# Уплотнение порошковых материалов методом комбинированного магнитно-импульсного прессования.

В.Миронов[1], И. Беляева[2], В.Глущенков[2], Э. Индриксоне[1]

[1] *Рижский технический университет, , Azenes Street 16/20, lab. 331, LV – 1048, Riga, Latvia, Tel. +371 67089270 E-mail: viktors.mironovs@gmail.com*

[1] *Самарский государственный аэрокосмический университет, НИЛ-41, Самара, Россия*

## 1.Введение

Для уплотнения порошковых материалов используют различные методы, которые сочетают статическое и динамическое уплотнение, вибрационные и ударно-волновые технологии. Большой интерес уже длительное время вызывает возможность использования импульсных источников энергии (взрыва, электромагнитного поля, электрического разряда, энергии удара ускоряемого твердого тела). Наибольших успехов достигли технологии ударного уплотнения предварительно спеченных порошковых заготовок -(Powder forging) [1].Недостаток метода в многоступенчатости процесса и его трудоемкости. Методы взрывного прессования порошковых материалов [2] позволяют получать заготовки высокой плотности, однако они не предназначены для применения в производственных условиях, поскольку являются достаточно сложными в обслуживании и эксплуатации, а так же экологически вредными.

Метод магнитно-импульсного прессования порошковых материалов (МИПП) известен с 80-х годов [3-4].В основном опубликованные работы касаются одноосного (плоского) уплотнения порошка в жесткой пресс-форме, либо одноосного радиального его уплотнения в специальной деформируемой электропроводящей оболочке [5]. Первый вариант используется для изготовления пластинчатых изделий. Порошковые материалы после однократного импульсного уплотнения и спекания имеют достаточно большую остаточную пористость (более 20%). В работе[4] показано, что многократное последовательное импульсное воздействие позволяет уменьшить конечную пористость, однако при этом могут возникать структурные неоднородности. Схема плоского одноосного МИП порошков приведена на рис1.

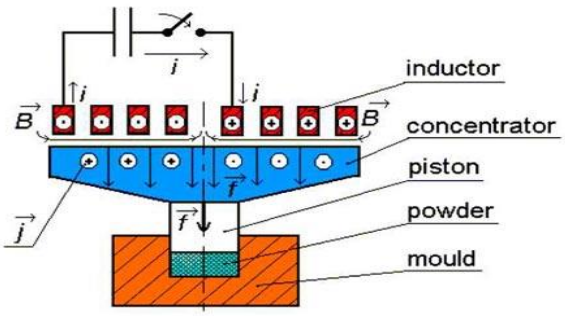

Рис.1.Схема плоского МИПП в жесткой пресс-форме
1-трансформатор; 2-генератор импульсов; 3- разрядник;4-индуктор; 5 –плита-ударник с электропроводящим покрытием; 6- порошок; 7-форма.

Повышение удельного давления прессования, а также надежности устройства можно достичь, если увеличить диаметр индуктора и число его витков. При этом происходит концентрация конечного усилия от 2 до 5 раз. Недостаток устройств подобного типа в ограниченности форм и размеров изделий. Возможна также неравномерность свойств по сечению детали.

В последние годы наметились новые положительные тенденции в области эффективного применения магнитно-импульсных технологий. Одним из таких направлений является разработка комбинированных методов прессования порошковых материалов, сочетающих статическое и импульсное уплотнение. Первые публикации в этом направлении были сделаны еще в конце 80-х.Примером может служить исследование, выполненное в Рижском техническом университете [6].Повышенное внимание комбинированных методов МИПП в последние годы стало уделяться в связи с необходимостью уплотнения мелкодисперсных порошковых материалов [7-9].

## 2. Экспериментальные исследования

### 2.1. Оборудование и материалы.

Для экспериментальных исследований комбинированного МИПП порошков был создан комплекс, состоящий из гидравлического пресса и магнитно-импульсной установки (рис.2,3). Основные технические характеристики оборудования приведены в табл. 1.

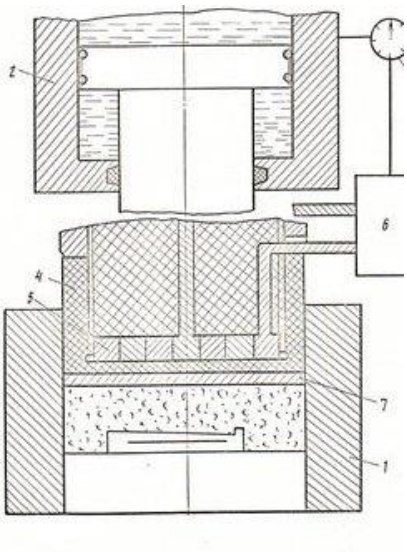

Рис.2. Схема комплекса КИП-1 для комбинированного статическо-импульсного прессования порошка в жесткой прессформе (1- прессформа с порошком ; 2- гидропресс; 4- корпус ; 5-индуктор; 6- генератор импульсных токов; 7- плита с электропроводящим покрытием).

