

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

*Сборник научных трудов*

*Издается с 1994 г. ежегодно*

Выпуск 38

Москва  
Новокузнецк  
2017

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

**В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии:** Сборник научных трудов. Вып. 38 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2017 – 230 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 45, табл. 28, библиогр. назв. 222.

*Редакционная коллегия:* Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2017

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....                                                                                                                                                                                                               | 7  |
| МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....                                                                                                                                                                           | 8  |
| <i>Чжан Кэ</i>                                                                                                                                                                                                                  |    |
| Проектно-исследовательский институт цветной металлургии Китая: научно-технологический потенциал, проектирование, строительство, инжиниринг, рециклинг горно-металлургических, энергетических и водохозяйственных объектов ..... | 9  |
| <i>И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов</i>                                                                                                                                                                    |    |
| Влияния щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe в нейтральной среде .....                                                                                                                          | 13 |
| <i>В.М. Павловец</i>                                                                                                                                                                                                            |    |
| Анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании .....                                            | 22 |
| <i>В.М. Павловец</i>                                                                                                                                                                                                            |    |
| Анализ технических решений, направленных на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей .....                                                                        | 30 |
| <i>В.М. Павловец</i>                                                                                                                                                                                                            |    |
| Анализ технических решений, направленных на управление процессом зародышеобразования в производстве окатышей, основанном на принудительном зародышеобразовании .....                                                            | 37 |
| <i>В.Б. Деев, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева</i>                                                                                                                                                   |    |
| Влияние железа на характер кристаллизации, литейные и механические свойства заэвтектического силумина .....                                                                                                                     | 43 |
| <i>М.В. Темлянец, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго, В.Я. Целлермаер</i>                                                                                                                                                  |    |
| Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окарины .....                                                                                                        | 48 |
| <i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i>                                                                                                                                            |    |
| Совершенствование режимов прокатки острых рельсов на универсальном рельсобалочном стане .....                                                                                                                                   | 55 |
| <i>Е.С. Прусов, В.Б. Деев</i>                                                                                                                                                                                                   |    |
| Перспективы применения ультразвука при вводе наночастиц в алюминиевые расплавы .....                                                                                                                                            | 64 |
| <i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i>                                                                                                                                                    |    |
| Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1000 .....                                                                                                                                   | 70 |
| <i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i>                                                                                                                                                    |    |
| Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000 .....                                                                            | 76 |
| <i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С.Н. Кратько, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев</i>                                                                                                                                                  |    |
| Анализ токового режима работы сварочной машины К1000 при сварке рельсов на этапе оплавления .....                                                                                                                               | 81 |
| ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....                                                                                                                                                                         | 88 |
| <i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i>                                                                                                                                                                             |    |
| Термодинамическое моделирование плазмосинтеза карбида циркония .....                                                                                                                                                            | 89 |
| <i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>                                                                                                                                                                               |    |
| Исследование механизма плазмосинтеза диборида титана .....                                                                                                                                                                      | 97 |

