

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА

УДК 621-01

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Деревенько Ирина Анатольевна к.т.н., ст. преподаватель

Винницкий национальный аграрный университет

Derevenko I.

Vinnitsia National Agrarian University

Аннотация: рассматриваются процессы осесимметричного холодного формоизменения с целью разработки расчетного аппарата, позволяющего оценивать предельное формоизменение без нарушения сплошности деформируемых заготовок с учетом различных факторов, оказывающих существенное влияние на пластичность (показатели напряженного состояния, учитывающие влияние инвариантов тензора напряжений и их производные).

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, осесимметричное выдавливание, ресурс пластичности, пути деформирования частиц материала.

Вступление

Изготовление высококачественных деталей с наименьшими трудозатратами, с наибольшей производительностью и с наибольшим коэффициентом использования металла, является основной задачей металлообрабатывающего производства.

Успешное решение поставленной задачи возможно на основе внедрения прогрессивных технологических процессов обработки металлов давлением, к которым относится и холодное выдавливание. Процессы комбинированного выдавливания являются сложными по технологическим параметрам, что вызывает необходимость проведения комплексных исследований причин и устранению дефектообразования [1, 2].

В связи с применением материалов со сложной реологией и возрастанием требований к качеству штампуемых заготовок возникает необходимость в разработке рациональных параметров процессов холодного выдавливания, обеспечивающих благоприятную технологическую наследственность и предотвращение брака от разрушения металла.

Постановка задачи

Целью работы является разработка метода моделирования процессов холодного формоизменения, с помощью которого возможно получение инженерных формул оценки предельного формоизменения без нарушения сплошности деформируемых заготовок.

Результаты исследования

Рассмотрим осесимметричную задачу выдавливания заготовок и оценим напряженно-деформированное состояние в очаге деформации с точки зрения последующего привлечения критериев деформируемости, учитывающих влияние истории деформирования на

накопление повреждений в процессе формоизменения.

Напряженное состояние определяли с помощью соотношений теории течения с привлечением кинематики (линий тока):

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma = \frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_{ij} \quad (1)$$

Гидростатическое давление находим интегрированием интегрального и дифференциального уравнений равновесия:

$$\frac{d\sigma}{dx_j} \delta_{ij} + \frac{d}{dx_j} \left[\frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{\dot{\epsilon}_u} \left(\frac{dv_i}{dx_j} + \frac{dv_j}{dx_i} \right) \right] \quad (2)$$

Компоненты тензора напряжений в цилиндрической системе координат

$\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z, \tau_{rz}$ позволяют рассчитать показатель напряженного состояния η , который равен отношению гидростатического давления к интенсивности напряжений. Интегрированием интенсивности скоростей деформаций вдоль линий тока можно получить накопленную интенсивность деформаций \bar{e}_u . В результате полученную информацию об изменении показателя η и степени деформации \bar{e}_u можно представить в виде путей деформирования.

Воспользуемся экспериментально - расчетными данными работы [3], в которой приведены результаты расчета компонент тензора напряжений σ_{ij} , показателя напряженного состояния и накопленной интенсивности деформаций \bar{e}_u в процессе осесимметричного выдавливания меди, латуни ЛС62, латуни ЛС59-1, дюралюминия Д16 через матрицы с углами раствора $2\gamma=180^\circ, 120^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ и матриц сигмоидального профиля. Выпуклый профиль матрицы (II) – рассчитан по уравнению:

$$D_x = D_k \left[1 + \left(\frac{D_k}{D_0} - 1 \right) \frac{x}{x_k} \right]^{-0,5} \quad (3)$$

Вогнутый профиль матрицы (III) – рассчитан по уравнению [4]:

$$R_x = R_0 \exp\left(\frac{-0,33x}{a}\right), \quad (4)$$

где R_x, R_0, a показаны на рис. 1.

