^n, \quad (1)$$

где σ_i , ε_i , ξ_i – соответственно интенсивности напряжений, деформаций и скоростей деформаций; A , m , n – константы материала заготовки.

Для расчета используем экстремальную верхнеграницную теорему пластичности [3] в соответствии с которой справедливо энергетическое неравенство:

$$q v_0 s \leq N_1 + N_p + N_{тр}. \quad (2)$$

Здесь в левой части – мощность внешних сил, в правой – мощности внутренних сил, в том числе N_1 – мощность в блоке деформаций; N_p – мощность на поверхности разрыва скорости; $N_{тр}$ – мощность трения; q – давление опе-

рации; s – площадь приложения внешних сил; v_0 – скорость нажимного пуансона.

Входящие в неравенство (2) мощности определяются по кинематике деформирования. Установим кинематику по разрывному полю скоростей перемещений при плоской деформации применительно к осесимметричной заготовке. Поле и план скоростей приведены на рис. 1, а, б.

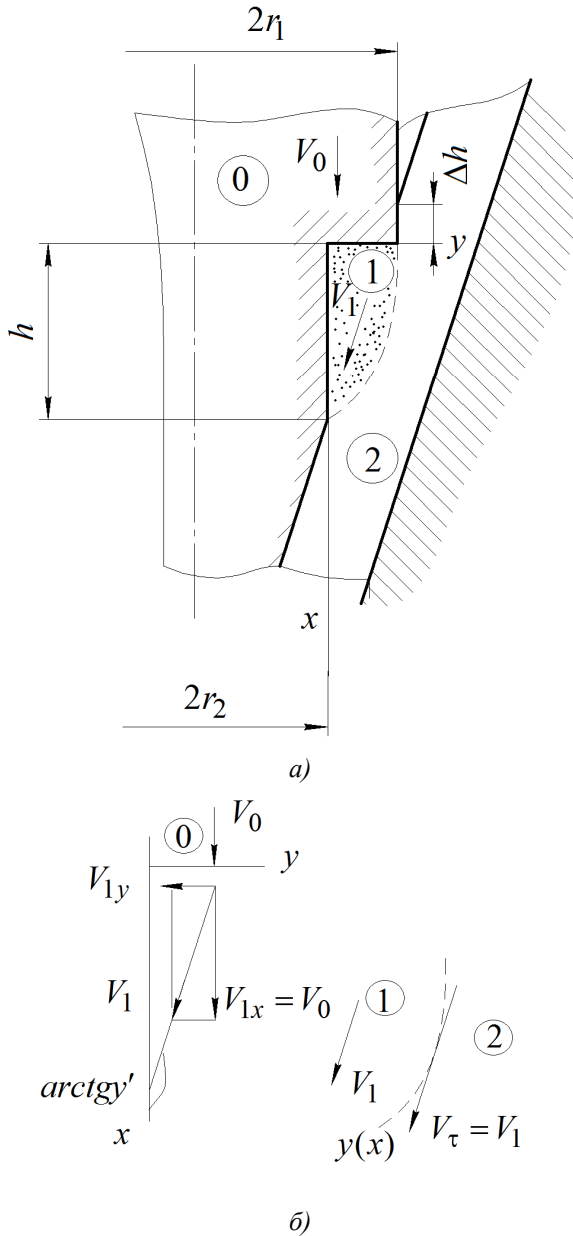


Рис. 1. Расчетно-технологическая схема процесса, поле (а) и план скоростей (б)

Поле состоит из блока деформации «1», ограниченного поверхностями разрыва скоростей с образующими линиями «01», «12». Нажимной пуансон и коническая часть заготовки обозначены как блоки «0» и «2». Деформации происходят в объеме блока деформаций и на поверхностях разрыва скорости. Линия «01» является контактной границей трения. Линия

разрыва «12» – кривая $y(x)$, уравнение которой определяется в ходе решения задачи.

Названные линии являются образующими соответствующих поверхностей. В соответствии с планом скоростей запишем выражения для скорости и ее составляющих по осям координат в блоке деформаций:

$$v_1 = v_0 \cos(\pi - \arctg y') = v_0 [1 + (y')^2]^{1/2}, \quad (3)$$

$$v_{1x} = v_0; \quad v_{1y} = v_0 y',$$

где y' – первая производная уравнения $y(x)$ по x .

Компоненты скорости деформаций, их интенсивности и интенсивность деформаций в этом блоке вычисляются по формулам

$$\xi_{xx} = \frac{\partial v_{1x}}{\partial x} = \xi_{yy} = \frac{\partial v_{1y}}{\partial y} = 0;$$

$$\xi_{xy} = \frac{\partial v_{1y}}{\partial x} = v_0 y''; \quad (4)$$

$$\xi_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \xi_{xy} = \frac{v_0}{\sqrt{3}} y''; \quad \varepsilon_i = \frac{\Delta h}{\sqrt{3}} y'',$$

где y'' – вторая производная уравнения $y(x)$; Δh – ход нажимного пуансона.

