

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ОТХОДОВ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

А.И. Шевелев
ДП «Техноскрап» ООО «Скрап»

Експериментально доведено і теоретично пояснено, що адаптацію часток сумішей одна до одної забезпечує пластична деформація металевих часток. Тиск пресування повинен знаходитися в межах 300-650 МПа.

На предприятиях по переработке вторичных цветных металлов собрано в отвалах большое количество порошковых отходов производства вторичных алюминиевых сплавов.

Основной причиной, препятствующей использованию не брикетированных порошковых отходов в металлургии, является развитая поверхность, приводящая к моментальному сгоранию порошка при соприкосновении порошка с поверхностью расплавленного металла. При брикетировании порошковых отходов возникают проблемы, связанные с их плохой прессуемостью. Кроме того, некоторые составные части порошковых отходов гигроскопичны и быстро поглощают влагу из окружающей среды. Под влиянием влаги некоторые из них распадаются с выделением тепла и газов. Это приводит к тому, что брикеты спустя некоторое время растрескиваются и рассыпаются. В связи с этим решение вопросов, связанных с качественным брикетированием порошковых отходов, созданием установок для брикетирования, обеспечивающих достаточную производительность и качество брикетов, являются весьма актуальными.

В научной литературе имеется ряд публикаций по исследованию прессования порошковых отходов алюминиевого производства, в основном шлаков и шламов (см. напр. [1, 2]). Однако эти процессы до настоящего времени исследованы недостаточно. Поскольку состав порошковой смеси коренным образом влияет на процесс прессования и свойства получаемых брикетов, то необходимы исследования, которые позволили бы выявить особенности деформации смесей разного состава и выработать рекомендации по получению прочных брикетов.

В работе [3] нами подробно изложена методика исследований и полученные экспериментальные результаты поэтому в данной статье они будут изложены кратко, а основное внимание будет уделено объяснению причин поведения смесей разных составов при их холодном прессовании, что позволяет сформулировать параметры процесса, обеспечивающего получение прочных брикетов при полном использовании отходов вторичных алюминиевых сплавов.

Исследования по брикетированию проводили с порошковыми отходами следующих составов:

Состав 1. Отсевы шлаков барабанного грохота: фракции крупностью от 0,15 до 3 мм. Содержание металлического алюминия от 2 до 15%. В остальной состав входят оксиды Al, Mg, Cu, Pb, Sn и др. Могут быть использованы при производстве стали в качестве утепляющих смесей и для раскисления.

Состав 2. Отсевы алюминиевой стружки, образуются на первой стадии переработки сыпучей алюминиевой стружки на линии магнитной сепарации: фракции крупностью от 0,15 до 3 мм. В состав отсеков входят до 30% металлического Fe, до 30% металлического алюминиевого сплава в виде мелкой стружки; остальное - землистый засор. Отсевы стружки могут быть использованы для приготовления экзотермических смесей и при брикетировании - в качестве раскислителей.

Состав 3. Магнитная фракция алюминиевой стружки. Образуется на второй стадии переработки сыпучей алюминиевой стружки на линии магнитной сепарации: фракции крупностью от 3 до 100 мм. В состав фракции входит до 30% металлического Fe, до 65% металлического алюминиевого сплава в виде стружки, остальное - землистый засор. Этот состав может быть использован для приготовления ферроалюминиевых сплавов и раскислителей.

Брикетирование порошковых отходов осуществляли путем прессования в стальной прессформе, установленной на гидравлическом прессе силой 4000 кН.

Перед прессованием смеси выдерживали в сушильном шкафу при температуре $T=160-180^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа. Удельную силу прессования варьировали в диапазоне от 100 до 700 МПа. Контролируемым параметром при прессовании являлась относительная плотность брикета, которую определяли как: $\rho = h_{\min}/h$ (h – высота прессовки под нагрузкой; h_{\min} – минимальное значение высоты прессовки, которое достигалось при давлении 1000 МПа).

В качестве связующего материала использовали сухие опилки фракцией от 1 до 5 мм, которые являются отходами деревообработки.

вающих производств. Количество опилок в смеси варьировали от 0,5 до 2% по массе прессовки.

Эксперименты показали, что при давлениях прессования, не превышающих 300 МПа, брикеты из всех смесей получались рыхлыми и разрушались при извлечении из пресс-формы. В диапазоне давлений 300-650 МПа брикеты состава 1 не имели расслоений, однако по истечении 3-4 часов после прессования в них появлялись кольцевые трещины. Брикеты, полученные из состава 2 и 3, в этом же диапазоне давлений, были без трещин и имели достаточно высокую прочность, даже через несколько суток после прессования. Начиная с давлений прессования 650-700 МПа, брикеты из всех смесей расслаивались при извлечении из контейнера.