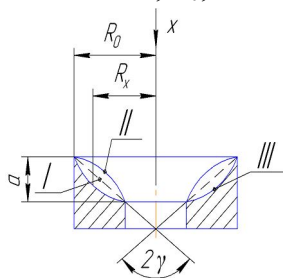


Рис. 1. Матрица

Построены пути деформирования частиц материала, принадлежащих оси симметрии выдавливаемых заготовок из меди через матрицы различной геометрии. На рис. 2 показаны пути деформирования частиц материала, принадлежащих оси симметрии выдавливаемой заготовки в координатах $e_u = e_u(\eta)$. Там же приведены диаграммы пластичности латуни ЛС 59-1, ЛС62, дюралюминия Д16, построенные с учетом и без учета третьего инварианта тензора напряжений.

Это позволило рассчитать ресурс пластичности с учетом и без учета третьего инварианта тензора напряжений.

На рис. 3 представлены результаты расчета.

Как следует из полученных результатов расхождение величины ресурса пластичности подсчитанного с учетом и без учета третьего инварианта тензора напряжений находится в

пределах от 14 до 40% и зависит от свойств материала и геометрии матрицы.

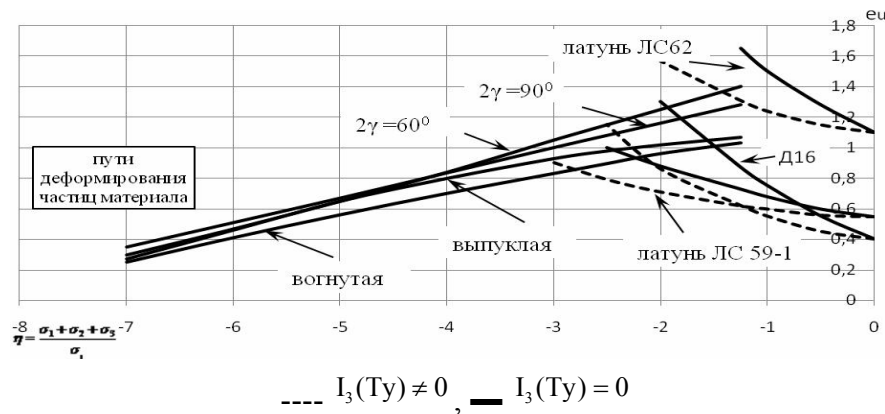


Рис. 2. Пути деформирования частиц материала заготовки из модельного материала (меди) вдоль оси симметрии матриц различной геометрии в координатах $e_u = e_u(\eta)$

Следовательно, при построении диаграмм пластичности необходимо учитывать влияние третьего инварианта тензора напряжений на пластичность.

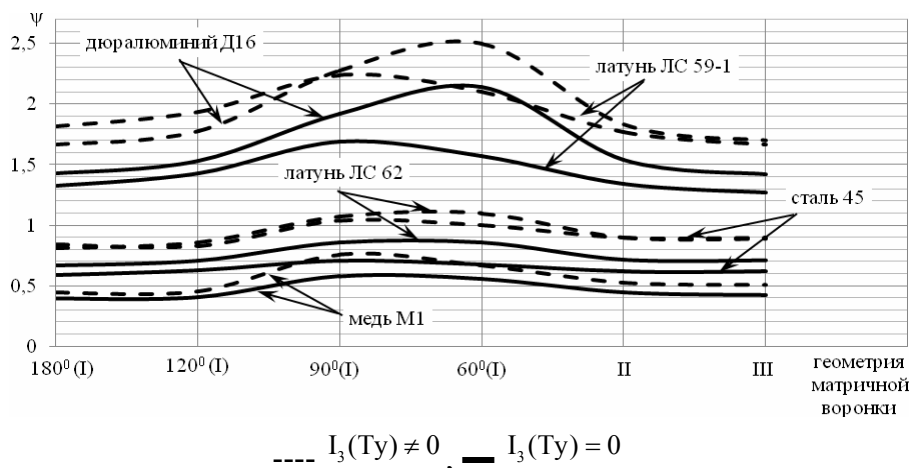


Рис. 3. Ресурс пластичности, рассчитанный для матриц различной геометрии при осесимметричном выдавливании заготовок из цветных металлов

