

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ПРЕССОВАНИЕМ ЛИТЫХ ГРАНУЛ

*В статье рассмотрена технология производства свинцовых волокон прессованием литых гранул с последующим использованием их в качестве исходного сырья в производстве пористых систем для фильтрации агрессивных сред.*

*In the article are considered leaden fibres production methods by cast granules extrusion with following use of them as basic material in production of porous systems for the hostile environments filtration.*

Внимание к проблеме пористых композиционных материалов в последнее десятилетие 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 сложность получения металлических волокон с помощью традиционных технологий, например, волочения, экструзии расплава, ограничивают применение пористых волоконных материалов в промышленности.

Сказанное в полной мере относится к свинцовым волокнам, стойких к агрессивным средам и которые невозможно получить волочением.

С целью устранения этих недостатков в Кировоградском государственном техническом университете был разработан принципиально новый, дешевый и эффективный технологический процесс получения металлических волокон методом прессования литых гранул [1]. 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 "разпушенных" волокон приобретает большое научное и практическое значение при решении задачи производства дешевых металлических нитей.

С этой позиции в настоящей работе поставлена цель исследования реологических особенностей на контакте деформированных гранул при их прессовании с использованием различных разделительных сред, влияния геометрии очага деформации на наиболее эффективные параметры получения разделенных волокон в процессе прессования литых гранул.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- провести аналитическое исследование реологии поверхности контакта адгезионно совместимых тел при интенсивных сдвиговых деформациях;
- разработать математическую модель напряженного и деформируемого состояний на контакте дискретных контактирующих тел;
- выполнить металлографические исследования деформированных литых гранул и поверхности их раздела;
- разработать методику и провести исследования количественной оценки адгезионной связи деформированных волокон в выпрессовке;
- изучить влияние технологических параметров (режимы деформации, вид разделительных сред, рабочая геометрия инструмента) на получение разобщенных волокон в процессе прессования гранул;
- оптимизировать условия получения разобщенных волокон из свинцовых гранул;
- внедрить результаты исследования в производство.

Материалом для проведения исследований служил свинец марки С2 ГОСТ 3778-77Е. Литье гранул выполняли на вибрационном устройстве (патент Украины №17942). Для получения волокон посредством прессования использовали фракцию гранул (+4) – (–5) мм. Для прессования гранул на волокна использовали пресс-форму, смонтированную на прессе ПГ-452 усилием 0,63 МН [2]. Деформационные условия исследования: коэффициент вытяжки  $\mu$  – от 21 до 81, угол захода матрицы  $\varphi$  – от 45° до 75°. Прессование волокон проводили с использованием следующих разделительных сред: графит мелкозернистый прочный ТУ 48-20-51-84, окись цинка ОКП 26 1121 1081 05 ГОСТ 10262-73, карбонильное железо Р-100Ф1 ГОСТ 13610-79, карбонильный никель ПКН-ОТ1 ГОСТ 9722-79, феррит КМК-Б20 ГОСТ 13333-75, порошок кобальтовый ПК-1у ГОСТ 9721-79, а также использовали суспензии вышечисленных веществ в техническом глицерине.

Определение величины адгезионной связи проводили на специально разработанном устройстве по методике и в соответствии с требованиями механических испытаний металлов на сжатие по ГОСТ 25.503-80. В качестве образцов для испытаний применяли цилиндрические образцы, вырезанные из выпрессовок, диаметром от 5 до 10 мм и высотой от 15 до 30 мм (тип II по ГОСТ 25.503-80). Для количественной оценки адгезионной связи деформированных волокон на специальном устройстве применяли полые цилиндры высотой 7,5 мм, внешним диаметром 5 мм и внутренними диаметрами 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 мм методом разрыва поперек выпрессовки.