С нашей точки зрения результаты экспериментов объясняются механической моделью, приведенной на рис. 1. В этой модели, предварительно сжатая пружина отражает внутренние напряжения в образце, которые возникают в нем при прессовании, а пара трения - связи между частицами, обусловленные их сцеплением (трением, зацеплением неровностей, адгезией). Прочность связей характеризуется величиной T - максимальной силы трения этой пары. Если $T > F$ (где F - сила сжатия пружины), то пара трения удерживает пружину в сжатом состоянии. Это соответствует ситуации, когда прочность связей достаточна для того, чтобы удержать частицы смеси после разгрузки прессовки и остаточные внутренние напряжения не приводят к ее разрыхлению и расслоению. Если же $T < F$, то после разгрузки прессовка расслаивается под действием внутренних напряжений.

Величины T и F зависят от давления прессования (рис. 2).

Линейный характер $F(P)$ обусловлен тем, что это величина упругих сил, подчиняющихся закону Гука. S-образный характер зависимости $T(P)$ обусловлен следующим. При малых давлениях $T(P) = 0$, т.к. сцепление между частицами появляется лишь после некоторого уплотнения смеси. При больших давлениях зависимость $T(P)$ выходит на насыщение, т.к. величина T не может превышать прочности компонентов смеси.

Из рис.2 следует, что имеется диапазон давлений $P_1 < P < P_2$, в котором выполняется условие $T > F$, обеспечивающее отсутствие расслоений брикета сразу же после извлечения его из пресс-формы.

Задержанное расслоение прессовок состава 1 после прессования под давлением 300-650 МПа объясняется тем, что со временем в них проникает влага, которая вызывает разбухание частиц смеси. Это, в свою очередь, повышает внутренние напряжения, приводящие, в конце концов, к разрушению брикетов.

Смеси состава 2 и 3 имеют, при тех же давлениях прессования, большую относительную плотность (рис.3), что затрудняет проникание влаги.

Лучшая прессуемость смесей 2 и 3 обусловлена большим числом металлических частиц, которые под давлением деформируются, разрушая арки, препятствующие уплотнению порошка. Кроме того, металлические частицы «схватываются» между собой при совместной пластической деформации и армируют всю прессовку, увеличивая ее прочность.

Подтверждает сказанное обработка кривых рис. 3 с помощью теории прессования порошковых тел, изложенной в работе [4]. Эта теория базируется на условии пластичности, имеющем вид

$$\frac{\sigma^2}{\psi(\Theta)} + \frac{\tau^2}{\varphi(\Theta)} = (1 - \Theta)(k_0 - \alpha\sigma)^2, \quad (1)$$

где $\sigma = (1/3)\sigma_{ij}\delta_{ij}$ - гидростатическая составляющая тензора напряжений;

$\tau = \sqrt{(\sigma_{ij} - (1/3)\sigma\delta_{ij})(\sigma_{ij} - (1/3)\sigma\delta_{ij})}$ - интенсивность девиатора напряжений; Θ - относительная пористость, которая связана с относительной плотностью соотношением $\Theta = 1 - \rho$;

$$\psi(\Theta) = \frac{2(1 - \Theta)^3}{3\Theta}, \quad \varphi(\Theta) = (1 - \Theta)^2;$$

α - параметр, характеризующий способность частиц порошка адаптироваться друг к другу в процессе уплотнения (чем больше α , тем хуже частицы адаптируются); k_0 - некоторая эффективная характеристика, величина которой приближенно равна максимальному касательному напряжению в каркасе порошкового тела (более точно, максимальному касательному напряжению в каркасе порошкового тела равна разность $k_0 - \alpha\sigma$).

При сжатии порошка в замкнутом контейнере, в первом приближении, $\sigma = -p$ и $\tau \ll p$ [4]. В этом случае, из условия пластичности (1) получаем приближенное соотношение

$$\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{1 - \rho}}{\rho^2} = \alpha + \frac{k_0}{p}.$$

Соотношение показывает, что если характеристики порошковой смеси не изменяются при прессовании, то в координатах $X = 1/p$,

$$Y = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{1-\rho}}{\rho^2} \text{ экспериментальные данные, приведенные на рис. 3,}$$

должны укладываться на прямую линию. При этом тангенс угла наклона этой прямой к оси X равен k_0 , а ордината точки пересечения ее с осью Y равна α . Указанные построения приведены на рис.4.

Из рис. 4 следует, что все экспериментальные точки для смеси 1 действительно укладываются на одну прямую. Это свидетельствует о том, что значения параметров α и k_0 , для этой смеси постоянны во всем диапазоне давлений прессования. Для смесей 2 и 3, при $X = 0,0035 \text{ МПа}^{-1}$, т.е. при $p = 286 \text{ МПа}$, происходит излом прямой, что указывает на изменение α и k_0 , при этом давлении. При давлениях меньших 286 МПа для всех смесей параметр $\alpha \approx 0,9$ (см.рис. 4). Начиная с этого давления, величина α для смесей 2 и 3 падает до значения 0,25 (см.рис. 6.5), что, согласно [2], указывает на включение какого-то нового механизма деформации, обеспечивающего более хорошую адаптацию частиц смеси друг к другу. Этим механизмом является пластическая деформация металлических частиц, находящихся в большом количестве в этих смесях.

