

П.А. Кузнецов¹, Р.В. Кузнецов², К.В. Лепетан³

ПРЕСС-ФОРМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛАСТОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВ



¹Павел Алексеевич Кузнецов, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург

Тел.: 8(812)552-9530, E-mail: pa-kuznetsov@yandex.ru



²Руслан Валерьевич Кузнецов, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург

Тел.: 8(812)552-9530, E-mail:kuznetsov_rv@spbstu.ru.



³Кирилл Владимирович Лепетан, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург

Тел.: 8(999)531-2831, E-mail: lepetan_k@mail.ru

Аннотация

В работе представлен анализ современного состояния применения технологии эластостатического прессования для изготовления деталей конструкционного назначения. Рассмотрены основные типы пресс-форм, которые могут применяться при квазиизостатическом, радиально- осевом и радиальном эластостатическом прессовании (ЭСП). Выделены основные виды оборудования, используемые при эластостатическом прессовании. Показана тенденция дальнейшего развития метода, заключающаяся в проектировании составных эластичных матриц с жесткими базовыми элементами и создании специализированных установок (эластостатов) для прессования конструкционных изделий сложной ступенчатой формы.

Ключевые слова: полиуретан, порошок, пресс-формы, эластостаты.

Введение

Изостатическое прессование порошковых материалов занимает достойное место среди других процессов изготовления деталей различного назначения и существенно расширяет технологические возможности процессов прессования порошковых материалов. Основное преимущество изостатического прессования — возможность создания в формообразующей среде равномерного давления, воздействующего на весь объем прессуемого порошка. Однако, специализированное оборудование — гидро- и газостаты - сложны в изготовлении и эксплуатации и весьма дорогостоящи. [1, 2]. Применение в качестве подвижной среды полиуретанов снижает затраты на производство изделий из порошков, благодаря этому эластостатическое прессование (ЭСП) в наше время интенсивно развивается [3, 4, 5].

На рисунке 1 показаны основные принципиальные схемы пресс-форм для эластостатического прессования - квазиизостатического ЭСП, радиально-осевого ЭСП и радиального ЭСП.

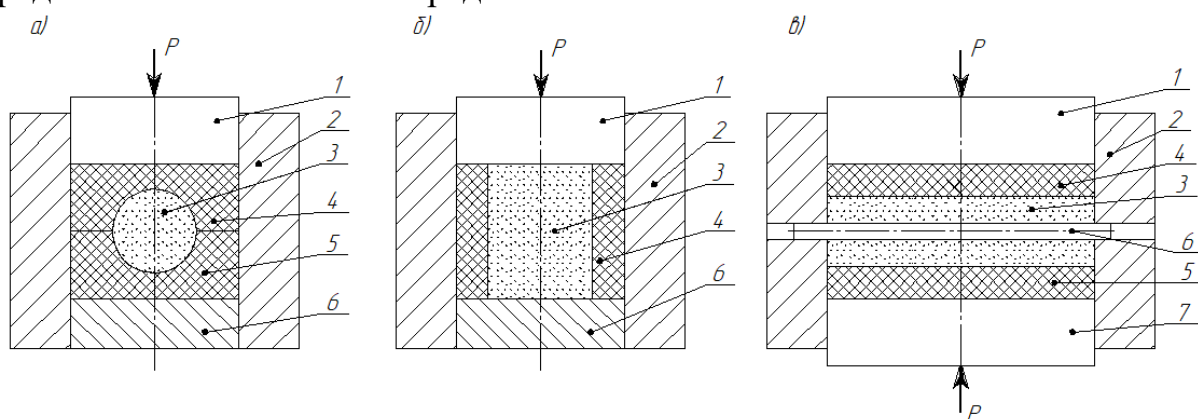


Рис. 1 – Принципиальные схемы пресс-форм: а – для квазиизостатического ЭСП; б – для радиально-осевого ЭСП; в – для радиального ЭСП; 1 – верхний пуансон, 2 – жесткий контейнер, 3 – порошок, 4 – верхняя эластичная матрица, 5 – нижняя эластичная матрица, 6 – опора, 7 – нижний пуансон.

Усилие прессы P через верхний пуансон 1 и нижний пуансон 7 передается на эластичные матрицы 4 и 5, которые создают квазиизостатическое давление в порошке 3, под действием которого порошок равномерно уплотняется. На рисунке 2 показаны примеры пресс-форм для прессования изделий типа «шар» и «цилиндр».

