

УДК 621.762.4.04

А.В. Миницкий¹, Л.А. Сосновский², А.И. Быков², П.И. Лобода¹¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина²Институт проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАН Украины, Киев, Украина**ПРОЦЕССЫ ВТОРИЧНОГО УПЛОТНЕНИЯ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА**

Исследовано доуплотнение цилиндрический брикетов на основе железного порошка их допрессовкой в камере высокого давления (КВД) или их свободной осадкой между двумя твердыми пластинами. Установлено, что свободная осадка в направлении первичного прессования более эффективна для снижения пористости брикетов чем объемное их обжатие в КВД. Особенность неоднородной деформации брикетов была учтена при исследовании доуплотнения свободной осадкой трехслойных брикетов с различным содержанием графита в слоях. Сделан вывод о целесообразности этого способа для изготовления изделий способных к самозатачиванию кромок. Предполагается перспективность комбинированных схем свободной осадки отожженных брикетов.

Ключевые слова: порошок, прессование, допрессовка, камера высокого давления, свободная осадка, пористость, железо, графит, слоистые брикеты.

А.В. Мініцький, Л.О. Сосновський, О.І. Биков, П.І. Лобода**ПРОЦЕСИ ВТОРИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ БРИКЕТІВ НА ОСНОВІ ПОРОШКУ ЗАЛІЗА**

Досліджено доущільнення циліндричний брикетів на основі залізного порошку їх допрессовкою в камері високого тиску (КВТ) або їх вільної осадкою між двома твердими пластинами. Встановлено, що вільна осадка в напрямку первинного пресування більш ефективна для зниження пористості брикетів ніж об'ємне їх обтиснення в КВТ. Особливість неоднорідної деформації брикетів була врахована при дослідженні доущільнення вільною осадкою тришарових брикетів з різним вмістом графіту в шарах. Зроблено висновок про доцільність цього способу для виготовлення виробів здатних до самогострюванню крайок. Передбачається перспективність комбінованих схем вільної осадки відпалених брикетів.

Ключові слова: порошок, пресування, допрессовка, камера високого тиску, вільна осадка, пористість, залізо, графіт, шаруваті брикети.

A.V. Minitsky, L.A. Sosnovsky, A.I. Bykov, P.I. Loboda**PROCESSES OF SECONDARY SEALING OF BRIQUETS BASED ON IRON POWDER**

The pre-compacting of cylindrical briquettes on the basis of iron powder by prepressing them in a high-pressure chamber (HPC) or their free deposit between two solid plates is investigated. It was found that the free sediment in the direction of primary pressing is more effective in reducing the porosity of briquettes than their volume reduction in HPC. The peculiarity of the non-uniform deformation of briquettes was taken into account in the investigation of free compacting of three-layer briquettes with different graphite contents in layers. The conclusion is made about the expediency of this method for the manufacture of products capable of self-sharpening edges. Prospectivity of combined schemes of free precipitation of annealed briquettes is assumed.

Keywords: powder, pressing, prepressing, high pressure chamber, free sediment, porosity, iron, graphite, layered briquettes.

Постановка проблеми. Достижение высокой плотности ансамбля металлических частиц посредством их одностадийного прессования в той или иной степени решает задачу их консолидации, частично, или иногда полностью, заменяя процесс спекания полученного брикета [1, 2]. Реализованное в работе [2] холодное прессование порошка серебра, приводящее к получению плотных брикетов, имеющих прочность литого металла, по-видимому, является исключением. Дополнительное уплотнение сырых или спеченных брикетов их допрессовкой, свободной осадкой или обоими этими воздействиями в рамках одного нагружения давно исследовались и практически использовались как универсальная возможность достижения ими высокой плотности [3-7]. Несмотря на формальную давность исследований по доуплотнению брикетов, эти результаты недостаточно информативны и не связаны между собой. Иными словами, известные данные свидетельствуют об очевидной полезности уплотнения, однако некие неочевидные обстоятельства или причины препятствуют исследованию и широкому использованию доуплотнения порошковых брикетов.

Постановка задач. Целью настоящей работы являлось исследование доуплотнения порошка железа и смесей на его основе, для выявления новых возможностей его практического применения.

