

РЕЗЕРВЫ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА

Миницкий А. В., к.т.н., с.н.с., доцент кафедры высокотемпературных материалов и порошковой металлургии Национального технического университета Украины «КПИ» (г. Киев), E-mail: minitsky@i.ua;

Сосновский Л. А., к.т.н., с.н.с. Института проблем материаловедения имени И. Н. Францевича НАН Украины (г. Киев);

Лобода П. И., д.т.н., профессор, декан инженерно-физического факультета Национального технического университета Украины «КПИ» (г. Киев), E-mail: petrloboda@yandex.ru

Впервые проведено исследование допрессовки без зазора цилиндрических брикетов, полученных прессованием порошка железа в разъемной пресс-форме, и допрессовки этих брикетов в той же пресс-форме. Часть спрессованных брикетов подвергали отжигу в водороде при температуре 850 °С; допрессовку брикетов проводили как в исходном состоянии, так и предварительно смазав их поверхность вазелином. Установлено, что допрессовка брикетов позволяет повысить их плотность после отжига более существенно чем без их отжига; влияние смазки на результаты допрессовки незначительно. Показано, что сохраняется зависимость плотности допрессованных брикетов от давления первичного прессования. Допрессовка и отжиг брикетов из промышленных смесей на основе железа позволяют выявить возможности улучшения свойств и качества спеченных порошковых материалов.

Ключевые слова: порошок, железо, брикет, допрессовка, смазка, отжиг, плотность.

Введение. Уже очевидно, что общий ресурсно-энергетический кризис обрел давно прогнозируемые формы [1]. Успешное противостояние его развитию возможно только при использовании новых технологий, разработка которых требует более полного выявления свойств наиболее дешевых и недефицитных отечественных материалов, в частности порошка железа марки ПЖРВ200.28. Однако известные данные [2–8] по уплотняемости порошков железа при разных давлениях носят, сравнительный характер и не позволяют выявлять дополнительные технологические возможности использования порошков железа со сравнительно невысокой уплотняемостью. Давние исследования допрессовки спеченных и отожженных брикетов из порошков железа и никеля [9–11] также недостаточно информативны.

Целью настоящей работы являлось определение резерва уплотняемости не отожженных и отожженных брикетов, полученных прессованием порошка железа и последующей допрессовкой этих брикетов в той же пресс-форме.

Методика эксперимента. Использовали порошок железа марки ПЖРВ200.28 в состоянии поставки, прессование которого из состояния утряски проводили в неновой (частично изношенной) разъемной стальной пресс-форме с исходным рабочим диаметром 10 мм. Для проведения двухстороннего одностадийного прессования пресс-форму с вложенным нижним пуансоном предварительно устанавливали на резиновые пластины, затем в нее засыпали навеску, проводили утряску навески и вставляли верхний пуансон после чего проводили прессование, распрессовку и извлечение образца – цилиндрического брикета. Полученные таким образом цилиндрические брикеты подвергали допрессовке по известной методике [11] в той же пресс-форме (т.е. подвергали раздельной беззазорной допрессовке). Для этого на плоской плите устанавливали клинья пресс-формы; поддерживая вручную их сведенное состояние, вталкивали цилиндрический брикет в канал пресс-формы на необходимую глубину. После фиксации брикета между сомкнутыми клиньями пресс-формы на ее клинья набивали обойму и проводили выравнивание клиньев по высоте; далее в пресс-форму вставляли пуансоны, размещали ее на резиновых пластинах и проводили допрессовку и распрессовку. Брикеты подвергали допрессовке как без смазки, так и со смазкой; в последнем случае готовые брикеты вручную смазывали аптечным вазелином; часть полученных брикетов перед их допрессовкой отжигали в водороде при 850 °С в течение 30 мин. С брикетов удаляли

облой, после чего определяли их вес, высоту и диаметр, по которым рассчитывали их плотность.

Результаты исследования. На рис. 1 представлены плотность и высота брикетов, полученных прессованием равных по массе (8,3 г) навесок, а на рис. 2 плотность и высота навесок разной расчетной массы: 6,80, 7,20, 7,65, 8,24 и 8,3 г.

