

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФЕРРОСПЛАВОВ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Е. Марченко

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены предпочтительные типы оборудования для обеспечения безопасного измельчения ферроматериалов, применяемых в электродном производстве. Описаны конструкционные особенности оборудования, их преимущества и недостатки. Библиогр. 6, рис. 8.

Ключевые слова: электродное производство, ферроматериалы, пожаровзрывобезопасное измельчение, щелевая мельница, вибрационная мельница, аэробильная дробилка, виброинерционная дробилка

При выборе измельчительного оборудования, предназначенного для пожаровзрывобезопасного измельчения ферросплавов, предпочтение отдается установкам, которые:

- характеризуются низкими удельными затратами энергии на измельчение и, следовательно, незначительным разогревом материала в процессе измельчения;

- имеют небольшие размеры мелющей камеры;
- обеспечивают быстрый вывод измельчаемого материала за пределы мелющей камеры, предотвращая его нагрев, переизмельчение и минимизируя изменение энергетического состояния поверхностного слоя его частиц;

- позволяют изолировать от окружающей атмосферы не только рабочее пространство измельчительной камеры, но также соединения его с узлами загрузки выгрузки, а также в зоне извлечения целевых фракций.

Опыт электрооизготавливающих предприятий показал, что этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют:

- модернизированная щелевая шаровая мельница института «Гипрометиз» барабанного типа с периферийным просевом;

- двухкамерная стержневая вибрационная мельница трубного типа модели PALLA-U (фирма KND HUMBOLDT WEDAG);

- конусная виброинерционная дробилка института «Механобр» (модель КИД 300);

- вертикальная аэробильная дробилка Pluristadio GR 80 (фирма GUSSEO).

Рассмотрим конструкционные особенности перечисленных измельчителей, включая обеспече-

ние требуемой степени пожаровзрывобезопасности процесса измельчения.

Щелевая мельница Гипрометиза. В традиционной технологии измельчения ферросплавов в защитном газе использовалась обычная щелевая мельница «Гипрометиза» с диаметром барабана 700 мм, помещенная в герметичную камеру объемом 25,5 м³. Такая установка имеет следующие недостатки:

- низкая производительность, что обусловлено длительностью подготовительных операций, включающих, в том числе, вывод установки на безопасный режим работы;

- сложность обслуживания;

- большой объем герметизируемой камеры;

- высокая запыленность рабочего пространства и накопление в камере отложений токсичной, пирофорной и взрывоопасной пыли в количестве, превышающем 20 кг в сутки; взметенная во время пылеуборки, она по концентрации может превысить ПДК и нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ).

На основе результатов математического моделирования и производственных экспериментов, выполненных на одной из действующих измельчительных установок этого типа, авторы работ [1, 2] модернизировали схемы и режимы подачи защитного газа, а также систему аспирации, которые обеспечивают пожаровзрывобезопасные концентрации кислорода в активной зоне (8 %) и допустимый уровень запыленности аспирируемого воздуха.

Схема модернизированной установки приведена на рис. 1.

По этой схеме нет необходимости в специальной камере, достаточно штатного кожуха с пятью подводами инертного газа (ИГ) — азота: в полость барабана (точно через цапфу по трубе диаметром 10 мм), в верхнюю и бункерную части

*Ретроспективный обзор по материалам публикаций в малотиражных изданиях и источниках несварочного профиля.

