

УДК 621.775.8 : 621.777.22.07

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

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ РАЗОБЩЕННЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПРЕССОВАНИИ ЛИТЫХ ГРАНУЛ

Рассмотрены вопросы оптимизации профиля матричной воронки на основании анализа полилинейного скольжения установившейся стадии прессования через симметричную однокольцевую матрицу для получения разобщенных волокон в процессе прессования литых гранул.

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.

Внимание к проблеме пористых композиционных материалов в последние десятилетия постоянно возрастает. Это связано с тем, что интенсивное развитие науки и техники обуславливает создание новых материалов, обладающих комплексом специальных свойств и способных обеспечить работу конструкций в жестких эксплуатационных условиях. Высокая механическая и жаропрочность, термо- и коррозионная стойкость, малый удельный вес — далеко неполный перечень свойств, которыми обладают современные пористые композиционные материалы. Однако, дороговизна исходного материала (волокна) при производстве пористых композиционных материалов, связанная с высокой энергоемкостью, несовершенством технологии и неудовлетворительной экологичностью процесса его получения, ограничивают области и объемы их применения.

В работе [1] предложен новый эффективный способ получения металлических волокон методом прессования литых гранул. Сущность способа заключается в том, что гранулы смешивают с изолирующим порошком, например, карбидом вольфрама, и смесь подвергают экструзии. Порошок, предотвращая схватывание гранул при прессовании, позволяет деформироваться каждой грануле в отдельности, в результате чего гранулы вытягиваются в виде достаточно изолированных нитей. Однако, одной из проблем при получении волокон из литых гранул является неустойчивость процесса получения разобщенных волокон, вызванная их схватыванием по мере выхода из очага деформации. По этой причине получение "распушенных" волокон приобретает большое научное и практическое значение при решении задачи производства дешевых металлических нитей.

Напряженное и деформированное состояние металла и размеры очага деформации при прессовании существенно зависят от конструкции инструмента и, в частности, от формы матричной воронки [2]. К тому же состояние пресс-изделия также существенно зависит от профиля матрицы [3, 4]. В качестве критерия разрушения Степанский Л.Г. принимает удельную работу максимальных сдвиговых напряжений в опасных точках

$$[A_c] = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \cdot \gamma_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{доп}}$ — допустимая относительная деформация сдвига, равная деформации относительного сужения ψ в шейке образца при его растяжении

$$\gamma_{\text{доп}} = \psi_{\text{ш}} \cdot \frac{2 - \psi_{\text{ш}}}{1 - \psi_{\text{ш}}}. \quad (2)$$

С учетом того, что слой вторичной структуры обладает более высоким модулем упругости, меньшим коэффициентом Пуассона и более высоким напряжением текучести чем металл волокна [5], можно предположить, что задача получения разобщенных волокон в процессе прессования литых гранул сводится не только к введению разделительной среды на поверхность контактируемых частиц, но и к созданию такого напряженно-деформированного состояния в очаге деформации (увеличению A_c в угловых точках) которое способствовало бы разрушению вторичной структуры на поверхности волокон.

Другим фактором, который существенно влияет на напряженное и деформированное состояние прессуемого материала, является величина калибрующего пояска матрицы. Увеличение высоты калибрующего пояска способствует росту гидростатического давления в пластической зоне и тем самым уменьшает вероятность возникновения трещин [6]. Силы трения, возникающие на поверхности пояска, хотя относительно и невелики по сравнению с остальными реактивными силами, но работа, расходуемая на их преодоление, довольно значительна в связи с большими скоростями истечения.

Для установления влияния калибрующего пояска на процесс разобщения волокон следует учитывать возможность внеконтактной деформации, т.е. некоторого уменьшения диаметра прутка после его выхода из обжимающей части матрицы [6]. Такая деформация появляется вследствие невозможности очень крутых (в виде ломаных линий) поворотов прессуемого металла около острой кромки матрицы у начала пояска. После выхода пресс-изделия из канала упругое последствие частично или полностью восстанавливает размеры его поперечного сечения. Таким образом, изменением величины калибрующего пояска можно регулировать общее напряженно-деформированное состояние в очаге деформации и распределение потока волокон по мере их выхода из очага деформации.