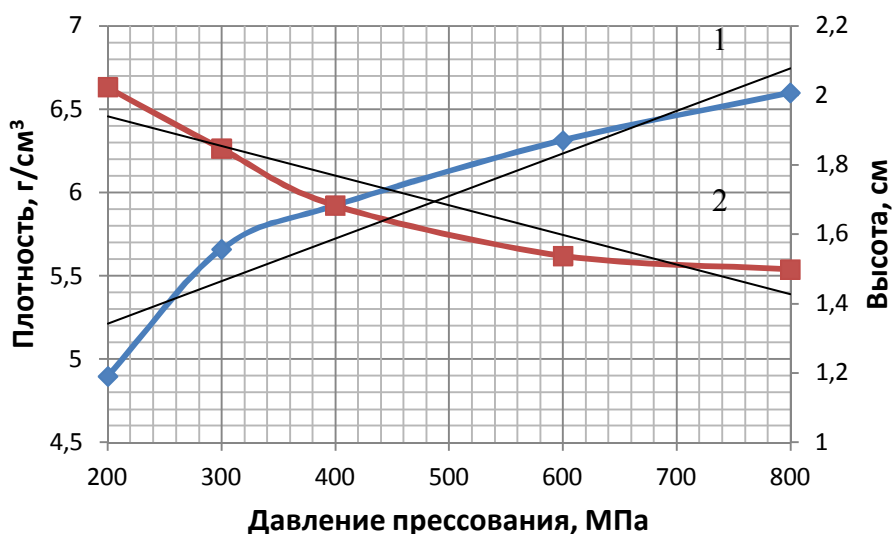


Рисунок 1 – Плотность (1) и высота (2) брикетов из навесок порошка железа равной массы (8,3 г) в зависимости от давления прессования.

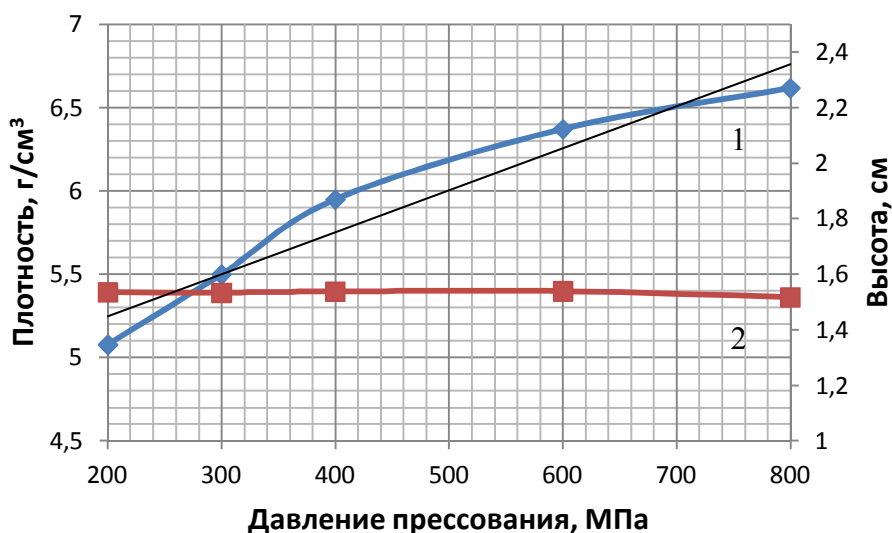


Рисунок 2 – Плотность (1) и высота (2) брикетов из увеличивающихся по массе навесок порошка железа в зависимости от давления прессования.

Сравнение приведенных зависимостей свидетельствует о том, что плотность брикетов имеющих разную высоту (рис. 1) и одинаковую высоту (рис. 2) практически идентична. Таким образом, плотность не зависела от высоты, а следовательно от значения площади их боковой поверхности в исследуемом диапазоне давлений. Следовательно, использование равных навесок являлось корректным, поэтому дальнейшие эксперименты проводились с одинаковыми навесками 8,3 г.

На рис. 3 приведены плотность брикетов полученных при разных давлениях прессования, и их плотность полученная после допрессовки брикетов без смазки при одном давлении равном 700 МПа.