УДК 669. 162. 12:622

В.М. Павловец

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

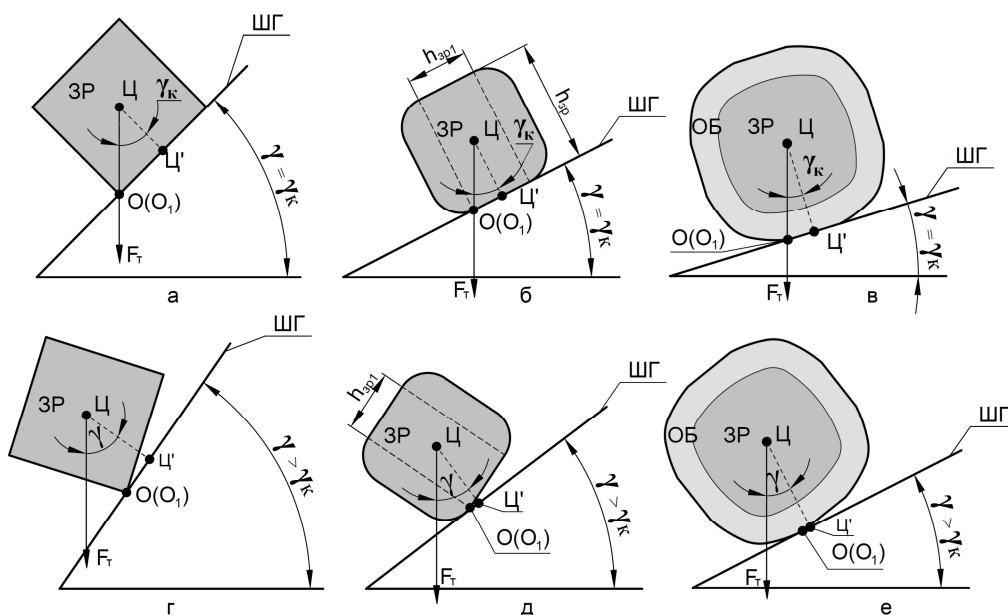
## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА УПРАВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ЗАРОДЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОКАТЫШЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИИ

В работе проанализированы технические решения, направленные на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании.

The paper analyzes technical solutions aimed at controlling the plastic deformation of embryos in the technology of pellet production based on compulsory nucleation.

Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает формирование зародышей по форме, близкой форме куба в холостой зоне тарели методом напыления и создание оболочки окатышей их доокомкованием в рабочей зоне окомкователя в режиме переката [1, 2]. Эта технология экспериментально опробована в лабораторных условиях и позволяет получать окатыши с дифференцированным распределением пористости по его сечению и организовать процесс формообразования с более высокой удельной производительностью. Для организации режима переката зародышей сложной формы и формирования окатышей на промышленном окомкователе необходимо знать соответствующий угол наклона тарели к горизонту и её частоту вращения [1, 2]. Для этого требуется теоретическая проработка силового воздействия на зародыш сложной формы в режиме переката со стороны окомкователя и экспериментальная проработка условий пластической деформации зародышей в режиме принудительного зародышеобразования.

На рисунке 1 показано условие устойчивости зародыша на наклонной плоскости шихтового гарнисажа (ШГ) в отсутствии центробежной силы. Устойчивость зародыша на шихтовом гарнисаже определяется горизонтальным положением его центра масс (Ц) относительно линии опоры – ребра  $OO_2$  (рисунок 1). Это условие соблюдается в стационарном режиме работы окомкователя, когда зародыш правильной формы, образующийся в холостой зоне тарели (рисунок 1, а), поступает в рабочую зону окомкователя и в процессе переката деформируется и наращивает свою массу (рисунок 1, б, в).



зародыши: а, г – правильной кубической формы: б, д – с частично смятыми углами и ребрами: в, е – с полностью смятыми углами и ребрами  
а - в – устойчивое положение зародышей, г - е – режим переката

Рисунок 1 – Схемы, иллюстрирующие устойчивость зародыша и режим переката на ШГ

Если линия действующей силы (в данном случае силы тяжести) переместится за опорное ребро  $OO_1$ , то сформируется момент силы, который выведет зародыш из состояния устойчивости и сформирует перекат зародыша (рисунок 1, г). Это также справедливо в отношении зародыша со смятыми (деформированными) углами и ребрами (рисунок 1, д) и в отношении зародыша, на котором при перекае частично сформирована оболочка окатыша (рисунок 1, е). Положение устойчивости характеризуется углом переката  $\gamma_k$ , составленным из перпендикуляра на опорную плоскость ШГ и линии действующей силы. Графически этот угол можно зафиксировать при  $\gamma = \gamma_k$ . Выход из состояния устойчивости и формирование переката происходят при  $\gamma > \gamma_k$ . Для этих условий у зародыша правильной кубической формы угол переката превышает  $45^\circ$  (рисунок 1, а). Угол переката зависит от частоты вращения тарели окомкователя, угла наклона днища тарели к горизонту и степени деформации зародыша. В свою очередь более высокая степень деформации позволяет назначить более узкие интервалы изменения угла наклона днища тарели к горизонту [3]. Поэтому в процессе зародышеобразования желательно иметь максимальную степень деформации зародыша.

