

П.А. Кузнецов¹, А.О. Просторова², К.В. Лепетан³, И.Д. Карачевцев⁴

ТЕХНОЛОГИЯ ДВУХСТОРОННЕГО ЭЛАСТОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВ



¹Павел Алексеевич Кузнецов,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)552-9530, E-mail: pa-kuznetsov@yandex.ru



²Александра Олеговна Просторова,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)552-9530, E-mail: prostorova_ao@spbstu.ru



³Кирилл Владимирович Лепетан,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)552-9530, E-mail: lepetan_k@mail.ru



⁴Илья Дмитриевич Карачевцев,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)552-9530, E-mail: iliakarachevtsev@yandex.ru

Аннотация

В работе представлен анализ современного состояния технологии двухстороннего эластостатического прессования (ЭСП) профилированных заготовок из порошков. Проведено сравнение технологии одностороннего прессования на универсальных гидравлических прессах с технологией прессования в «плавающих» пресс-формах и на установке двухстороннего действия. Разработаны варианты пресс-форм, реализующих исследуемую схему прессования. Представлены результаты прессования образца в виде

стержня с буртом. Показана необходимость дальнейшего развития метода, заключающаяся в создании специализированных установок для прессования профилированных изделий сложной формы.

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

Введение

Эластостатическое прессование порошковых материалов является наиболее экономичным процессом среди других процессов изостатического прессования изделий различного назначения [1-3]. По сравнению с более распространенным специализированным оборудованием для изостатического прессования – гидростатами и газостатами, установки для прессования порошков эластичной средой, сделанные на основе универсальных гидравлических прессов, дешевле и проще в эксплуатации [3-4]. Эластомеры практически сохраняют основное преимущество изостатического прессования - возможность создания в формообразующей среде равномерного давления, воздействующего на весь объем прессуемого порошка. Применение в качестве подвижной среды полиуретанов снижает затраты на производство изделий из порошков и расширяет технологические возможности процессов прессования порошковых материалов. Благодаря перечисленным преимуществам эластостатическое прессование в наше время интенсивно исследуется и развивается [4-6].

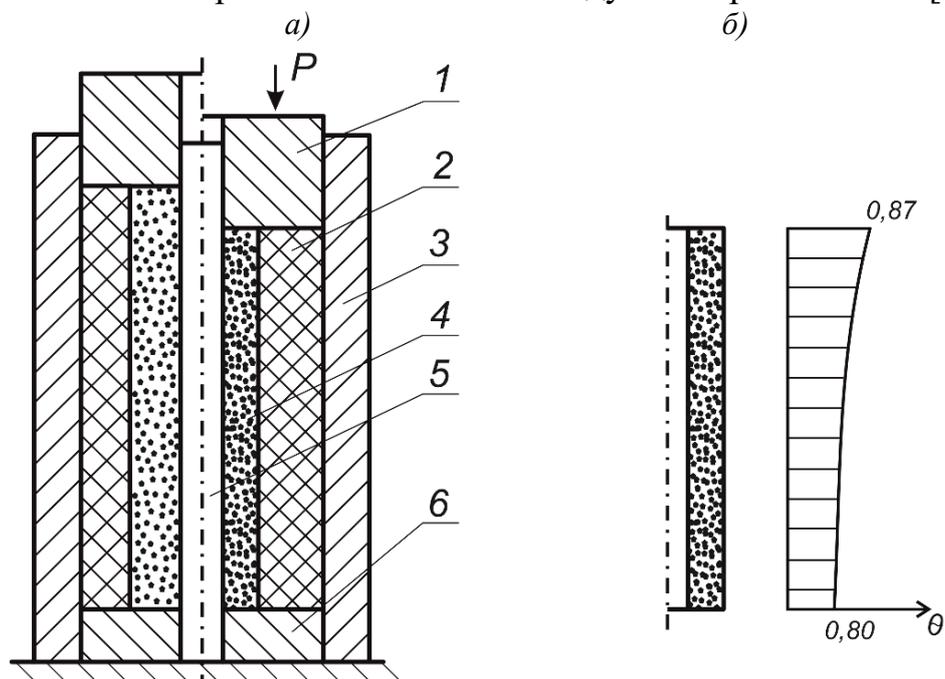


Рис. 1. Принципиальная схема одностороннего радиально-осевого ЭСП: а) для изделий типа «втулка»: 1 – верхний пуансон, 2 – эластичный элемент, 3 – жесткий контейнер, 4 – порошок, 5 – оправка, 6 – опора; б) распределение плотности порошка по высоте изделия