Рис.3. Общий вид комплекса КИП-1 для комбинированного МИПП.

*Табл.2. Основные технические характеристики экспериментального комплекса КИП-1.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Гидравлический пресс Д2430 Б | *Усилие прессованиия* 0,1-10 k*N* | *Удельное давление* 50-100 MPa | *Скорость* 0,004 *м/с* | Ход 200 мм |
| Магнитно-импульсная установка ИГ18/5 | *Запасаемая энергия* 1-18 *кДж* | *Амплитуда электромагнитного давления* *250 МПа* | *Скорость передвижения пуансона* 0,1-10 *м/с* | *Число импульсов в минуту* *1-5* |
| Пресс-форма | *Наружн.диаметр плиты* 180 мм | *Диаметр пуансона* *20 мм* | *Объем камеры засыпки* | *Масса ударной плиты* 6,8- 24,0 кг |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | *236 см$^3$* | |
| Индуктор | *Диаметр*<br>*150 мм* | *Число витков 16* | *Рабочее напряжение на индукторе*<br>0,5- 5.0 *кВ* | *Гарантированное число разрядов до разрушения*<br>600 |

Величина магнитного давления, оценивалась по измеряемой магнитной индукции в зазоре между ударной плитой и индуктором по методике, изложенной в [4]. Схема измерения представлена на рис.4.

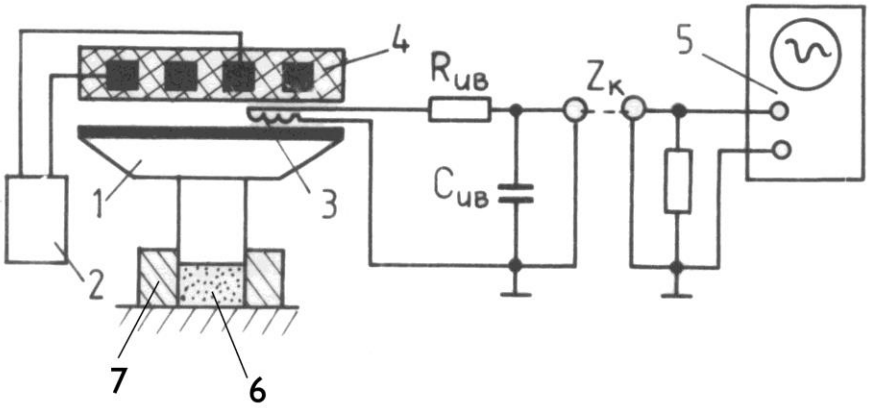


Рис. 4. Схема измерения магнитной индукции при МИПП
1-пуансон; 2- ГИТ; 3- датчик; 4-индуктор; 5-осциллограф; 6-порошок; 7- пресс-форма.

Амплитуда импульсного давления, определенная по величине магнитной индукции изменялась в пределах 350-400 МПа. Время действия одного импульса – 200-300 мкс.

### 2.1.Комбинированное МИПП в жесткой пресс-форме

Прессовались порошковые материалы на основе Fe-C с содержанием углерода 0,6 % и Fe-C-Cu с содержанием меди в шихте 5 %. Основанием такого выбора явились широкое применение этих материалов в производстве порошковых изделий. Для получения экспериментальных образцов использовались смазочные материалы : ZnS и Cennolube. Прессовались пластины 10x20 мм толщиной 3-8 мм. Далее образцы спекались в температурном интервале 1100-1200$^0$C со скоростью подъема

температуры 300 град. в час и выдержкой при конечной температуре в течение 1 часа в твердой углеродосодержащей засыпке в камерной печи.

*Табл.2. Основные параметры процесса и характеристики порошковых материалов* Fe-C-Cu

| | *Давление пресса,МПа* | *Параметры импульса* | *Пористость после прессования,,%* | Пористость после спекания, *%* |
|---|---|---|---|---|
| Статическое прессование | 100 | | *20* | 16 |
| Комбинированное прессование | 50 | 200 МПа<br>*200 мкс* | 12 | 3 |
| Комбинированное прессование | *100* | 350 МПа<br>*50 мкс* | 8 | 2 |

Эксперименты показали, что комбинированное МИПП позволяет увеличить плотность прессовок и плотность изделия после спекания. При этом с увеличением импульса давления плотность также возрастает.

Исследования также показали влияния многих факторов на процесс комбинированного МИПП. В частности было установлено, что с повышением удельной энергии МИПП плотность прессовки растет, а с увеличением массы ударной плиты эффективность уплотнения снижается . Для получения более точной картины исследования необходимо продолжить.

### 2.1. Комбинированное МИПП трубчатых и кольцевых изделий

Процессы комбинированного МИПП являются перспективными при изготовлении трубчатых и кольцевых изделий. При магнитно-импульсном прессовании эти детали прессуются в тонкостенных металлических оболочках, выполненных из меди [4]. Перед спеканием металлическую оболочку можно не снимать, а использовать ее для

последующей пропитки изделия медью- метод инфильтрации [4]. Окончательные размеры изделия получают при последующей механической обработке резанием ( рис.5).