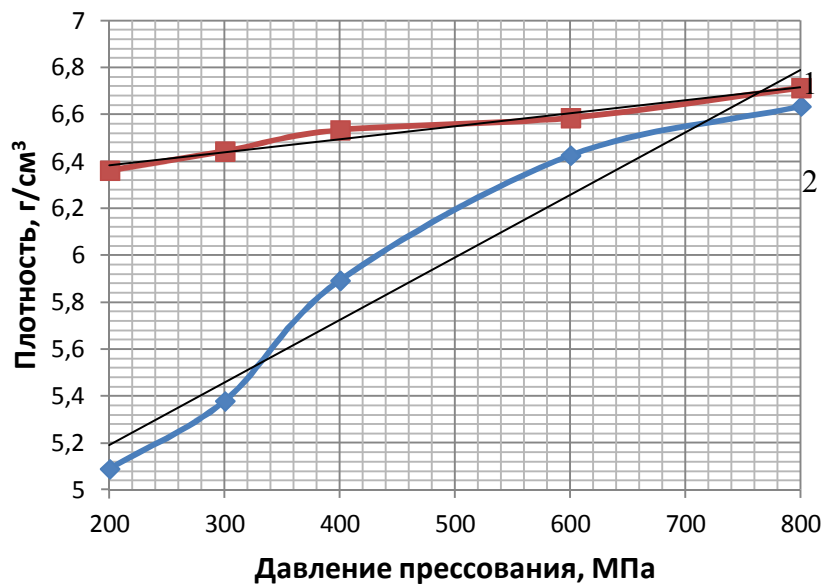


Рисунок 3 – Плотность брикетов полученных при разных давлениях пресования (1) и их плотность после допрессовки при одном давлении 700 МПа (2)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что допрессовка брикетов приводит к увеличению их плотности, даже если давление допрессовки несколько ниже максимального давления первичного пресования. Зависимость плотности допрессованных брикетов от давления первичного пресования сохраняется, хотя она и сглажена. Допрессовка брикетов, повидимому, приводит к выравниванию их плотности по высоте; после допрессовки уменьшается визуально наблюдаемая зона непропрессовки в их центральной части. Была получена подобная зависимость и плотности брикетов которые перед допрессовкой смазывали вазелином; при этом установлено, что при использованных условиях пресования смазка брикетов влияет на увеличение их плотности при допрессовке незначительно. Данное обстоятельство было проверено в измененных условиях эксперимента – брикеты, спрессованные при одном давлении смазывали и подвергали допрессовке при разных давлениях. На рис. 4 приведена плотность брикетов спрессованных при 200 МПа, смазанных и допрессованных при разных давлениях в сравнении с плотностью брикетов, спрессованных одномоментно при разных давлениях из порошка.

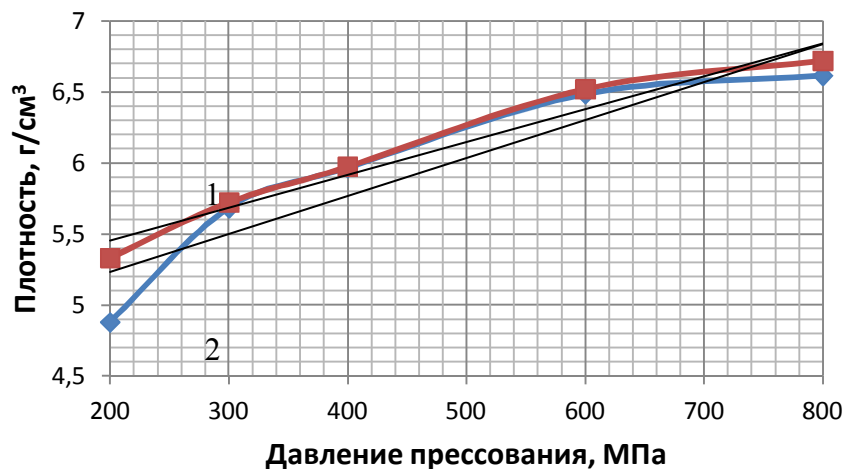


Рисунок 4 – Плотность брикетов полученных пресованием при 200 МПа, смазанных и допрессованных при разных давлениях (1) и плотность брикетов, полученных при тех же давлениях обычным пресованием железного порошка (2)

