

*Старший преподаватель Козачишен В.А.
канд. техн. наук, доцент Попов Г.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

Наведені результати експериментальних досліджень механізму перезволоження агломераційної шихти, що впливає на газодинаміку шару і в цілому на продуктивність аглоустановки та якість агломерату.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В работах [1, 2] даны общие положения механизма образования зоны переувлажнения в агломерируемом слое. Целью данной работы является дальнейшее развитие и уточнение этой проблемы и разработка направления по вопросам устранения негативного влияния переувлажнения.

Анализ исследований и публикаций. Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что вопросы устранения зоны переувлажнения в агломерируемом слое в работах [1, 2] исследованы. Однако, начальная стадия образования зоны переувлажнения исследована недостаточно глубоко.

Постановка задачи. Исследовать процесс образования зоны переувлажнения с момента включения эксгаустера и до окончания процесса горения топлива на колосниковой решетке.

Изложение материала и его результаты. При агломерации железорудных материалов по высоте слоя образуется несколько чередующихся друг за другом зон: готового агломерата, расплава, высокотемпературного нагрева, сушки, переувлажнения. Условия формирования и движения каждой зоны оказывают влияние на показатели аглопроцесса. Так, вырождение зоны сушки свидетельствует о нарушении соответствия скорости движения фронта горения твердого топлива и условий теплопередачи. В действительности процессы распространения фронта горения и подогрева протекают одновременно и непосредственно связаны между собой. Интенсивный процесс химического превращения не может проникнуть в предварительно непрогретую зону слоя, так как переходит в кинетическую область и практически прекращается вследствие температурного торможения. С другой стороны, зона сушки также не может "оторваться" от

поддерживающего его теплового источника, каким является зона экзотермических реакций.

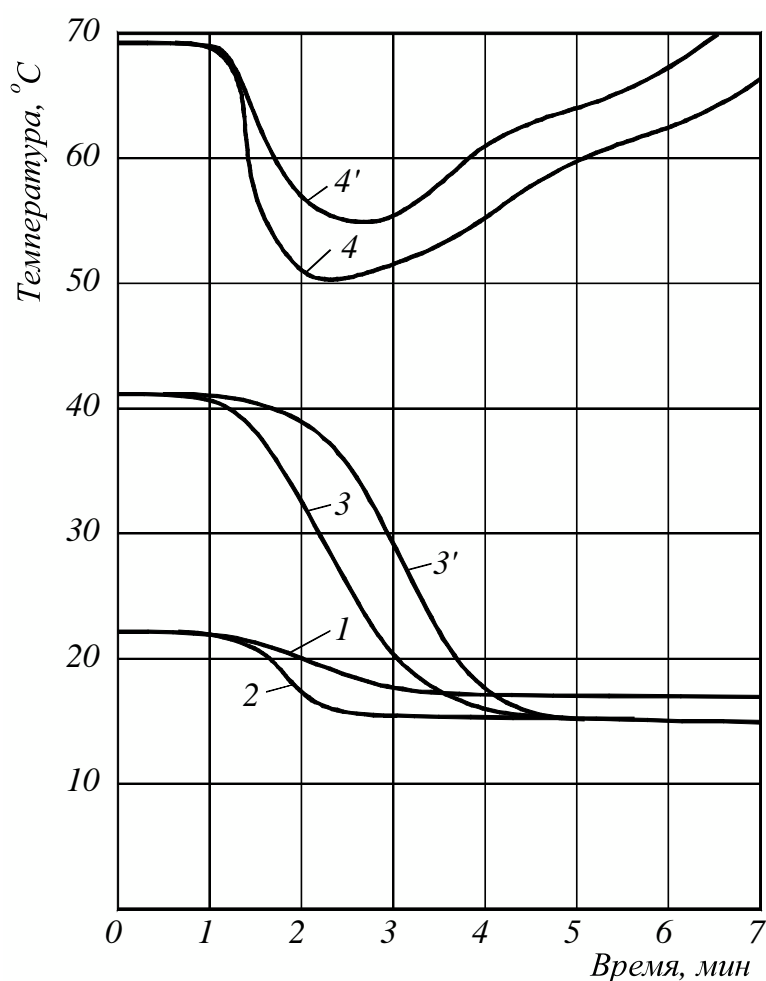
Зажигание твердого топлива в агломерационной шихте продуктами горения жидкого или газообразного топлива начинается с нагрева влажного материала поверхности слоя, когда зона сушки еще не сформировалась. Таким образом, начальная стадия агломерации имеет отклонения от нормальных условий спекания, создающихся в основной стадии аглопроцесса. В результате контакта высокотемпературных ($1200-1300^{\circ}\text{C}$) газов и холодной ($20-30^{\circ}\text{C}$) шихты происходит быстрое испарение влаги в верхних горизонтах слоя. Образующийся перегретый пар с высоким влагосодержанием конденсируется на поверхности гранул холодной шихты ниже расположенных горизонтов.

