

УДК 621.762.4

П. А. ВИТЯЗЬ, В. В. САВИЦКИЙ

ПОРИСТЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ТРУБ

Президиум НАН Беларуси,
Витебский государственный технологический университет

(Поступила в редакцию 08.09.2008)

В настоящее время освоено промышленное изготовление пористых листов, пластин, труб и других изделий, которые используют в качестве фильтров для очистки жидкостей и газов, аэра-торов, диспергаторов, глушителей шума [1–4]. Широкое применение пористых изделий обеспечи-вается комплексом свойств, которые принято разделять на каркасные и структурные. К структур-ным свойствам относят пористость и равномерность ее распределения, размер пор и форму, сте-пень их извилистости, тонкость очистки, грязеемкость, капиллярные свойства. Каркасные свойства оценивают плотностью, характеристикой межчастичных контактов, механическими свойствами [3–5]. Изготовление пористых труб осуществляется спеканием свободно насыпанных порошков, скручиванием пористых листов, закатыванием места сгиба или его пайкой, гидродинамическим и изостатическим прессованием, прокаткой, мундштучным прессованием, сваркой труб из отдель-ных сегментов, экструзией порошков на шнековых прессах [3–6].

Использование тонкостенных труб вместо обычных позволяет получить очевидные преимущества: снижается сопротивление потоку фильтруемых жидкостей или газов и соответственно умень-шается энергопотребление агрегатов;

облегчается регенерация труб и увеличивается срок их службы;

снижается материалоемкость изделий;

уменьшаются затраты на приобретение дорогостоящего сырья.

Известные технические решения обеспечивают изготовление обычных труб как из чистых, так и смешанных порошков с пластифицирующими добавками. Однако при уменьшении толщи-ны стенки формующей трубы до 0,5–2,5 мм при диаметре 10–40 мм и более и увеличении ее дли-ны от 100 до 200–300 мм получить проникаемые трубы с помощью перечисленных выше спосо-бов затруднительно или вообще невозможно из-за сложностей их формования в узком зазоре формообразующей оснастки. Те же из способов, которые могут быть использованы, не обеспе-чивают равномерную пористость в готовых изделиях, неравномерность которой достигает в не-которых случаях 8–10%, что ухудшает эксплуатационную эффективность пористых изделий, например, равномерность проницаемости на 40–50% [4]. При формовании пластифицированных

порошков полученные заготовки невозможно использовать на по-следующих операциях технологического процесса, поскольку они теряют форму из-за невысокой прочности.

До настоящего времени понятие и численный критерий тонко-стенности для таких изделий не определены.

Предлагается к тонкостенным отнести изделия, которые дефор-мируются под действием собственного веса. Такой практический подход оказывается полезным при разработке новых процессов формования заготовок из пластифицированных порошков. Схема, поясняющая приведенное определение, показана на рис. 1. Заго-товка после выдавливания из матрицы располагается в желобе, ох-ватывающем трубу на уровне ее диаметра.

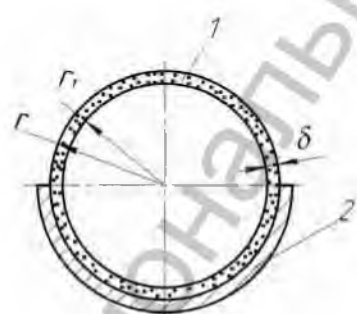


Рис. 1. Схема для расчета крите-рия тонкостенности: 1 – сформованная труба; 2 – желоб

Зависимость, связывающая предел текучести (σ_T) материала трубы с ее геометрическими размерами (r , r_1), плотностью сформованного материала (ρ) и ускорением свободного падения (g) и полученная в предположении, что труба находится под действием силы тяжести и опасным является горизонтальное сечение, на которое действует вес верхней части трубы, имеет вид [7]

$$r + r_1 \geq \frac{4\sigma_T}{\pi\rho g}. \quad (1)$$

Приведенная формула может быть использована для расчета критической толщины стенки трубы, сформованной из пластифицированного порошка, при которой изделие деформируется под действием собственного веса.

Разработана и освоена технология изготовления тонкостенных труб экструзией пластифицированных порошков на шнековом прессе [8]. В качестве исходного материала для изготовления труб выбран пластифицированный парафином порошок оловянно-фосфористой бронзы БрОФ 10-1. Подготовка пластифицированного порошка включает в себя рассев исходного порошка на фракции, смешивание с пластификатором и подготовку смеси. Количество пластификатора рассчитывают так, чтобы все межчастичное пространство было заполнено парафином. Благодаря этому предотвращается деформация частиц порошка, причем парафин улучшает условия их уплотнения и гарантирует получение регулярной пористой структуры [9]. В процессе подготовки смеси добиваются равномерного распределения пластификатора в объеме порошка, что косвенно оценивают по величине давления истечения пластифицированного порошка. Давление определяют с помощью вискозиметра, используемого в порошковой металлургии при выдавливании пластифицированных материалов. Проведенными исследованиями установлено, что минимальное давление истечения пластифицированный порошок имеет после пяти продавливаний через мундштук вискозиметра.