Угол переката может быть определен из треугольника ЦЦ'О (рисунок 1, б) как арктангенс отношения его сторон:

$$\gamma_k = \arctg(h_{зр1} / h_{зр}) = \arctg(K_{см}), \quad (1)$$

где  $K_{см} = h_{зр1} / h_{зр}$  – коэффициент смятия зародыша. Может принимать значения в диапазоне 0 – 1;  $h_{зр}$  – размер ребра несмятого зародыша, м;  $h_{зр1}$  – размер ребра зародыша с учётом смятия, м.

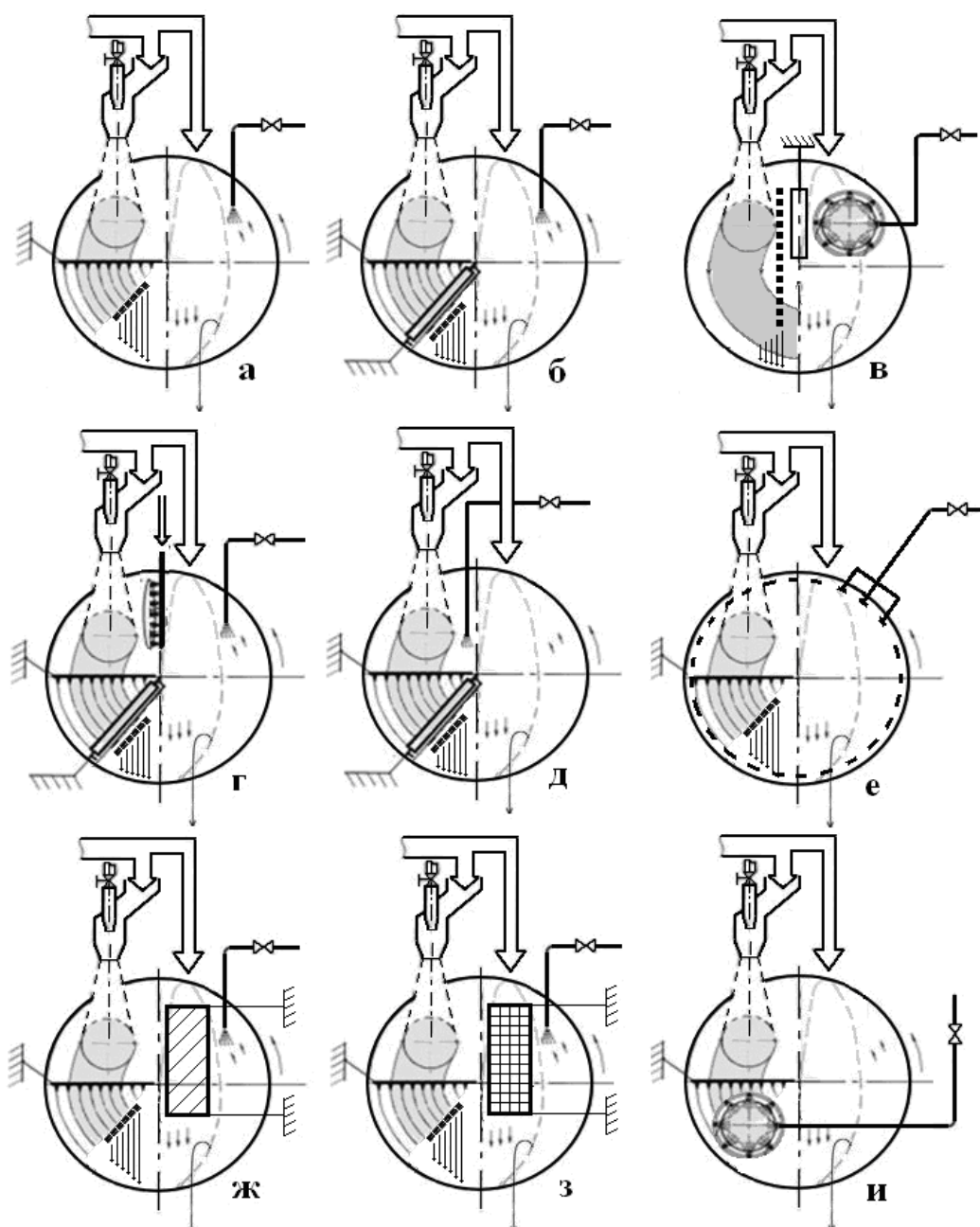
В работе [3] установлено, что назначение технологических параметров тарельчатого окомкователя (частоты вращения, угла наклона тарели к горизонту) в технологии принудительного зародышеобразования зависит от формы зародыша и коэффициента смятия зародыша. Формула 1, по которой определяется  $\gamma_k$  с учетом коэффициента смятия зародыша, справедлива для симметрично-сминаемого зародыша. В практических условиях зародышеобразования смятие зародышей происходит несимметрично. Причем в первую очередь смятию подвергаются углы зародыша, поэтому указанное соотношение справедливо только для одного из двенадцати, произвольно выбранного ребра. С учетом смятия всех углов и уменьшения размеров граней зародыша формула 1 примет:

$$K_{нi} = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{i=1}^{12} (h_{\phi i} / h_{\phi}) / 12 \right\} / n, \quad (2)$$

где  $i$  – число граней зародыша;  $i=12$ ;  $n$  – количество зародышей, полученных в процессе принудительного зародышеобразования после пластической деформации в холостой зоне окомкователя и взятых для анализа,  $n=10$ .

Целью работы явился анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании.

Экспериментальные схемы, показанные на рисунке 2, были оформлены в виде объектов интеллектуальной собственности. На их основе были построены физические модели в масштабе 1:10, в которых окомкователь имел диаметр  $D=0,62$  м, работал с частотой вращения 12 об/мин, а угол наклона тарели составлял  $45^\circ$ . Расход шихты на зародышеобразование составлял 0,05 кг/с. Зародыши для расчета  $K_{см}$  и анализа эффективности экспериментальной схемы отбирали в нижней части холостой зоны тарели на ее вертикальном диаметре. В ходе эксперимента от места деления напыленного слоя (НС) шихты на зародыши и до нижней части холостой зоны они проходили относительное расстояние  $L/D$ , где происходило предварительное смятие углов и граней зародышей за счет переката и ударного взаимодействия друг с другом. Показатель  $L/D$  является конструктивной характеристикой экспериментальной схемы.



Схемы зародышеобразования: а – плужковым делителем (патент РФ №2327750), б – вращающимся барабаном (патент РФ №2356951), в – тоже в верхней части холостой зоны (патент РФ №2451015), г – тоже с увлажнением НС (патент РФ №2464328), д – тоже с увлажнением НС (патент РФ №2430167), е – плужковым делителем с профилированием и увлажнением бортового гарнисажа, №2165987), ж – плужковым делителем и ленточным пригрузом, установленным над нисходящим слоем зародышей (патент РФ №2190668), з – тоже с ленточным пригрузом, снабженным ячейковой решеткой (патент РФ №2343214), и – вращающимся барабаном и увлажнением массива зародышей (патент РФ №2377323)

Рисунок 2 – Экспериментальные схемы, позволяющие управлять пластической деформацией зародышей в холостой зоне окомкователя

Сложность экспериментальной схемы определяли по количеству конструктивных элементов схемы, наличию вращающихся узлов, налипанию шихты на детали схемы, по появлению отказов и затруднений в работе. Численное значение выхода годного (ВГ) вычисляли по разности между массой загружаемой шихты и массой образовавшейся мелочи фракции  $\leq 5$  мм в течение определенного цикла зародышеобразования и доокомкования (5 минут).