Существенное влияние на образование зоны переувлажнения шихты оказывает ее начальная температура. При фильтрации газа через слой сухой шихты с начальной температурой $t_{н} = 20^{\circ}\text{C}$ изменения температуры по высоте слоя незначительны ($2-3^{\circ}\text{C}$), но заметно повышаются при фильтрации газа через слой влажной шихты (до $5-6^{\circ}\text{C}$). Это объясняется тем, что до включения эксгаустера давление в слое между гранулами равняется атмосферному. Соответственно и температура воздуха в межкусковых промежутках стремится к равновесной и равной температуре гранул. С включением эксгаустера давление в слое понижается. Это способствует интенсификации процесса испарения влаги с поверхности гранул шихты и, как следствие, снижению их температуры. При подаче продуктов горения пропан-бутановой смеси с температурой $t_{г} = 1000^{\circ}\text{C}$ в слой высотой 300 мм шихта, состоящая из концентрата и топлива и нагретая до $t_{н} = 70^{\circ}\text{C}$, в нижних горизонтах охлаждалась до $t_{п} = 50^{\circ}\text{C}$ со скоростью $23^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (рис. 1). Таким образом, чем выше начальная температура шихты и разрежение в слое, тем больше влияние испарения влаги на скорость охлаждения материала.

При исследовании механизма образования зон конденсации и переувлажнения [3] особое внимание обращали на установление в этих зонах равновесной температуры $t_{р}$, т.е. такой, при которой температура отходящих газов, насыщенных парами воды, будет равна температуре шихты. При определении момента установления температурного равновесия между шихтой и отходящими газами учли, что конденсация влаги в слое носит поверхностный характер, и постоянство температуры газов еще не свидетельствует об установлении равновесия. Температуру газа и поверхности гранул измеряли термопарами типа ХА градуировки $0-150^{\circ}\text{C}$, подключенными к одному потенциометру. Спай одной

термопары помещали в межкусковых промежутках слоя, а другой касался поверхности гранул шихты.

Исследования показали, что длительное время температура газа превышает температуру шихты на $2-3^{\circ}\text{C}$. Причем, эта разница остается постоянной при изменении температуры отходящих газов и поверхности шихты. Различие в температурах объясняется тем, что прогрев (охлаждение нагретых гранул) происходит не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени.