С целью получения инженерной формулы, позволяющей рассчитать калибрующий диаметр матрицы, предлагается следующий алгоритм:

1. Ресурс пластичности можно рассчитать с помощью критерия, в котором в отличие от критерия Г.А. Смирнова-Аляева коэффициент ω учитывает историю деформирования:

$$\psi = \frac{e_u(\delta, \gamma, \mu)}{e_p(\eta_k) \omega} \leq 1. \quad (5)$$

Коэффициент ω в критерии (5) рассчитан с помощью критерия [3], учитывающего влияние истории деформирования и третьего инварианта тензора напряжений на пластичность. Величина коэффициента ω зависит от геометрии матриц и меняется от $\omega=1,27$ до $\omega=1$ (см. рис. 4).

В критерии (5) δ – обжатие, γ - угол раствора матрицы, μ - коэффициент трения, η_k - показатель напряженного состояния в опасной области заготовки.

Показатель напряженного состояния η_k зависит от геометрии матриц и представлен на рис. 5.

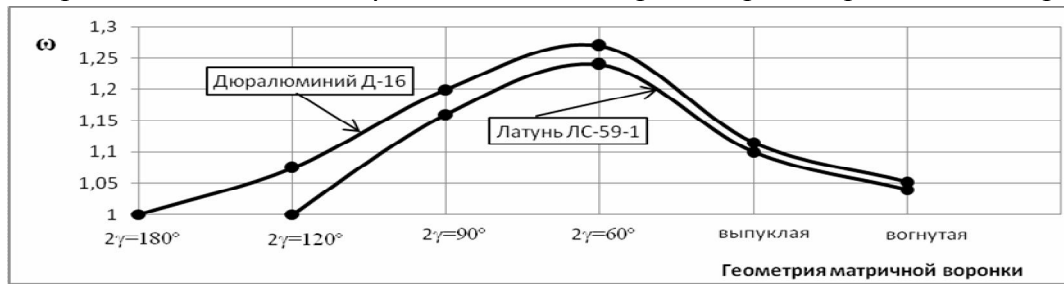


Рис. 4. Зависимость коэффициента, учитывающего влияние истории деформирования ω от геометрии матричной воронки для некоторых материалов

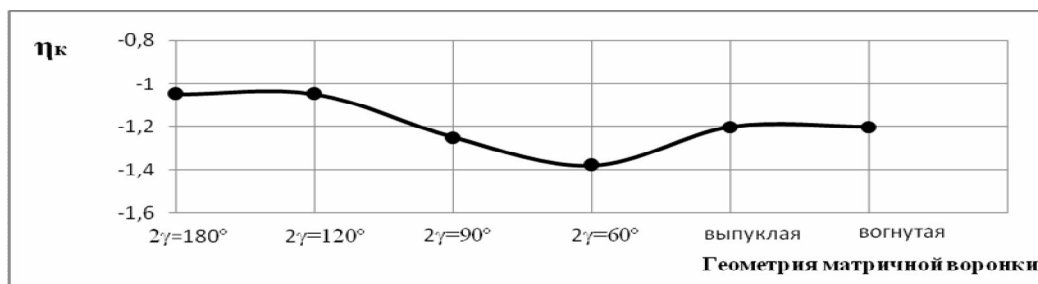


Рис. 5. Зависимость показателя η_k от геометрии матричной воронки

В критерии (5) $e_p(\eta_k)$ аппроксимируем с помощью формулы [3]:

$$e_p(\eta_k) = e_p(\eta = 0) \exp(-\lambda \eta), \quad (6)$$

$$\psi = \frac{2 \ln \frac{D}{d} m}{e_p(\eta_k) = e_p(\eta = 0) \exp(-\lambda \eta) \omega} \leq 1, \quad (7)$$

где

$$\lambda = \ln \frac{e_p(\eta = -1)}{e_p(\eta = 0)}$$

2. Из формулы (7) следует равенство, с помощью которого можно рассчитать калибрующий диаметр матрицы:

$$d \geq \frac{D}{\exp\left[e_p(\eta = 0) \exp(-\lambda \eta_k)\right] \frac{\omega}{2m}}. \quad (8)$$

В формуле (8) m - коэффициент неравномерности накопленной интенсивности деформаций зависящий от геометрии матричной воронки (рис. 6).