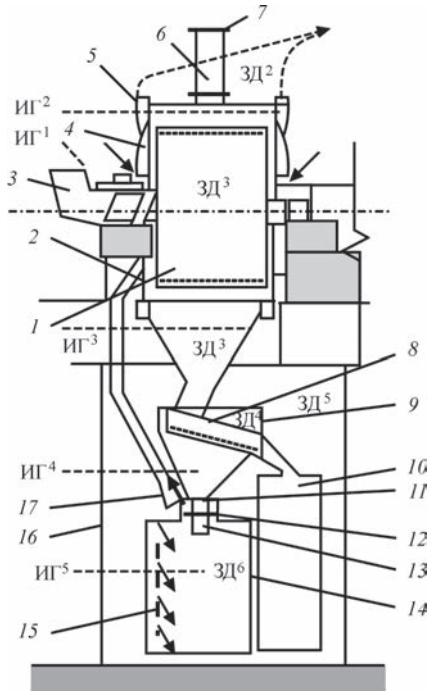


Рис. 1. Схема установки для пожаровзрывобезопасного измельчения ферросплавов на базе щелевой мельницы Гипрометиза [2]: 1 — барабан мельницы; 2 — кожух мельницы; 3 — питатель; 4 — аспирационное укрытие; 5 — аспирационный патрубок; 6 — трубопровод для разгрузки давления; 7 — мембрана; 8, 9 — виброгрохот с аспирационным укрытием; 10 — емкость для надрешеточного продукта; 11 — щелевая регулируемая диафрагма; 12–14 — щелевая регулируемая диафрагма, загрузочный патрубок и кубель готового продукта; 15 — устройство, распределяющее инертный газ в кубеле; 16 — общая камера виброгрохота и приемного кубеля; 17 — патрубок и воронка эжектирующего устройства; ИГ и ЗД — точки подвода инертного газа и замеров давления

кожуха, а также в над- и подситовую зону укрытия виброгрохота и кубель для готового порошка (перфорированной трубкой, обеспечивающей равномерное пространственное распределение ИГ).

Аспирационные укрытия смонтированы на торцевых стенках мельничного кожуха. Они сообщаются с полостями барабана и кожуха лишь через неплотности в местах прохода цапф, открыты снизу и сужаются сверху. Засасываемый через нижние проемы воздух из помещения, омывая цапфы, увлекает пылевыведения из мельницы в местах указанных неплотностей, практически не нарушая состав защитного газа внутри мельничного кожуха и барабана и сохраняя концентрацию взвешенных частиц в отсосах на достаточно низком уровне. Возрастающая на участке сужения наружных камер скорость аспирируемого воздуха предотвращает осаждение частиц из потока и накопления их на поверхности цапф.

Аспирация узла загрузки кубеля локализует возможные здесь пылевыведения, а также в зоне классификации порошка на вибросите.

Выбранные оптимальные режимы подачи и соотношения удельных расходов азота, поступающего в полость мельницы и в полость между барабаном и кожухом, аэродинамически связанную с виброситом и кубелем, обеспечивают надежное предотвращение воспламенений и взрывов.

Концентрация пыли на рабочем месте понижалась до уровня общей фоновой запыленности в цеховом пространстве.

Длительность продувки полостей азотом перед пуском мельницы сокращена с 2,0...2,25 ч (проектный вариант размещения измельчительной установки в герметичной камере объемом 25,5 м³) до 15 мин.

Вибрационная мельница модели PALLA-U представлена на рис. 2.

Установка состоит из подвижной (измельчающей) и неподвижной части. Неподвижная часть в виде жесткой металлической рамы 10 устанавливается на виброизолированном фундаменте 8. Подвижная часть состоит из двух горизонтальных, расположенных друг над другом трубных мелющих камер 5, надежно связанных друг с другом с помощью стальных стяжных хомутов. Вибровозбудительные узлы 3 расположены в промежутке между мельничными камерами, строго по вертикали равноудаленными от них. Каждый из узлов представляет собой короткий дебалансный вал на подшипниках качения, которые, будучи расположенными в защитной трубе, соединены между собой посредством промежуточного вала с крестовинами. Их через карданный вал 11 приводит во вращение асинхронный электродвигатель, смонтированный на консольно вынесенной площадке, расположенной с фронтально-лицевой стороны установки. Подвижная часть установки опирается на неподвижную раму

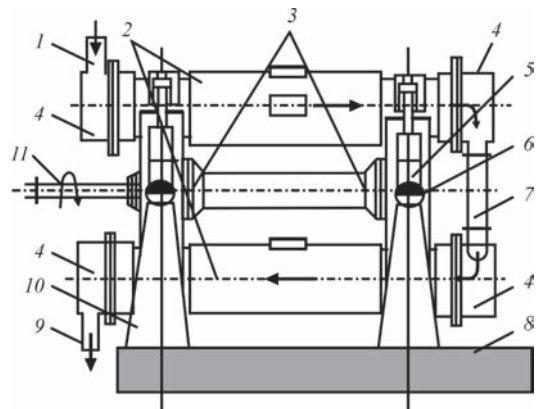


Рис. 2. Схема вибрационной мельницы PALLA-U фирмы KHD HUMBOLDT WEDAG: 1 — загрузочный патрубок; 2 — трубные мельничные камеры; 3 — узлы дебалансных вибровозбудителей; 4 — сменные торцевые днища мельничных камер; 5 — трубные связи; 6 — амортизаторы; 7 — переточный рукав; 8 — виброизолированный фундамент; 9 — выпускной штуцер; 10 — неподвижная рама; 11 — приводной вал

через упругие элементы-амортизаторы 6. Общий вид мельницы представлен на рис. 3 [2–4].