Изложение основного материала. Использовали порошок железа марки ПЖРВ200.28 или (и) его смеси с порошком графита марки ГС-4. Их прессовали в стальной разъемной пресс-форме с рабочим диаметром 10 мм при давлении 700 МПа с получением брикетов цилиндрической формы. Часть полученных брикетов для снятия наклепа отжигали в водороде при 800°C в течение 1 часа. Полученные (неотоженные и отоженные) брикеты доуплотняли с применением двух известных методик: а) допрессовки брикетов в камере высокого давления – КВД типа «чечевица» [7], б) свободной осадки брикетов между двумя твердыми пластинами вдоль или поперек направления их прессования [6]. Для допрессовки в КВД навеску порошка железа подбирали таким образом, чтобы высота полученного из него брикета была или равной высоте контейнера ~14 мм или превышала ее не более чем на 1мм. Диаметр отверстия каналов контейнеров КВД составлял ~ 10 мм. Брикет диаметром 10 мм размещался в контейнере с минимальными зазорами. Процесс допрессовки производился в два непрерывных этапа: подъем усилия прессы до 2500 кН за 15 с. и выдержкой КВД под давлением 60 с.

Установлено, что после допрессовки исходные высота и диаметр (14,0 и 10,0 мм) брикетов изменились (12,0–12,5 и 11,5–11,7 мм). На рис. 1 представлены характерный внешний вид и продольное сечение брикетов, полученных отжигом и допрессовкой в КВД.



Рис. 1. - Внешний вид и продольное сечение брикетов, полученных отжигом и допрессовкой в КВД

На рис. 2 показана плотность исходных брикетов, полученных при разных давлениях прессования, и их плотность после допрессовки в КВД.

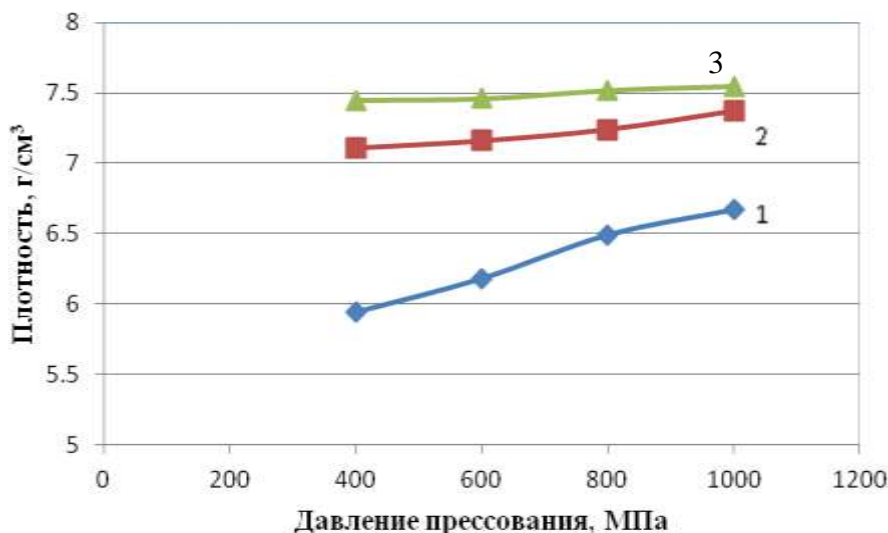


Рис. 2. - Зависимость плотности брикетов из порошка железа от давления прессования: в стальной пресс-форме (1), допрессовки их в КВД без отжига (2) и их допрессовки в КВД после отжига (3)

Установлено (рис. 2), что склонность неотоженных брикетов к расслою при допрессовке в КВД снижается при повышении их исходной (до допрессовки) плотности; количество брикетов (из трех) претерпевших расслой равно 3, 2, 0, 1 соответственно. Отжиг брикетов до допрессовки в

КВД устранял их расслой полностью. Представленные на рис. 2 данные показывают, что отжиг брикетов несколько повысил их плотность при допрессовке сравнительно с неотожженными, что хорошо корреспондирует с тем обстоятельством, что отжиг брикетов полностью подавил их расслой.

Доуплотнение брикетов свободной осадкой проводили следующим образом. Неотоженные и отоженные брикеты помещали между двумя стальными закаленными пластинами и подвергали сдавливанию при усилии 10–200 кН, которое прикладывалось как вдоль (схема 1), так и перпендикулярно оси прессования брикетов (схема 2).