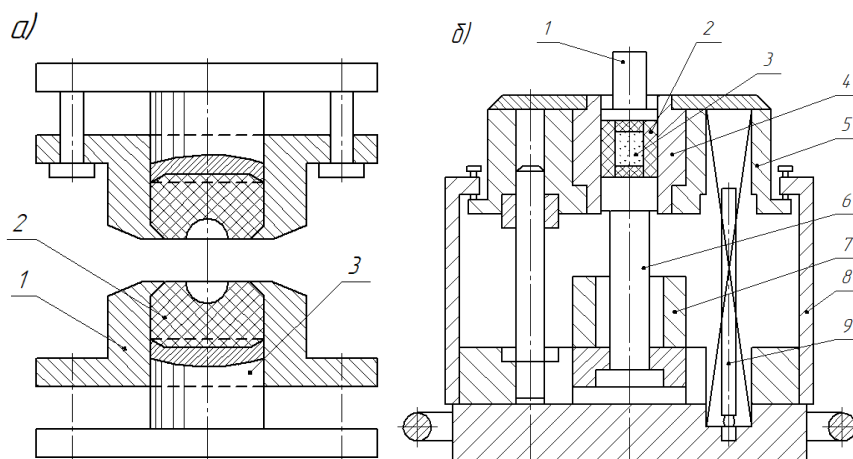


Рис. 2 – Принципиальные схемы пресс-форм для ЭСП изделий сплошной формы:
 а – для ЭСП изделий типа «шар»»: 1 – жесткий контейнер; 2 – эластичная матрица; 3 – пуансон; б – для ЭСП изделий типа «цилиндр»; 1, 6 – верхний и нижний пуансоны; 2 – эластическая матрица; 3 – порошок; 4 – жесткий контейнер; 5 – обойма; 7 – вилка; 8 – ограничитель; 9 – пружина.

Реализация ЭСП изделий сравнительно простой формы возможна в простой оснастке на универсальном оборудовании, например на гидравлических прессах [5-7]. При этом эластостатическое прессование порошков в эластичных матрицах обеспечивает получение точных профилированных заготовок для последующей обработки, но не обеспечивает получение высокой точности и низкой шероховатости поверхности, необходимых при прессовании конструкционных готовых изделий. Для их получения требуется применение более сложных составных пресс-форм, содержащих как эластичные, так и жесткие элементы.

Методы

Анализ современного состояния применения технологии и оснастки для эластостатического прессования деталей сложной формы конструкционного назначения показывает, что тенденцией в их развитии являются создание составных пресс-форм с эластичными и жесткими элементами и применение для реализации процессов ЭСП специализированного оборудования [8-10].

В качестве примера на рис. 3 приведена схема опытно-промышленной пресс-формы для ЭСП стаканов из порошка [3]. Пресс-форма работает следующим образом. В зазор между оправкой 6 и разделительной втулкой 7 засыпают порошок 5, который покрывает и саму оправку 6. Сверху порошок закрывают эластичным вкладышем 4. На эластичный вкладыш помещают составной пуансон 1–3. Затем осуществляют прессование, при котором усилие пресса передается на боковые стенки стакана через втулку 3, эластичную матрицу 8 и разделительную втулку 7. На дно стакана давление передается через пуансон 2 и эластичный компенсирующий элемент 3.

После прессования спрессованный стакан извлекают вместе с основанием 10 и оправкой 6.

На рис.3б представлена схема пресс-формы для прессования втулок сложной ступенчатой формы. Жесткий контейнер 1 устанавливают на опору 3. В отверстие опоры вводят нижний пуансон 4 с входящей в его отверстие оправкой 5. Опору 3 с жестким контейнером 1 и нижний пуансон 4 с центральной оправкой 5 устанавливают на пружины 8 и основание 6. Полость между внутренней поверхностью опоры 3, оправки 5 и торцом нижнего пуансона 4 является камерой засыпки порошка 9 для прессуемого изделия. Порошок засыпают в указанную полость, рабочий объем обоймы замыкают пуансоном 7, через который передают на порошок усилие пресса P и осуществляют процесс прессования.