Для расчета  $K_{см}$  измеряли размеры граней зародышей с помощью измерительного шаблона и штангенциркуля с точностью 0,1 мм. Все технологические схемы были настроены на получение первоначального размера зародышей  $h_{зр}$  на уровне 10-11 мм. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты экспериментов

| Номер технологической схемы (рисунок 1) | Показатели работы экспериментальной схемы |                 |                  |          |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------|----------|
|                                         | L/D                                       | Сложность схемы | Выход годного, % | $K_{см}$ |
| а                                       | 0,25-0,30                                 | простая         | 85               | 0,92     |
| б                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 92               | 0,87     |
| в                                       | 0,80-1,00                                 | сложная         | 88               | 0,74     |
| г                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 94               | 0,79     |
| д                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 93               | 0,91     |
| е                                       | 0,25-0,30                                 | простая         | 86               | 0,90     |
| ж                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 78               | 0,78     |
| з                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 73               | 0,77     |
| и                                       | 0,25-0,30                                 | сложная         | 94               | 0,78     |

Процесс зародышеобразования и деления НС по схеме (а) осуществляется плужковым делителем достаточно простой формы, в котором отсутствуют вращающиеся элементы конструкции, что является достоинством схемы [4, 5]. Плужковый делитель сочетает в одном устройстве функции продольного и поперечного деления напыленного слоя. Недостатком является большой разброс зародышей по размерам, которые преимущественно имеют форму параллелепипеда. В этой связи перекал зародышей происходит вдоль большей (продольной) оси зародыша и изменение формы происходит только на 4-х гранях. В этой связи пластическая деформация зародышей развивается в минимальной степени, а  $K_{см}$  самый высокий из всех представленных ниже технических решений.

По схеме (б) зародышеобразование и деление НС осуществляется вращающимся барабаном, снабженным ребрами, получающим движение от ШГ [2]. Эта схема аппаратно более сложная по сравнению со схемой

(а), но обладает основным преимуществом – дает возможность получить зародыши с узким фракционным составом ( $h_{зр}=10-11$  мм). Относительное расстояние (длина пути)  $L/D$  имеет такое же значение, как и в схеме (а). Образующиеся зародыши имеют форму, близкую к форме куба, и перекачиваются по всем своим граням, что усиливает процесс пластической деформации и снижает коэффициент смятия до 0,87.

По технологической схеме (в) деление НС на зародыши осуществляется вращающимся барабаном с ребрами, аналогичным схеме (б). Отличие заключается в том, что деление НС осуществляется на выходе из нисходящего слоя материалов на более удаленном расстоянии от нижней части холстой зоны тарели [2]. Поэтому длина пути зародышей по этой схеме существенно возрастает до  $L/D=0,8-1,0$ . Перекат зародышей и ударное взаимодействие на этом расстоянии способствует более интенсивному смятию углов и граней зародышей и снижает  $K_{см}$  до 0,74. Это единственная экспериментальная схема, имеющая максимальное значение  $L/D$  и минимальную величину  $K_{см}$ .

По схеме (г) деление НС на зародыши осуществляется аналогично схеме (б), но НС перед делением целенаправленно переувлажняется до  $(1,05-1,10)W_{ш}$  (где  $W_{ш}$  – влажность загружаемой шихты, %). Поэтому образующиеся зародыши более пластичные и в большей степени сминаемы до  $K_{см}=0,79$ . Повышенная влажность зародышей также способствует эффективному доокомкованию шихтовой мелочи и формирует более высокое значение ВГ. Можно прогнозировать, что комбинация позиций (в) и (г) может дать максимальный эффект по  $K_{см}$  и снизить  $K_{см}$  ориентировочно до 0,6-0,7. Выход годного может превысить 95 %.