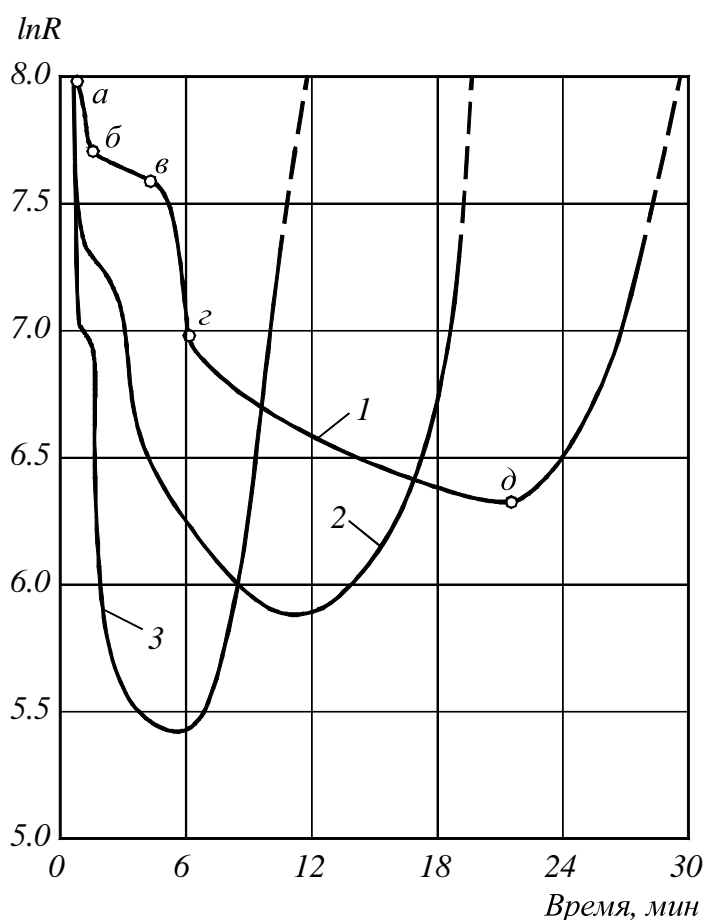
1, 1' – холодная сухая шихта; 2, 2', 3, 3' – влажная нагретая шихта; 1, 2, 3 – середина слоя; 1', 2', 3', – нижняя часть слоя.

Рисунок 1 – Термограммы зоны переувлажнения

Причем, чем крупнее окомкованная шихта, тем медленнее происходит нагрев. Об этом свидетельствует изменение электрического сопротивления слоя шихты, которое измеряли, поместив в слой на одном горизонте два электрода (рис. 2). Участок *a – б* соответствует изменению сопротивления, вызванному уплотнением шихты под

действие вакуума; участок *б – в* времени движения зоны конденсации от поверхности слоя до рассматриваемого горизонта. Резкое снижение электрического сопротивления на участке *в – г* вызвано насыщением поверхности гранул шихты сконденсировавшейся влагой, а плавное снижение электрического сопротивления на участке *г – д* объемным насыщением гранул шихты влагой [3].

Косвенные измерения позволили предположить, что постоянная разность температур между отходящими газами и гранулами окомкованной шихты создает условия для конденсации влаги. Причем время конденсации намного превышает начальный период агломерации.



1 – низ слоя; 2 – середина; 3 – верх слоя

Рисунок 2 – Электрограммы в зоне переувлажнения

Для получения данных прямым методом измерения, были проведены следующие исследования. Агломерационную шихту постоянного состава смешали, увлажнили, окомковали, а затем разделили на 8 частей для восьми спеканий в аглочаше. Условия

зажигания и вакуумный режим были постоянными во всех опытах. Начальная влажность шихты равнялась 7,0 %. После зажигания шихты через разные промежутки времени процесс прерывали, чашу закрывали, опрокидывали, вынимали колосниковую решетку и отбирали пробу шихты на влагу. Отсчет времени начинали с момента появления скачка температур от t_n до t_p в самом нижнем горизонте слоя (20 мм от колосниковой решетки).

Прямые измерения влажности шихты на нижнем горизонте слоя (рис. 3) показали, что процесс конденсации влаги в агломерируемом слое не заканчивается на начальной стадии агломерации до сформирования всех зон, а распространяется и на основную стадию.