Рис. 5. Изделия из порошковых материалов на базе Fe-C-Cu, полученные МИПП.

Исследование микроструктуры спеченных образцов ( рис.6) показывает, что с увеличением удельного давления плотность материала возрастает. Однако при изготовлении стержней малого диаметра могут появляться микротрещины. Спекание с пропиткой приводит к положительным изменениям состояния поровой структуры.

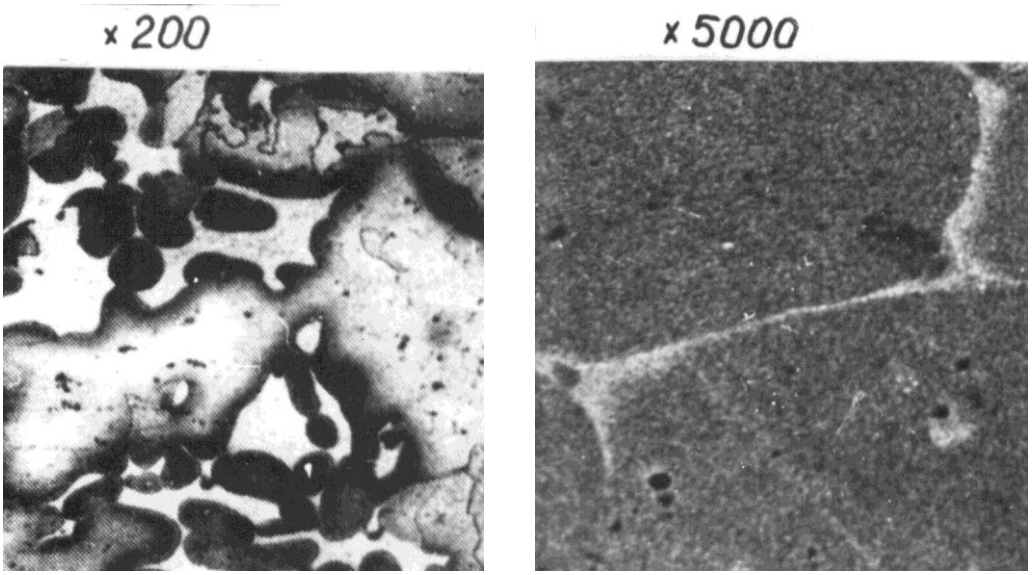


Рис. 6. Микроструктура спеченных образцов из Fe-C-Cu ,полученных комбинированным МИПП и спеканием с последующей пропиткой расплавом медной оболочки..

**Выводы**

1.Показано, что метод комбинированного МИПП может быть успешно применен для получения изделий из порошковых материалов на основе железа и железомедных сплавов. При этом изделия имеют более высокую плотность.

2.В процессе импульсного нагружения на конечную плотность изделия существенное влияние оказывает масса подвижных элементов, величина и длительность импульса.

Литература


1. G.Sjoberg,H.Fischmeister,V.Mironov.Die filling and densification in hot extrusion forrging of porous preforms.Powder Metalurgy international.-1977,vol.9,N.4.-p.160-164
2. James, W.B., Dermott, M.J., Powell, R.A. Forming and Forging, Volume 14, 9th edition of Metals Handbook, ASM International, 1988.
3. Барбарович Ю.К. Использование энергии сильного импульсного магнитного поля для прессования порошков. Порошковая металлургия, 1979г. С.24-31.
4. Миронов В.А.,Магнитно-импульсное прессование порошков, Рига: Зинатне, 1980г.,192 с.
5. Mironov, V., Wolf, H. Pulververdichten durch elektromagnetische Kräfte Herstellunsmöglichkeit für Werkzeugaktivelements. Fertigungetechnik u. Betrieb. – 1980. – N 9. s. 558-560.
6. I. Molochkov, M. R. Leruma, V. A. Mironov, U. Ya. Sedmalis. Combined impulse-static method of pressing technical ceramics. Glass and Ceramics (1989). Translated from Steklo i Keramika, No. 10, pp. 15–17, October, 1989.
7. S. Paranin, V. Ivanov, A. Nikonov, A. Spirin,V. Khrustov, S. Ivin, A. Kaygorodov, and P. Korolev.Advances in Science and Technology 45,899 (2006).
8. Kim J.H., Rumman M.R., Rhee C.K., Lee J.G., Lee M.K. & Hong S.J. (2011). Fabrication and Densification Behavior Analysis of Metalizing Targets Using ZrO2 Nanopowders by Magnetic Pulsed Compaction. *Materials Transactions*, Vol. 52, No. 6 (2011) pp.1156 to 1162
9. А.А. Боков, Г.Ш. Болтачев, Н.Б. Волков. С.В. Заяц, А.М. Ильина, А.А. Ноздрин, С.Н. Паранин, Е.А. Олевский. и др. Одноосное компактирование нанопорошков на магнитно-импульсном прессе. Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 10.