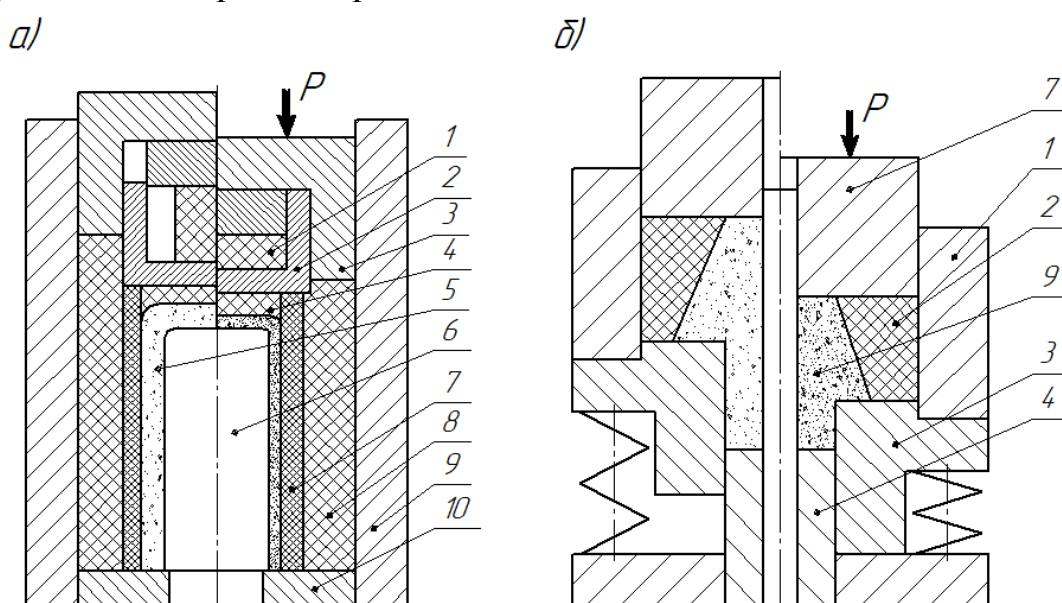


Рис. 3 – Принципиальные схемы пресс-форм для ЭСП: а- стаканов: 1, 2 – составной пуансон; 3 – втулка; 4 – эластичный вкладыш; 5 – порошок; 6 – оправка; 7 – разделительная втулка; 8 – эластичная матрица; 9 – жесткий контейнер; 10 – основание; б — ступенчатых втулок; 1 – жесткий контейнер; 2 – эластичная матрица; 3 – жесткая пресс-форма-опора; 4 – нижний пуансон; 5 – оправка; 6 – основание; 7 – пуансон; 8 – пружина; 9 – прессовка.

Результаты

Необходимость расширения номенклатуры прессуемых изделий сложной формы из порошков, разработки новых пресс-форм для изготовления таких изделий вызывают необходимость эксплуатации и проектирования более сложного оборудования, чем стандартные универсальные гидравлические и механические прессы. В качестве примера рассмотрим специализированную установку на базе модернизированного гидравлического прессы, на котором можно реализовать схему радиального ЭСП в составной эластичной матрице.

На рисунке 4 представлена принципиальная схема разработанной установки [11]. Установка для ЭСП изделий из порошков содержит силовую раму, включающую основание 1 с установленными в нём колоннами 2, верхние торцы которых скреплены неподвижной плитой 3. Гидроцилиндр 4 закреплён в основании 1 и подключен к насосу установки. На колоннах 2 установлена подвижная траверса 5 для замыкания контейнера (возможный механизм перемещения – червячный редуктор и электродвигатель на чертеже не показаны). Нижняя неподвижная плита 6 с центральным сквозным отверстием для эластичной вставки 11 установлена над основанием 1 с зазором с помощью промежуточных опор 7. Зазор обеспечивает требуемый рабочий ход плунжера гидроцилиндра 4 и, соответственно, рабочий ход пуансона 8. В составной контейнер 9 вставлен составной эластичный формирующий элемент, включающий стержень 10 и сменную эластичную втулку 12. Стержень 10 центрируется в опорной втулке 13. Эластичная вставка 11 расположена в отверстии нижней неподвижной плиты 6, примыкает к торцу стержня 10 и опирается на торец пуансона 8.

Камера 14 засыпки порошка образована пространством между сменной эластичной втулкой 12 и наружным слоем, прессованным при засыпке порошка в камеру 15 между составным контейнером 9 и сменной эластичной втулкой 12.

Установка работает следующим образом. В камеру 15 засыпки порошка наружного слоя контейнера 9, находящегося на позиции загрузки – выгрузки, засыпают дозированное количество прессуемого порошкового материала. Засыпку осуществляют, например, с помощью бункерно-загрузочного устройства, снабженного дозатором (на чертеже не показано).