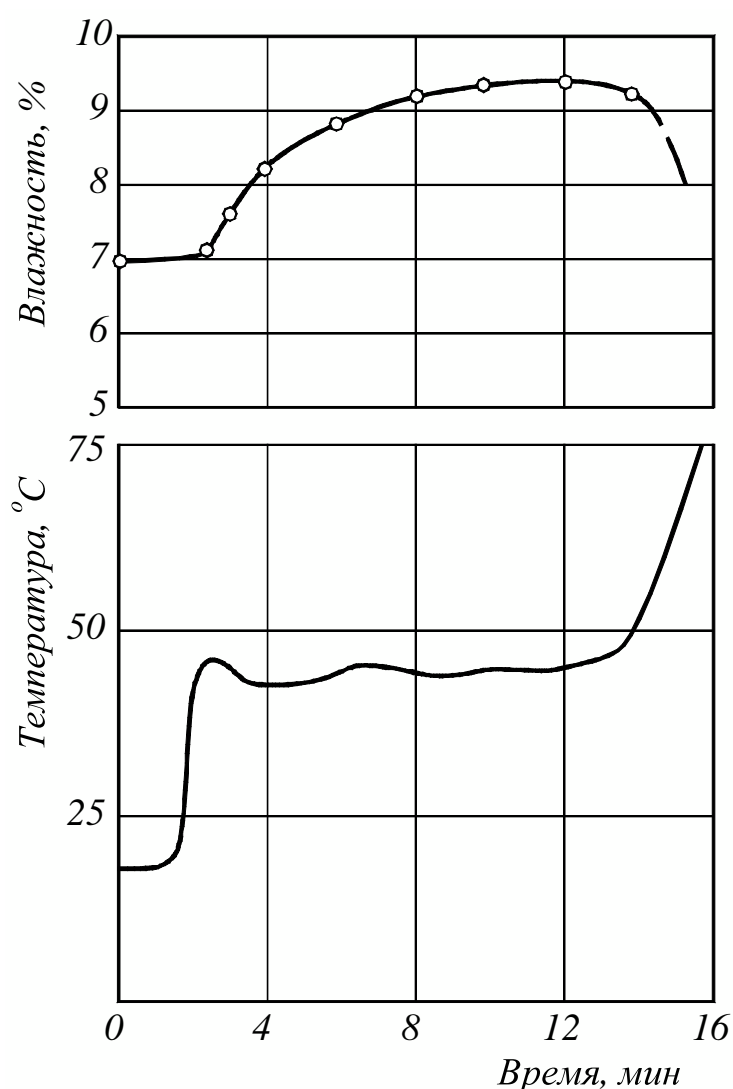


Рисунок 3 – Температура и влажность шихты нижней части слоя в функции времени

Одним из распространенных методов уменьшения влияния переувлажнения на показатели агломерационного процесса является внешний низкотемпературный нагрев шихты перед спеканием. Эффективность этого метода исследовали при начальной температуре равной 20, 30, 40, 50, 60°C (рис. 4). Термограммы 1, 5 крайних значений температур нагрева исходной шихты показывают, что до включения эксгаустера температура была равной 60 и 20°C. С включением эксгаустера температура шихты, нагретой до 60°C, уменьшилась до $\approx 40^\circ\text{C}$ (термограмма 5), температура шихты, нагретой до 20°C, уменьшилась на $\approx 3^\circ\text{C}$. При достижении зоны переувлажнения колосниковой решетки температура шихты (термограмма 1) увеличилась до $\approx 35^\circ\text{C}$. Незначительное повышение (термограмма 5) на участке $\nu - \zeta$ связано с тем, что температура пара выходящего из зоны сушки, была выше температуры нагретой шихты (40°C)

Таким образом, чем выше температура шихты и разрежение в слое, тем больше влияние испарения влаги на охлаждение материала. При включении эксгаустера и появлении разрежения под колосниковой решеткой шихта нагретая ниже 40–45°C, под действием конденсации нагревается, а шихта, нагретая выше 45°C, под действием испарения влаги остывает (рис. 4).

Следовательно, для уменьшения отрицательного влияния зоны переувлажнения на газопроницаемость слоя шихты её достаточно нагревать до 50–60°C, а не 70–80°C, как рекомендуют некоторые исследователи [1, 2]. Об этом свидетельствует и характер деформации слоя при спекании шихты, нагретой до температуры 20 ÷ 60°C (рис. 4).

Усадка слоя агломерационной шихты при увеличении начальной температуры претерпевает существенные изменения. При нагреве окомкованной смеси до 40°C скорость деформации слоя равна 30 – 35 мм/мин, а при нагреве свыше 50°C скорость деформации, начиная с третьей минуты зажигания, равна примерно 3 мм/мин (рис. 4). За время, равное 2 – 3 мин после зажигания формируются все основные зоны агломерируемого слоя. Насыщенность паров воды, поступающих в зону конденсации, уменьшается, что уменьшает разрушение гранул от переувлажнения и повышает газопроницаемость слоя шихты, нагретой до температуры свыше 40°C.