Установлено, что неотожженные брикеты из железа подвергаются осадке по схеме 1 с хрупким разрушением периферийной части. Наоборот, отоженные брикеты деформируются пластично с закономерным снижением высоты и увеличением диаметра, т.е. с протеканием пластического течения материала брикета, поэтому все последующие эксперименты проводили на отоженных брикетах.

Была проведена как однократная осадка отоженных брикетов в направлении перпендикулярном оси прессования, так и двукратная – с поворотом на 90° (с образованием практически квадратного сечения). На рис. 3 приведена плотность и сечение брикетов, подвергнутых осадке с поворотом при разных усилиях осадки.

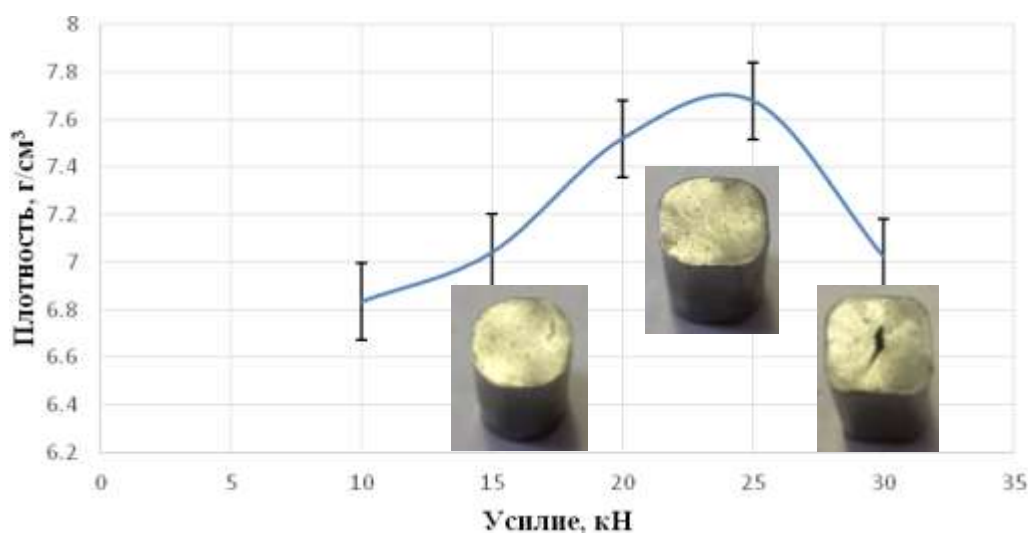


Рис. 3. - Плотность брикетов из порошка железа в зависимости от усилия свободной осадки в направлении перпендикулярном оси прессования

Установлено (рис. 3), что максимум плотности 7,6–7,65 г/см³ ($\Pi=2-3\%$) брикеты достигают уже при усилии 20 – 25 кН; увеличение усилия осадки до 30 кН и выше приводит к образованию в брикетах сквозной осевой полости.

На рисунке 4 представлена зависимость плотности брикетов от усилия осадки в направлении вдоль оси прессования. Допрессовке подвергали как чистые, так и покрытые слоем парафина брикеты.

Установлено, что рост плотности происходит при более высоких усилиях, сравнительно с предыдущей схемой осадки, и максимум плотности достигается при значениях усилия 60–70 кН. Данное обстоятельство может быть связано с различной ориентацией деформированных частиц железа в исходных брикетах. Небольшие усилии в направлении прессования не приводят к дополнительной деформации брикетов; снижение пористости начинается при более высоких нагрузках.

