

ФАКТОРЫ РИСКА И КРИТЕРИИ ПОЖАРО- И ВЗРЫВО-ОПАСНОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОСПЛАВОВ*

А.Е. Марченко

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

Рассмотрены основные показатели, характеризующие пожаро- и взрывоопасность продуктов измельчения ферросплавов, применяющихся в электродной технологии. Отмечено влияние типа измельчителя на поведение порошков ферросплавов и приведена сравнительная оценка промышленных установок, используемых в электродном производстве. Сделан вывод о необходимости регулярной аттестации каждой конкретной технологии измельчения ферросплавов. Библиогр. 11, табл. 4, рис. 3.

Ключевые слова: сварочное производство, пожаро- и взрывоопасность, электродная технология, измельчение ферросплавов, качество изготовления, аттестация технологии

Общие сведения о взрывоопасности металлических порошков. Измельчение, грохочение и транспорт продуктов измельчения сопровождается образованием взрывоопасных аэрозвесей и горючих отложений. Их воспламенение и взрывы внутри размольного, смесительного оборудования, в пневмотранспортных, аспирационных системах, вентиляторах и рукавных фильтрах неоднократно приводило к разрушениям, травматизму и гибели персонала. Воспламенения и взрывы вызывались термическими источниками, а также локальными загораниями, спровоцированными разогревом от механического воздействия или искрением трибоэлектрической природы.

В процессе развития взрыва, как правило, участвует пыль, взвешенная с поверхности оборудования и строительных конструкций, а также внутри вентиляционных систем.

Куски материала в начальной стадии измельчения разрушаются под комбинированным действием раздавливания и удара, а в стадии тонкого измельчения — ударом, комбинированным с истиранием. Общая энергия на измельчение E_{dis} тратится на упругую и пластическую деформацию зерен $a_{def}\Delta V$, на нагрев Q , а также разрушение частиц с образованием новой поверхности $s\Delta S$:

$$E_{dis} = a_{def}\Delta V + s\Delta S + Q, \quad (1)$$

где a_{def} — работа упругой и пластической деформации на единицу объема твердого тела; s — удельная поверхностная энергия; ΔV — деформированная часть объема измельчаемого материала; ΔS — прирост поверхности материала вследствие процесса измельчения.

Прирост поверхности при крупном дроблении незначителен и расход энергии на разруше-

ние считают пропорциональным объему разрушаемого тела. При тонком измельчении преобладает расход энергии на прирост вновь образующейся поверхности. Соотношение составляющих расходов энергии на измельчение зависит от вида помольного оборудования, а также от мельничного гарнитура.

Потенциальная пожаровзрывоопасность процесса измельчения ферросплава зависит от его физико-химических свойств, а также типа и режимов работы измельчительного оборудования.

Ферросплавы различаются по размалываемости, поэтому порошки разных ферросплавов, полученные с использованием одного и того же измельчителя, различаются и по дисперсности, и по пожаровзрывоопасности. То же можно сказать и о порошках одного и того же ферросплава, полученных с применением различных измельчителей.

Пожаровзрывобезопасность технологии измельчения ферросплавов оценивается по методике, которая предусматривает лабораторную и производственную стадию [1].

На лабораторной стадии определяют химический состав, дисперсность, кинетические показатели окисления порошков, состояние поверхности частиц, а также характеристики горючести и взрываемости, прежде всего выделенных из них наиболее активных пылевидных фракций.

В ходе производственной стадии тестируются порошки ферросплавов для электродных покрытий, получаемые в промышленных условиях на разных измельчительных установках. Исследуются также воспламеняемость и взрываемость порошков, их пылевидных фракций (размером мельче 50 мкм), пробы которых отбирают из аспирируемого газа (воздуха) аспирационных систем и из отложений пыли на строительных конструкциях и технологическом оборудовании.

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

Чтобы охарактеризовать пожаровзрывоопасность продуктов измельчения, используются следующие показатели [2–5].

Кинетические параметры окисления порошка в предвоспламенительный период нагрева: температура начала экзотермического процесса $T_{нз}$ и скорость окисления $V_{ок}$.