При аналитическом исследовании реологии деформируемых дискретных частиц разработана математическая модель напряженного и деформированного состояний на контакте деформируемых гранул при сдвиговых деформациях [3]. Отмечено, что процесс получения металлических волокон при помощи направленной деформации (прессования) гранул характеризуется интенсивными сдвиговыми деформациями и созданием на контактной поверхности вторичной структуры, которая по своим физико-механическим свойствам резко отличается от металла гранул. Для изучения реологии системы "металл волокна – вторичная структура" при совместной деформации гранул выбрана из общей массы нитка волокна, окруженная по поверхности в виде оболочки вторичной структурой. Вследствие исключительной сложности упругопластических деформаций, происходящих в системе, весь процесс рассмотрен по стадиям. Первая стадия – упругие деформации системы, вторая – пластическая деформация волокон, третья – пластическая деформация вторичной структуры.

На основе аналитического исследования [3] сделан вывод о том, что максимальная деформация волокна в процессе прессования возможна либо достижением минимальной толщины оболочки вторичной структуры, что сложно достичь при больших сдвиговых деформациях адгезионно совместимых металлов, либо введением разделительной фазы на поверхность дискретных контактирующих частиц.

Изучение контактной поверхности, исследование трансформации исходной структуры литой гранулы в деформированную структуру в зависимости от деформационных условий проведены посредством металлографических исследований выпрессовок. С учетом сложности приготовления металлографических шлифов из свинцовых волоконных выпрессовок проведены эксперименты для выявления оптимальных режимов приготовления микрошлифов из волоконных выпрессовок [4].

Металлографические исследования показали, что в процессе прессования структура литых свинцовых гранул претерпевает известные изменения: появляется кристаллографическая направленность зерен, заметно их дробление. Отмечено, что для наиболее эффективного разделения волокон необходимо применение совместно с разделительными средами в качестве связующего технического глицерина.

Изучение текстуры деформации проводили на образцах, выпрессованных без разделительной среды с коэффициентом вытяжки от 21 до 51. Большое влияние на развитие механической текстуры оказывает сильно окисленная поверхность гранул. С развитой механической текстурой волоконных выпрессовок связаны и некоторые особенности их характера разрушения [5]. Сделан вывод о том, что при прессовании гранул без

разделительных сред в виду достаточно малой адгезионной связи металла по границам контактирующих волокон разрушение возникает в первую очередь на этих поверхностях. При достижении начальным надрывом некоторого размера в соседних зонах возникает напряженное состояние, когда становится возможным образование микронадрывов по границам зерен, субзерен и окисных частиц, т.е. на участках, представляющих препятствие для непрерывности деформации. При дальнейшем нагружении микропустоты растут, и путем вытягивания сваренных перемычек сначала образуют мелкие чашки, а затем объединяясь в общую поверхность – излом.

Проведены исследования режимов получения разобщенных волокон при прессовании гранул. Влияние деформационных условий и вида разделительной среды на характер адгезионной связи деформируемых волокон оценивали с помощью механических испытаний.

Так, например, на основании данных статистической обработки результатов механических испытаний на сжатие получены кривые адгезионной связи поверхности контакта волокон по сечению образца, отпрессованных с различными разделительными средами (рис. 1).