Экструзию приготовленной смеси в отличие от известных схем формования выполняют совместно с оправкой из пластифицированной парафином окиси алюминия по схеме, приведенной на рис. 2. Процесс подготовки пластифицированной окиси алюминия аналогичен процессу подготовки смеси исходного порошка. Оправки получают на шнековом прессе. Затем осуществляют процесс совместного формования трубы с оправкой. Вращающийся шнек транспортирует пластифицированный порошок бронзы к матрице, в конусной части которой подаваемый материал пластически деформируется и выдавливается в зазор, образованный матрицей и оправкой. Сформованная в цилиндрической части матрицы труба захватывает оправку и выдавливается вместе с ней. Использование предложенной схемы формования позволяет получать трубы практически с любой толщиной стенки при условии выбора формующего инструмента с оптимальной длиной формующей части. В противном случае существенно возрастают силовые затраты на формование либо процесс экструзии вообще прекращается из-за проворота порошка вместе со шнеком.

Оптимальную длину цилиндрической части формующего инструмента выполняют по известному давлению истечения пластифицированного порошка, определенному на стадии его подготовки. В работе [10] предложена модель процесса формования пластифицированного порошка в цилиндрической части экструзионного инструмента и получена зависимость для расчета напряжений в материале, экструдироваемом через зазор между цилиндрическим участком матрицы и неподвижной оправкой. Поскольку пластифицированные порошки обладают упругими свойствами, при построении модели использованы положения теории упругости и расчетная зависимость имеет вид [10, 11]

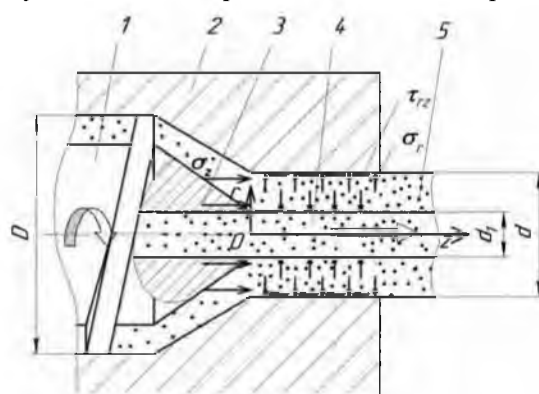


Рис. 2. Схема шнекового формования тонкостенных пронцаемых труб и действующих напряжений в зоне экструзии: 1 – полый шнек, 2 – матрица, 3 – насадка, 4 – оправка из пластифицированной окиси алюминия, 5 – труба из пластифицированного порошка, D – диаметр шнека, d – наружный диаметр трубы, d_1 – внутренний диаметр трубы (диаметр оправки)

$$\sigma_z = \frac{6\lambda\mu + 4\mu^2}{f\lambda} A \left(e^{\frac{2f\lambda}{(\lambda+2\mu)(r-r_1)}(l-z)} - 1 \right), \quad (2)$$

где σ_z – напряжение в материале, находящемся в зазоре между цилиндрическим участком матрицы и оправкой; λ, μ – коэффициенты Ламе; f – коэффициент трения; A – относительное поперечное упругое последствие ($A = \text{const}$); r и r_1 – соответственно внутренний радиус цилиндрической части матрицы и наружный радиус оправки; l – длина цилиндрической части матрицы; z – текущая координата, отсчитываемая со стороны шнека от начала цилиндрического участка матрицы.

Для предложенной на рис. 2 схемы формования тонкостенных труб, когда трение по внутренней поверхности трубы отсутствует, приведенная зависимость после некоторых преобразований приобретет вид

$$\sigma_z = \frac{6\lambda\mu + 4\mu^2}{f\lambda} A \left(e^{\frac{2f\lambda r}{(\lambda+2\mu)(r^2-r_1^2)}(l-z)} - 1 \right), \quad (3)$$

Оптимальную длину цилиндрической части матрицы рассчитывают с помощью табличного редактора Microsoft Excel, в котором определяют величину целевой функции как разность между экспериментальным значением давления истечения пластифицированного порошка и теоретическим напряжением в материале. Расчет выполняют до тех пор, пока целевая функция не достигнет нуля. Использование инструмента с оптимальной длиной цилиндрической части позволяет производить формование при минимальных силовых затратах. Значения входящих в расчетную зависимость величин находят по результатам экспериментальных исследований упругих свойств прессовок из пластифицированного парафином порошка, которые выполняют в соответствии с методикой [12] с помощью изготовленного прибора. Полученные экспериментальные данные используют для расчета модуля Юнга и коэффициента Пуассона формуемого пластифицированного порошка, на основе которых определяют модули Ламе.