Интенсивность напряжений определяется по уравнению (1) при подстановке соотношений (4), т.е.

$$\sigma_i = A(\Delta h)^m v_0^n \left(\frac{y''}{\sqrt{3}} \right)^{m+n}. \quad (5)$$

Мощность в блоке деформаций объемом W представим, учитывая выражения (4), (5), соотношением

$$N_1 = \int \sigma_i \xi_i dW = \frac{2\pi A(\Delta h)^m}{(\sqrt{3})^{1+m+n}} y_{\text{ц.т.}} \cdot S_1 \times \\ \times v_0^{1+n} \int_0^h (y'')^{1+m+n} dx \quad (6)$$

где $y_{\text{ц.т.}} \approx \frac{3}{8}(r_1 - r_2) + r_2$ – расстояние от центра тяжести блока в продольном сечении до оси симметрии заготовки; $S_1 = \frac{2}{3}(r_1 - r_2)h$ – площадь сечения блока.

На криволинейной поверхности разрыва скорости имеем:

– касательная скорость

$$v_\tau = v_1 = v_0 [1 + (y')^2]^{1/2}; \quad (7)$$

– интенсивности скоростей деформаций, деформаций и напряжений соответственно:

$$\xi_i = \frac{dv_\tau}{\sqrt{3}dl} = \frac{dv_\tau}{\sqrt{1+(y')^2}dx} = \frac{v_0 y' y''}{\sqrt{3}[1+(y')^2]},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{v_0} \xi_i, \quad (8)$$

$$\sigma_i = A(\Delta h)^m v_0^m \left[\frac{y' y''}{\sqrt{3}[1+(y')^2]} \right]^{m+n}. \quad (9)$$

Выражения (7) – (9) позволяют записать мощность на этой поверхности площадью S_p в виде

$$N_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \int \sigma_i v_\tau dS_p = \frac{2\pi A(r_1 + r_2)}{(\sqrt{3})^{1+m+n}} \times$$

$$\times (\Delta h)^m v_0^{1+n} \int_0^h (y' y'')^{m+n} [1+(y')^2]^{1-m-n} dx. \quad (10)$$

На контактной поверхности трения площадью S_k под торцом пуансона касательное напряжение примем в виде:

$$\tau_{тр} = \mu q, \quad (11)$$

при скорости перемещения материала

$$v_{тр} = v_{1y} = v_0 y'_{x=0}, \quad (12)$$

μ – коэффициент предельного трения.

Мощность трения при учете выражений (11) и (12) определяется как

$$N_{тр} = \int \tau_{тр} v_{тр} dS_k = \pi \mu q (r_1^2 - r_2^2) v_0 y'_{x=0}. \quad (13)$$

Давление операции получим подстановкой выражений (6), (10), (13) в неравенство (2)

$$q \leq \frac{A(\Delta h)^m v_0^{1+n}}{(r_1 - r_2)(1 - \mu \cdot y'_{x=0})} \int_0^h F(y', y'') dx. \quad (14)$$

Здесь

$$F = \left(\frac{y''}{\sqrt{3}} \right)^{1+m+n} \left\{ \frac{2y_{ц.т.} S_1}{r_1 + r_2} + \frac{(y')^{m+n}}{y''} [1+(y')^2]^{1-m-n} \right\}.$$

Давление (14) может быть рассчитано при нахождении минимизирующей функции $y(x)$ – уравнения образующей поверхности разрыва скорости линия «12». Искомое уравнение

определяется вариационным методом в соответствии с уравнением Эйлера [3]

$$\frac{\partial F}{\partial y'} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y''} = C \quad (15)$$

с граничными условиями $y(0) = r_1 - r_2, y(h) = 0$.
Первому условию удовлетворяет функция

$$y = c_1 x + c_2 x^2 + r_1 - r_2. \quad (16)$$

По второму условию отсюда следует, что

$$c_2 = \frac{1}{h} \left(\frac{r_2 - r_1}{h} - c_1 \right).$$

Искомое уравнение (16) и его производные получают вид

$$y = c_1 x + \frac{1}{h} \left(\frac{r_2 - r_1}{h} - c_1 \right) x^2 + r_1 - r_2; \quad (17)$$

$$y' = c_1 + \frac{2}{h} \left(\frac{r_2 - r_1}{h} - c_1 \right) x; \quad y'' = \frac{2}{h} \left(\frac{r_2 - r_1}{h} - c_1 \right).$$

Запишем уравнение (17) и его производные в промежуточных точках (точках коллокации) $x = h/4, x = 3h/4$ и внесём в уравнение (15), выполнив указанные в нем действия. Получим алгебраическое уравнение относительно c_1, c_2 , что позволяет установить искомое уравнение линии разрыва скорости и рассчитать давление (14). Порядок расчета приведен так же в работах [1, 3].