Однако из-за трения эластичной среды в жестком контейнере изостатический характер давления на порошок несколько меняется, что следует учитывать при проектировании процесса и оснастки [7]. При прессовании длинномерных изделий падение давления проявляется наиболее явно. На рис. 1, *а* показана наиболее распространенная принципиальная схема одностороннего радиально-осевого ЭСП изделий типа «втулка», а на рис. 1, *б* – распределение плотности в изделии по высоте.

Процесс ЭСП осуществляется путем приложения усилия пресса P через верхний пуансон 1 на эластичный элемент 2 и порошок 4. Под действием осевого и радиального давлений порошок уплотняется, но трение о стенки контейнера 3 приводит к неравномерности распределения плотности по высоте втулки порядка 4-7%.

Применяемый при прессовании в жестких пресс-формах способ прессования в «плавающей матрице» может быть реализован и при ЭСП. На рис. 2, *а* показана принципиальная схема ЭСП изделий типа «втулка» в «плавающем контейнере», а на рис. 2, *б* представлено распределение плотности по высоте изделия. В этом случае сила трения носит активный характер, что позволяет снизить неравномерность плотности по высоте до 2-4%.

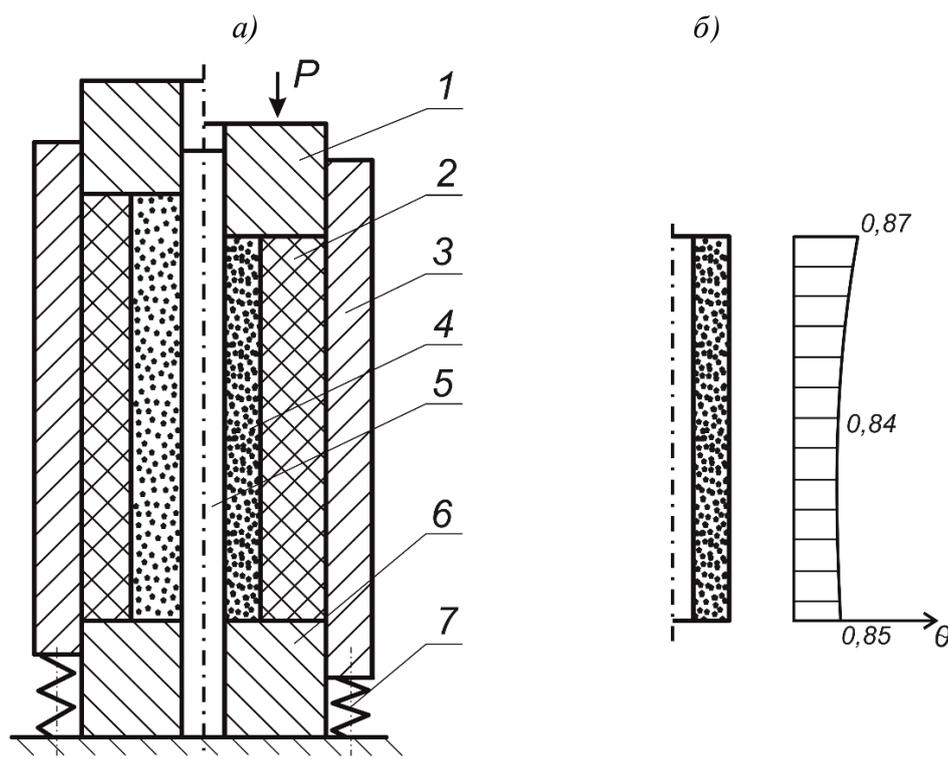


Рис. 2. Принципиальная схема ЭСП изделий типа «втулка» в «плавающем» контейнере: *а*) схема ЭСП изделия, где 1 – верхний пуансон, 2 – эластичный элемент, 3 – жесткий контейнер, 4 – порошок, 5 – опора, 6 – нижний пуансон, 7 – пружина; *б*) распределение плотности по высоте изделия

