

ПРЕССОВАНИЕ СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНЫХ ДИСКРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ ПРИ ВЫДАВЛИВАНИИ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ

Марков А.С., Кокорин А.В.

Ульяновский государственный технический университет
Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»
Научный руководитель: к.т.н., доц. Кокорин В.Н.

На кафедре «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета разработана и освоена промышленная технология по брикетированию тонкодисперсных железосодержащих пылей, что позволяет получать завалочный материал высокого качества: плотность $\geq 2,5 \text{ т/м}^3$ — требования ГОСТа; достаточная ударная прочность, что исключает образование отсева; компактность — уменьшение транспортных расходов; технологичность — улучшаются газодинамические условия плавки; уменьшение расходов при исключении высокотемпературного обжига (окатыши) и т. д.

Цели:

- Разработка метода и методик проектирования технологических процессов прессования.
- Разработка технологических процессов прессования многокомпонентных смесей с различным фазовым состоянием.

Задачи:

- Установление стадийности консолидации полидискретных тел.
- Разработка моделей консолидации полидискретных кластерных тел.
- Изучение функциональных связей процесса прессования.
- Разработка математических моделей уплотнения полидискретных систем в присутствии газовой-жидкостной составляющей.
- Разработка методик проектирования технологических процессов прессования плотноупакованных механических смесей в присутствии жидкой фазы.

Произведен анализ техногенных отходов производств: 1) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»; 2) ОАО «Северсталь»; 3) ОАО «НОСТА» (Новотроицкий металлургический комбинат). Основными техногенными твердыми железосодержащими отходами этих предприятий являются: 1) Пыль доменная (системы газоочисток); 2) Пыль конверторная (системы газоочисток). Как правило, железосодержащая пыль либо сухая, либо влажность составляет $W \leq (8...10)\%$ масс. доли. Нефтепродукты (масло) — отсутствуют. 3) Окалина прокатная водомаслосодержащая (системы отстойников) может находиться в следующих состояниях: а) пастообразное (масло и вода) $\geq (40...50)\%$ масс. доли; б) твердое — текущий шлак — (масло и вода) $\leq (15...20)\%$ масс. доли; в) твердое — шлак полигонов — (масло) $\leq (5...10)\%$ масс. доли; вода 0 %. Отходы (1,2,3) — окислены, $\text{Fe-}\alpha = (35...45)\%$.

Фазовое состояние пористой структуры зависит от допустимого набора фазовых состояний исходного вещества, однако, для анализа теоретических моделей выделим состояние двух основных элементов пористой среды прессовки: *образующая фаза* — структура, формирующая матрицу пористой среды и образующая ее основную структуру, как правило, имеет твердое поликристаллическое или аморфное состояние; *заполняющая фаза* — структура, находящаяся в поровом пространстве и образующая

(вместе с матрицей) единую гетерогенную систему; в момент транспортирования в поровое пространство имеет жидкое или газообразное состояние.

На начальной и завершающей стадиях прессования наблюдаются характерные различия выделенных структур: их непрерывность, связность, регулярность, анизотропия, фазовое состояние (рис. 1).

Использование физических и расчетных моделей предполагает учет особенностей структур на выделенных этапах прессования.

Теории пластичности, предложенные для любой рассматриваемой модели полидискретных кластерных тел с различным фазовым состоянием, должны обеспечивать возможность корректно описывать приведенные структурные модели.

Композит рассматривается как трехфазное тело матричного типа, имеющее структурные кластеры различных типов. Материал матрицы (первая фаза) – изотропный, упругий и несжимаемый (поликристаллический или аморфный) – матричный кластер. Вторая фаза представляет собой распределенные по объему поры, характеризующиеся их объемной долей (θ) – поровый кластер, а третья – распределенные по объему прессовки жидкие включения.

В соответствии с методологией структурнофеноменологического подхода, рассмотрим модель среды, представляющей собой конгломерат статически однородных плотноупакованных частиц изометрической формы, на границах которых локализуются несплошности. Укладка частиц при прессовании образует регулярные структуры, – поры, заполненные жидкой (связующее) и газовой фазами.