Контейнер 9 с порошком перемещают на позицию прессования к центру нижней плиты 6 таким образом, чтобы ось контейнера 9 и ось пуансона 8 совпали. Подвижную траверсу 5 опускают вниз и прижимают к контейнеру 9 с некоторым усилием, замыкая, таким образом, камеру засыпки 15 с порошком и верхнюю часть составного эластичного формирующего элемента 10. При включении насоса установки и создании давления в силовом гидроцилиндре 4, плунжер гидроцилиндра 4 передаёт рабочее усилие через пуансон 8 и вставку 11 на стержень 10. Осадка стержня 10 приводит к радиальной раздаче сменной эластичной втулки 12 и, соответственно, к радиальному сжатию порошкового материала и к прессованию изделия. По окончании процесса прессования пуансон 8 и эластичные элементы 10,11,12 возвращаются в исходное состояние.

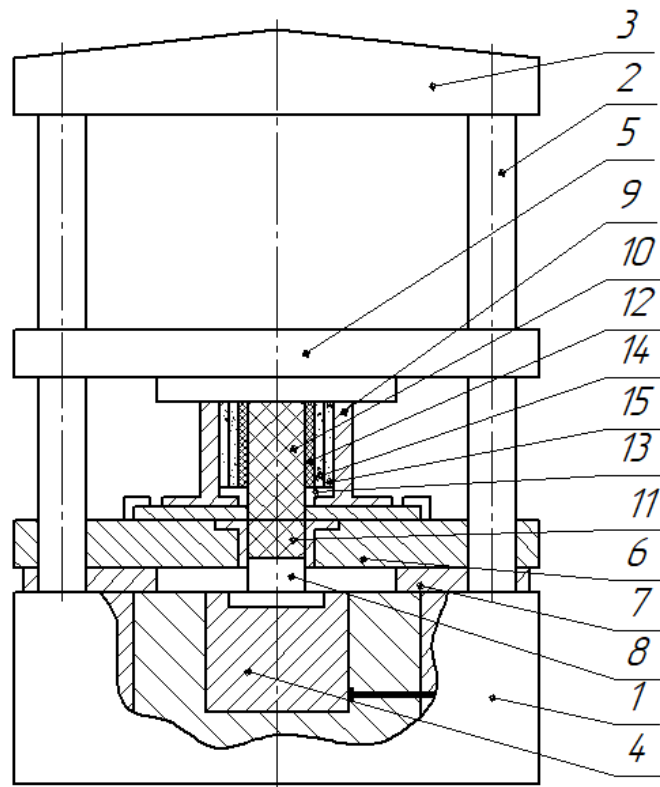


Рис. 4 – Принципиальная схема установки для изостатического прессования изделий из порошковых материалов: 1 – основание установки; 2 – направляющие колоны; 3 – верхняя неподвижная плита; 4 – плунжер гидроцилиндра; 5 – подвижная траверса; 6 – нижняя неподвижная плита; 7 – промежуточная опора; 8 – пуансон; 9 – составной контейнер; 10 – эластичный стержень; 11- эластичная вставка; 12- сменная эластичная втулка; 13- опорная втулка; 14 – камера засыпки для порошка внутреннего слоя; 15 – камера засыпки для порошка наружного слоя.

Подвижную траверсу 5 приподнимают на зазор, обеспечивающий свободное перемещение контейнера, а составной контейнер 9 с готовым изделием возвращают на позицию загрузки-выгрузки, на которой изделие извлекают.

Установка нижней плиты с помощью промежуточных опор над основанием с зазором, обеспечивает необходимый рабочий ход пуансона при прессовании и, соответственно, требуемую плотность изделия.

Производительность разработанной установки при снабжении ее устройством для автоматической засыпки порошка может составить 5-6 изделий в минуту.

Дальнейшим развитием технологии и оборудования для эластостатического прессования изделий из порошков является использование специализированного многоплунжерного оборудования. На рисунке 5 представлен вариант принципиальной схемы установки двустороннего ЭСП трубчатых изделий сложной формы [12].

Установка содержит жесткое основание 1 с установленными на нём колоннами 2, скрепленными верхней неподвижной плитой 3, силовой гидроцилиндр 4, закреплённый в жестком основании 1 и подключенный к насосу установки. На колоннах 2 установлена подвижная траверса 5 (возможный механизм перемещения – червячный редуктор и электродвигатель на чертеже не показаны). Неподвижная нижняя плита 6 с центральным сквозным отверстием установлена над основанием 1 с зазором с помощью промежуточных опор 7, обеспечивающим требуемый ход плунжера силового гидроцилиндра 4 и, соответственно, рабочий ход штока 8. В контейнер 9 помещен составной формующий эластичный элемент, включающий верхнюю часть 10 и нижнюю часть 11. Контейнер установлен на нижней неподвижной плите 6 посредством опорной подвижной плиты 12, служащей для перемещения контейнера с позиции загрузки порошка на позицию прессования. Нижняя часть 11 формующего эластичного элемента, помещенного в контейнер 9, опирается на пуансон 13, закреплённый на пуансонодержателе 14. Верхняя часть 10 составного эластичного формующего элемента замкнута в контейнере 9 дополнительным пуансоном 15, который жестко соединен с пуансонодержателем 16. Пуансоны 13 и 15 центрируются друг относительно друга как по внутренней поверхности контейнера 9, так и, например, с помощью оправки 17, установленной в пуансоне 13 и имеющей возможность перемещаться относительно дополнительного пуансона 15.