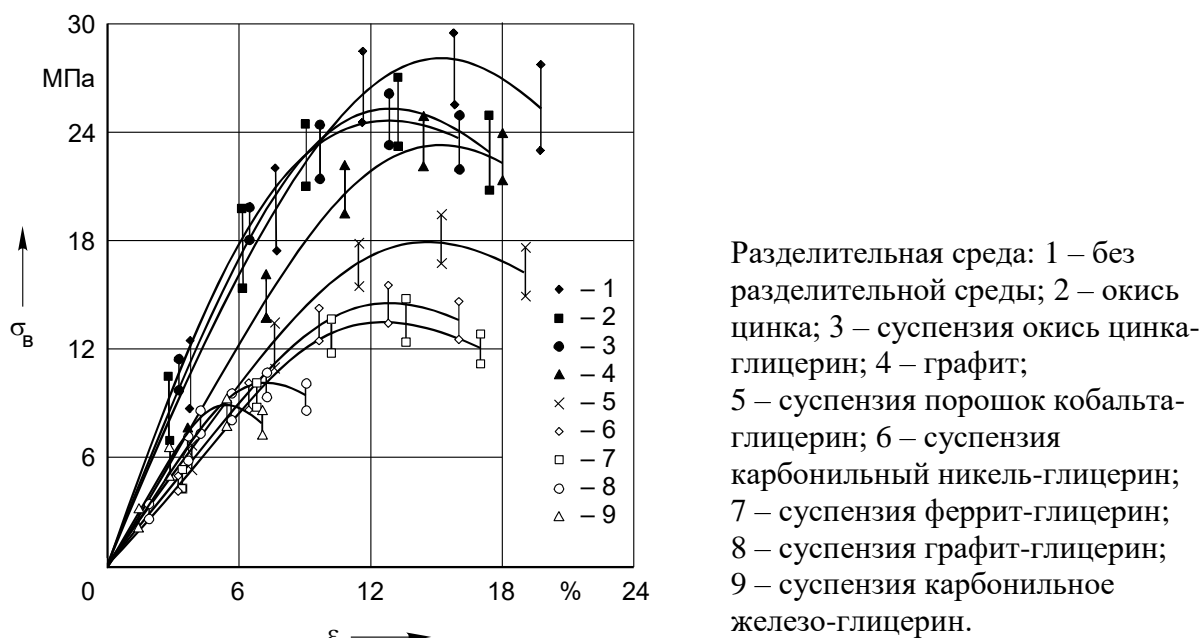


Рисунок 1 – Зависимость пределов прочности волоконных образцов от вида разделительной среды (при  $\mu = 81$ ,  $\varphi_3 = 60^\circ$ )

Исследование влияния геометрии очага деформации на процесс получения разобщенных волокон показало, что напряженное и деформированное состояние металла и размеры очага деформации при прессовании существенно зависят от профиля матричной воронки и величины калибрующего пояска матрицы [6 – 8].

Исследовались следующие типы профилей матричных воронок (рис.2):

- выпуклый профиль, построенный по экспоненте, аргументированный условием постоянства логарифмической деформации на единицу высоты матричной воронки;
- выпуклый профиль, обоснованный условием обеспечения постоянства усредненной скорости деформации по высоте матричной воронки;
- матрица, форма которой соответствует усеченному конусу;
- вогнутый профиль, построенный по циклоиде исходя из условия наибольшей равномерности пластического течения металла в матричной воронке;
- матрица, предложенная в работах [6 – 8], профиль которой выполнен по линии скольжения, отделяющей пластическую зону от упругой установившейся стадии прессования.

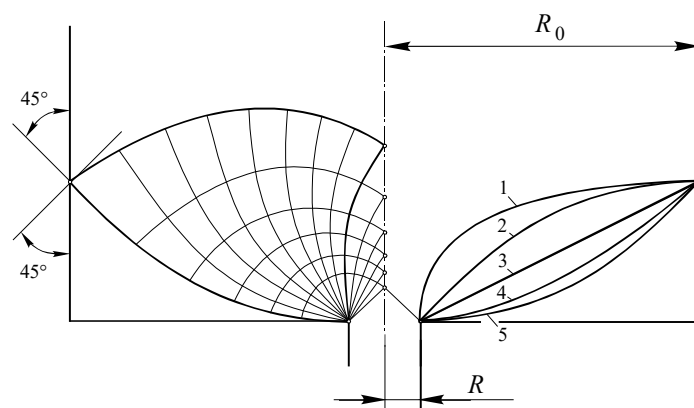


Рисунок 2 – Поле линий скольжения для установившейся стадии прессования и профили матричных воронок: 1 – первый выпуклый логарифмический; 2 – второй выпуклый логарифмический; 3 – конусный; 4 – вогнутый по циклоиде; 5 – вогнутый по линии скольжения

Энергосиловые параметры прямого прессования (удельные усилия и работы сдвига максимальных сдвиговых напряжений) оценивались по известным зависимостям Л.Г. Степанского [8]. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