Жидкофазное связующее, содержащееся в шихте, с одной стороны уменьшает внешнее трение, а с другой – препятствует плотной упаковке дискретных порошковых частиц за счет их несжимаемости.

Процессы, протекающие во внутривпоровом пространстве, отличаются существенным детерменизмом и в значительной степени определяются как взаимодействием (сдвиговые деформации) между частицами самой жесткой матрицы проницаемой структуры, так и межфазным взаимодействием между наполнителями пор и жестким каркасом. При этом реализуется как адсорбция – поглощение поверхностью пористого материала на открытых поверхностях тела, так и адсорбция, – поглощение объемом пористого каркаса тела. В результате эти процессы во всесторонней совокупности структурных и физических явлений характеризуются четко выраженной нелинейностью как во временной, так и в пространственной областях, при этом уплотнение деформируемого тела реализуется в соответствии как с дискретной, так и с гомогенной моделями (в соответствии со стадийностью процесса уплотнения).

Гомогенная модель является достаточно наглядным и удобным способом континуального представления трехфазной среды: несжимаемая матрица – газовая фаза (поры) – жидкостная фаза (а также как вариант: матрица – газовая фаза (поры) – газожидкостная смесь). Смесь жидкости и газа можно рассматривать как некую однородную среду со средней температурой T , скоростью транспортирования U , плотностью ρ и давлением p . Давление в жидкой фазе p_1 либо равно давлению в газовой фазе p_2 , либо отличается на величину лапласовского давления $\Delta p = 2\sigma / R$, обусловленного поверхностным натяжением на границе газ – жидкость (R – радиус поры, σ – коэффициент поверхностного натяжения). Очевидно, температуры и скорости транспортирования (движения) фаз равны.



Рис. 1. Характеристика формируемой структуры (□ – 1 стадия; □ – 2 стадия)

Первая стадия уплотнения (структурная) характеризуется значительным преобладанием автономной деформации, нарушающей контакты насыпки. После снятия нагрузки формовка превращается в несвязанное сыпучее тело. При необходимости ограничения первой стадией уплотнения следует вводить в формуемую шихту ЖСС. При использовании двухкомпонентной шихты, содержащей жидкую фазу, «арки» заполняются как твердыми частицами, так и жидкой фазой, причем, преимущественное перемещение наблюдается прежде всего у жидкой фазы.

Вторая стадия уплотнения характеризуется пластической деформацией частиц твердой среды приконтактных областей. Препятствием для образования контактов являются пленки ЖСС, при этом жидкая фаза частично или полностью выдавливается в поры.

На первой стадии наблюдается переукладка дискретных частиц матрицы и транспортирование в поры газа и жидкости. На второй стадии материал прессовки – беспористая структура – деформируется как и компактный, однако, при этом действует гидростатическое давление в жидкости. При использовании смеси с наличием жидкой фазы третья стадия прессования соответствует механизму перемещения объема металла в компактном состоянии.

Экспериментально установлена кривая уплотнения дисперсных материалов в присутствии ЖСС (рис.2). Твердая фаза – дисперсный металлический порошок - 85% масс.доля, жидкая фаза (связующее, вода, ацетон) - 15% масс.доля.