Приведенные данные (рис. 4) показали, что прессование–допрессовка позволило получить прирост плотности $0,45 \text{ г/см}^3$, сравнительно с однократным прессованием только при 200 МПа, при других давлениях это различие составило $0,04\text{--}0,004 \text{ г/см}^3$, т.е. при более высоких давлениях процесс допрессовки был идентичен однократному прессованию из состояния утряски (кривая 2). Таким образом, возможно внешнее контактное трение оказывает большее влияние в области малых давлений прессования (здесь 200 МПа).

Далее сравнивали допрессовку отожженных и неотожженных брикетов. На рис. 5 приведена плотность брикетов полученных при разных давлениях прессования, а также этих же брикетов отожженных и далее допрессованных без смазки.

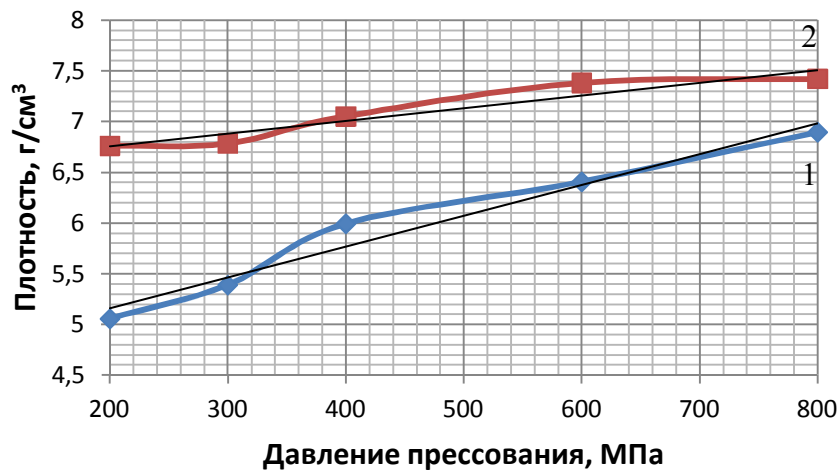


Рисунок 5 – Плотность брикетов, полученных при разных давлениях прессования (1) и плотность после их отжига и допрессовки без смазки при одном давлении 700 МПа (2)

Полученные данные, свидетельствующие о том, что отжиг благоприятствует повышению плотности при допрессовке. Повторение этого эксперимента, но дополнительно со смазкой брикетов вазелином, показали, что нанесение смазки приводит к незначительному увеличению плотности. Полученные результаты нуждаются в более наглядном сравнении. На рисунке 6 приведены значения прироста плотности при допрессовке брикетов в зависимости от давления первичного прессования в вышеприведенных экспериментах.

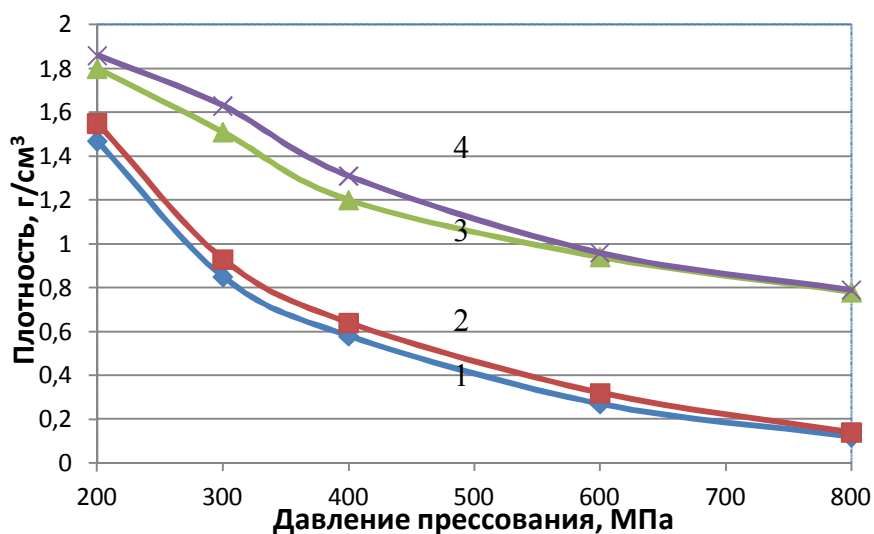


Рисунок 6 – Прирост плотности брикетов при их допрессовке при 700 МПа в разных условиях в зависимости от исходного давления их прессования: 1 – без отжига без смазки, 2 – без отжига со смазкой, 3 – с отжигом без смазки, 4 – с отжигом со смазкой