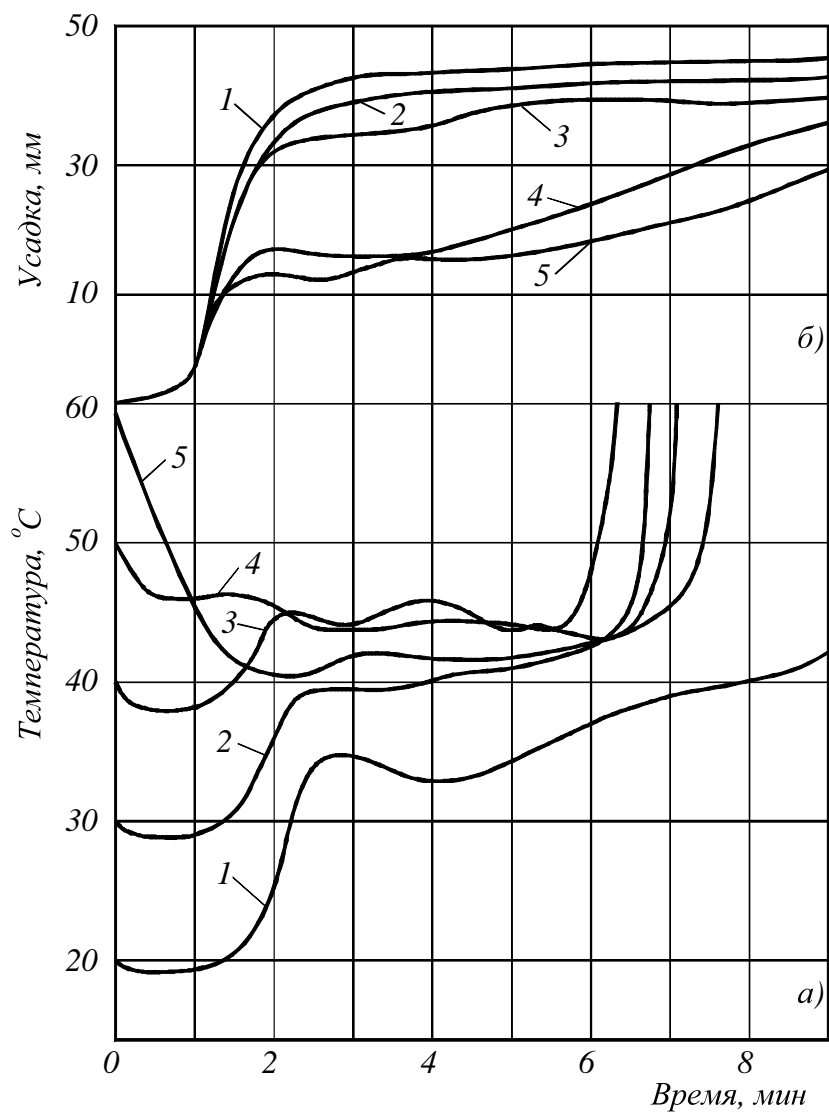
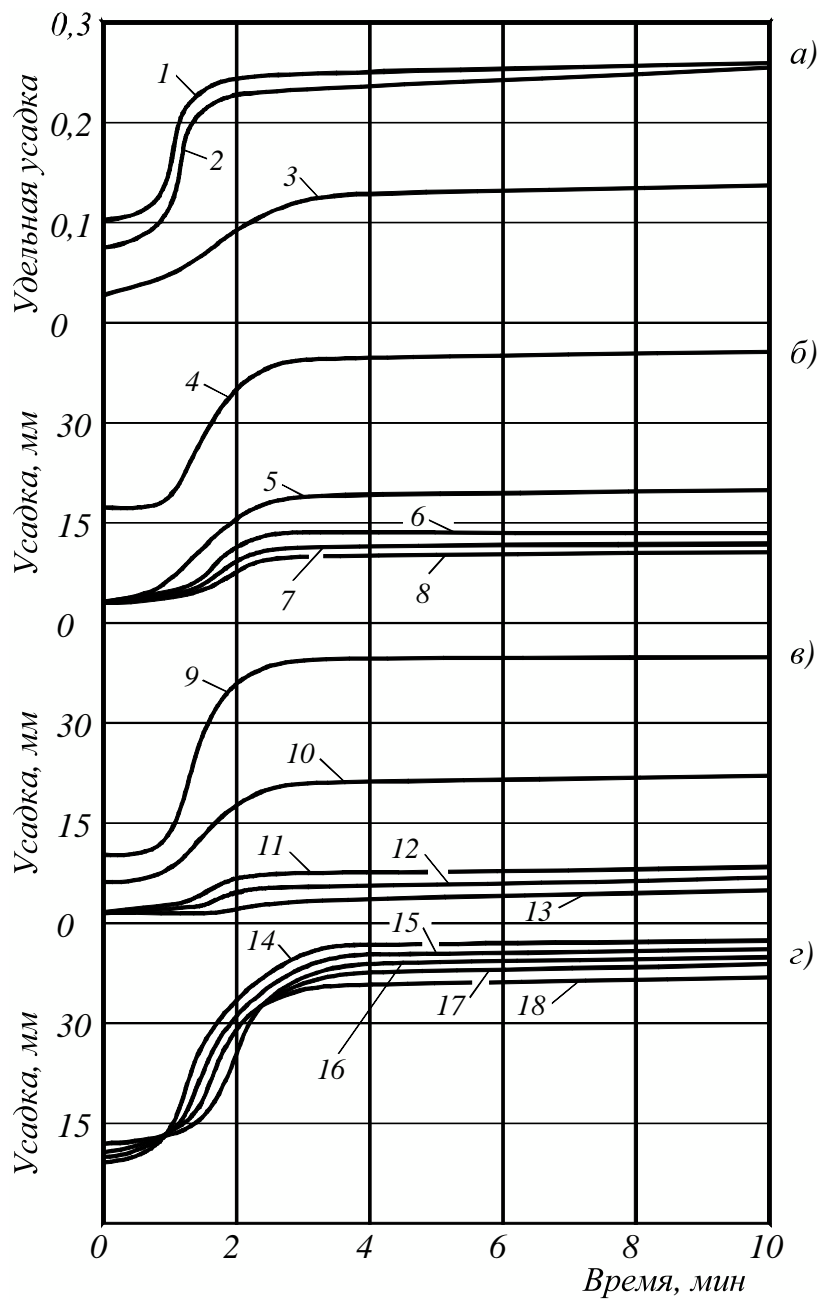