На выходе из камеры установлена торцевая решетка из высокопрочной стали, по размерам и количеству отверстий рассчитанная на максимальный проход готового продукта.

Это позволяет получать его, не опасаясь переизмельчения, без классификации на грохоте. В зависимости от измельчаемого материала 55...65 об. % полости каждой мельничной камеры заполнено цилиндрами, что дополнительно гарантирует недопущение переизмельчения.

При непрерывной подаче материала в камеру трение, возникающее при вибрации на поверхности горизонтальных мелющих цилиндров, позволяет не только измельчать, но и перемещать материал в пространстве между ними по спиральной траектории к выходу из камеры. Производительность мельницы контролируется углом внутреннего трения на разгрузке, типом и размером мелющих тел, крупностью питания, свойствами материала и кругового движения камеры. Степень измельчения зависит, главным образом, от времени удержания частиц в камерах, т. е. от варианта подключения мелющих камер — последователь-

ного, как показано стрелками на рис. 2, параллельного или комбинированного.

По первому режиму материал последовательно проходит верхнюю, а затем — нижнюю камеру. По такому режиму измельчают ферромарганец, ферротитан и ферросилиций. При работе по параллельному режиму измельчаются материалы менее прочные, чем ферросплавы. Материал загружается отдельно в каждую камеру, а на выходе получается целевой продукт. Производительность процесса возрастает вдвое, а достигнутая степень измельчения определится значением коэффициента измельчаемости материала. В производстве электродов по такому режиму измельчают кварцевый песок, рутиловый концентрат и мрамор. Третий режим предназначен для наиболее легко измельчаемых материалов. Их загружают в трубные камеры через центральные люки, а продукты измельчения движутся от центрального сечения к выпускным люкам каждой камеры. Степень измельчения при этом минимальная, а производительность процесса — самая высокая в сравнении с последовательным и параллельным режимами работы.

Режимы и производительность измельчения каждого нового материала выбираются путем проведения предварительных испытаний, по результатам которых определяют вид мелющих тел (стальные шары, цельбесы, стержни) и режим работы мельницы (частота, амплитуда вибраций, продолжительность измельчения). В бывшем Советском Союзе электродные цехи использовали двухкамерные мельницы PALLA-U для измельчения не только ферросплавов, но и рудоминеральных ингредиентов покрытия. При этом получались порошки более крупнозернистые, чем при использовании других видов проходных барабанных шаровых мельниц, даже с периферийным просевом.

Полости мельничных камер герметизированы уплотнительными термостойкими кольцами, патрубками на входе и выходе соединены с укрытиями загрузочного и приемного узлов эластичными гофрированными переходами.

Мельницы комплектуются генератором углекислого газа и звукоизоляционной капсулой. Поэтому измельчительные установки на базе вибрационных мельниц PALLA-U обеспечивают условия труда обслуживающего персонала, безопасные с точки зрения санитарно-гигиенических предписаний, а при измельчении ферросплавов — еще и нормативных требований пожаро- и взрывобезопасности.

Аэробильная дробилка модели Pluristadio GR 80 итальянской фирмы GUSSEO представлена