Сформованную на оправке трубу спекают. Перед спеканием производят отгонку пластификатора. Трубу на оправке располагают в контейнере в засыпке из окиси алюминия и помещают в печь. Для спекания пластифицированных парафином заготовок разработаны режимы, один из которых приведен в [13]. Однако наличие значительного количества парафина не только в заготовке, но и в оправке из пластифицированной окиси алюминия привело к необходимости корректировки известного режима спекания заготовок. В результате выполненных экспериментов разработан новый режим отгонки парафина из пластифицированного порошка бронзы, включающий четыре изотермические выдержки при температурах 60, 120, 200 и 400 °С. Благодаря капиллярному эффекту, который обеспечивает засыпка из окиси алюминия, достигается полное удаление парафина из тонкостенной заготовки и оправки вначале в засыпку, а затем из засыпки и печи за счет его сгорания. Контейнер продувают азотом и подают восстановительную атмосферу. Окончательное спекание производят в среде водорода при температуре, определяемой гранулометрическим составом частиц, из которых сформована труба ((825° ± 5) °С). Наличие оправки устраняет деформирование тонкостенной трубы при спекании.

Использование приведенной выше технологии позволило получить спеченные проницаемые тонкостенные заготовки из порошка сферической бронзы фракций (–315)÷(+200) мкм, из которых изготовлены пористые фильтры размерами $D \times d \times l = 40 \times 35 \times 200$ мм. На рис. 3 показаны микроструктуры наружной и внутренней поверхности проницаемого элемента в виде тонкостенной пористой трубы наружным диаметром 40 мм из порошка бронзы БрОФ 10-1, полученные на сканирующем микроскопе «Mira» (фирмы Tescan, Чехия). Анализ изображений показывает, что использование оправок и введение в порошок пластификатора в количестве, достаточном для заполнения межчастичных пустот, обеспечивает получение регулярной пористой структуры и предотвращает деформацию частиц порошка. В соответствии со стандартными методиками определены размеры пор и коэффициент проницаемости спеченных заготовок. Получены сле-

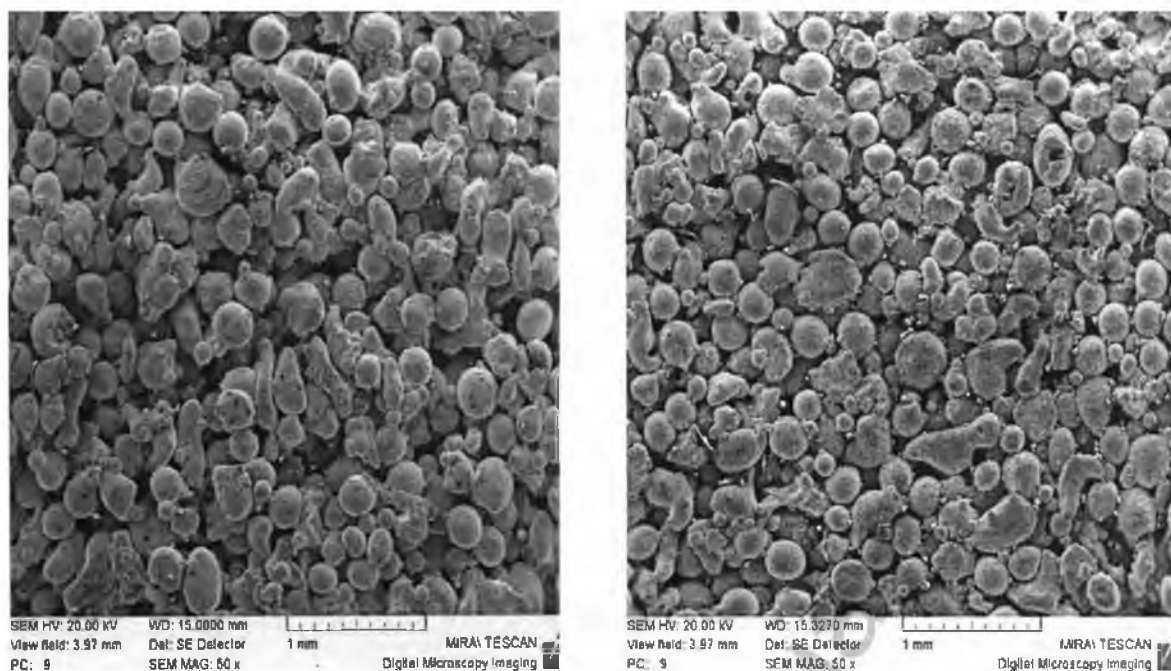


Рис. 3. Микроструктуры наружной и внутренней поверхностей тонкостенной проницаемой трубы ($\times 50$)