Рисунок 4 – Параметры зоны переувлажнения нагретой шихты



а) изменение высоты слоя; б) крупности; в) влажности; г) время окомковани; 1, 2, 3 – высота слоя 200, 300, 400 мм; 4, 5, 6, 7, 8 – крупность шихты 3 – 0, 5 – 3, 7 – 5, 10 – 7, +10 мм; 9, 10, 11, 12, 13 – влажность шихты 7.0, 6.2, 4.4, 3.2, 0%; 14, 15, 16, 17, 18 – время окомкования 0, 3, 7, 10, 14 мин соответственно.

Рисунок 5 – Характер усадки в зависимости от различных факторов

Большое влияние на переувлажнение шихты и, соответственно, на деформацию агломерируемого слоя оказывают укладка и окомкование аглосмеси [4]. Проведены исследования зависимости усадки агломерируемого слоя от его высоты. Спекали шихту в слое 200, 300 и 400 мм и определяли зависимость удельной усадки ($\frac{\Delta H}{H}$, где ΔH – усадка, H – начальная высота слоя) от времени спекания (рис. 5; графики 1, 2, 3).

Исследования показали, что удельная усадка слоя шихты высотой 400 мм развивается во времени медленнее, чем шихты в слое 200 – 300 мм, что свидетельствует о более медленном развитии в слое процесса переувлажнения аглосмеси. За время (2 – 3 мин) полностью формируются зоны спекания шихты, и в меньшей степени сказывается отрицательное влияние переувлажнения на газопроницаемость.