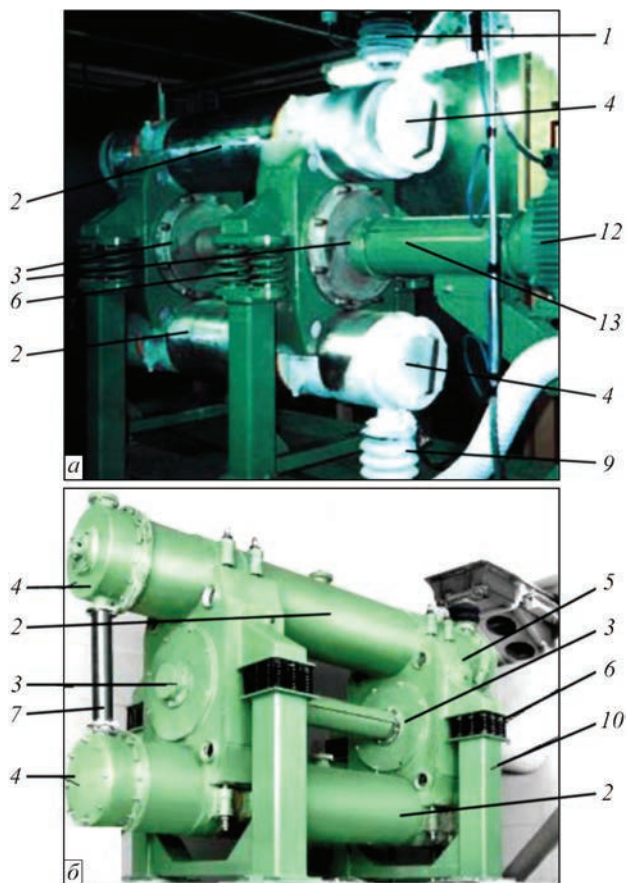


Рис. 3. Фронтально-лицевой (а) и тыловой (б) виды вибрационной мельницы PALLA-U: 12 — электродвигатель; 13 — кожух приводного вала (остальные обозначения см. рис. 2)

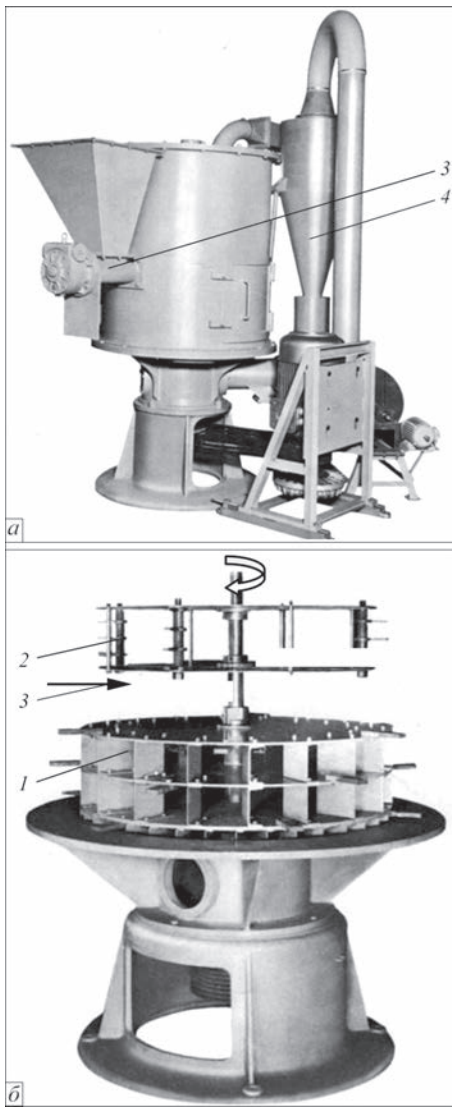


Рис. 4. Общий вид (а) и измельчительный ротор (б) аэробильной мельницы Pluristadio GR 80 (обозначения см. в тексте)

на рис. 4, а в составе измельчительной установки — на рис. 5. Она состоит из футерованного броней цилиндрического корпуса и ротора — вертикального вала с насаженными на него двумя разнесенными по высоте трехъярусными секциями бил. Нижняя секция 1 оснащена билами большего размера и предназначена для разрушения крупных фракций. Верхняя секция 2 осуществляет тонкое измельчение, она набрана из бил меньшего размера. В пространство между ними шнековый питатель 3 равномерно подает материал на диск нижней секции ротора.