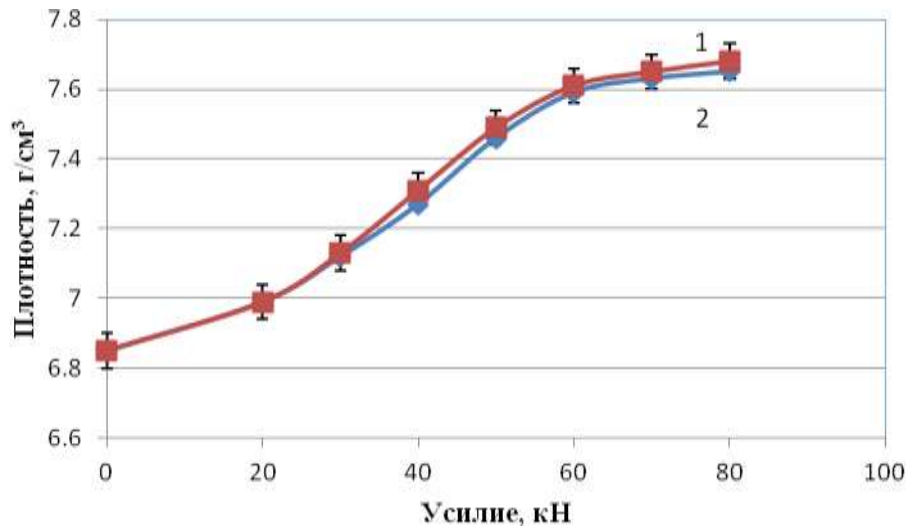


Рис. 4. - Плотность брикетов из порошка железа в зависимости от усилия свободной осадки в направлении вдоль оси прессования: 1 – со смазкой, 2 – без смазки

На рис. 5 представлено отношение D/H этих брикетов.

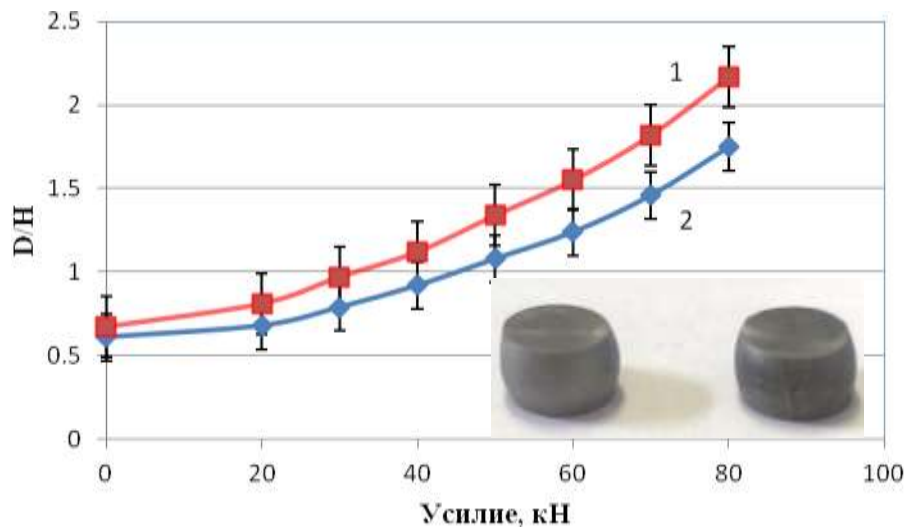


Рис. 5. – Зависимость D/H от усилия осадки в направлении вдоль оси прессования: 1 – без смазки, 2 – со смазкой

Установлено практическое отсутствие различия в значениях плотности брикетов подвергнутых осадке как со смазкой (парафин), так и без смазки. Однако наличие смазки оказало заметное влияние на соотношении D/H, которое определяет степень деформации образцов. Так, образцы, смазанные с торцов парафином, имеют меньшее значение D/H, т.е. имеет место облегченное течение материала по поверхностям пластин. Как следует из результатов металлографического анализа, существенной разницы в плотности брикетов допрессованных по различным схемам практически не наблюдается; в обоих случаях происходит интенсивное пластическое течение материала с затеканием зерен в поры.

Поскольку в описанных экспериментах порошок железа без добавок был использован качестве модельного порошкового материала, дальнейшие эксперименты проводили с порошковыми объектами, представляющими больший практический интерес. Так, для определения влияния графита на процессы прессования и свободной осадки, получали брикеты из смесей железо – графит с разным содержанием последнего.

На рисунке 6 представлены значения пористости отожженных железных брикетов с разным содержанием графита, полученных прессованием при 700 МПа их отжигом и доуплотнением свободной осадкой по второй схеме (вдоль оси прессования) при усиллии 200 кН.