С уменьшением влажности окомкованной шихты уменьшается и усадка агломерируемого слоя (рис. 5). Это связано с тем, что в высокотемпературной зоне из более сухой шихты меньшее количество влаги переходит в парообразное состояние, а затем конденсируется на гранулах в нижних горизонтах слоя. С другой стороны, подсушенная шихта может поглотить большое количество влаги (до 3%) без разрушения гранул. Подсушивать шихту целесообразно до влажности, равной примерно 4,5 – 5%, т.к. дальнейшая подсушка мало влияет на усадку шихты (рис. 5; графики 11, 12, 13), но резко уменьшает прочность гранул.

Для исследования поведения гранул различных классов крупности в зоне переувлажнения выполнены спекания монофракционной шихты (рис. 5), т.е. шихты, состоящей из гранул узкого класса крупности. Зажигание осуществляли пропан-бутановой смесью с использованием "зажигательного" слоя высотой 50 мм, представляющего собой слой мелкой (3 – 0 мм) влажной шихты. Такое зажигание создает в слое монофракционной шихты условия, характерные для зоны переувлажнения обычной шихты. Усадку измеряли щупом индуктивного датчика, пропущенного через "зажигательный" слой, исключая его усадку.

Существенное уменьшение разрушения гранул под действием влаги конденсации имеет место уже при крупности гранул 5 – 3 мм (примерно в 2 раза – рис. 5; график 5). При крупности гранул более 5 мм дальнейшее увеличение размера гранул практически мало влияет на уменьшение усадки. Это объясняется более высокой механической прочностью таких гранул, малой удельной поверхностью конденсации и большими межкусковыми промежутками между гранулами.

Кроме влажности и крупности гранул важным показателем качества окомкованной шихты, определяющим ее стойкость при переувлажнении, является длительность укатывания смеси после полной подачи влаги. Более точным показателем, характеризующим этот процесс, является работа внешних сил грануляции, которая показывает какое количество энергии в единицу времени затрачено на перемешивание шихты на единицу ее массы после подачи влаги на гранулообразование (рис. 5).

С увеличением работы внешних сил грануляции стойкость шихты в зоне переувлажнения повышается за счет того, что с увеличением плотности укладки твердых частиц в грануле влага перемещается от ее центра к периферии. Выступившая на поверхность влага быстро превращается в пар при соприкосновении с тепловой волной зоны сушки и уносится в коллектор. Удаление части влаги из гранулы способствует сближению частиц до расстояния, когда начинают действовать молекулярные силы, повышается прочность сцепления между частицами, уменьшается разрушение гранул и усадка слоя. Однако, из-за малой массы гранул и большой их численности работа внешних сил грануляции используется очень эффективно. Даже в цилиндрическом грануляторе диаметром 800 мм, где нагрузка на единицу длины (на погонный метр) менее 50 кг, через три минуты процесс уплотнения гранул обеспечивающих постоянство усадки, заканчивается (рис. 5; графики 16, 17, 18). В промышленных цилиндрических грануляторах диаметром 2800 мм и более нагрузка на единицу длины значительно выше, чем в лабораторном, больше величина динамических нагрузок. Следовательно, деформацию агломерируемого слоя от переувлажнения рационально уменьшать не увеличением длины барабанных окомкователей, а технологическими приемами, позволяющими уменьшать влажность и увеличивать однородность и крупность шихты.

Приведены результаты экспериментальных исследований механизма переувлажнения агломерационной шихты, который влияет на газодинамику слоя и в целом на производительность аглоустановки и качество агломерата.

The results of experimental researches of mechanism of overdamping of agglomerate charge, which influences on the gas dynamics of layer and on the whole on productivity of agglomeration and quality of agglomerate, are resulted.

Библиографический список.

1. *Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. М.:, 1978.*
2. *Коротич В.И., Пузанов В.П. Газодинамика агломерационного процесса. Metallurgia. 1985*
3. *Попов Г.Н. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 1987, №1, с. 23-26.*
4. *Попов Г.Н., Петрушов С.Н. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 1987, №9, с.13-16.*