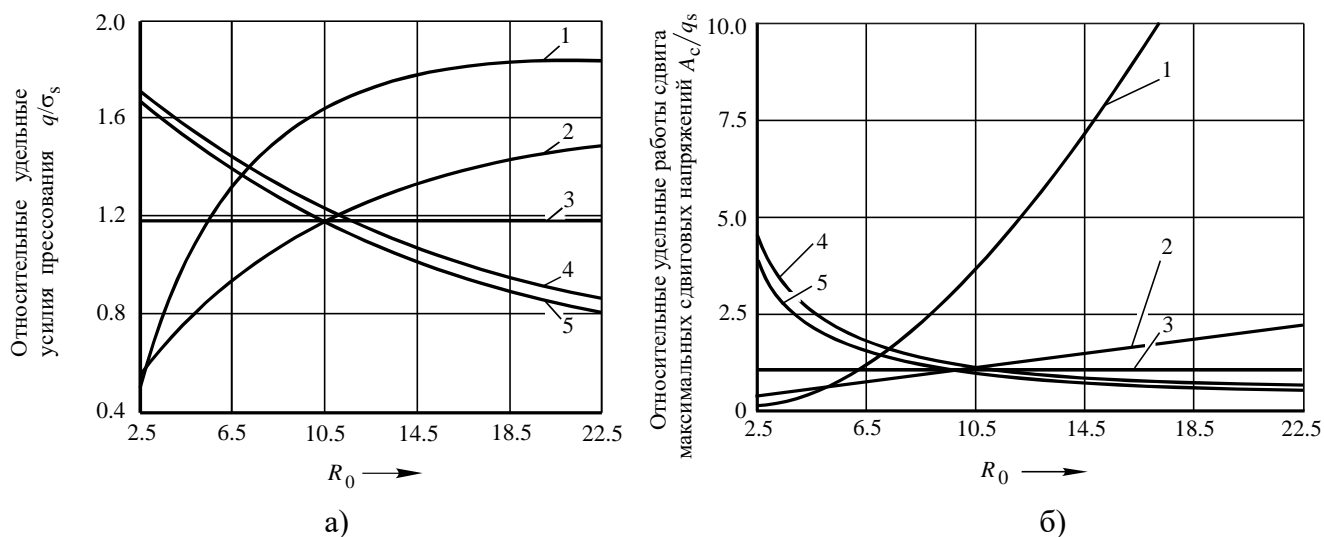


Рисунок 3 – Распределение относительных удельных усилий (а) и относительных удельных работ сдвига максимальных сдвиговых напряжений (б) по профилю матричных воронок (1 – 5 см. рисунок 2)

Анализ результатов расчетов и графических зависимостей (рис. 3) определяют однозначное преимущество вогнутых профилей матриц для получения разобщенных волокон относительно других профилей: помимо низких энергосиловых параметров у вогнутых матриц относительные удельные работы сдвига максимальных сдвиговых напряжений увеличиваются по мере движения деформированных гранул к выходу из очага деформации [6]. При этом профиль матрицы, выполненный по линии скольжения, отделяющей пластическую зону от упругой, имеет преимущество по сравнению с профилем циклоидной матрицы [7, 8].

Результаты исследования кинетики течения дискретной среды (гранул) [6] показали, 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.

На основе выполненных исследований проведено технико-экологическое обоснование и разработана технология изготовления металловолокновых свинцовых фильтрующих элементов [9]. Для обеспечения данного технологического процесса предложена установка для непрерывного получения свинцовых волокон [10]. Свинцовые фильтрующие элементы изготавливали по следующей технологии. Гранулы отливали в режиме: температура расплава – от 400 до 420 °С; динамическая вязкость охлаждающей среды (раствора жидкого мыла) – от 0,425 до 0,435 Па·с; амплитуда колебаний диспергатора – от 3,5 до 4,0 мм; частота колебаний диспергатора – от 2,0 до 2,5 мм. После диспергирования гранулы просушивали, промывали и отсеивали по фракциям. Для изготовления волокон использовали гранулы фракции (+4) – (–5) мм. Прессование волокон проводили на прессе марки ПГ-452 усилием 0,63 МН. Режим прессования: коэффициент вытяжки  $\mu$  – от 80 до 85; профиль матричной воронки – вогнутый; высота рабочего пояса матрицы  $h$  – от 0 до 1 мм; разделительная среда – суспензия графит-глицерин (из расчета от  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-3}$  кг графита и от  $0,4 \cdot 10^{-3}$  до  $0,6 \cdot 10^{-3}$  л глицерина на 1 кг насыпного веса гранул). После нарезки волокна длиной от 25 до 30 мм методом осаждения в глицерине их формировали в виде металлического войлока в контейнере диаметром 80 мм из нержавеющей стали. Выполняли промывку войлока керосином, сушку и затем уплотняли его до заданной пористости (20, 30, 40, 50 и 60%).