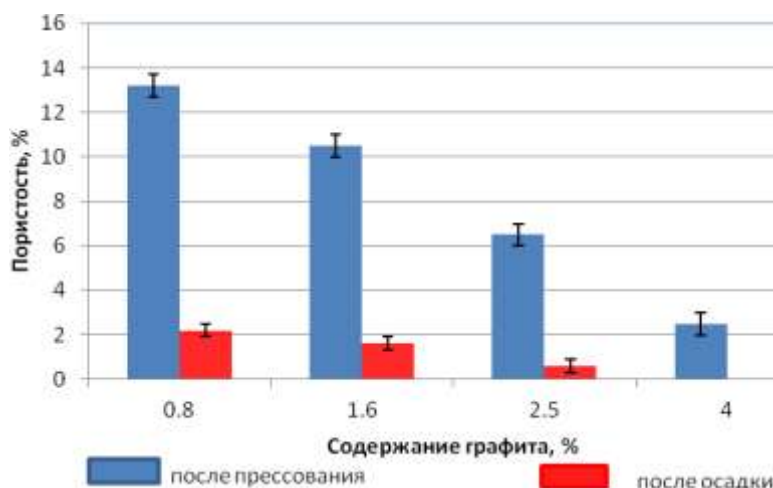


Рис. 6. – Пористость железографитовых брикетов после прессования и свободной осадки при усилии в зависимости от содержания в них графита

Как следует из представленных данных, увеличение количества графита от 0,8 до 4,0 % приводит к снижению пористости брикетов, что объясняется смазывающими свойствами графита и, соответственно, снижением межчастичного трения [5, 8, 9]. При свободной осадке брикетов их пористость снижается с сохранением аналогичной зависимости – с увеличением количества графита происходит снижение пористости (до 1–2 %). Неполнота представленных данных обусловлена разрушением при осадке брикетов, содержащих 4 % графита. Причиной этого, по-видимому, может быть меньшее пластичности материала из-за сравнительно низкой деформируемости прослоек из частиц графита, количество которого в последнем составе равно ~12,5 об. %. Так же как и брикеты из порошка железа (рис. 4) железографитовые брикеты, подвергнутые свободной осадке, имеют овализованные края из-за неравномерной деформации срединного и периферийных слоев. Сравнение габитусов брикетов, подвергнутых свободной осадке в направлении первичного прессования и брикетов, допрессованных в КВД свидетельствует о наличии общего характерного признака – выпячивание их срединной части. Эта особенность приводит к естественному предположению о целесообразности изготовления прессованием трехслойных брикетов, имеющих срединный слой состава, отличного от состава периферийных слоев. Уплотняющая свободная осадка может позволить изготавливать заготовки плоских изделий с овализованными закругленными краями, близкими по форме и размеру к клину – треугольной режущей кромке. Для подтверждения этого предположения было необходимым оценить деформируемость при свободной осадке трехслойного материалов, содержащих разное количество графита. Изготавливаемые брикеты содержали три горизонтальных железографитовых слоя толщиной ~ 1 мм: средний слой с содержанием графита 1,6 %, а периферийные слои - с 0,4 % графита. Структура трехслойных образцов с закругленными кромками изготовленных одновременным прессованием слоев при 700 МПа, отжигом и свободной осадкой при усилии 200 кН представлена на рис. 7.