В большинстве случаев при прямом прессовании применяют матрицы, форма воронки которых соответствует усеченному конусу с углом образующей к оси симметрии ϕ_3 от 45° до 60° . В частности, оптимальным углом захода матрицы для получения волокон посредством прессования гранул определен угол в 60° [7]. Однако, нет достаточных оснований считать, что матричные воронки, выполненные по конусу, обеспечивают лучшие энергосиловые показатели прессования, а также условие получения разобщенных волокон.

Кроме конических профилей матричных воронок выполняются и другие профили. Например, вогнутый профиль, построенный по циклоиде с радиусом катящейся окружности R_0 , обосновывается условием наибольшей равномерности пластического течения металла в матричной воронке [2]:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_0 - R_{\text{отв}}}{1,741}, \quad (3)$$

где R_0 — радиус конгейнера;

$R_{\text{отв}}$ — радиус рабочего отверстия матрицы.

В этом случае, по мнению Глебова Ю.П., образующая матрицы, построенная по циклоиде, должна обеспечивать наименьшее время нахождения периферийных слоев металла в очаге деформации, что, в свою очередь, должно вести и к наименьшей неравномерности металла по поперечному сечению пресс-изделия.

Выпуклый профиль, построенный по экспоненте, обусловлен условием постоянства логарифмической деформации λ на единицу высоты матричной воронки [2]:

$$R_z = R_0 \cdot \exp\left(-0,5\lambda \frac{z}{h_{\text{ш}}}\right), \quad (4)$$

где $h_{\text{ш}}$ — высота матричной воронки;

R_z — радиус воронки на расстоянии z от ее начала.

Выпуклый профиль обоснован условием обеспечения постоянства усредненной скорости деформации по высоте матричной воронки [2]:

$$R_z = R_0 \left(1 + \frac{R_0^2 - R_{\text{отв}}^2}{R_{\text{отв}}^2 \cdot h_{\text{ш}}}\right)^{-0,5} \quad (5)$$

При прессовании цветных металлов и сплавов через прямоугольную матрицу ($\alpha = 90^\circ$) было обнаружено [8], что в контейнере образуются "заторможенные" зоны металла, которые формируют "естественную" матричную воронку, близкую по форме к сфере. При этом форма этой границы, по данным исследований А.И. Батурина, существенно не зависит от степени деформации, скорости прессования, температуры заготовки и природы сплава. Р. Хилл [9] теоретически обосновал, что границы, разделяющие упругие и пластические зоны, являются линиями скольжения или их огибающими.

Таким образом, до сих пор не существует единой точки зрения о влиянии геометрии очага деформации на энергосиловые параметры процесса прессования металлов и на качество разделения волокон в выпрессовке. 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 [10], где показано, что в установившемся процессе прессования поле линий скольжения остается фиксированным по форме и не изменяется во времени.

Таким образом, для дальнейшего аналитического исследования определены следующие типы профилей матричных воронок: вогнутая по циклоиде, построенной по зависимости (3); выпуклая по логарифмической зависимости (4); вторая выпуклая, рассчитанная согласно (5); конусная и вогнутая, построенная по линии скольжения, отделяющей упругие зоны от пластических в процессе прессования (рис. 1).

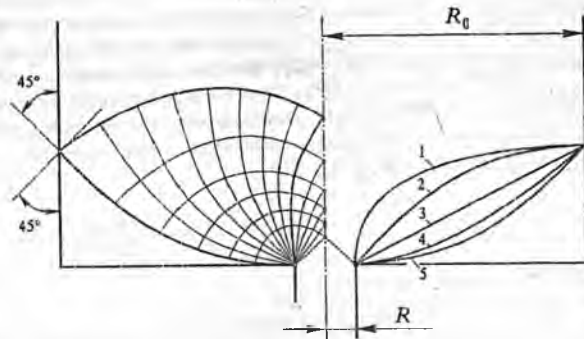


Рисунок 1 – Профили матричных воронок: 1 – первая выпуклая логарифмическая; 2 – вторая выпуклая логарифмическая; 3 – конусная; 4 – вогнутая по циклоиде; 5 – вогнутая по линии скольжения