Выполненный в виде центробежного распределителя, ротор, с одной стороны, направляет материал, подлежащий измельчению, в кольцевой зазор вдоль цилиндрической поверхности мельничного корпуса, а, с другой стороны, отражает и устремляет в этот зазор нагнетаемый вентилятором газовый поток. Относительно мелкие частицы материала увлекаются газовым потоком и на-

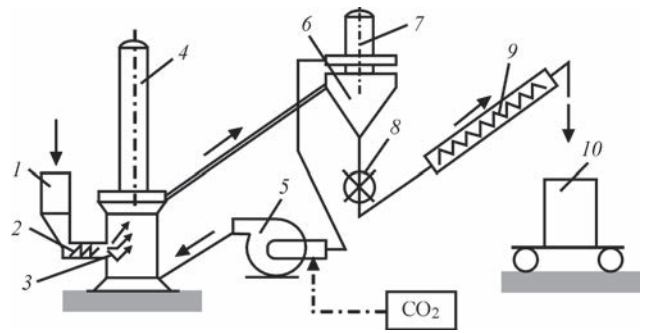


Рис. 5. Технологическая схема измельчающей установки для ферросплавов: 1, 2 — бункер со шнеком; 3 — мельница; 4, 7 — надувной взрывобезопасный клапан; 5 — вентилятор; 6 — бункер циклона; 8 — затвор; 9 — шнек; 10 — тележка

правляются сквозь била верхней секции ротора в сепаратор 4, в котором они разделяются на две фракции: мелкая (товарная) фракция уносится и осаждается в циклоне, а крупная возвращается на доизмельчение. Более крупные (тяжелые) частицы какое-то время падают в кольцевом зазоре мельницы вниз, навстречу газовому потоку, попадают под била нижней секции ротора, измельчаются, а затем тоже уносятся вверх, окончательно доизмельчаются верхними билами и тоже направляются в сепаратор 4.

Схема установки для измельчения ферромарганца, ферротитана и ферросилиция на базе аэробильной мельницы Pluristadio GR 80 представлена на рис. 5.

Гранулометрический состав порошка регулируется при настройке мельницы посредством изменения количества бил, подвешенных к дискам роторов, скорости газового потока с помощью жалюзей сепаратора, а также путем изменения частоты вращения рабочего колеса вентилятора. Чем больше скорость газового потока, тем более крупные частицы он подхватывает и устремляет вверх под била верхней секции ротора. Интегральная степень измельчения материала при этом уменьшается, а производительность мельницы возрастает. При уменьшении скорости газового потока помол получается более мелким, но количество измельченного мельницей материала понижается.

Поскольку питатель расположен в средней части мельницы, т. е. между верхним и нижним ротором, а газ нагнетается через сопло, установленное под нижним измельчающим диском, переизмельчение материала исключается.

Система герметична. В систему подают CO_2 , в случае необходимости, с добавкой кислорода, в объеме, достаточном для восполнения потерь. Герметичность системы подтверждается наполнением тканевых фильтрующих рукавов, которыми оборудована мельница и сепаратор. В качестве защитной атмосферы можно использовать смесь азота с кислородом.

Мельница Pluristadio GR 80 имеет небольшой объем рабочей камеры — диаметр 800 мм, а высота 1200 мм. Она легко и быстро, в течение 30 мин, очищается от остатков предыдущего материала. По производительности она обеспечивает потребности в названных ферросплавах цеха мощностью до 12,5 тыс. т электродов в год, из них 70 % с рутитовым и 30 % с низководородным покрытием.

Виброинерционная конусная дробилка КИД-300 [5, 6]. Профиль мелющей камеры виброинерционной конусной дробилки, как и у традиционных вибродробилок конусного типа, образуется бронированными поверхностями сопряженных друг с другом дробящих конусов — неподвижного наружного и вращающегося внутреннего. Наружный конус и сферическая опора внутреннего конуса смонтированы на станине измельчителя. Внутренний конус приводится электродвигателем в движение не через эксцентриковый стакан, как в конусной дробилке обычного типа, а через дебалансный вибровозбудитель. Он располагает гнездом шарообразного профиля для сферической опоры внутреннего конуса и устанавливается под ним на приводном валу. В результате использования такого привода внутренний конус наряду с вращением совершает гирационные движения, т. е. качания, свойственные коническому маятнику.

Равнодействующая обеих центробежных составляющих, прижимающая в пульсирующем режиме внутренний конус к наружному, является силой, измельчающей материал, загружаемый в мельничную камеру дробилки. Рабочие поверхности мелющих тел воздействуют на зерно через окружающие его зерна при циклическом уплотнении слоя в рабочей зоне.

На протяжении короткого времени прохождения мелющей камеры исходный материал пребывает в объемном напряженном состоянии в условиях многократного повторения циклов сжатия, изгиба и разгрузки. В таких условиях материал разрушается преимущественно по законам фрактальной кинетики по наиболее слабым поверхностям. Крупность порошка регулируется положением дебалансера, а производительность дробилки — изменением размера разгрузочной щели, т. е. зазора между футеровками конуса и чаши.