Заметим, что на основе гипотезы о кинематическом подобии и подобии путей деформирования формула (8) позволяет рассчитать предельно допустимое обжатие для материалов, диаграмма пластичности которых известна.

В ряде работ [3, 5 - 6] показано, что при соответствующем выборе граничных условий и прочих равных условиях (обжатие, геометрия инструмента, число переходов и др.) деформированное состояние оказывается близким даже для тел, относящихся к различному реологическому классу.

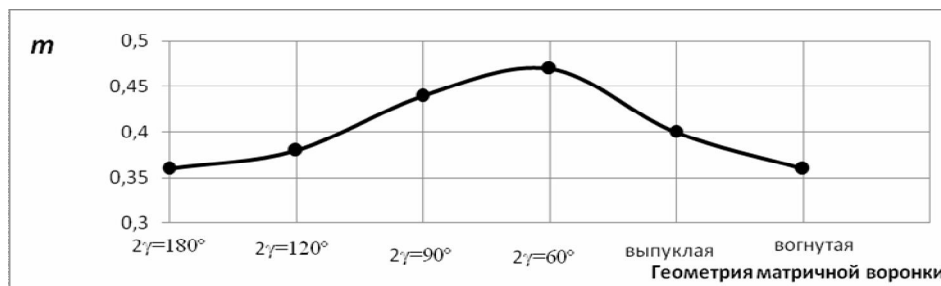


Рис. 6. Залежність коефіцієнта нерівномірності накопленої інтенсивності деформацій m від геометрії матричної воронки

Будем считать полученные пути деформирования, представленные на рис. 2 не зависящими от свойств материалов (гипотеза о кинематическом подобии и подобии путей деформирования) [7]. Для условий одноосного растяжения, сжатия, кручения, а так же для любых простых видов нагружения гипотеза о подобии путей деформирования выполняется точно. В сочетании с гипотезой о кинематическом подобии полей интенсивности деформаций (гипотезу об идентичности деформированного состояния модельного и натурального образцов будем называть гипотезой о кинематическом подобии) она приводит к утверждению о подобии показателя η , что можно использовать как дополнительное интегральное условие, необходимое при определении напряженного состояния натурального образца. Расчет ресурса пластичности с учетом истории деформирования по критерию деформируемости [3]:

$$\psi = \int_0^{e_u^*} \left(1 + 0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{de_u} \frac{d\chi}{de_u} \right) \frac{[e_u(\eta, \chi)]^{0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{de_u}}}{[e_p(\eta, \chi)]^{1+0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{de_u}}} \leq 1 \quad (9)$$

показал, что при выдавливании меди $\psi = 0,76$, а при выдавливании латуни ЛС 59-1 $\psi = 2,28$, следовательно она должна разрушиться, что и подтвердилось при экспериментальной проверке (см. рис.3).

Выводы

Разработана методика выбора рациональных параметров операций штамповки на основе оценки деформируемости заготовок. Так в установившихся процессах осесимметричного выдавливания получена инженерная формула, с помощью которой оценивается предельно - допустимое обжатие при прямом осесимметричном выдавливании для материалов различной реологии. Предлагается метод моделирования процессов холодной объемной штамповки, позволяющий оценивать напряженно - деформированное состояние и рассчитывать использованный ресурс пластичности на модельных и натуральных заготовках.

Список литературы

1. Алиев И.С., Алиева Л.И., Мартынов С.В., Ткаченко Н.Ю. Оценка технологической деформируемости при холодном выдавливании втулок с фланцем // Научный вестник ДГМА, №1(6Е) 2010. – С 9 – 14.
2. Алиева Л.И., Борисов Р.С. Жбанков Я.Г., Мороз Б.С. Исследование комбинированно поперечно - прямого выдавливания // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичний зб. наук. пр., Краматорськ, 2008. - С.45-48.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. - Киев: Выща школа. - 1983. 176 с.