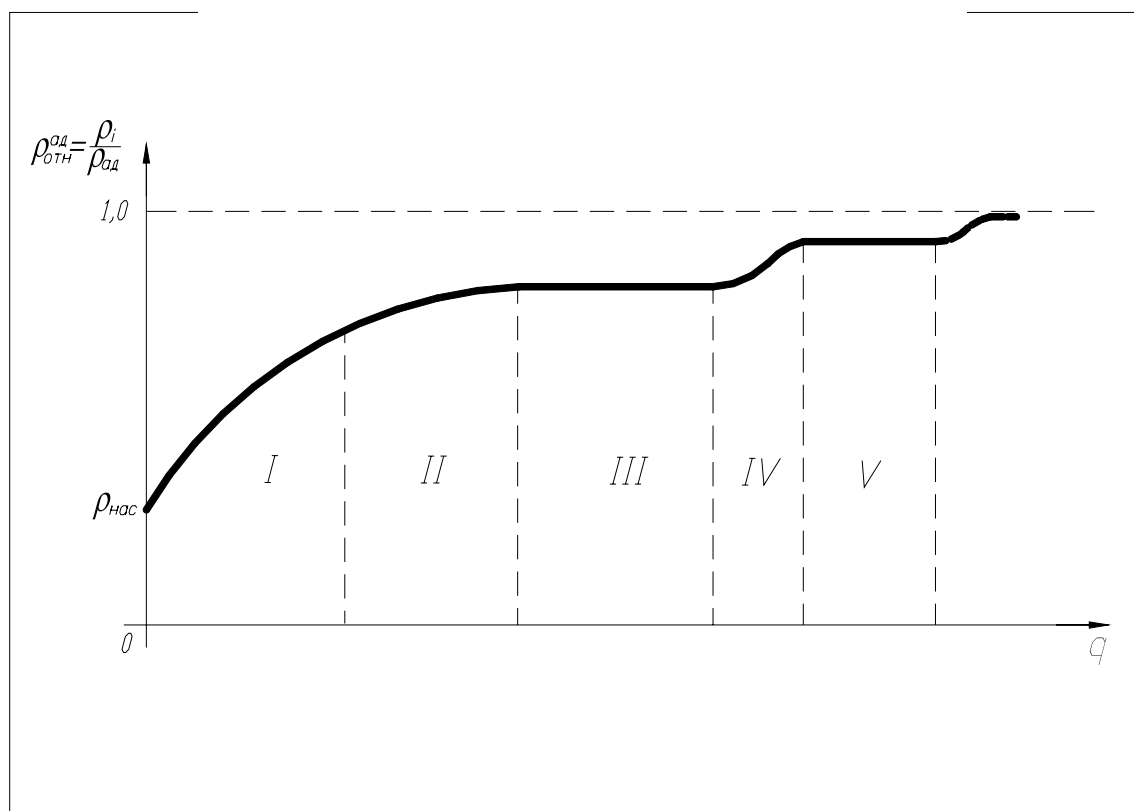


Рис.2 Экспериментальная кривая уплотнения

Первая стадия – переукладка частиц, резкое уменьшение порового пространства; вторая стадия – интенсивное порозаполнение за счет затекания металла-основы и жидкой фазы в поры; третья стадия – пластическая деформация частиц, затекание металла-основы в поры; четвертая стадия – разрывы поверхности заготовки за счет

кавитации жидкой фазы при давлениях прессования свыше 1000 МПа; пятая стадия - «скелетное» схлопывание открытых дефектов структуры, остаточная пористость составляет 1-4 %.

Условиями промышленного освоения технологических процессов утилизации тонкодисперсных отходов аглодоменного (пыль доломита и известняка) и конверторных (железосодержащий шлам: $\text{Fe-}\alpha = 41\ldots 43$ % масс. доля) производств черной металлургии являются: определение и установление общей концепции рационального решения проблем утилизации дисперсных техногенных отходов на основе обеспечения экологической безопасности промышленного производства и ресурсосбережения; выявление механизмов смесеприготовления и прессования брикетов; минимизация трудоемкости и энергосиловых параметров образования гомогенной структурнонеоднородной, плотноупакованной механической смеси.

Пути решения поставленных проблем явились следующие мероприятия:

- изучение структуры и свойств основных видов тонкодисперсных отходов аглодоменного и конверторного производств;

- выявление функциональных связей между контролируемыми входными технологическими параметрами и выходными откликами – параметрами оптимизации, которые определяют характеристики процессов утилизации;

- определение влияния содержания (массовой доли) связующего, его вида и структуры, давления прессования (и его технологической схемы), времени и интенсивности перемешивания, рациональной траектории принудительного движения дисперсных частиц (с целью получения гомогенной структуры смеси) на механическую прочность (хрупкость) брикетов при динамических нагрузках.

Эксперименты по определению характеристик прессования осуществляли обжатием брикетируемой массы в замкнутом пространстве под фиксированным давлением. Брикетировали на гидравлическом прессе с номинальным усилием 1600 кН по схеме одностороннего прессования при давлениях от 50 МПа ($0,5 \text{ т/см}^2$) до 200 МПа (2 т/см^2), что соответствует силовым режимам и схемам нагружения брикетировочного валкового пресса.