Приведенные данные свидетельствуют о том, что отжиг брикетов позволяет значительно увеличить их плотность посредством допрессовки. Достаточно очевидно, что в рамках заданной марки порошка железа дальнейшее повышение пластичности (и соответственно, их плотности при допрессовке) брикетов посредством их отжига маловероятно. Однако, замена отжига брикета его предварительным спеканием [9, 10] нецелесообразна, не только, по экономическим соображениям; спекание брикета может быть нецелесообразным и из-за образования шеек между частицами, что должно препятствовать их более плотной переукладке при допрессовке. Таким образом, из этих двух операций именно отжиг является более приемлемой альтернативой.

Поскольку каждая пресс-форма, особенно не новая, имеет свои особенности, отражающиеся на результатах прессования, был оценен и «фактор пресс-формы». Для этого использовали другую неновую разъемную пресс-форму с исходным рабочим диаметром 10 мм. Прессование в ней порошка железа и допрессовку в ней же полученных брикетов проводили при 700 МПа. Часть брикетов отжигали в менее стерильных условиях – в частично герметизированном контейнере [12] при 850 °С 0,5 час. Были получены следующие значения плотности (г/см³): после прессования и допрессовки 6,2307 и 6,7252 ($\Delta\rho = 0,4945$ г/см³); после прессования и отжига – 6,3294, после допрессовки – 7,0943 ($\Delta\rho = 0,7649$ г/см³). Таким образом, в разных пресс-формах были получены различные результаты.

Не менее важным является и «фактор уплотняемых частиц». В качестве последних использовали стружку – отход производства подшипников из стали ШХ-15, просеянную через сито с размером ячейки 3 мм. Прессование отожженной при 1050°С, 1 час в неполностью герметизированном контейнере стружки привело к снятию наклепа, что соответственно дало возможность ее уплотнения. Прессование стружки при 700 МПа и допрессовка брикетов при 700 МПа дали соответственно следующие значения плотности (г/см³): 5,1446 и 5,7822 ($\Delta\rho = 0,6376$ г/см³). Отжиг стружки при 850 °С в течение 0,5 часа позволил получить при ее прессовании при 700 МПа плотность брикетов равную 6,07 г/см³, после их допрессовки – 6,31 г/см³ ($\Delta\rho = 0,24$ г/см³).

Сравнение приведенных значений плотности исходных неотожженных и отожженных допрессованных брикетов из железного порошка свидетельствует о том, что в реальных условиях исследований, проводимых в различных организациях с использованием реально отличающейся пресс-оснастки, получение полностью совпадающих результатов маловероятно; наоборот, «дрейф» значений плотности, по-видимому, является весьма вероятным. Однако, наличие «дрейфа» плотности не нарушает имеющейся закономерности: допрессовка брикетов без их отжига повышает, а с отжигом – существенно повышает плотность брикетов. Этот прирост плотности может быть разным, но независимо от этого его наличие представляет следующие дополнительные возможности:

- дает полное представление о сравнительной уплотняемости различных порошков железа и смесей на его основе, необходимое для разработки технологий изготовления изделий;

- при использовании известных способов допрессовки принципиально позволяет существенно повысить функциональные свойства изделий на основе порошка железа, без использования дорогих и дефицитных легирующих.

- использование отжига и допрессовки позволяет полнее выявить полезные свойства стальных отходов и возможность их сочетанного использования с порошком железа.