Энергосиловые параметры прямого прессования (средние удельные усилия) для конической матрицы оценены зависимостью Л.Г. Степанского [12]:

$$q = \sigma_s \left[1 + \frac{\alpha_1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{\theta_{обп} - \frac{\sin 2\theta_{обп}}{2} + \frac{\text{ctg}\theta_{обп}}{\sqrt{3}}}{\sin^2 \theta_{обп}} \ln \lambda + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\theta_{обп} - \frac{\sin 2\theta_{обп}}{2}}{\sin^2 \theta_{обп}} \right] \quad (6)$$

- где σ_s – истинное сопротивление деформированию, МПа;
 $\alpha_1 = 0,398$ – постоянная;
 $\theta_{обп}$ – угол образующей конуса с осью симметрии;
 λ – логарифмическая степень деформации;

$$\lambda = 2 \ln \frac{R_0}{R_{отв}} = \ln \mu. \quad (7)$$

Зависимость (6) можно распространить и на другие типы матриц (вогнутые и выпуклые), заменив криволинейную образующую матричной воронки системой i -малых сопрягающихся конусов с переменными $\theta_{обп_i}$ и λ_i .

Тогда средние удельные усилия для всех типов перечисленных матриц будут суммами средних удельных усилий каждого участка, рассчитанных по (6)

$$q_{сумм} = \sum_i q_i. \quad (8)$$

Аналогично можно рассчитываются величины удельных работ сдвига максимальных сдвиговых напряжений [3]:

$$A_c = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + 0,11 \cdot \text{ctg}\theta_{обп} (0,625 \cdot \alpha_2 \cdot \ln \lambda + \sin^2 \theta_{обп})}{1 + 0,33 \cdot (0,625 \cdot \alpha_2 \cdot \ln \lambda + \sin^2 \theta_{обп})} \cdot \text{tg}\theta_{обп}, \quad (9)$$

где $\alpha_2 = 1$ – постоянная при охвате матрицы "застойной" зоны.

Результаты вычислений по зависимостям (6) и (9) представлены на рис. 2 и 3. При этом суммарные относительные удельные усилия прессования q/σ_s для матриц, в порядке приведенных на рис. 1, следующие: 239,93; 303,01; 236,22; 238,99; 230,91.

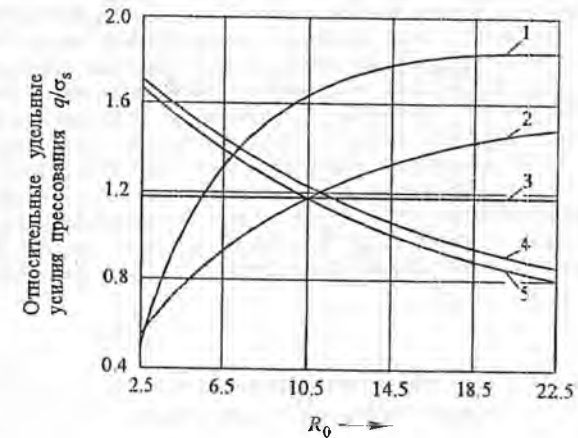


Рисунок 2 – Распределение относительных удельных усилий по профилю матричных воронок по профилю матричных воронок (обозначение кривых соответствует порядковым номерам матричных воронок)

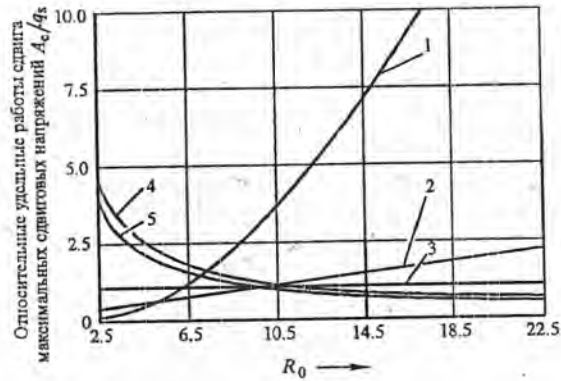


Рисунок 3 – Распределение относительных удельных работ сдвига максимальных сдвиговых напряжений по профилю матричных воронок (обозначение кривых соответствует порядковым номерам матричных воронок)