К преимуществам инерционных дробилок типа КИД по сравнению с обычными конусными дробилками с эксцентриковым приводом относят:

- трех-...пятикратное повышение показателя кратности дробления (до 15...18, в сравнении с традиционным показателем на уровне 3...5);
- увеличение выхода годного продукта;

- возможность работы дробилки под завалом, а также пуска и остановки под нагрузкой;

- незначительный уровень запыленности над уровнем слоя измельчаемого материала в зоне загрузки.

В ИПМ им. И.М. Францевича НАН Украины испытали дробилку КИД-300 при измельчении ряда ферросплавов, в том числе ферросилиция марок ФС-45 и феррованадия ФВ-35, с начальным размером кусков 20 мм [6]. Схема опытной установки приведена на рис. 6.

Режимные показатели работы дробилки в ходе испытаний:

- скорость вращения дебалансного вибратора $w = 20 \text{ с}^{-1}$;
- статические моменты дебаланса $M_{ст}$, (2,52; 3,08 и 3,48 кг·м);
- ширина разгрузочной щели $\Delta = 6 \text{ мм}$.

Зависимости достигнутых при этом показателей производительности процесса измельчения по массе переработанного материала и полученного целевого продукта, кг/ч, а также по выходу годно-

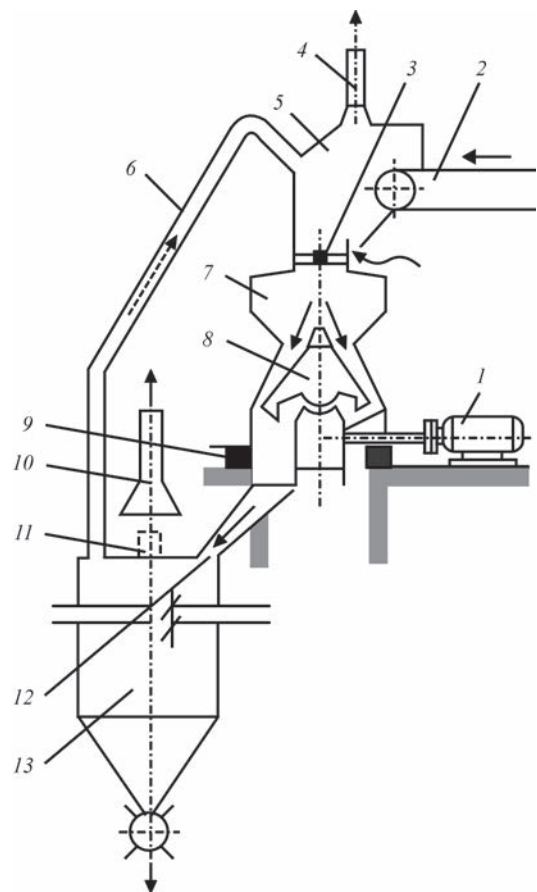


Рис. 6. Схема аспирации конусной вибрационной дробилки КИД-300 [6]: 1 — привод; 2 — питатель; 3–5 — приемный желоб, закрытие загрузочного устройства с аспирационным отсосом; 6 — отводная труба; 7, 8 — наружный и внутренний конус дробилки; 9 — амортизатор; 10, 11 — воронка и патрубок эжекционного устройства (в варианте без отводной трубы); 12 — разгрузочный желоб; 13 — бункер с кубелем для измельченного материала