Методы

С целью сравнения возможностей одностороннего и двухстороннего эластостатического прессования было проведено моделирование радиально-осевого прессования тонкостенной втулки из порошкового материала ПМС-1 ГОСТ 4960-2017 (содержание $Cu > 99,5$) при давлении 500 МПа. Современные методы моделирования позволяют достаточно точно прогнозировать результаты процесса уплотнения порошковых материалов [7-11]. Моделирование проводилось в программном комплексе ABAQUS. В качестве модели материала применялся Drucker-Prager cap plasticity. Осесимметричную геометрию задавали элементами CAX4R, а свойства эластичной среды – граничными условиями для замкнутого несжимаемого объёма. Коэффициент трения порошка по инструменту брался равным 0,2. На рис. 3 показаны картины распределения относительной плотности по толщине стенки втулки, полученные при последовательном расчёте двух схем прессования: одностороннего (а) и двухстороннего (б). В первом случае распределение плотности по объёму втулки имеет высокую неравномерность, а именно, зону недопрессовки в нижней части, примыкающей к неподвижному пуансону. Во втором случае распределение плотности получилось более равномерным, а имеющаяся разноплотность, характерная для зоны с малыми осевыми деформациями, локализована меньшим участком в середине заготовки.

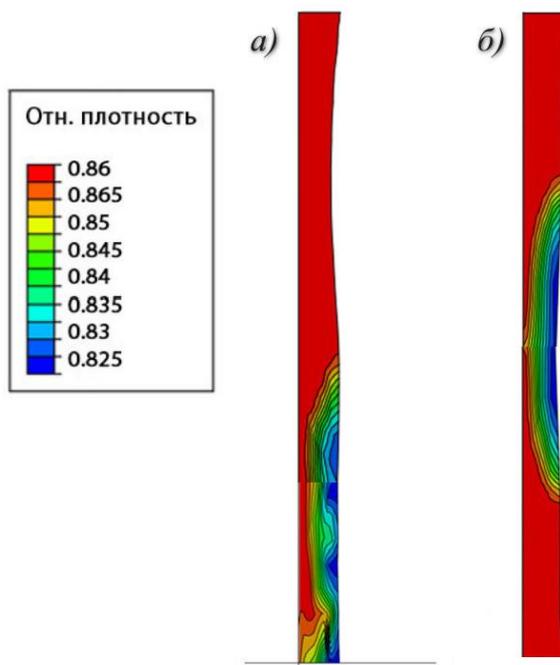


Рис. 3. Результаты моделирования эластостатического прессования (ЭСП) тонкостенной втулки: а) при одностороннем ЭСП; б) при двухстороннем ЭСП

Опытным путем эффективность эластостатического прессования в «плавающих» контейнерах при прессовании профилированных заготовок

сложной формы проверяли при прессовании образцов в виде «стержня с буртом».

На рис. 4, а показана принципиальная схема опытной оснастки для ЭСП образцов «стержень с буртом».