Увлажнение ШГ до влажности  $W_{шг}=(0,9-1,1)W_{ш}$  (схема д) способствует более эффективному сцеплению НС с ШГ и повышению степени напыления шихты. Поэтому в процессе принудительного зародышеобразования эта технологическая операция направлена преимущественно на повышение эффективности напыления шихты на движущийся шихтовый гарнисаж [2]. На процесс деления НС на зародыши она практически не влияет. Поэтому все параметры ( $ВГ=93$  %,  $K_{см}=0,91$ ) близки к параметрам, полученным при реализации схемы (б).

На бортовом шихтовом гарнисаже окомкователя согласно технологической схеме (е) выполнены продольные волнообразные каналы, которые в момент удара зародышей о борта способствуют смятию углов зародышей и снижению  $K_{см}$  до 0,90. Эта технологическая схема отличается простотой, отсутствием вращающихся частей и минимальным налипанием шихты на элементы конструкции. Недостатком этой схемы является необходимость выполнения волнообразных каналов малого диаметра (20-25 мм) на поверхности шихтового гарнисажа.

Установка массивного пригруза (лента, нагруженная влажной шихтой) на поверхности перекачивающихся зародышей в рабочей зоне оком-

окомкователя по схемам (ж) и (з) является достаточно простым и эффективным мероприятием [2]. По схеме (ж) на слое зародышей установлена гладкая эластичная лента, изготовленная из резины или ткани. По схеме (з) на поверхности ленты дополнительно установлена ячейковая решетка, увеличивающая массу пригруза и усиливающая пластическую деформацию зародышей и позволяющая снизить  $K_{см}$  до 0,77. Выход годного снижается до 73 % за счет частичного захвата шихты ячейками пригруза. К недостатку этой схемы можно отнести некоторое ограничение визуализации процесса окомкования и снижение контроля над технологическим процессом.

Переувлажнение образующихся зародышей в зоне зародышеобразования до  $W_{зр} = (1,05-1,15)W_{ш}$  увеличивает их пластичность аналогично схеме (г), что позволяет достичь относительно низкого  $K_{см} = 0,78$ . Эта схема также близка по сложности схеме (г), длине пути и относится к наиболее эффективной и по параметру ВГ.

Можно отметить, что технически простые схемы (а, е), направленные на регулирование пластической деформации зародышей, менее эффективны, чем более сложные. Применение технологически более сложных схем на практике позволяет сформировать величину коэффициента смятия до 0,74-0,91, а выход годного обеспечить на уровне 73-94 %. Комбинация схем в, г и в, и позволяет прогнозировать снижение  $K_{см}$  до 0,6-0,7. Но в этом случае теряются преимущества по получению окатышей с пониженным содержанием влаги в зародышевом центре.

Общим недостатком проанализированных технических схем является трудность согласования режимов зародышеобразования, осуществляемого в холостой зоне тарели окомкователя, и технологического режима переката, реализуемого в рабочей области тарели окомкователя, на одном технологическом агрегате. Эта трудность заключается в том, что после зародышеобразования зародыш представляет собой недеформированный брикет правильной кубической формы. Если условно предположить, что после переката зародышей в холостой зоне он не деформируется, то для обеспечения переката зародышей такой формы в рабочей зоне окомкователя нижней границей угла наклона днища тарели к горизонту является угол в 45 градусов. В реальном процессе переката зародышей в холостой зоне тарели в нижнюю часть днища тарели происходит деформация углов и граней зародышей. В результате этого меняется степень деформации зародыша и он становится более округлым. Вследствие чего изменяются условия доокомкования зародышей до окатышей в режиме переката в рабочей зоне тарели, поскольку нижняя граница угла наклона днища тарели к горизонту уменьшается. При этом коэффициент смятия зародышей в холостой зоне тарели меняется относительно незначительно, уменьшаясь от единицы до некоторого определенного значения (см. таблицу), не превышающего значений 0,74- 0,92. Среднее значение  $K_{см}$  составляет 0,87-0,96. В рабочей зоне окомкователя, напротив, происходит резкое падение  $K_{см}$  от 0,74-