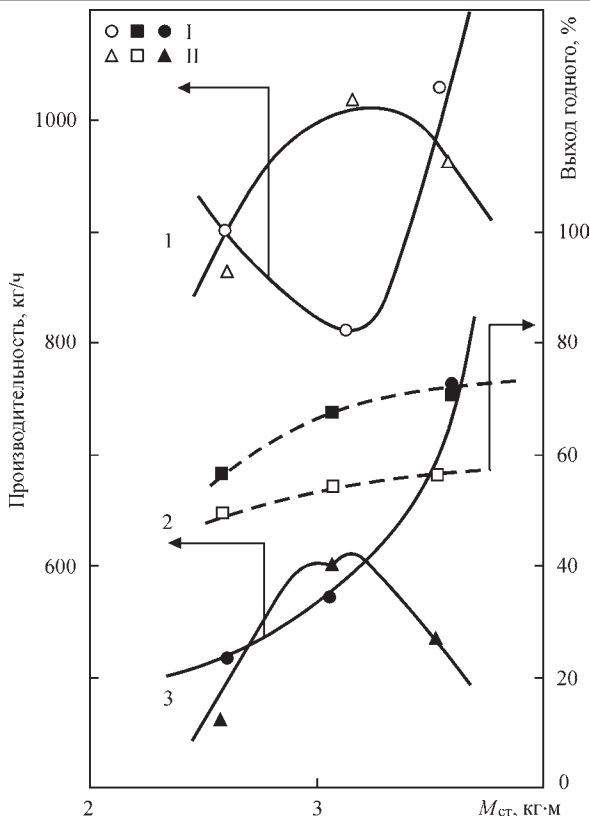


Рис. 7. Взаимосвязь показателей производительности процесса измельчения ферросилиция ФС-45 (I) и феррованадия ФВ-35 (II) от статического момента дебаланса на конической инерционной дробилке КИД-300 (по данным [6])

го продукта, %, величины статического момента дебаланса, приведены на рис. 7.

Приведенные данные показали, что измельчитель КИД-300 можно использовать для приготовления порошков ферросплавов, по зерновому составу соответствующих требованиям технологии производства низководородных электродов общего назначения, с примененным в настоящей работе аспирационным оформлением, обеспечивающим концентрацию пыли в аспирируемом воздухе, не превышающем $1,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ при производительности отсоса $900 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ [5].

Автор признателен О.Д. Нейкову за конструктивные советы и обсуждение материалов.

Список литературы

1. Нейков О.Д., Марченко А.Е., Недин В.В. и др. (1982) О проблеме взрывоопасности при измельчении ферросплавов. *Тр. Всесоюз. конфер. по сварочным материалам*. Подходня И.К. (ред.). Киев, Наукова думка, сс. 167–172.
2. Васильева Г.И., Нейков О.Д., Черных А.М. и др. (1989) Обеспечение защитных газовых сред в установках по измельчению ферросплавов. *Сб. «Металлургические и технологические проблемы электродов с основным покрытием»*. Доклады II Международной школы стран-членов СЭВ (София, ноябрь, 1989 г.). Киев, Наукова думка, сс. 133–139.
3. Гайрабедьянц Э.Л., Бетчин В.А., Матвеев Н.Н. (1977) Технология и оборудование поточного производства электродов. *Технология, организация производства и управления*. НИИ Информэнерго.

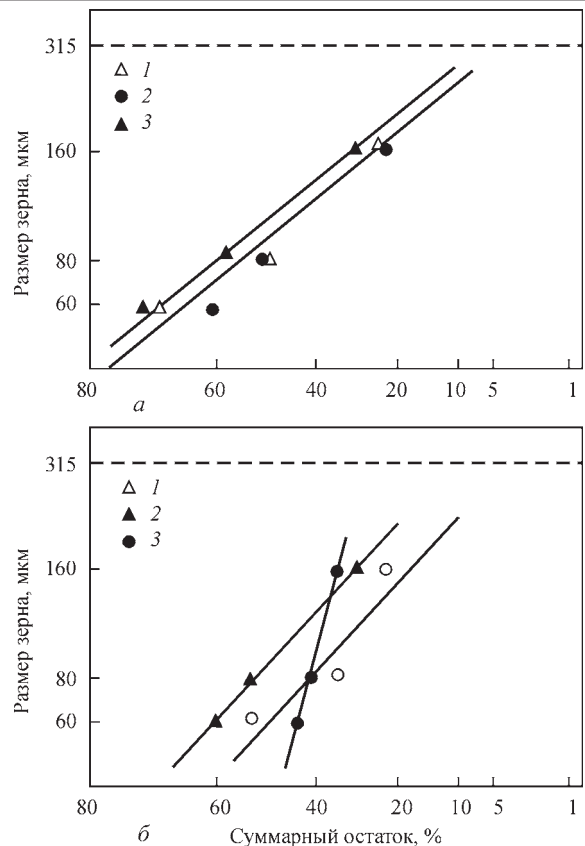


Рис. 8. Гранулометрический состав порошков, полученных при измельчении ферросилиция ФС-45 (а) и феррованадия ФВ-35 (б) на установке КИД-300 при значениях $M_{ст}$ равных 2,52 (1), 3,08 (2) и 3,48 (3) кг·м (по данным [6])