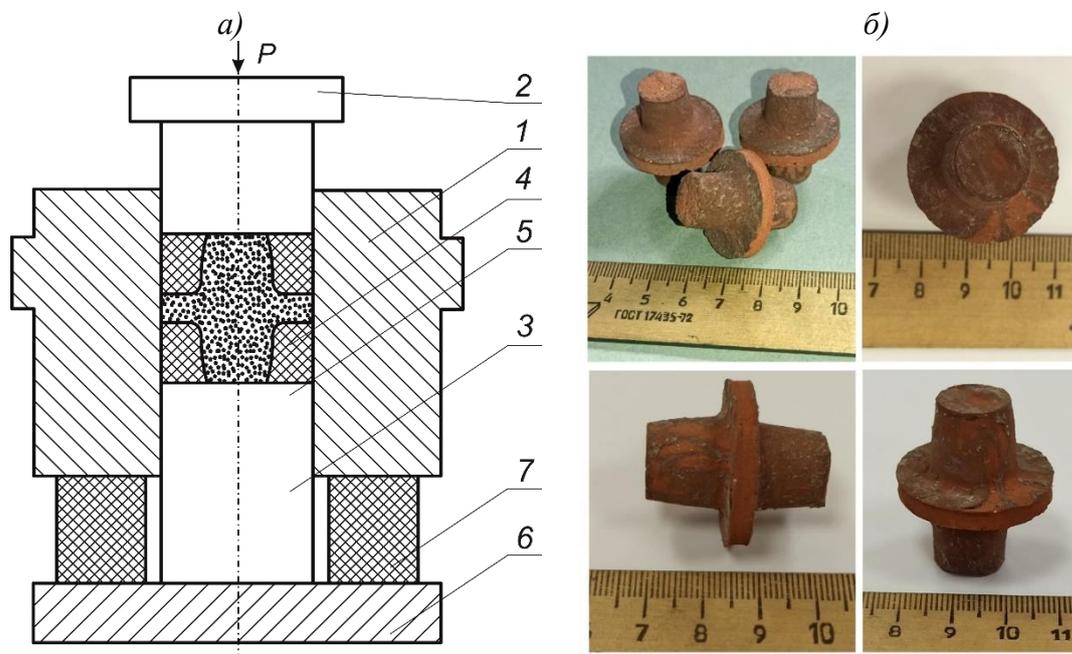


Рис. 4. Схема опытной пресс-формы для ЭСП образцов «стержень с буртом»: а) принципиальная схема, где 1 – жесткий контейнер, 2 – верхний пуансон, 3 – нижний пуансон, 4 – верхняя эластичная матрица, 5 – нижняя эластичная матрица, 6 – основание, 7 – эластичный буфер; б) опытные образцы

Прессование опытных образцов осуществляли следующими образом. Контейнер 1 на эластичном буфере 7 устанавливали на основании 6. В полость контейнера вводили нижний пуансон 3. На торец пуансона устанавливали нижнюю эластичную полуматрицу 5, в которую засыпали первую дозу порошка. На порошок устанавливали верхнюю эластичную полуматрицу 4 и досыпали оставшийся порошок до расчетного значения, соответствующего массе заготовки. Камеру засыпки замыкали верхним пуансоном 2. Опытную пресс-форму в сборе устанавливали на лабораторный гидравлический пресс ПСУ 125 и осуществляли радиально-осевое прессование образца по схеме прессования в «плавающем» контейнере.

Результаты

Проведенные экспериментальные работы по двухстороннему эластостатическому прессованию образцов типа «стержень с буртом» показали эффективность схемы, представленной на рис. 4, а.

Преимущества технологий прессования изделий из порошков более полно проявляются при изготовлении профилированных заготовок и деталей сложной формы. Для их получения требуется применение более сложных составных пресс-форм, содержащих как эластичные, так и жесткие элементы.

Анализ современного состояния применения технологии и оснастки для эластостатического прессования деталей сложной формы конструкционного назначения показывает, что тенденцией в их развитии является создание составных пресс-форм с эластичными и жесткими элементами [12].

