

УДК 621.777.22.07

Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. (Кировоград, КГТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Рассмотрены вопросы оптимизации профиля матричной воронки на основании анализа поля линий скольжения установившейся стадии прессования через симметричную одноочковую матрицу для получения пресс-изделий с минимальными энергосиловыми параметрами.

The questions of matrix funnel structure optimization are considered on the basis of the analysis of a sliding lines field of the established pressing stage through symmetric single-hole matrix for reception of the separated fibres during cast granules pressing.

Оптимизация технологических параметров процессов прессования металлов с целью получения изделий с минимальными энергосиловыми параметрами представляет большой научный и практический интерес.

Напряженное и деформированное состояние металла и размеры очага деформации при прессовании существенно зависят от конструкции инструмента и, в частности, от формы матричной воронки [1, 2]. В большинстве случаев при прессовании применяют матрицы, форма которых соответствует усеченному конусу с углом образующей к оси симметрии α от 45° до 60° . Однако, матричные воронки, выполненные по конусу, не обеспечивают оптимальные энергосиловые показатели прессования.

Кроме конических в практике металлообработки давлением применяются и другие профили матричных воронок. Вогнутый профиль, построенный по циклоиде с радиусом $R_{\text{ц}}$, обусловлен условием наибольшей равномерности пластического течения металла в матричной воронке [3]. Образующая матрицы, построенная по циклоиде, обеспечивает наименьшее время нахождения периферийных слоев металла в очаге деформации, что, в свою очередь, приводит и к минимальной неоднородности металла по поперечному сечению пресс-изделия. Радиус циклоиды $R_{\text{ц}}$ определяется по формуле:

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

где R_0 – радиус контейнера;

R – радиус очка матрицы.

Выпуклый профиль, построенный по экспоненте, аргументирован в работе [1] условием постоянства логарифмической деформации λ_z на единицу высоты матричной воронки:

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

где h – высота матричной воронки;

R_z – радиус воронки на расстоянии z от ее начала.

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

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

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. Р. Хилл [6] теоретически обосновал, что границы, разделяющие упругие и пластические зоны, являются линиями скольжения или их огибающими. При этом форма этой границы, по

данным исследований А.И. Батурина [5], существенно не 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. Нами 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 В. Джонсона и Х. Кудо [7], где показано, что в установившемся процессе прессования поле линий скольжения остается фиксированным по форме и не изменяется во времени.

Исследовались следующие типы профилей матричных воронок: вогнутая по циклоиде, построенной по зависимости (1); выпуклая по логарифмической зависимости (2); вторая выпуклая, рассчитанная согласно (3); конусная и вогнутая, построенная по линии скольжения, отделяющей упругие зоны от пластических в процессе прессования (рисунок 1).

Энергосиловые параметры прессования (средние удельные усилия) для конической матрицы оценивались по зависимости [8]:

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

где σ_s – истинное сопротивление деформированию, МПа;

$C_1 = 0,398$ – постоянная;

θ_1 – угол образующей конуса с 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 усилия для всех типов перечисленных матриц будут суммами средних удельных усилий каждого участка, рассчитанных по (4):

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

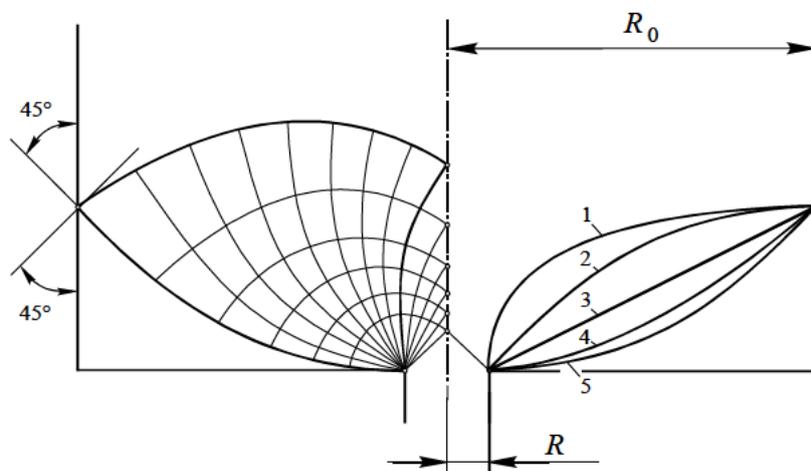


Рисунок 1 – Поле линий скольжения для установившейся стадии прессования и профили матричных воронок: 1 – первая выпуклая логарифмическая; 2 – вторая выпуклая логарифмическая; 3 – конусная; 4 – вогнутая по циклоиде; 5 – вогнутая по линии скольжения

Результаты расчетов энергосиловых параметров прессования по формуле (4) представлены на рис. 2. При этом суммарные относительные удельные усилия прессования q/σ_s для первой выпуклой логарифмической матрицы составляют 239,93; для второй выпуклой логарифмической – 303,01; для конусной – 236,22; для вогнутой по циклоиде – 238,99; для вогнутой по линии скольжения – 230,91.