Критический рабочий ход нажимного пуансона, определяющий максимально возможную деформацию, установим на основе уравнений кинетики повреждаемости материала заготовки в процессе деформирования [1, 2].

Используя выражения (4) и (5), имеем – по энергетическому уравнению

$$\Delta h_{кр} = \left[\frac{A_{пр}(1+m)}{A v_0^n} \left(\frac{\sqrt{3}}{y''} \right)^{1+m+n} \right]^{\frac{1}{1+m}}; \quad (18)$$

– по деформационному уравнению

$$\Delta h_{кр} = \frac{\sqrt{3}}{y''} \varepsilon_{инп}, \quad (19)$$

где $A_{пр}, \varepsilon_{инп}$ – предельные удельная работа и интенсивность деформаций к моменту разрушения материала.

Соотношение (18) относится к материалам, критическая деформация которых, зависит от скорости операции; соотношение (19) – к ма-

териалам, критическая деформация которых от скорости не зависит.

Расчеты выполнены применительно к заготовке из алюминиевого сплава АМг6 при 450 °С. Константы уравнений для материала приняты по данным работы [2]. Размеры заготовки: $r_1 = 200$; $r_2 = 185$ мм; $h = 50$ мм. Графики давления при различной длительности деформирования и конечная повреждаемость материала приведены на рис. 2.

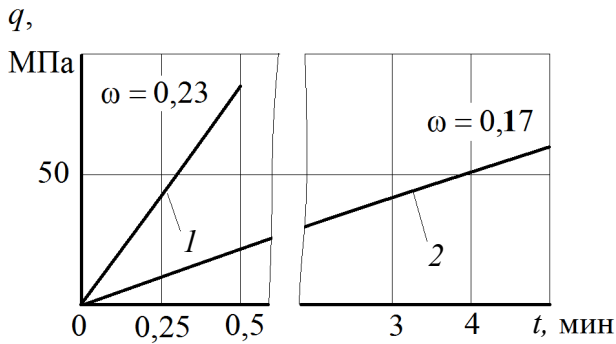


Рис. 2. Графики «давление–время»: 1 – при $t_k = 0,5$ мин; 2 – при $t_k = 5$ мин

Из графиков следует, что давление операции может быть снижено при увеличении времени (длительности) процесса деформирования. Повреждаемость материала заготовки нарастает при его обработке давлением, причем в меньшей степени при увеличении длительности деформирования, т.е. при уменьшении скорости движения нажимного пуансона.

Образец корпуса представлен на рис. 3.

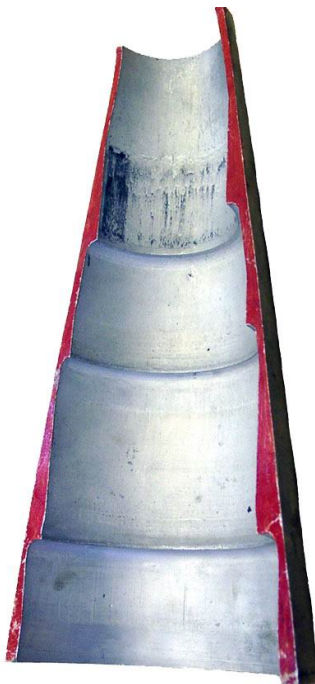


Рис. 3. Образец корпуса

Выводы

Горячее формообразование ступеней на внутренней поверхности корпуса в заданном скоростном режиме происходит при вязкопластическом деформировании материала заготовки.

Давление операции и повреждаемость материала уменьшаются при увеличении времени деформирования для рассмотренного сплава при заданной температуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, С.П., Чудин, В.Н., Яковлев, С.С., Соболев, Я.А. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных материалов. М.: Машиностроение, 2003. 427с.
2. Романов, К.И. Механика горячего формоизменения металлов. М: Машиностроение. 1993. 240 с.
3. Гун, Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. М.: Metallurgy, 1980. 456 с.

REFERENCES

1. Yakovlev, S.P., Chudin, V.N., Yakovlev, S.S., Sobolev, Ya.A. *Isothermal Deformation of High-Strength Anisotropic Materials*. M.: Mechanical Engineering, 2003. pp. 427.
2. Romanov, K.I. *Mechanics of Hot Metal Forming*. M.: Mechanical Engineering. 1993. pp. 240.
3. Gun, G.Ya. *Theoretical Fundamentals of Metal Forming*. M.: Metallurgy, 1980. pp. 456

Рецензент д.т.н. В.А. Демин