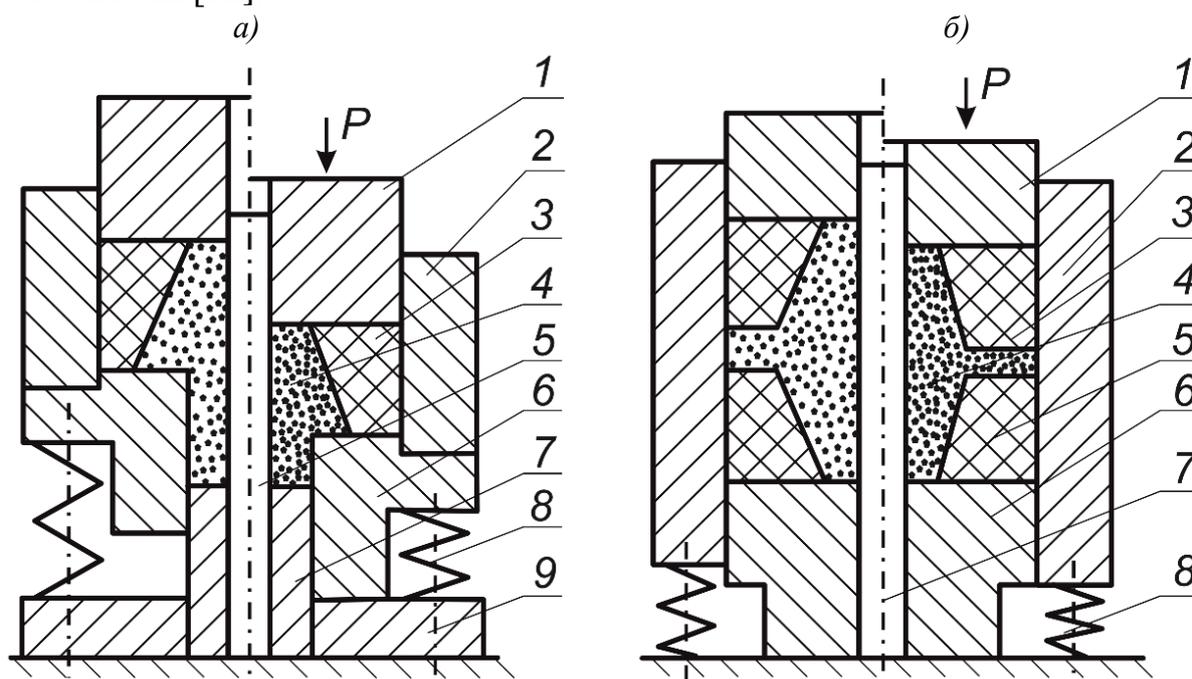


Рис. 5. Принципиальные схемы пресс-форм для двустороннего ЭСП изделий в «плавающих» матрицах: *а)* для ЭСП изделий типа «ступенчатая втулка», где 1 – верхний пуансон, 2 – жесткий контейнер, 3 – эластичная матрица, 4 – прессовка, 5 – оправка, 6 – нижний внешний пуансон, 7 – нижний внутренний пуансон, 8 – пружина, 9 – опора; *б)* для ЭСП изделий типа «втулка с буртом», где 1 – верхний пуансон, 2 – жесткий контейнер, 3 – верхняя эластичная полуматрица, 4 – прессовка, 5 – нижняя эластичная полуматрица, 6 – нижний пуансон, 7 – оправка, 8 – пружина.

На рис. 5 показаны разработанные авторами принципиальные схемы пресс-форм для двустороннего ЭСП изделий типа «ступенчатая втулка» и «стержень с буртом» в «плавающих» матрицах.

В качестве характерного примера на рис. 5, *а* приведена схема опытной пресс-формы для ЭСП из порошка конической втулки [13]. Прессование осуществляют следующим образом. Жесткий контейнер 2 устанавливают на нижний внутренний пуансон 6, который в свою очередь установлен на опоре 9. В отверстие опоры вводят нижний внутренний пуансон 7 с входящей в его отверстие оправкой 5. Жесткий контейнер 2 и нижний

внешний пуансон 6 устанавливают на пружины 8 и опору 9. Полость между внутренней поверхностью эластичной матрицы 3, оправки 5, торцами нижних пуансонов 6 и 7 и торца верхнего пуансона 1 является камерой засыпки порошка 4 для прессуемого изделия. Порошок засыпают в указанную полость и замыкают пуансоном 1, через который передают на порошок усилие пресса Р и осуществляют процесс прессования.

Прессование ступенчатой втулки с буртом осуществляют аналогичным образом (рис. 5, б).

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.

Обсуждение

Расширение номенклатуры порошковых изделий должно сопровождаться повышением их качества, что является наиболее важной задачей любого предприятия [14, 15]. 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. Прогрессивными устройствами в ЭСП являются составные пресс-формы с эластичными быстросменными элементами самой разнообразной формы, например, в виде фигурных втулок с внутренней ступенчатой поверхностью и т.п. Для прессования нового изделия требуется замена только составного эластичного формующего элемента или его части.

Использование в конструкциях составных пресс-форм жестких элементов помогает получить поверхности, обладающие более высокой точностью. 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 [18]. Наряду с созданием специализированных установок для ЭСП это значительно расширит область применения процесса и его эффективность.