При испытаниях фильтроэлементов определяли характеристики структурных параметров, механических свойств, гидро- и воздухопроницаемости. Специальные испытания проводили в соответствии с ГОСТ 25277-82 на лабораторных фильтровальных устройствах; стендовые испытания выполняли согласно с требованиями ГОСТ 2.601-95; измерение параметров – по ГОСТ 17108-86. Проверку стойкости фильтроэлемента при максимальном перепаде давления (0,5 МПа) определяли по ГОСТ 26070-83. На первом этапе для испытаний использовали чистые электролиты. В процессе испытаний вводили механические примеси определенной дисперсии.

Результаты испытаний показали, что фильтроэлементы из свинцового волокна пористостью от 20% до 60% имели следующие показатели:

- коэффициент проницаемости,  $m^2$  ..... от  $10^{-9}$  до  $10^{-7}$ ;
- максимальный размер пор, мкм ..... до 1000;
- средний размер пор, мкм ..... от 10 до 300;
- удельная поверхность,  $m^2/g$  ..... от 0,01 до 80;
- распределение локальной проницаемости  
(коэффициент вариации) ..... от 0 до 0,5;
- капиллярный потенциал,  $m^2/c^2$  ..... до 8;
- предел прочности при поперечном изгибе, МПа . . . . . от 30 до 60.

В целом сделан вывод о том, что свинцовые волоконные фильтроэлементы обладают рядом преимуществ по сравнению с металлокерамическими (порошковыми) фильтрами. Они более проницаемы, устойчивы против коррозии, обладают высокой упругостью, допускают легкую регенерацию. Высокий коэффициент проницаемости при минимальных размерах пор способствует повышению срока службы фильтров, уменьшению их габаритов и массы, дает возможность получать качественный фильтр.

По результатам исследований и проведенных испытаний изготовлены и внедрены фильтроэлементы для очистки отработанных электролитов на ОАО “Гидросила” (г. Кировоград). Годовой экономический эффект от очистки отработанных электролитов для никелирования составил 4307 грн.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. А.с. 728289 СССР. Способ получения волокон из алюминиевых сплавов / Жуков М.Ф., Крушенко Г.Г., Шепельский Н.В., Кузнецов А.Н., Оводенко М.Б., Корнилов А.А. и Аношко И.С. – Не подлежит опубликованию в открытой печати.

2. Шепельский 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.
3. Шепельський Н.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В., Пукалов В.П. Умова пластичної течії металу волокон при зсувних деформаціях системи // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Збірник наукових праць. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 27. – С. 92 – 96.
4. Шепельський Н.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. Методика приготування металографічних шліфів з волокнистих свинцевих зразків // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – Вип. 6. – С. 4 – 7.
5. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Механизм разрушения по границам раздела деформируемых частиц при прессовании // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. науков. праць ДДМА. – Краматорськ, 2000. – С. 38 – 40.
6. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Влияние геометрии очага деформации на процесс получения разобщенных волокон при прессовании литых гранул // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. науков. праць ДДМА. – Краматорськ-Слов'янськ, 2000. – С. 242 – 248.
7. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Оптимизация профиля матричной воронки для прессования // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2000. – №8. – С. 10 – 12.
8. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Выбор рациональной геометрии матричной воронки для прессования // Физика и техника высоких давлений. – 2000. – Том 10. – №4. – С. 57 – 62.
9. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Волокновые фильтровальные элементы для очистки агрессивных сред // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 8. – С. 139 – 144.
10. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Разработка технического задания на проектирование опытно-промышленной установки непрерывного получения металлических волокон // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. науково-техн. зб. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 141 – 145.