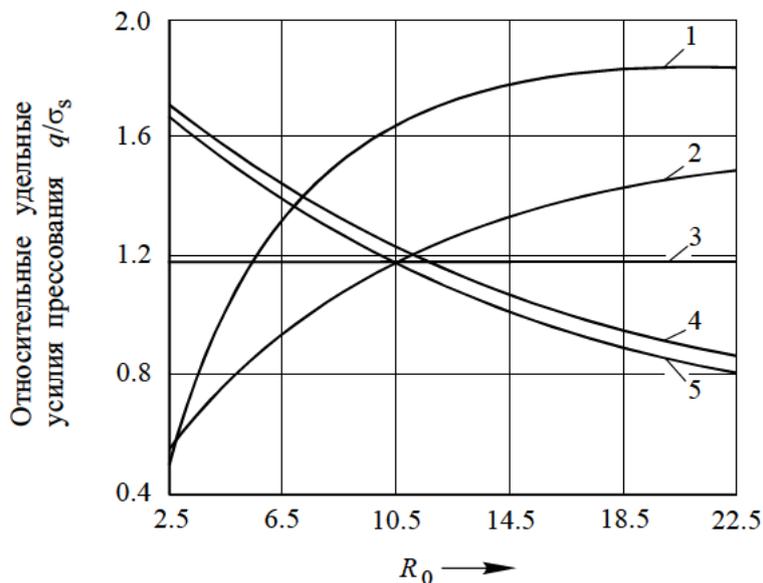


Рисунок 2 – Распределение относительных удельных усилий по профилю матричных воронок (обозначение кривых соответствует порядковым номерам матриц)

Анализ силовых параметров прессования показал существенное преимущество вогнутых профилей матриц относительно других профилей. При прессовании через матрицу, профиль которой выполнен по линии скольжения, отделяющей пластическую зону от упругой (см. рис. 2, кривая 5), отмечены наименьшие энергосиловые затраты по сравнению с профилем циклоидной матрицы (см. 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, а при $\mu \leq 4$ ($R_0/R_{отв} \leq 2$) линия скольжения будет иметь наклон к оси симметрии угол 45° , и в этом случае криволинейный профиль матрицы преобразуется в конусный. В то же время циклоидный профиль, согласно [2], строится через две узловые точки: первая – точка острой кромки очага матрицы, вторая – точка сопряжения профиля матрицы и контейнера, ордината которой равна высоте конусной матрицы. Следовательно, для различных степеней вытяжки профиль циклоидной матрицы будет всегда криволинейным, что ведет к неуправляемости энергосиловыми характеристиками процесса прессования.

Экспериментальная проверка теоретических положений проводилась нами 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: матрица с профилем, построенным по линии скольжения, отделяющей упругие зоны от пластических; выпуклая логарифмическая, построенная согласно зависимости (2) и имеющая из двух выпуклых воронок наименьшие энергосиловые характеристики прессования; а также конусная. Общий вид пресс-остатков для каждого типа матриц приведен на рис. 3.

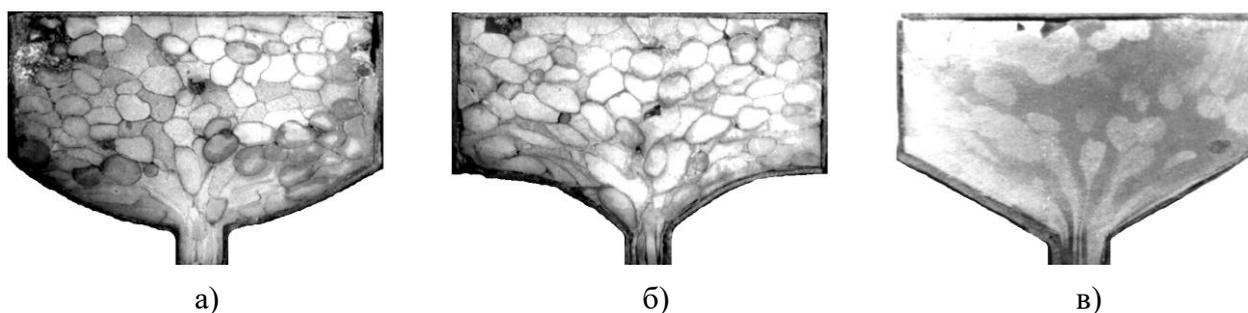


Рисунок 3 – Образцы пресс-остатков, полученные при прессовании литых гранул через вогнутую (а), выпуклую (б) и коническую (в) матричные воронки

Результаты исследования кинетики течения дискретной среды (гранул) показали (см. рис. 3), что форма матричной воронки оказывает существенное влияние ее на размеры очага деформации и распределение результирующих деформаций в выпрессовке. 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 (см. рис. 3,а). Отмечено, что для выпуклой воронки (см. рис. 3,б) протяженность очага деформации наибольшая; для конической (см. рис. 3,в) 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.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Норицин И.А., Акаро И.Л., Перфилов А.А. Влияние профиля матричной воронки на параметры процесса прямого прессования // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – №12. – С. 1 – 8.
2. Сафаров Ю.С., Герашенко В.И. К вопросу о выборе оптимальной геометрии инструмента при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – №12. – С. 8 – 12.
3. Глебов Ю.П., Перлин И.М. О форме упругой зоны матрицы при прессовании через одноканальную матрицу // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1961. – №2. – С. 27 – 30.
4. Норицын И.А. Анализ скоростных параметров прямого прессования и волочения // Процессы штамповки и их технологические параметры. Сб. МАМИ. – М.: Машгиз, 1959. – С. 117 – 127.
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. – 407 с.
7. Джонсон В., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. – М.: Металлургия, 1965. – 174 с.
8. Степанский Л.Г. О расчете усилий и деформаций при прессовании фасонных профилей // Кузнечно-штамповочное производство. – 1967. – №2. – С. 1 – 4.