0,92 до нуля. Среднее значение  $K_{см}$  составляет 0,37-0,46. Это значит, что, назначая угол  $\gamma = \gamma_k$  по условиям  $K_{см}$ , сформированного в рабочей зоне окомкователя, мы заведомо усложняем режим транспортировки и деформирования зародышей в холостой зоне окомкователя. Самым простым решением является выравнивание условий деформирования и формообразования в этих зонах, добиваясь техническими мероприятиями выравнивания коэффициентов  $K_{см}$  в этих зонах. Наиболее действенным решением является искусственная деформация зародышей в холостой зоне, желательная совмещенная с приростом массы. Известно большое число решений, направленных на привлечение сопутствующих технологических операций (напыление, деление, очистка) к формообразованию шихты [2]. Следует признать, что они зачастую технически сложны. Другим решением может быть комбинированное решение задачи, в которой задаются благоприятные условия зародышеобразования по углу  $\gamma$ , используя полученный коэффициент  $K_{см}$  в холостой зоне окомкователя, ограничивая при этом режим переката в зоне, занятой шихтовыми материалами. Для выравнивания условий формообразования в этом случае целесообразно использовать дополнительные управляющие воздействия в рабочей зоне окомкователя: частоту вращения тарели, влажность шихты и гарнисажа, механические активаторы шихты и другие способы. Используя принцип выравнивания условий деформирования в разных зонах окомкователя можно применять частичную деформацию зародышей их механическим ускорением при перекате в холостой зоне окомкователя и другие инженерные решения.

**Выводы.** Проанализированы технические схемы, позволяющие управлять пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В.М. Особенности движения зародыша сложной формы на тарели окомкователя в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании / В.М. Павловец, А.В. Герасимук // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: Сб. науч. трудов. Вып. 37, 237 с. СибГИУ. – Новокузнецк, 2017. – с. 15 – 24.
4. Павловец В.М. Исследование теплосиловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразо-

вания / В. М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 6. – С. 9 – 13.

5. Павловец. В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 6. – С. 15 – 20.

УДК 669. 162. 12:622

В.М. Павловец

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЛАГОУДАЛЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ОКОМКОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

В работе проанализированы технические решения, направленные на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей.

Technical solutions aimed at the organization of preliminary moisture removal at the pelletizing site in the production of jelly-ore pellets are analyzed.

Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает формирование зародышей по форме, близкой форме куба в холостой зоне тарели методом напыления и создание оболочки окатышей их доокомкованием в рабочей зоне окомкователя в режиме переката [1, 2]. Эта технология экспериментально опробована в лабораторных условиях и позволяет получать окатыши с дифференцированным распределением пористости по его сечению с более высокой удельной производительностью. Благоприятным сопутствующим процессом этой технологии является влагоудаление из зародышей, которые в процессе их доокомкования, располагаясь в центре гранулы, формируют окатыши с пониженным содержанием влаги уже на стадии окомкования. Практика этой технологии позволяет одновременно с окомкованием организовать предварительное влагоудаление (ПВУ) в циркуляционной зоне комкуемого слоя на тарели окомкователя или на стадии выгрузки окатышей из окомкователя. Подход к тарельчатому окомкователю

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.  
Отделение металлургии**

*Сборник научных трудов*

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 22.09.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 13,5 Уч.-изд.л. 14,4 Тираж 300 экз. Заказ № 447

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.  
Издательский центр СибГИУ