В соответствии с этим, приведенные в настоящей работе результаты позволяют полагать, что определение прироста плотности при допрессовке отожженных и неотожженных брикетов можно рассматривать как обязательный начальный этап технологических исследований, а использование разъемных пресс-форм позволяет значительно упростить и ускорить эту часть исследований. Следует также подчеркнуть, что допрессовка отожженных брикетов, переводящая их в состояние закрытой пористости, существенно снижает требования к их защите от окисления в процессе спекания и тем самым устраняет обязательность использования проточных защитных

газовых сред. По-видимому, возможно проведение как отжига, так и спекания в неполностью герметизированных контейнерах [12], что важно при невозможности использования защитных газов.

Выводы:

1. Исследован процесс прессования и допрессовки в одной и той же разъемной пресс-форме, т. е. без зазора между стенкой пресс-формы и брикетом из порошка железа.
2. Допрессовка несмазанных брикетов при давлении их прессования повышает их плотность преимущественно за счет уплотнения срединной части брикета.
3. Смазка незначительно и отжиг брикетов существенно приводят к дополнительному повышению их плотности при допрессовке.
4. Отжиг брикетов и их допрессовка перед спеканием обуславливают возможность изготовления изделий повышенной плотности, т.е. с более высокими функциональными характеристиками без использования дорогих лигатур.
5. При использовании промышленных смесей на основе порошка железа необходима информация о возможности повышения плотности изготавливаемых из них заготовок посредством допрессовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз критических ситуаций в развитии мирового сообщества и военно-политических конфликтов / [Дементьев В. А., Кузьмин В. И., Лебедев Б. Д., Матвеев Ю. А.]. – М. : Военное изд-во, 1995. – 160 с.
2. Федорченко И. М. Основы порошковой металлургии / И. М. Федорченко, Р. А. Андриевский. – К. : Изд-во АН УССР, 1963. – 420 с.
3. Hogan iron and steel powders for sintered components. – Hogan, 1998. – 245 p.
4. Влияние способов изготовления и технологических характеристик железных порошков на их прессуемость / Ю. Г. Ясницкий, А. Ф. Жорняк, И. Д. Радомысельский, Э. Я. Попиченко [и др.] // Порошковая металлургия, 1976. – № 5.– С. 91–96.
5. Жуковская Л. А. Исследование путей повышения физико-механических характеристик спеченных углеродистых конструкционных материалов производства : Автореф. дисс. канд. наук / Л. А. Жуковская – К., 1974. – 24 с.
6. Акименко В. Б. Перспективные марки железных и легированных порошков ОАО ГНЦ ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина / Акименко В. Б., Гуляев И. А., Калашникова О. Ю. и др. // Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии : тез. докл. Международн. конф. (25–28 ноября 1997 г.). – К., 1997. – С. 78.
7. Пат. № 18857. Способ получения железного порошка / Пиоро Э. Ч., Данилов Л. И., Липухин Ю. В. – Заявл. 24.03.2004; опубл. 27.04.2004.
8. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения : справочник. / [И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский и др.]. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
9. G. Bockstiegel (1957) Arch. // Eisenhiittenwesen, 28, 3. – P. 167.
10. Артамонов А. Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов / А. Я. Артамонов. – К.: Наук. нумка, 1965. – 263 с.
11. Мартынова И. Д. Физические особенности пластической деформации пористых тел. Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. / И. Д. Мартынова – К. : Наук. думка, 1985. – С. 98–105.
12. Сосновский Л. А. Особенности спекания без использования проточных газовых сред в контейнере с неполной герметизацией / Л. А. Сосновский, Г. А. Баглюк, О. В. Власова // Порошковая металлургия. – 2013. – № 1/2. – С. 129–137.

REFERENCES

1. Dementjev V. A., Kuzjmin V. I., Lebedev B. D. & Matveev Yu. A. (1995). *Prognoz kriticheskikh situacij v razvitii mirovogo soobthstva i voenno-politicheskikh konfliktov*. М. : Voennoe izd-vo.