Итак, эксперимент показал, что прочные брикеты могут быть получены лишь при наличии в смеси достаточно большого количества металлических частиц. С другой стороны, брикеты, которые будут использованы в качестве раскислителей, желательно изготавливать из наиболее дешевой смеси, каковой являются отсеvy шлаков барабанного грохота, т.е. смесь 1 с добавлением 30% магнитной фракции, образующейся на второй стадии переработки сыпучей алюминиевой стружки на линии магнитной сепарации. При этом давление прессования, также как и в описанных выше экспериментах, должно лежать в диапазоне 300-650 МПа. С практической точки зрения, для обеспечения стойкости оборудования, давление прессования должно лежать на нижней границе диапазона, т.е. составлять 300 МПа.

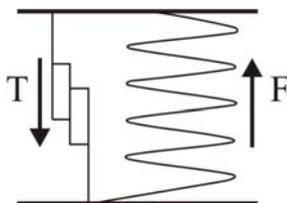


Рис. 1. Механическая модель, поясняющая причины снижения плотности и расслоения прессовки после снятия нагрузки.

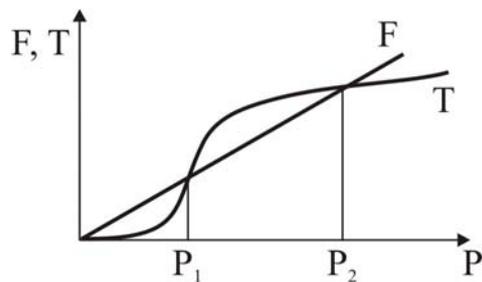


Рис. 2. Характер зависимости T и F от давления прессования.

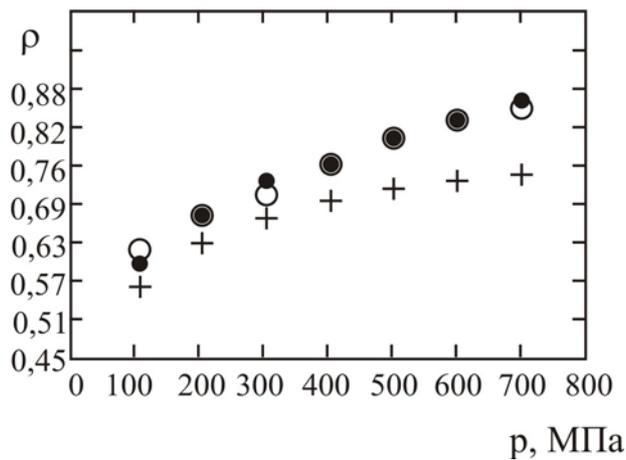


Рис. 3. Зависимость относительной плотности прессовок под нагрузкой в прессформе от удельной силы прессования для смесей: 1 (+), 2 (●), 3 (○).

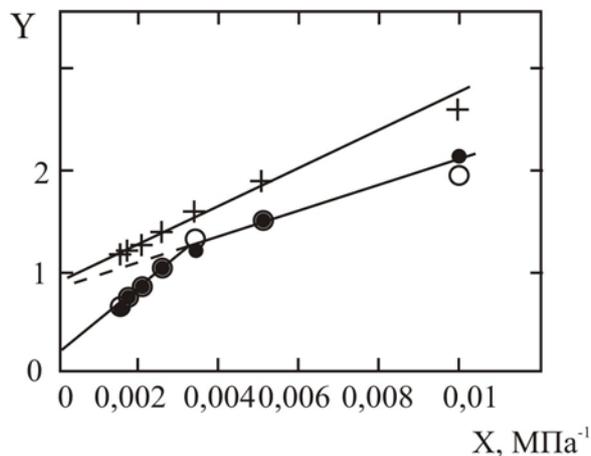


Рис. 4. Зависимость плотности брикетов от давления прессования в координатах $X = \frac{1}{p}$, $Y = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{1-\rho}}{\rho^2}$ для смесей: 1 (+), 2 (●), 3 (○).

Литература

1. Носков В.А. Брикетирование как технология рециклирования мелкофракционных промышленных отходов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*-1998.-№3.-с.119-121.
2. Рябичева Л.А., Никитина Л.А., Никитин В.В. Исследование условий брикетирования алюминий- и медьсодержащих шлаков // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр.-Луганск: Вид-во СУДУ.*-2001.-С.225-227.
3. Шевелев А.И. Брикетирование порошковых отходов предприятий по переработке вторичных алюминиевых сплавов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематичний зб. Наукових праць.-Краматорськ, 2003.-С.324-327.*
4. Бельгейзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Эфрос Б.М. *Физическая механика гидростатической обработки материалов.*-Донецк: ДонФТИ НАНУ.- 2000.-196с.