На количественном и качественном уровнях выявлено влияние массовой доли жидкого стекла (%), давления прессования (q , МПа) и времени перемешивания (T , мин) на механическую прочность на сжатие брикетов ($\sigma_{\text{сж}}^{\text{сж}}$, МПа); их относительную плотность ($\rho_{\text{отн}}$, %) и ударную прочность (хрупкость) – процент хрупкого отсева; относительную высоту брикета (h/d) – геометрическую характеристику формообразования; усилие выталкивания брикета ($P_{\text{выт}}$, кН).

Установлена детерминированная связь указываемых характеристик со временем хранения готовых брикетов, продолжительностью перемешивания и массовой долей жидкого стекла. Усилие выталкивания брикетов из прессформы (выпрессовывание) уменьшается с уменьшением давления прессования, времени перемешивания и массовой доли жидких связующих сред (ЖСС). Механические испытания брикетов на сжатие проводили на испытательной машине модели УМД-20. Нагружение – статическое, процесс останавливается при образовании развитой макротрещины. Испытания образцов проводили согласно рекомендациям и течение 24 часов после изготовления смеси и брикетирования. Процент отсева определяли по нормам отрасли. Отпрессованные брикеты (суммарная масса 10 кг) сбрасывали с высоты 2 метра на бетонное основание. Затем эту партию брикетов сбрасывали повторно. По итогам двухкратного сбрасывания рассеивали фрагменты с целью установления их гранулометрического состава. Выявляли массовую долю (%) тонких фрагментов, имеющих усредненный диаметр $d_{\text{уср}} \leq 5$ мм, считающихся отсевом, идущим на повторную переработку (утилизацию).

На рис. 1. представлена интерпретация функциональных зависимостей $\sigma_{\theta}^{сж} = f$ (% – массовая доля жидкого стекла; q; T).

Установлено, что существует прямая детерминированная связь между уровнем механических свойств брикетов и массовой долей ЖСС. Причем, наибольшая прочность брикета обеспечивается после относительно длительного периода твердения (24 ч)

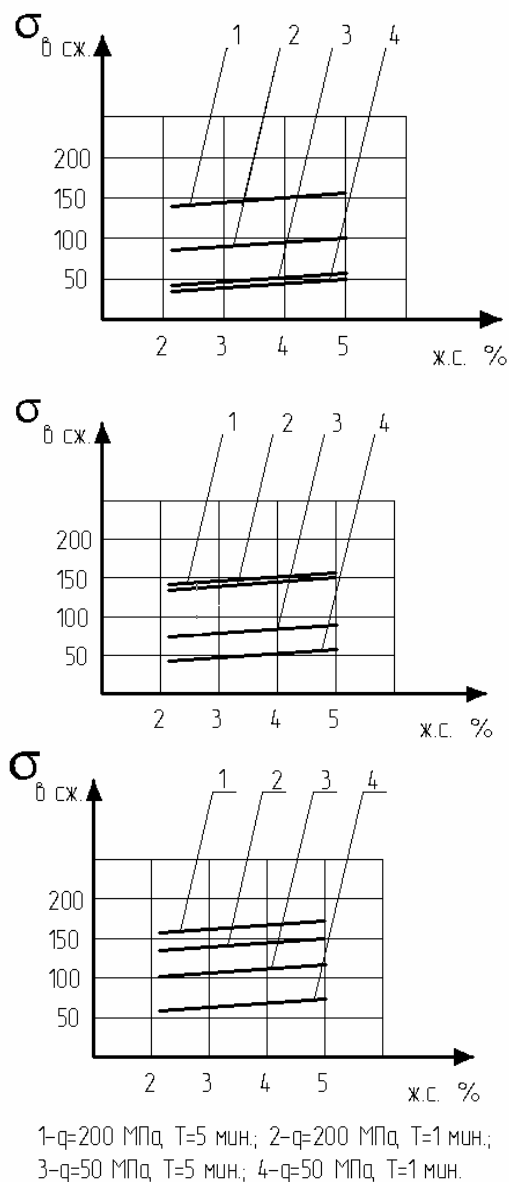


Рис.1. Влияние массовой доли жидкого стекла и времени выдержки на механическую прочность брикета: а, б, в – соответственно сырые брикеты через 1ч., через 2 ч