2. Fedorchenko I. M. & Andrievskiy R. A. (1963). *Osnovih poroshkovoy metallurgii*. K. : Izd-vo AN USSR.
3. *Hoganas iron and steel powders for sintered components* (1998). Hoganas.
4. Yasnickiy Yu. G., Zhorniyak A. F., Radomihseljskiy I. D., Popichenko Eh. Ya. Et al. (1976). Vliyanie sposobov izgotovleniya i tekhnologicheskikh kharakteristik zheleznykh poroshkov na ikh pressuemostj. *Poroshkovaya metallurgiya*, 5, 91–96.
5. Zhukovskaya L. A. (1974). Issledovanie putey povysheniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik spechennykh uglerodistikh konstrukcionnykh materialov proizvodstva. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev.
6. Akimenko V. B., Gulyaev I. A., Kalashnikova O. Yu. et al. (1997). Perspektivnihe marki zheleznykh i legirovannykh poroshkov OAO GNC CNIChermet im. I. P. Bardina. *Novyjshe processih i materialih v poroshkovoy metallurgii : tez. dokl. Mezhdunarodn. konf.* Kiev, 78.
7. *Pat. № 18857*. Sposob polucheniya zheleznoho poroshka / Pioro Eh. Ch., Danilov L. I., Lipukhin Yu. V.. – Zayavl. 24.03.2004; opubl. 27.04.2004.
8. Fedorchenko I. M., Francevich I. N., Radomihseljskiy I. D. et al. (1985). *Poroshkovaya metallurgiya. Materialih, tekhnologiya, svoystva, oblasti primeneniya : spravochnik*. K. : Nauk. dumka.
9. G. Voskstiegel (1957) *Arch. Eisenhiittenwesen*, 28, 3. 167.
10. Artamonov A. Ya. (1965). *Vliyanie usloviy obrabotki na fiziko-mekhanicheskoe sostoyanie metallokeramicheskikh materialov*. K.: Nauk. numka.
11. Martihnova I. D. (1985). *Fizicheskie osobennosti plasticheskoy deformacii poristikh tel. Reologicheskie modeli i processih deformirovaniya poristikh poroshkovykh i kompozicionnykh materialov*. K. : Nauk. dumka.
12. Sosnovskiy L. A., Baglyuk G. A., Vlasova O. V. (2013). Osobennosti spekaniya bez ispolzovaniya protochnykh gazovykh sred v konteynere s nepolnoy germetizaciej. *Poroshkovaya metallurgiya*, 1/2, 129–137.

Мініцький А. В., Сосновський Л. О., Лобода П. І. РЕЗЕРВИ УЩІЛЬНЮВАНOSTI ПОРОШКУ ЗАЛІЗА

Уперше проведено дослідження допресовки без зазору циліндричних брикетів, отриманих пресуванням порошку заліза в роз'ємній прес-формі, і допресовки цих брикетів в тій же прес-формі. Частина спресованих брикетів піддавали відпалу в водні при температурі 850 °C; допресовку брикетів проводили як в початковому стані, так і попередньо змастивши їх поверхню вазеліном. Установлено, що допресовка брикетів дозволяє підвищити їх щільність після відпалу більш істотно ніж без їх відпалу; вплив мастила на результати допресовки незначні. Показано, що зберігається залежність щільності допресованих брикетів від тиску первинного пресування. Допресовка та відпал брикетів з промислових сумішей на основі заліза дозволяють виявити можливості поліпшення властивостей і якості спечених порошкових матеріалів.

Ключові слова: порошок, залізо, брикет, допресовка, мастило, відпал, щільність.

Minitsky A.V., Sosnovsky L.O., Loboda P.I. RESERVES COMPRESSIBILITY OF IRON POWDER

First studied re-pressing gapless cylindrical bales produced by compressing iron powder in a split mold and re-pressing these briquettes in the same mold. The part of compressed briquettes annealed in hydrogen at 850 °C; re-pressing briquettes were carried out as in the initial state, and after brushing their surface with Vaseline. It is found that the compact briquettes improves their density after annealing is more significant than without annealing; the impact of grease on the results re-pressing slightly. It is shown that the dependence of briquette is stored pressing density from the primary compacting pressure. Re-pressing briquettes and annealing of commercial iron-based mixtures allow to identify properties and enhancement of quality of sintered powder materials.

Keywords: powder, iron, briquettes, re-pressing, grease, annealing, density.

© Мініцький А. В., Сосновський Л. О., Лобода П. І.

Статтю прийнято
до редакції 26.04.16