4. (2009) Новые рубежи. Мельницы PALLA – UO в обогащении. *Горная промышленность*, 1.
5. Ревкин В.Н., Гиршов В.Л., Финкельштейн Г.А. и др. (1982) Измельчение металлических порошков и стружки. *Порошковая металлургия*, 4, 12–17.
6. Денисов Г.А., Арделян А.А., Зарогатский Л.П. и др. (1989) Технология измельчения ферросплавов с использованием конусного инерционного измельчителя. *Сб. Металлургические и технологические проблемы электродов с основным покрытием. Доклады II Международной школы стран-членов СЭВ, София, ноябрь 1989 г.* Киев, Наукова думка, сс. 140–146.

References

1. Nejkov, O.D., Marchenko, A.E., Nedin, V.V. et al. (1982) On problem of explosion hazard in grinding of ferroalloys. *In: Proc. of All-Union Conf. on Welding Consumables*. Ed. by I.K. Pokhodnya. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Vasilieva, G.I., Nejkov, O.D., Chernykh, A.M. et al. (1989) Supply of shielding gas media in installation of ferroalloys grinding. *In: Proc. of 2nd Int. School of Countries-Members of CMEA on Metallurgical and Technological Problems of Basic Electrodes (Sofia, November 1989)*. Kiev, Naukova Dumka, 133-139.
3. Gajrabadnyants, E.L., Betchin, V.A., Matveev, N.N. (1977) Technology and equipment of flow-line electrode manufacturing. *In: Technology, organization of manufacturing and management*. NII Informenergo [in Russian].
4. (2009) New frontiers. Grinding mills PALLA –UO in beneficiation. *Gornaya Promyshlennost*, 1 [in Russian].
5. Revkin, V.N., Girshov, V.L., Finkelshtejn, G.A. et al. (1982) Grinding of metal powders and chips. *Poroshk. Metallurgiya*, 4, 12-17 [in Russian].
6. Denisov, G.A., Ardelyan, A.A., Zarogatsky, L.P. (1989) Technology of grinding of ferroalloys with use of conical

УСТАТКУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕЧНОГО ПОДРІБНЕННЯ ФЕРОСПЛАВІВ ЕЛЕКТРОДНОГО ВИРОБНИЦТВА

А.Ю. Марченко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто найкращі типи обладнання для забезпечення безпечного подрібнення фероматеріалів, що застосовуються в електродному виробництві. Описано конструкційні особливості устаткування, їх переваги та недоліки.

Ключові слова: електродне виробництво, ферроматеріали, пожежовибухонебезпечне подрібнення, щілинний млин, вібраційний млин, аеробільна дробарка, віброінерційна дробарка

EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES OF SAFE GRINDING OF FERRO-ALLOYS OF ELECTRODE PRODUCTION

A.E. Marchenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The preferred types of equipment are considered to provide safe grinding of ferromaterials used in electrode production. The design features of the equipment, their advantages and disadvantages are described. 6 Ref., 8 Fig.

Key words: electrode production, ferromaterials, fire and explosion grinding, slit mill, vibration mill, paddle-type grinder, vibroinertial grinder

Поступила в редакцію 24.04.2019



Інститут електросварки ім. Є.О. Патона НАН України
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Международная Ассоциация «Сварка»

Девятая международная конференция **ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

9 – 13 сентября 2019 г.
Украина, Одесса

Председатель программного комитета
академик И.В. Кривцун

Тематика конференции

- Лазерная и электронно-лучевая сварка, резка, наплавка, термообработка, нанесение покрытий
- Электронно-лучевая плавка и рафинирование
- Гибридные процессы
- 3D-технологии
- Моделирование лучевых технологий
- Материаловедческие проблемы лазерных и электронно-лучевых технологий

ОБОРУДОВАНИЕ ♦ ТЕХНОЛОГИИ ♦ МОДЕЛИРОВАНИЕ



АДРЕС ОРГКОМИТЕТА
Украина, 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11
Институт електросварки ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://pwi-scientists.com/rus/twmp2019>