Заключение

Для дальнейшего развития метода ЭСП представляется целесообразным создание специализированных устройств и установок,

реализующих эффективные схемы прессования, в том числе схему двухстороннего прессования. При этом предпочтительно использовать наиболее эффективное радиальное эластостатическое прессование в направлении наименьшей толщины изделия.

Дальнейшим совершенствованием метода и расширением номенклатуры получаемых изделий является проектирование и использование составных пресс-форм, состоящих как из эластичных, так и из жестких элементов, в которых можно получать изделия сложной формы и высокого качества.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Джеймс, П.Дж. Процессы изостатического прессования. пер. с англ., М.: Металлургия, 1990. 191 с.
- [2] Тимохова, М.И. Квазиизостатическое прессование керамических изделий: аналитический обзор. Серия 5. Керамическая промышленность. Выпуск 1. М. : ВНИИЭСМ. 1990. 68 с.
- [3] Мертенс, К.К., Кузнецов, П.А. Перспективы применения и развития технологии эластостатического прессования порошковых материалов. Сб. Машиностроение. СПбГПУ. СПб. 2007. С. 41-49.
- [4] Мертенс, К.К., Кузнецов, П.А. Прессование изделий из порошков подвижными средами. Металлообработка. №3(63). 2011. С. 25-30.
- [5] Timokhova, M.I. Industrial technology for the automated production of grinding balls by quasi-isostatic pressing. Refractories and Industrial Ceramics. 52. No 6. 2011. pp. 389-392.
- [6] Timokhova, M.I. Advantages of Quasi- Isostatic Pressing for Powder Materials. Refractories and Industrial Ceramics. 53. No 3. September. 2012. pp. 147-150.
- [7] Pokorska, I. Modeling of powder metallurgy processes. Advanced Powder Technology. 2017. 18(5). pp. 503-539.
- [8] Lawley, A., Gummeson, P.U., Klar, E., Hanes, H.D., Lyle, J.P. Powder metallurgy for high-performance applications. 2017. 193 p.
- [9] Jonsen, P., Haggblad, H.T., Gustafsson, G. Modelling the non-linear elastic behavior and fracture of metal powder compacts. Powder Technology. 284. 2015. pp. 496-503.
- [10] Kuznetsov, P.A., Nguyen, T.T., Dinh, M.D. Technology pressure of layer-tube composite from metal powder in elastic surroundings. University of Danang. Vietnam. Journal of Science, 2008. № 5. pp. 10-16.

- [11] Яковлев, С. Н. Расчет полиуретановых деталей, работающих на сжатие при статической нагрузке. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. СПб. С. 137-142.
- [12] 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 Sci. and Heat Treatment*. 56. 2015. pp. 542-547.
- [13] Кузнецов, П.А., Просторова, А.О., Радкевич, М.М. Установка для прессования трубчатых изделий из порошков. Патент РФ. Изобретения. Полезные модели. Оф. Бюллетень ФСИС (Роспатент). 2023. № 217620. МПК В22F3/02.
- [14] Kuznetsov, P.A., Kuznetsov, R.V., Lepetan, K.V. Development prospects of dies and equipment for elastostatic pressing of products from powders. *Advances in Mechanical Engineering. MMESE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. pp. 200-206.
- [15] Любомудров, С.А., Колодяжный, Д.Ю., Орлов, С.Г. Технологическое обеспечение качества машиностроительного производства. 2020. СПб: СПбПУ. 191 с.
- [16] 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.
- [17] 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*. 2022. pp. 180-186.
- [18] Кузнецов, Р.В., Кузнецов, П.А., Карачевцев, И.Д. Эластостатическое прессование спеченных рабочих вкладышей с градиентной структурой для биметаллических подшипников скольжения. Современное машиностроение: Наука и образование. СПб.: СПбПУ. 2019. С. 663-673.
- [19] Кузнецов, П.А., Гоциридзе, А.В., Кузнецов, Р.В., Карачевцев, И.Д. Эластостатическое прессование профилированных заготовок и изделий из порошковых материалов. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2020. № 9. С. 40-48.