Увеличение давления приводит к уменьшению процента отсева, что объясняется уменьшением свободного порового пространства. Следует отметить, что увеличение в 2 раза процента жидкого стекла способствует существенному уменьшению (примерно в 2 раза) процента хрупкого отсева, что можно объяснить ухудшением условий механического перемещения объемов дискретного материала, внедрением тонких фрагментов в поры. Установлена обратная функциональная связь процента отсева от времени перемешивания и давления прессования.

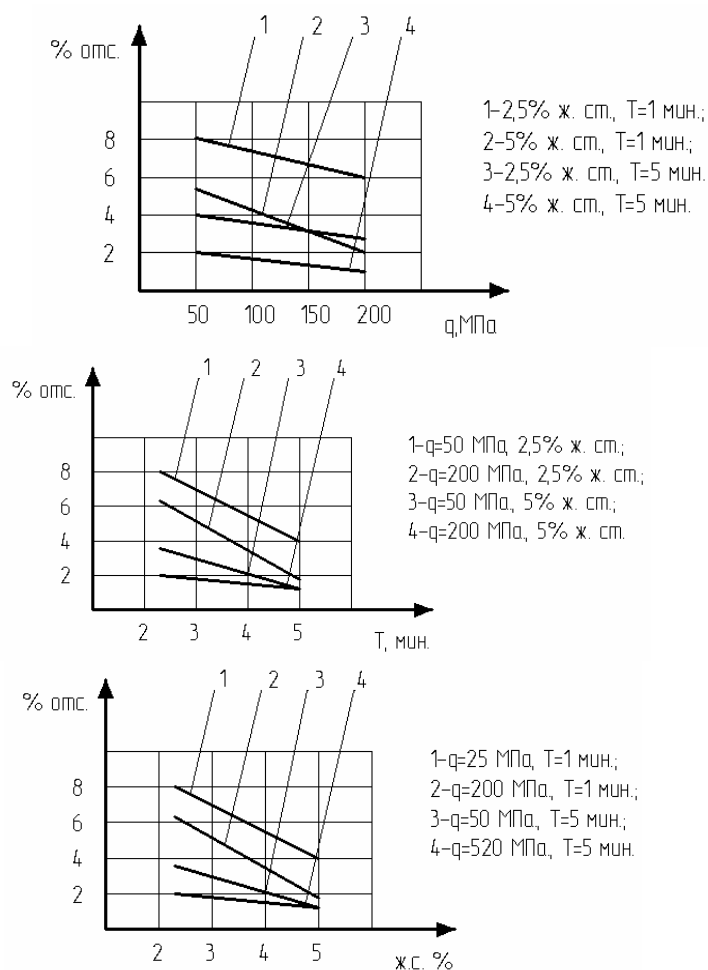


Рис.2. Влияние давления прессования, массовой доли жидкого стекла и времени перемешивания на процент отсева

Для установления факторов, влияющих на характер удаления отпрессованного брикета из прессформы, проведены эксперименты и рассмотрены функциональные связи: $P_{\text{выт}} = f(q; \% \text{ жидкого стекла}; - \text{ время перемешивания } T)$. Минимизация усилия выталкивания установлена в режиме минимальных значений указанных показателей.

Используя показанные на рис. 2 графики изменения относительной высоты брикета (характеристики интенсивности геометрии формоизменения) от технологических режимов $h/d = f(q, \% \text{ жидкого стекла}, T)$ можно установить, что определяющим в процессе изменения геометрии брикета является величина прикладываемого давления.

Наиболее информативными являются результаты экспериментального исследования влияния соотношений между относительной плотностью отпрессованного брикета, являющейся доминирующей характеристикой плотноупакованного брикета, и параметрами процесса.

Таким образом, выявлен эффективный диапазон технологических параметров процесса подготовки и переработки металлургических отходов; экспериментально установлены основные закономерности формоизменения, что дало возможность проведения моделирования многофакторных процессов утилизации отходов аглодоменного и конверторного производств.