Дополнительный силовой гидроцилиндр 18 установлен на подвижной траверсе 5 с помощью промежуточной опоры 19 соосно силовому гидроцилиндру 4 таким образом, чтобы его шток 20 проходил через центральное отверстие в подвижной траверсе 5. Прижим 21, закреплённый снизу на траверсе 5, служит для фиксации и центрирования контейнера 9. Объём и форма камеры засыпки порошка 22 образованы, в основном, верхней и нижней частями составного эластичного формующего элемента. Для изготовления порошковых изделий широкой номенклатуры можно использовать составные эластичные элементы самой разнообразной формы, например, в виде фигурных втулок с внутренней ступенчатой поверхностью. Для прессования нового изделия требуется замена только составного эластичного формующего элемента. Для повышения производительности установка может быть снабжена дополнительным аналогичным контейнером, установленным на подвижной плите симметрично основному контейнеру 9 таким образом, чтобы в момент нахождения одного из контейнеров на позиции прессования, другой находился на позиции соответствующей загрузки – выгрузки.

Установка работает следующим образом. В контейнер 9, находящийся на позиции загрузки – выгрузки, помещают составной формующий элемент и в камеру засыпки 22 засыпают дозированное количество прессуемого порошкового материала. Засыпку осуществляют, например, с помощью

бункерно-загрузочного устройства, снабженного дозатором (на чертеже не показан). Контейнер 9 с порошком на подвижной плите 12 перемещают на позицию прессования к центру нижней плиты 6 таким образом, чтобы ось контейнера 9 и ось пуансонов 13 и 15 совпали. Подвижную траверсу 5 с прижимом 21 опускают вниз и прижимают к контейнеру 9 с некоторым усилием, замыкая, таким образом, камеру засыпки 22 с прессуемым порошком. При включении насоса установки и создании давления в силовом гидроцилиндре 4 шток 8 передаёт рабочее усилие через пуансон 13 на нижнюю часть 11 составного эластичного формующего элемента.

