

разработанных институтом УкрНИИ НП "МАСМА", позволяющих при комбинированной вытяжке и вытяжке с утонением отказаться от нанесения подмазочного слоя на поверхность заготовки (фосфатирования, оксалатирования, меднения и др.) без ухудшения качества готового изделия и снижения стойкости инструмента.

Список литературы

1. Валиев С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. М.: Машиностроение, 1973. 176 с.

2. Стеблюк В.И., Орлюк М.В. Напряженно-деформированное состояние и возможности интенсификации первой операции вытяжки из профильной заготовки // Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение. Киев: НТУУ "КПИ" 1998. Вып. 33. С. 365–380.

3. Стеблюк В.И., Ковальчук Б.И., Орлюк М.В., Роцина И.А. Исследования механических свойств стали 11ЮА // Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение. Киев: НТУУ "КПИ" 1999. Вып. 34. С. 34–42.

4. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 277 с.

УДК 621.777.22.07.002

Н.В. ШЕПЕЛЬСКИЙ, д-р техн. наук; В.В. СВЯЦКИЙ

Оптимизация профиля матричной воронки для прессования

На основе анализа поля линий скольжения установившейся стадии прессования через симметричную одноочковую матрицу проведено исследование по определению оптимального профиля матричной воронки, обеспечивающего минимальные энергосиловые параметры процесса. Выполнена экспериментальная проверка теоретических положений при прессовании дискретных тел (гранул) через различные типы матричных воронок. Установлено, что оптимальные энергосиловые условия достигаются при прессовании через матрицу, имеющую профиль, выполненный по линии скольжения, разделяющей упругие и пластические зоны.

On the base of analysis of slip line field related to the steady-state stage of extrusion through symmetrical one-channel matrix, there is carried out an investigation intended to define the optimal profile of matrix funnel, which should ensure minimal force and energy parameters of the process. Experimental examination of theoretical statements is fulfilled while extrusion of discrete materials (granules) through matrix funnels of various types. It is found that optimal force and energy conditions are reached while extruding through the matrix, which has the profile designed according to the shape of the slip line dividing elastic and plastic zones.

При прессовании в большинстве случаев применяют матрицы, форма которых соответствует усеченному конусу с углом наклона образующей к оси симметрии $\alpha=45^\circ\div 60^\circ$ [1, 2]. Однако матричные воронки, выполненные по конусу, не обеспечивают оптимальные энергосиловые показатели прессования.

Кроме конических, в практике металлообработки давлением применяются другие профили матричных воронок. В работе [3] предложен вогнутый профиль, построенный по циклоиде с радиусом $R_{\text{ц}}$ и обеспечивающий наибольшую равномерность пластического течения металла в матричной воронке. Радиус циклоиды определяется по формуле

$$R_{\text{ц}} = \frac{R_0 - R}{1,741}, \quad (1)$$

где R_0 – радиус контейнера; R – радиус очка матрицы.

В работе [1] предложен выпуклый профиль, построенный по экспоненте и обеспечивающий постоянство логарифмической деформации $\bar{\epsilon}_z$ на единицу высоты матричной воронки:

$$R_z = R_0 \exp \left(-0,5\lambda \frac{z}{h} \right), \quad (2)$$

где R_z – радиус воронки на расстоянии z от ее начала; h – высота матричной воронки.

Выпуклый профиль, предложенный в работе [4], обоснован условием обеспечения постоянства усредненной скорости деформации по высоте матричной воронки:

$$R_z = R_0 \left(1 + \frac{R_0^2 - R^2}{R^2 h} z \right)^{-0,5} \quad (3)$$

При прессовании цветных металлов и сплавов через прямоугольную матрицу ($\alpha=90^\circ$) было обнаружено [5], что в контейнере образуются “заторможенные” зоны металла, которые формируют “естественную” матричную воронку, близкую по форме к сфере. В работе [6] теоретически обосновано, что границы, разделяющие упругие и пластические зоны, являются линиями скольжения или их огибающими. По данным работы [5] форма этих границ несущественно зависит от степени деформации, скорости прессования, температуры заготовки и природы сплава.

Таким образом, до сих пор не существует единой точки зрения о влиянии геометрии очага деформации на энергосиловые параметры процесса прессования металлов. Авторами данной статьи проведено исследование по определению профиля матричной воронки на основании анализа поля линий скольжения установившейся стадии прессования через симметричную одноочковую матрицу. Подобный подход выполнен в работе [7], где показано, что в установившемся процессе прессования поле линий скольжения остается фиксированным по форме и не изменяется во времени.

Исследовали следующие типы профилей матричных воронок (рис. 1): вогнутый по циклоиде, построенный по зависимости (1); первый выпуклый, построенный по логарифмической зависимости (2);

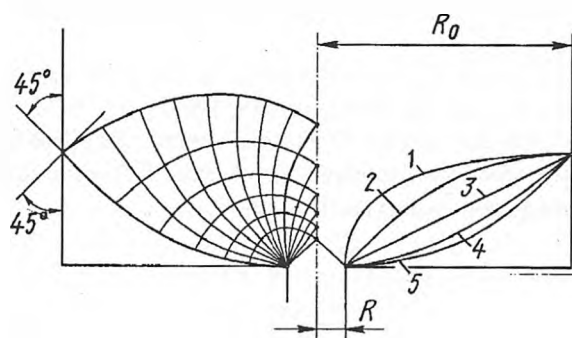


Рис. 1. Поле линий скольжения для установившейся стадии прессования и профили матричных воронок: 1 – первый выпуклый; 2 – второй выпуклый; 3 – конусный; 4 – вогнутый по циклоиде; 5 – вогнутый по линии скольжения

второй выпуклый, построенный по зависимости (3); конусный; вогнутый, построенный по линии скольжения, отделяющей упругие зоны от пластических в процессе прессования.