дующие результаты: пористость трубы составляет 0,438; средний размер пор 99,2 мкм; коэффициент проницаемости $381,3 \cdot 10^{13} \text{ м}^2$, номинальная толщина очистки 30–40 мкм; неравномерность пористости не превышает 2–3%.

Для сравнения свойств тонкостенных проницаемых труб выбраны известные пористые изделия в виде труб [4], полученные спеканием свободно насыпанного порошка в виде листа, его последующей гибкой и сваркой места стыка, или сваркой трубы из трех сегментов. Последние из перечисленных способов формования используют в производстве ГНПО порошковой металлургии и ОАО «Полема». Предложенная технология формования заготовок на шнековом прессе позволяет сформовать изделия, пористость которых на 6–7% выше, чем у традиционных труб, средний размер пор больше примерно вдвое, номинальная толщина очистки выше на 5–10 мкм, проницаемость сравнима с проницаемостью пористых материалов на основе меди, полученных из порошка одинакового фракционного состава, и намного выше по сравнению с известными проницаемыми материалами из порошка бронзы. Неравномерность пористости у тонкостенных проницаемых труб практически отсутствует, что гарантирует высокие эксплуатационные характеристики готовых изделий. Кроме того, шнековое формование обеспечивает значительный рост производительности за счет непрерывного процесса экструзии тонкостенных проницаемых заготовок.

Литература

1. Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии / Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии» // Отделение пористых материалов / НИЛ процессов и оборудования фильтрации и сепарации (НИЛ 25); [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.pmi.basnet.by/structure/branch2.php>.
2. Центр трансфера технологий // Пористые проницаемые изделия и устройства на их основе; [Электронный ресурс]; Режим доступа: http://www.metolit.by/ctt/qwe/doc.shtml?id=209&channel=qwe_rus
3. Бабич В. Н., Вершинина В. А., Глебов В. А. и др. Металлические порошки и порошковые материалы / Справочник. М., 2005.
4. Белов С. В., Витязь П. А., Шелег В. К. и др. Пористые проницаемые материалы / Справочник. М., 1987.
5. Пористые материалы; [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://nayilz.narod.ru/PorMet/pormater.html>
6. Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения (ВНИИМЕТМАШ) / Гидродинамические машины; [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.vniimetmash.ru/world/post/hydromash.shtml>
7. Пятков В. В., Савицкий В. В. // Вестн. Витебск. гос. технол. ун-та. 2006. Вып. 11. С. 65–69.

8. Савицкий В. В. // Вестн. Витебск. гос. технол. ун-та. 2007. Вып. 12. С. 97–102.
9. Пятков В. В. Теоретические и технологические основы экструзии пластифицированных порошков: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 2005.
10. Савицкий В. В., Силивончик В. В. // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Прикладные науки. Сер. В. 2006. № 12. С. 37–41.
11. Савицкий В. В. // Сб. матер. докл. 41-й науч.-техн. конф. преп. и студ. ун-та: Витебск, 2008. С. 174–176.
12. Савицкий В. В. // Вестн. Витебск. гос. ун-та: 2007. Вып. 12. С. 83–87.
13. Пятков В. В. и др. // Сб. науч. ст. «Современные энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности». Витебск, 1998. С. 47–50.

P. V. VITYAZ, V. V. SAVITSKY

POROUS ARTICLES ON THE BASE OF THIN-WALL PERMEABLE PIPES

Summary

The advantages of using thin-walled porous workpieces as filters and technological features of their production are cited. The quality criterion is offered of a thin-walled porous pipes, based on specific strength of mouldable plasticized material. The effective scheme of formation of thin-walled pipes from paraffin-plasticized powder of spherical bronze in conjunction with a mandrel from paraffin-plasticized aluminum oxide is proposed. In order to reduce power expenditure when extruding thin-walled pipes, the optimum length of a forming part of an extrusion tool is calculated. The production technology of thin-walled permeable pipes has been developed and the development batch of the product has been manufactured, which possesses improved operational characteristics, in particular, increased porosity and absence of irregularity in its distribution.