4. Деревенько И. А. Деформируемость и качество заготовок в условиях комбинированного формоизменения. // *Обработка металлов давлением. Сборник научных трудов.* - Краматорск: ДГМА. - 2012. - №3(32). - С.87 - 96.
5. Огородников В. А., Рвачев В. А., Гайдамак О. Л. Выдавливание инструментальных сталей // *Кузнечно-штамповочное производство.* 1987. №8. с. 8 – 11.
6. Теорияковки и штамповки: Учеб. пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов // Е. П. Унксов, У. Джонсон, В.Л.Колмогоров, В. А. Огородников и др. Под общ. ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1992.-720 с.: ил.
7. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / Огородников В. А., Рвачев М. А., Покрас В. Д., Гайдамак О. Л. // *Кузнечно - штамповочное производство*, 1991. № II, с. 2 – 4.

References

1. Aliev I.S., Alieva L.I., Martyinov S.V., Tkachenko N.Yu. Otsenka tehnologicheskoy deformiruemosti pri holodnom vyidavlivanii vtulok s flantsem // *Nauchnyiy vestnik DGMA*, #1(6E) 2010. – S 9 – 14.
2. Alieva L.I., Borisov R.S. Zhbankov Ya.G., Moroz B.S. Issledovanie kombinirovanno poperechno - pryamogo vyidavlivaniya // *Udoskonalennyya protsesy I obladnannyya obrobki tiskom v metalurgiyi I mashinobudovani.* Tematichnyy zb. nauk. pr., Kramatorsk, 2008. - S.45-48.
3. Ogorodnikov V. A. Otsenka deformiruemosti metallov pri obrabotke davleniem. - Kiev: Vvischa shkola. - 1983. 176 s.
4. Derevenko I. A. Deformiruemost i kachestvo zagotovok v usloviyakh kombinirovannogo formoizmeneniya. // *Obrabotka metallov davleniem. Sbornik nauchnyih trudov.* - Kramatorsk: DGMA. - 2012. - #3(32). - S.87 - 96.
5. Ogorodnikov V. A., Rvachev V. A., Gaydamak O. L. Vyidavlivanie instrumentalnykh staley // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo.* 1987. #8. s. 8 – 11.
6. Teoriya kovki i shtampovki: Ucheb. posobie dlya studentov mashinostroitelnykh i metallurgicheskikh spetsialnostey vuzov // Е. П. Унксов, У. Дзхонсон, В.Л.Колмогоров, В. А. Огородников и др. Под общ. ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1992.-720 с.: ил.
7. Modelirovaniye napryazhenogo sostoyaniya v protsessah ob'emnogo formoizmeneniya na osnovanii gipotezyi o podobii putey deformirovaniya / Ogorodnikov V. A., Rvachev M. A., Pokras V. D., Gaydamak O. L. // *Kuznechno - shtampovochnoe proizvodstvo*, 1991. # II, s. 2 – 4.

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ГРАНИЧНОГО ФОРМОЗМІНЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Анотація: розглядаються процеси осесимметричного холодного формозмінення з метою розробки розрахункового апарату, що дозволяє оцінювати граничне формозмінення без порушення суцільності деформівних заготовок з урахуванням різних факторів, що роблять істотний вплив на пластичність (показники напруженого стану, що враховують вплив інваріантів тензора напружень та їх похідні).

Ключові слова: напружено-деформований стан, вісесиметричне видавлювання, ресурс пластичності, шляхи деформування частинок матеріалу.

PHENOMENOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE ULTIMATE FORMING PROCESSES AXISYMMETRIC DEFORMATION

Summari: the process of axisymmetric cold forming to develop a calculation unit for assessing the ultimate shape without discontinuity deformable parts with a variety of factors that have a significant effect on the ductility (indicators of stress state, taking into account the effect of the invariants of the stress tensor and their derivatives).

Keywords: stress-strain state, axisymmetric extrusion, plasticity resource, the path of deformation of the material particles.