A DOUBLE-SIDED ELASTOSTATIC PRESSING TECHNOLOGY OF PROFILED POWDERS BLANKS

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

Abstract

The paper presents an analysis of the current state of the double-sided elastostatic pressing technology (ESP) of profiled powders blanks. The technology of single-sided pressing on universal hydraulic presses is compared with the technology of pressing in the "floating" molds and on a double-acting installation. Variants of molds implementing the studied pressing scheme have been developed. The results of pressing a sample in the form of a rod with a collar are presented. The necessity of further development of the method is shown, which consists in the creation of specialized installations for pressing the complex profiled products.

Key words: polyurethane, pressing, powder, molds

REFERENCES

- [1] James, P.J. Isostatic pressing processes. translated from English, M.: Metallurgy, 1990. 191 p.
- [2] Timokhova, M.I. Quasi-isostatic pressing of ceramic products: an analytical review. Series 5. Ceramic industry. Is. 1. Moscow: VNIIESM. 1990. 68 p. (rus.)
- [3] Mertens, K.K., Kuznetsov, P.A. Prospects for the application and development of technology for elastostatic pressing of powder materials. Sb. Mechanical engineering. SPbGPU. SPb. 2007. p. 41-49. (rus.)
- [4] Mertens, K.K., Kuznetsov, P.A. Pressing of powder products with mobile media. Metalloobrabotka. No.3(63). 2011. p. 25-30. (rus.)
- [5] Timokhova, M.I. Industrial technology for the automated production of grinding balls by quasi-isostatic pressing. Refractories and Industrial Ceramics. 52. No 6. 2011. pp. 389-392.
- [6] Timokhova, M.I. Advantages of Quasi- Isostatic Pressing for Powder Materials. Refractories and Industrial Ceramics. 53. No 3. September. 2012. pp. 147-150.
- [7] Pokorska, I. Modeling of powder metallurgy processes. Advanced Powder Technology. 2017. 18(5). pp. 503-539.
- [8] Lawley, A., Gummeson, P.U., Klar, E., Hanes, H.D., Lyle, J.P. Powder metallurgy for high-performance applications. 2017. 193 p.

- [9] Jonsen, P., Haggblad, H.T., Gustafsson, G. Modelling the non-linear elastic behavior and fracture of metal powder compacts. *Powder Technology*. 284. 2015. pp. 496-503.
- [10] Kuznetsov, P.A., Nguyen, T.T., Dinh, M.D. Technology pressure of layer-tube composite from metal powder in elastic surroundings. University of Danang. Vietnam. *Journal of Science*. 2008. № 5. pp. 10-16.
- [11] Yakovlev, S. N. Calculation of polyurethane parts operating under compression under static load. *Scientific and technical bulletin of SPbGPU*. 2014. St. Petersburg. pp. 137-142. (rus.)
- [12] 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 Sci. and Heat Treatment*. 56. 2015. pp. 542-547.
- [13] Kuznetsov, P.A., Prostorov, A.O., Radkevich, M.M. Installation for pressing tubular products from powders. The patent of the Russian Federation. *Inventions. Useful models. FSIS Official Bulletin (Rospatent)*. 2023. No. 217620. IPC B22F 3/02. (rus.)
- [14] Kuznetsov, P.A., Kuznetsov, R.V., Lepetan, K.V. Development prospects of dies and equipment for elastostatic pressing of products from powders. *Advances in Mechanical Engineering. MMESE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. pp. 200-206.
- [15] Любомудров, Lyubomudrov, S.A., Kolodyazhny, D.Yu., Orlov, S.G. Technological quality assurance of machine-building production. 2020. SPb: SPbPU. 2020. 191 p. (rus.)
- [16] 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.
- [17] 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*. 2022. pp. 180-186.
- [18] Kuznetsov, R.V., Kuznetsov, P.A., Karachentsev, I.D. Elastostatic pressing of sintered working inserts with a gradient structure for bimetallic plain bearings. *Modern mechanical engineering: Science and Education*. SPb: SPbPU. 2019. pp. 663-673. (rus.)
- [19] Kuznetsov, P.A., Gotsiridze, A.V., Kuznetsov, R.V., Karachevtsev, I.D. Elastostatic pressing of profiled blanks and products from powder materials. *Forging and stamping production. Processing of materials by pressure*. 2020. #9. pp. 40-48. (rus.)