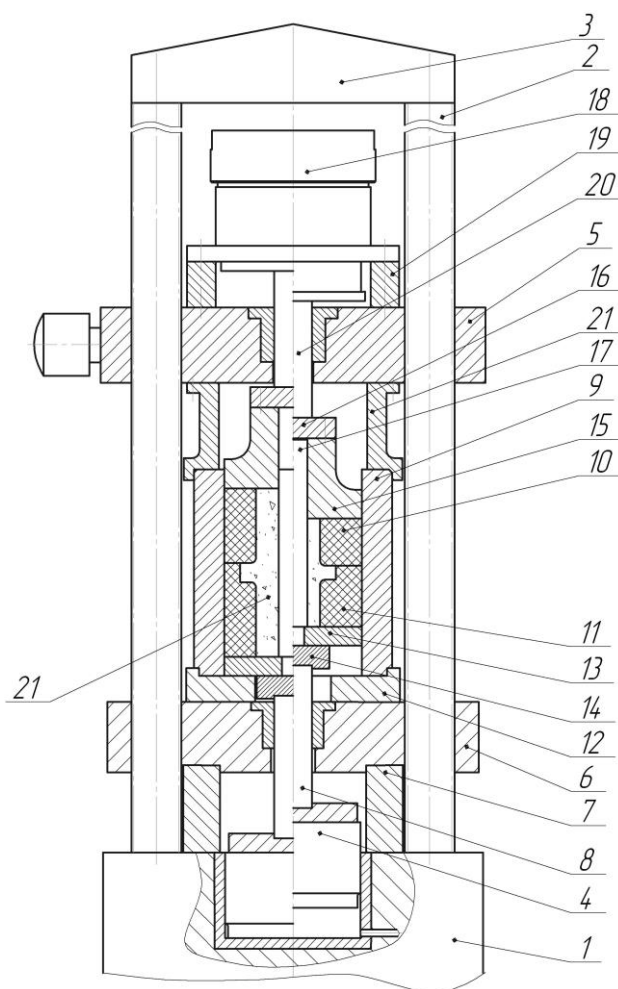


Рис. 5 – Принципиальная схема установки для эластостатического прессования двустороннего действия: 1 — станина установки; 2 – направляющие колонны; 3 – верхняя неподвижная плита; 4 – плунжер гидроцилиндра; 5 – подвижная траверса; 6 – нижняя неподвижная плита; 7 – промежуточная опора; 8 – шток; 9 – контейнер; 10 – эластичный элемент верхний; 11 – эластичный элемент нижний; 12 – опорная подвижная плита; 13 – пуансон нижний; 14 – пуансонодержатель нижний; 15 – пуансон верхний; 16 – пуансонодержатель верхний; 17 – оправка; 18 – дополнительный силовой гидроцилиндр; 19 – промежуточная опора; 20 – плунжер гидроцилиндра; 21 – порошковый материал

Одновременно силовой гидроцилиндр 18 через шток 20 и дополнительный пуансон 15 сжимает с противоположной стороны эластичный формующий элемент 10. Давление в силовых гидроцилиндрах плавно повышается до требуемого, и, таким образом, осуществляется двусторонняя осадка составного эластичного формующего элемента и, соответственно, двустороннее прессование порошкового материала. По окончании процесса прессования усилие плавно снижают, плунжеры и пуансоны возвращают в первоначальное положение. При этом как верхняя часть 10, так и нижняя часть 11 эластичного элемента независимо друг от друга плавно возвращаются в исходное состояние. После окончания процесса разгрузки спрессованное порошковое изделие остается на оправке 17. Подвижную траверсу 5 приподнимают на зазор, обеспечивающий свободное перемещение контейнера, который возвращают на позицию загрузки-выгрузки. Готовое изделие извлекают посредством выталкивателя (на чертеже не показан).

Обсуждение

Повышение качества машиностроительных изделий является наиболее важной задачей любого предприятия [14,15]. При переходе от мелкосерийного производства к серийному, а также при переходе производства от простых изделий к более сложным, вопросы качества становятся ещё более острыми. Для создания гарантированных условий получения качественной продукции необходимо реализовать целый комплекс мер, и среди них важное место занимают оснастка и оборудование, реализующие прогрессивные технологические процессы. Использование в конструкциях составных пресс-форм жестких элементов помогает получить поверхности, обладающие более высокой точностью. При последующей обработке такие поверхности можно использовать как базовые. В ряде случаев такие поверхности можно не обрабатывать, что уменьшает общую трудоёмкость изготовления деталей [16,17]. Важным фактором применения в ЭСП составных пресс-форм является возможность их использования на прессах-автоматах. Точные профилированные заготовки, полученные ЭСП, можно эффективно использовать в других прогрессивных процессах обработки давлением [19]. Наряду с созданием специализированных установок для ЭСП это значительно расширит область применения процесса и его эффективность.

Заключение

Эластостатическое прессование порошков является экономичным методом квазиизостатического прессования, реализуемым как на универсальных гидравлических прессах, так и на прессах-автоматах. Для

дальнейшего развития метода представляется целесообразным создание специализированных установок, реализующих эффективные схемы прессования и позволяющих получать точные профилированные заготовки и готовые детали.

Наиболее эффективной схемой эластостатического прессования можно считать радиальное прессование, при котором нагружение в направлении наименьшей толщины изделия обеспечивает получение в нём равномерного распределения плотности.