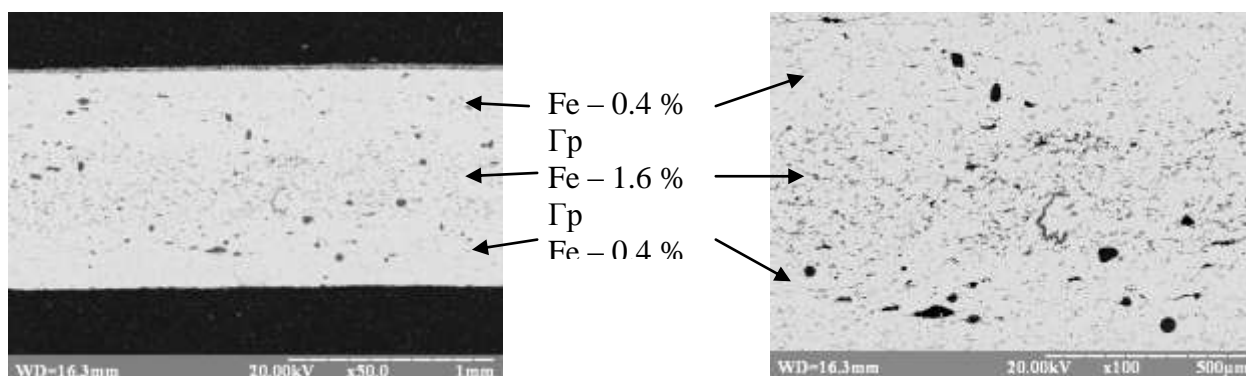


Рис. 7. - Структура трехслойного железо – графитового брикета после его осадки

Часть брикетов после осадки спекали при 1100 °С в течении 1 часа и проводили закалку в воду с 800 °С. Структура срединной части осажённых спечённых и осажённых спечённых и закалённых железографитовых образцов представлена на рисунке 8.

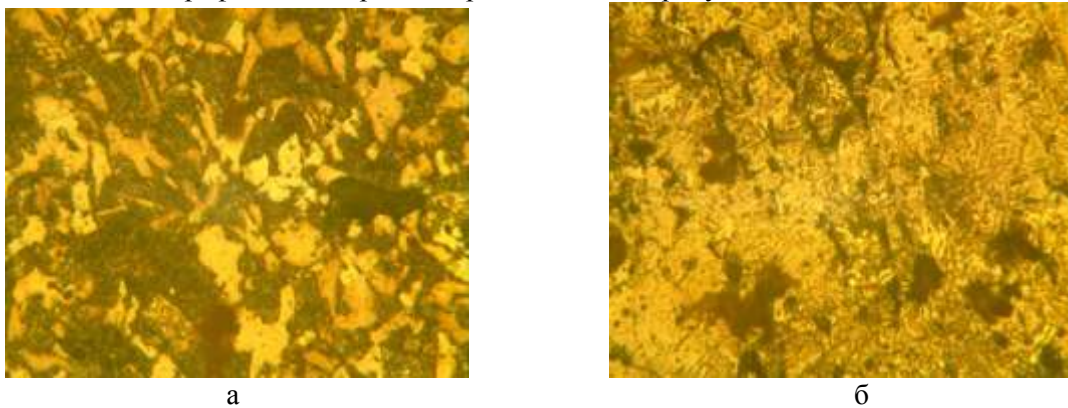


Рис. 8. - Макроструктура срединной части трехслойных брикетов, подвергнутых осадке (X1000): а – после спекания, б – после спекания и закалки

Срединная часть слоистого материала после закалки состоит из мартенсита и остаточного аустенита, что соответствует структуре метастабильной TRIP стали (ПНП стали) с высокой пластичностью, которые используются для изготовления высоконагруженных конструкционных материалов [10].

Определение микротвердости подвергнутых осадке спечённых незакалённых и закалённых трехслойных брикетов, показало экстремальный характер изменения микротвердости при переходе от одного слоя к другому (рис. 9). Максимальные значения микротвердости составляет ~ 3,1 – 3,2 ГПа, микротвердость внешних слоев равна ~ 1 ГПа.

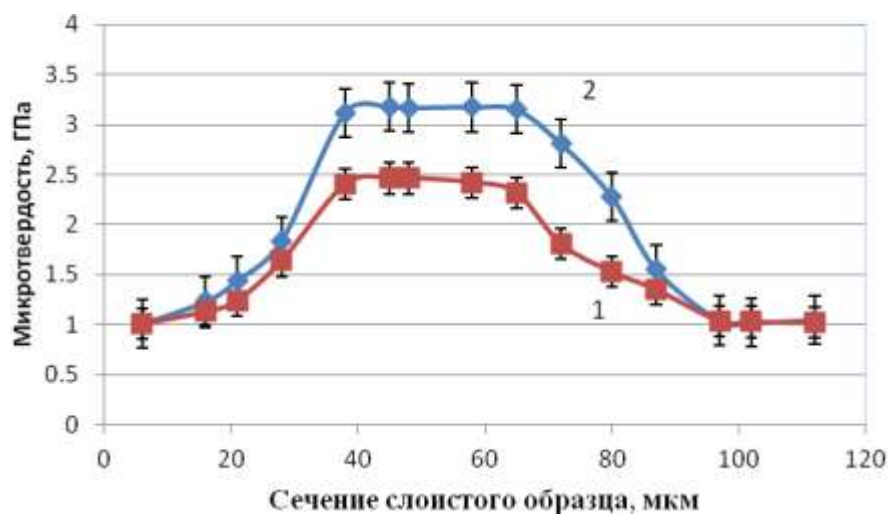


Рис. 9. - Микротвердость трехслойных образцов полученных свободной осадкой: 1– после спекания, 2 – после спекания и закалки