Энергосиловые параметры прессования (средние удельные силы) для конической матрицы оценивали по зависимости, предложенной в работе [8]:

$$q = \sigma_s \left[1 + \frac{C_1}{2\sqrt{3}} \frac{\theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{2}}{\sin^2 \theta_1} + \frac{\operatorname{ctg} \theta_1}{\sqrt{3}} \right] \ln \lambda + \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{2}}{\sin^2 \theta_1} \quad (4)$$

где σ_s – истинное сопротивление деформированию, МПа; C_1 – постоянная, $C_1=0,398$; θ_1 – угол между образующей конуса и осью симметрии; λ – логарифмическая степень деформации,

$$\lambda = 2 \ln \frac{R_0}{R} = \ln \mu \quad (5)$$

Уравнение (4) распространяется и на другие типы матриц (вогнутые и выпуклые) при замене криволинейной образующей матричной воронки системой i -малых сопрягающихся конусов с переменными θ_{1i} и λ_i . Тогда средние удельные силы для всех типов перечисленных матриц будут суммами средних удельных сил каждого участка, рассчитанных по формуле (4):

$$q_{\text{сум}} = \sum_i q_i \quad (6)$$

Результаты расчетов энергосиловых параметров прессования по формуле (4) представлены на рис. 2.

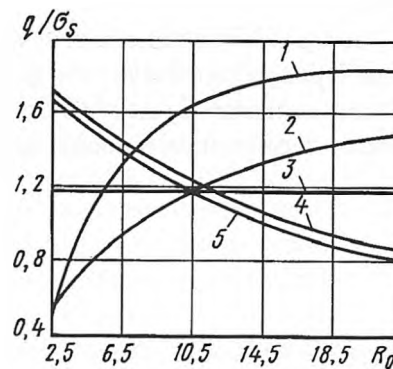


Рис. 2. Распределение относительных удельных сил по профилю матричных воронок (1–5 – см. рис. 1)

При этом суммарные относительные удельные силы прессования q/σ_s для первого выпуклого профиля составляют 239,93, для второго выпуклого – 303,01, для конусного – 236,22, для вогнутого по циклоиде – 238,99, для вогнутого по линии скольжения – 230,91.

Анализ силовых параметров прессования показал существенное преимущество вогнутых профилей матриц по сравнению с другими профилями. При этом профиль, вогнутый по линии скольжения, отделяющей пластическую зону от упругой (рис. 2, кривая 5), обеспечивает меньшие энергосиловые затраты по сравнению с профилем, вогнутым по циклоиде (рис. 2, кривая 4). К тому же, построение линии скольжения (линии максимальных сдвиговых деформаций) теоретически обосновано, и для различных степеней вытяжки линия скольжения, отделяющая упругую зону от пластической, будет в каждом отдельном случае различна. Циклоидный же профиль [3] строится через две узловые точки: первая – точка острой кромки очка матрицы, вторая – точка сопряжения профиля матрицы и контейнера, ордината которой равна высоте конусной матрицы, и, следовательно, для различных степеней вытяжки профиль циклоидной матрицы будет постоянным, что не позволяет управлять энергосиловыми характеристиками процесса прессования.

Теоретические положения были проверены экспериментально при прессовании дискретных тел (гранул). Особенности характера течения гранул, наличие межгранулярного контактного трения дает возможность более убедительно показать распределение результирующих деформаций в очаге прессования. Для этого использовали следующие типы матриц: с профилем, построенным по линии скольжения, с выпуклым логарифмическим профилем, построенным согласно зависимости (2), и с конусным профилем.

Результаты исследования кинетики течения дискретной среды (гранул) показали, что форма матричной воронки оказывает существенное влияние на размеры очага деформации и распределение ре-

зультирующих деформаций в прессованной заготовке. Из анализа деформаций гранул следует, что для вогнутой воронки, построенной по линии скольжения, характерно искривление осесимметричных частиц в направлении деформации. Эти искривления уменьшаются по мере движения гранул к оси симметрии матрицы. При прессовании через выпуклую воронку отмечается наибольшая протяженность очага деформации. В конической воронке течение металла близко к радиальному в направлении усеченного конуса.

Таким образом, результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что оптимальные энергосиловые условия достигаются при прессовании через матрицу, имеющую профиль, выполненный по линии скольжения.

Список литературы

1. Норицын И.А., Акаро И.Л., Перфилов В.И. Влияние профиля матричной воронки на параметры процесса прямого прессования // Кузнечно-штамповочное производство. 1971. № 12. С. 2–8.
2. Сафаров Ю.С., Гаращенко В.И. К вопросу о выборе оптимальной геометрии инструмента при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. 1971. № 12. С. 8–11.
3. Глебов Ю.П., Перлин И.М. О форме упругой зоны матрицы при прессовании через одноканальную матрицу // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1961. № 2.
4. Норицын И.А. Анализ скоростных параметров прямого прессования и волочения // Процессы штамповки и их технологические параметры: Сб. МАМИ. М: Машгиз, 1959.
5. Батулин А.И. Влияние технологических параметров на размеры и форму очага деформации при прямом способе прессования алюминиевых сплавов через плоскую матрицу // Кузнечно-штамповочное производство. 1970. № 1. С. 6–8.
6. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М.: ГИТТЛ, 1956.
7. Джонсон В., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. М.: Металлургия, 1965.
8. Степанский Л.Г. О расчете усилий и деформаций при прессовании фасонных профилей // Кузнечно-штамповочное производство. 1967. № 2.