Дальнейшим совершенствованием метода и расширением номенклатуры получаемых изделий является проектирование и использование составных пресс-форм, в которых можно получать изделия сложной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Процессы изостатического прессования: (сборник статей), под ред. П.Дж. Джеймса, пер. с англ., - М.: Metallurgy, 1990. – 191 с.
- [2] Тимохова М.И. Квазиизостатическое прессование керамических изделий. Промышленность строительных материалов. Серия 5. Керамическая промышленность. Аналитический обзор. Выпуск 1. М., 1990.- 68 с.
- [3] К.К.Мертенс Прессование изделий из порошков подвижными средами /К.К.Мертенс, П.А.Кузнецов // «Металлообработка», научно-производственный журнал, №3(63). – 2011. – С.25 – 30.
- [4] M.I.Timokhova, “Industrial technology for the automated production of grinding balls by quasi-isostatic pressing”, *Refractories and Industrial Ceramics*, 52, No,6,389-392 (2011).
- [5] M.I.Timokhova, Advantages of Quasi- Isostatic Pressing for Powder Materials, *Refractories and Industrial Ceramics*, 53, No 3. September, 147-150 (2012).
- [6] Pokorska, I. Modeling of powder metallurgy processes. 2017 *Advanced Powder Technology* 18(5), с. 503-539.
- [7] Lawley, A., Gummesson, P.U., Klar, E., Hanes, H.D., Lyle Jr., J.P. Powder metallurgy for high-performance applications. 2017
- [8] Jonsen, P., Haggblad, H.T., Gustafsson, G. Modelling the non-linear elastic behavior and fracture of metal powder compacts.-*Powder Technology* 284, p. 496-503. 2015.
- [9] Кислицын (Vasily D. Kislitsyn) В. Д.; Шадрин (Vladimir V. Shadrin) В. В.; Осоргина (Irina V. Osorgina) И. В.; Свистков, А. Л. Анализ механических свойств полиуретановых материалов, изготовленных по растворной и литьевой технологиям. *Вест. ПГУ Физика* 2020.
- [10] Яковлев, Станислав Николаевич. Расчет полиуретановых деталей, работающих на сжатие при статической нагрузке [Электронный

- ресурс] = Calculation of polyurethane details which are working on shrinkage under static load / С.Н. Яковлев. — (Машиностроение). — Электрон. текстовые дан. (1 файл: 192 Кб) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – Санкт-Петербург. – 2014
- [11] Rudskoy A. I., Tsemenko V. N., Ganin S.V. A Study of Compaction and Deformation of a Powder Composite Material of the ‘Aluminum–Rare Earth Elements’ System. *Metal Science and Heat Treatment*. 2015 Jan 1;56(9-10):542-7. DOI: 10.1007/s11041-015-9796-3
- [12] П.А. Кузнецов, Т.Т. Нгуен, Ф. А. Демчук .Патент на полезную модель РФ № 88604 от 14.07.2009, МПК В28В3/02. Установка для изостатического прессования изделий из порошковых материалов.
- [13] Патент № 88604 Российская Федерация. МПК В28В3/02, В28В7/10. Установка для изостатического прессования изделий из порошковых материалов / Кузнецов П. А., Демчук Ф. А., Нгуен Т. Т.; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет». №. 2009127031/22, заявл. 14.07.2009; опубл. 20.11.2009.
- [14] Мертенс К. К., Кузнецов П. А. Перспективы применения и развития технологии эластостатического прессования порошковых материалов // *Тр. Машиностроение / СПбГПУ*. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. С. 41–49.
- [15] Любомудров С.А., Колодяжный Д.Ю., Орлов С.Г. Технологическое обеспечение качества машиностроительного производства. СПб: СПбПУ. 2020. 191 с.
- [16] P.A. Kuznetsov, T.T. Nguyen, M.D. Dinh. Technology pressure of layer-tube composite from metal powder in elastic surroundings // *University of Danang- Vietnam. Journal of science*, 2008.- № 5.- С. 10- 16.
- [17] Kuznetsov P. A., Prostorova A. O., Tretyakov V. P., Yakovitskaya M. V. Adsorption cryogenic vacuum pumps with sorbent elements based on zeolite and cooper powders. *AIP Conference Proceedings*. 2020. 2285. 040011. pp. 159-166.
- [18] Kuznetsov P. A., Kuznetsov R. V., Prostorova A. O., Tretyakov V. P., Technology of Bimetallic Products Forming Based on Sintered Inserts. *Advances in Mechanical Engineering. MMESE 2022, Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. P. 180-186.
- [19] *Sovremennoe mashinostroenie: Nauka i obrazovanie: materialy 8-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii / Pod red. A.N.Evgrafova i A.A. Popovicha.*- SPb.: POLITEKH-PRESS, pp. 674–684 (2019)

MOLDS AND TOOLING FOR ELASTOSTATIC PRESSING OF POWDER PARTS

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

Abstract

The article presents an analysis of the current state of usage an elastostatic pressing technology for manufacturing structural parts. The main types of molds that can be used in quasi-isostatic, radial-axial and radial elastostatic pressing (ESP) are considered. The main types of equipment using in elastostatic pressing technology are extracted. The tendency of further development of the method, which consists of the design of composite elastic molds with rigid outer base elements and the creation of specialized tooling (elastostats) for pressing structural parts having complicate stepped shape, is shown.

Keywords: polyurethane, powder materials, molds, elastostats.