Проведенные исследования показали неэффективность использования однократного отжига цилиндрических брикетов до их свободной осадки в направлениях перпендикулярных давлению прессования - получаемые брикеты содержат полость (рис. 3). Наоборот, при свободной осадке брикетов направлении их первичного прессования их однократный отжиг вполне эффективен и может быть практически использован при получении плоских трехслойных деталей с внутренним твердым слоем, т.е. деталей способных к самозатачиванию в условиях абразивного износа. Основной предполагаемой трудностью в этом случае, по-видимому, является равномерное размещение порошковых слоев.

Сравнение пористости отожженных брикетов доуплотненных свободной осадкой в направлении их первичного прессования и пористости отожженных брикетов доуплотненных в

КВД, свидетельствует о том, что свободная осадка является более эффективным способом снижения пористости. Тем не менее, это сравнение предполагает возможность использования гибридных схем уплотнения – доуплотнения брикетов. Целесообразность практического использования таких схем естественно вытекает из различий пластической деформации центральной и периферийной частей брикетов, подвергаемого свободной осадке. Допрессовка в КВД, фактически является аналогом свободной осадки брикета с внешней двойной кольцевой поддержкой (керамический контейнер – пластмассовое кольцо). Такая кольцевая поддержка может регулировать процесс свободной осадки, т.е. влияние на допрессовку может быть важным, прежде всего, для сохранения целостности периферийной части допрессованного брикета, что в частности следует из известных данных [11].

Выводы:

1. Сравнение пористости доуплотненных брикетов из порошка железа в камере высокого давления с пористостью брикетов доуплотненных свободной осадкой свидетельствует об большей эффективности свободной осадки.
2. Показана целесообразность доуплотнения свободной осадкой трехслойных брикетов на примере железграфитовых образцов с разным содержанием графита в слоях.
3. Сделан вывод о перспективности исследований процесса свободной осадки брикетов с регулированием этого процесса внешней кольцевой поддержкой.

Список использованных источников:

1. Самсонов Г.В., Кушталова И.П. Прессование как первая стадия спекания / Теория и практика прессования порошков. Сб. научных трудов. – К.: ИПМ АН УССР, 1975. – С. 27 – 32.
2. Acid-assisted consolidation of powder compacts: cold-welding or cold sintering / Dariel M.P., Ratzker M., Eichmiller F.C. // J. Mater. Sci. – 1999. – 34, № 11. – P. 2601–2607
3. Артамонов А.Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов. Киев: Наук. Думка, 1965. – 263 с.
4. Мартынова И.Д. Физические особенности пластической деформации пористых тел. Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. Киев: Наук. думка, 1985. – с. 98–105
5. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – К.: Наукова думка, 1980. – 404 с.
6. Кун Х. А. Основные принципы штамповки порошковых заготовок / Х. А. Кун // Порошковая металлургия материалов специального назначения. – М. : Металлургия, 1977. – С. 143–158.
7. Акимов А.И. Физика уплотнения керамических материалов в процессе прессования при высоких давлениях / [А. И. Акимов](#), [Т. М. Акимова](#), [Г. К. Савчук](#) // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. ст. к 40-летию ИФТТП НАН Беларуси и 90-летию его основателя акад. Н. Н. Сироты / [Н. М. Олехнович](#). – Минск : Беларуская навука, 2003. – С. 298–309
8. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Справочник. / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысльский и др. Киев: Наук. Думка, 1985. – 624 с.
9. Мамедов В. А., Мамедов А. Т. Свойства высокоплотных порошковых материалов на основе железа, спрессованных без стеарата цинка // Порошковая металлургия. – 2003. - №5/6 – С. 33-36.
10. Специальные стали / Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. - М.: Металлургия, 1985. - 408 с.
11. Баглюк Г.А., Хоменко А.И. Сравнительный анализ деформированного состояния пористых заготовок при штамповке в закрытом и открытом штампах // Обработка материалов давлением. – 2012. – №2(31).– с.147–153

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017