Анализ результатов расчетов и графических зависимостей (рис. 2 и 3) определяют однозначное преимущество вогнутых профилей матриц для получения разобленных волокон относительно других профилей: помимо низких энергосиловых параметров вогнутых матриц относительные удельные работы сдвига максимальных сдвиговых напряжений увеличиваются по мере движения деформированных гранул к выходу из очага деформации. При этом профиль матрицы, выполненный по линии скольжения, отделяющей пластическую зону от упругой, имеет преимущество по сравнению с профилем циклоидной матрицы. Так 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 носит тривиальный характер.

Общий вид пресс-остатков (рис. 4) показывает, что форма матричной воронки оказывает существенное влияние на размеры очага деформации и распределение результирующих деформаций в выпрессовке.

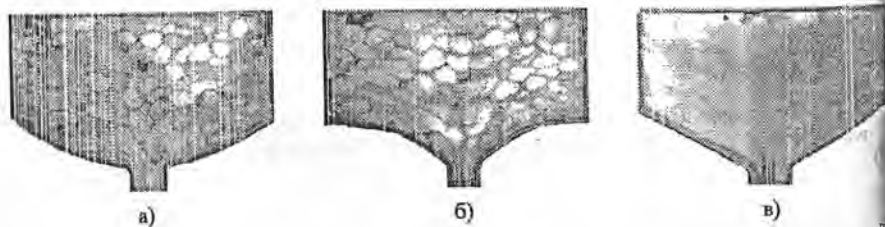


Рисунок 4 – Образцы пресс-остатков, полученные при прессовании литых гранул через вогнутую (а), выпуклую (б) и коническую (в) матричные воронки

Из анализа деформаций гранул следует, что для вогнутых воронок характерно искривление вертикальных осей частиц. Эти искривления уменьшаются к оси симметрии. При выходе из очага деформации наблюдается резкое изменение направлений линий тока

(рис. 4,а). Для выпуклых воронок (рис. 4,б) протяженность очага деформации наибольшая; для конических (рис. 4,в) течение металла близко к радиальному в направлении усеченного конуса.

Влияние величины калибрующего пояса матрицы h на процесс получения разделенных волокон представлено на рис. 5.



Рисунок 5 – Общий вид волоконных выпрессовок, полученных на различных профилях матричных воронок (разделительная среда – суспензия графит-глицерин)

Анализ полученных результатов показывает, что наилучшее разделение волокон по мере их выхода из очага деформации оказывает профиль матричной воронки, выполненный по линии скольжения, с величиной калибрующего пояса $h = 0$ мм (рис. 5,а). Все остальные сочетания профилей матричной воронки с высотой калибрующего пояса дают неудовлетворительные результаты: либо получение выпрессовки из схваченных между собой волокон, либо затруднительное их разделение (рис. 5, б и в).

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- Шелельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Энергосиловые условия прессования волокон // Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 213 – 217.
- 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.
- Степанский Л.Г. О разрушении малопластичных материалов при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – №11. – С. 1 – 4.
- Степанский Л.Г. Об оценке разрушения металла при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1968. – №1. – С. 14 – 18.
- Шелельский Н.В., Свяцкий В.В., Пукалов В.В., Пукалов В.П. Реологічні особливості на поверхні адгезійно сумісних металів при пружній деформації системи // Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 2. – С. 134 – 140.
- Перлин И.Л., Райтберг Л.Х. Теория прессования металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 447 с.
- Пукалов В.В. Развитие теории деформации дискретных тел и разработка технологического процесса прессования свинцевых волокон. Автореферат дис. канд. техн. наук 05.03.05. – Донецьк, 1999. – 18 с.
- Багурин 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.
- Хилл Р. Математическая теория пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1956 – 407 с.
- Джонсон В., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. – М.: Металлургия, 1965. – 174 с.
- Степанский Л.Г. О расчете усилий и деформаций при прессовании фасонных профилей // Кузнечно-штамповочное производство. – 1967. – №2. – С. 1 – 4.