REFERENCES

- [1] Processes of isostatic pressing: (collection of articles), ed. by P.J. James, translated from English, - M.: Metallurgy, 1990. - 191 p.(rus.)
- [2] Timokhova M.I. Quasi-static pressing of ceramic products. Industry of Building Materials. Series 5. Ceramic Industry. Analytical review. Issue 1. Moscow, 1990.- 68 p. (rus.)
- [3] K.K. Mertens Pressing products from powders by moving media / K.K. Mertens, P.A. Kuznetsov // "Metalworking", scientific and production journal, № 3 (63). - 2011. - Pp.25 - 30.
- [4] M.I.Timokhova, "Industrial technology for the automated production of grinding balls by quasi-isostatic pressing", Refractories and Industrial Ceramics, 52, No,6,389-392 (2011).
- [5] M.I.Timokhova, Advantages of Quasi- Isostatic Pressing for Powder Materials, Refractories and Industrial Ceramics, 53, No 3. September, 147-150 (2012).
- [6] Pokorska, I. Modeling of powder metallurgy processes. 2017 Advanced Powder Technology 18(5), c. 503-539.
- [7] Lawley, A., Gummeson, P.U., Klar, E., Hanes, H.D., Lyle Jr., J.P. Powder metallurgy for high-performance applications. 2017
- [8] Jonsen, P., Haggblad, H.T., Gustafsson, G. Modelling the non-linear elastic behavior and fracture of metal powder compacts.-Powder Technology 284, p. 496-503. 2015.

- [9] Kislitsyn (Vasily D. Kislitsyn) V. D.; Shadrin (Vladimir V. Shadrin) V. V.; Irina V. Osorgina, I. V.; Svistkov, A. L. Analysis of mechanical properties of polyurethane materials produced by mortar and casting technology. Vest. PSU Physics 2020.
- [10] Yakovlev, Stanislav Nikolaevich. Calculation of polyurethane details which are working on shrinkage under static load [Electronic resource] = Calculation of polyurethane details which are working on shrinkage under static load / S.N. Yakovlev. - (Mechanical engineering). - Electronic text data. (1 file: 192 Kb) // Scientific and Technical Bulletin SPbSPU. - St. Petersburg. - 2014
- [11] Rudskoy A. I., Tsemenko V. N., Ganin S.V. A Study of Compaction and Deformation of a Powder Composite Material of the ‘Aluminum–Rare Earth Elements’ System. Metal Science and Heat Treatment. 2015 Jan 1;56(9-10):542-7. DOI: 10.1007/s11041-015-9796-3
- [12] P.A. Kuznetsov, T.T. Nguyen, F.A. Demchuk, RF utility model patent No. 88604, 14.07.2009, IPC B28B3/02. Installation for isostatic pressing of articles from powder materials (rus.)
- [13] Patent № 88604 Russian Federation. MICR. IN28B3/02, IN28B7/10. Installation for isostatic pressing of articles from powder materials / Kuznetsov P.A., Demchuk F.A., Nguyen T.T.; applicant and copyright holder GOU VPO "Saint-Petersburg State Polytechnic University". №. 2009127031/22, application form. 14.07.2009; publ. 20.11.2009. (rus.)
- [14] Mertens K.K., Kuznetsov P.A. Prospects of use and development of technology of elastostatic pressing of powder materials // Proc. Mashinostroenie / SPbGPU. St. Petersburg: Polytechnical University Publisher, 2007. C. 41-49. (rus.)
- [15] Lyubomudrov S.A., Kolodyazhny D.Y., Orlov S.G. Technological Quality Assurance of Machine-Building Production. SPb: SPbPU. 2020. 191 c. (rus.)
- [16] P.A. Kuznetsov, T.T. Nguyen, M.D. Dinh. Technology pressure of layer-tube composite from metal powder in elastic surroundings // University of Danang-Vietnam. Journal of science, 2008. 10- 16. (rus.)
- [17] Kuznetsov P. A., Prostorova A. O., Tretyakov V. P., Yakovitskaya M. V. Adsorption cryogenic vacuum pumps with sorbent elements based on zeolite and cooper powders. AIP Conference Proceedings. 2020. 2285. 040011. pp. 159-166.
- [18] Kuznetsov P. A., Kuznetsov R. V., Prostorova A. O., Tretyakov V. P., Technology of Bimetallic Products Forming Based on Sintered Inserts. Advances in Mechanical Engineering. MMESE 2022, Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. P. 180-186.
- [19] Sovremennoe mashinostroenie: Nauka i obrazovanie: materialy 8-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii / Pod red. A.N.Evgrafova i A.A. Popovicha.- SPb.: POLITEKH-PRESS, pp. 674–684 (2019)