Температура самовоспламенения — наименьшая температура окружающей среды, при которой наблюдается самовозгорание пробы в слое и во взвешенном состоянии ($T_{сз}, T_{св}, ^\circ\text{C}$). Этот показатель находится путем введения определенной массы вещества в сосуд, нагреваемый до ступенчато поднимающейся температуры, и определения минимального ее значения, при котором происходит самовоспламенение.

Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ, г/м³) и распространения пламени (НКПР, г/м³) — минимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно воспламенение и распространение возникшего пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Максимально безопасное содержание кислорода в газовой среде, при котором происходит возгорание вещества и распространение пламени (МВСК, %).

Температура воспламенения аэрозвеси — минимальная температура внешнего источника (обычно, нагретой поверхности), при которой воспламеняется аэрозвесь ($T_{в}, ^\circ\text{C}$).

При испытании аэрозвесь определенной концентрации приводится в контакт с нагретой поверхностью. Для каждой концентрации определяется минимальная температура воспламенения, а затем наименьшее из этих значений при различных концентрациях принимается за температуру воспламенения.

Максимальное давление взрыва $P_{\text{макс}}$, МПа, которое представляет собой наибольшее избыточное давление, возникающее при так называемом дефлаграционном, т. е. гомогенном, сгорании пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном атмосферном давлении смеси 101,3 кПа. Для определения $P_{\text{макс}}$ пылевоздушная смесь заданного состава загорается в объеме реакционного сосуда и регистрируется избыточное давление, развивающееся при воспламенении горючей смеси. Изменяя концентрацию горючего в смеси, из полученных результатов выбирают максимальное значение.

Скорость нарастания давления взрыва $V_{\text{макс}}$, МПа·с⁻¹ — производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва горючей смеси от времени. Сущность

метода ее оценки — экспериментальное определение максимального давления взрыва горючей смеси в замкнутом сосуде, построение графика изменения давления взрыва во времени и расчет средней и максимальной скорости по известным формулам [3].

При категорировании производственных измельчительных установок учитываются также требования ПУЭ7 [6].

Сравнение кинетических параметров окисления ферросплавов. Ферромарганец ФМн 92, ферротитан ФТи 30 и ферросилиций ФСи 45, используемые в качестве раскислителей наплавленного металла, относятся к сплавам с низкой энергией активации. Склонность к окислению их порошков в предвоспламенительном периоде нагрева (от 300 до 600, 700 и 1000 °С, соответственно) оценивается по значениям $T_{нз}$ и $V_{ок}$, найденных методом ДТА. Исследовали фракции с размером частиц 0...40 мкм, выделенные просеиванием порошков, полученных дроблением и виброизмельчением на лабораторных установках. Скорость нагрева навески в ДТА определениях составляла 10 °С·мин⁻¹. Скорость окисления определяли путем графического дифференцирования ДТА- и ДТГ-диаграмм при заданной температуре нагрева материала.

Результаты определения $T_{нз}$ представлены в табл. 1, а зависимость скорости их окисления от температуры — на рис. 1.

Из приведенных данных следует, что исследованные ферросплавы различаются по стойкости против окисления в период предвоспламенительного нагрева. Процесс окисления ферромарганца, самого активного из испытанных ферросплавов, начинается при самой низкой температуре. Наиболее стоек против окисления ферросилиций. Ферротитан занимает промежуточное положение. Характерно, что порошки ферромарганца и ферротитана, полученные виброизмельчением, активнее порошков, измельченных дроблением. В то же время способы измельчения ферросилиция не влияют на значения температур начала экзотермической реакции.

Таблица 1. Значения температуры начала экзотермической реакции $T_{нз}$ порошков ферросплавов фракции 0...40 мкм [1]

Ферросплав	Способ измельчения	$T_{нз}, ^\circ\text{C}$
Ферромарганец	Дробление	200
	Вибропомол	140
Ферротитан	Дробление	220
	Вибропомол	180
Ферросилиций	Дробление	450
	Вибропомол	450

С повышением температуры скорость окисления возрастает. При этом для порошков ферромарганца настолько интенсивно, что при достижении температуры воспламенения дробленые частицы становятся активнее, чем полученные виброизмельчением. Скорость окисления частиц ферротитана возрастает с повышением температуры в меньшей мере, а частиц ферросилиция еще медленнее. Причем их пылевидные частицы сохраняют активность более низкую, чем их виброизмельченные аналоги, на протяжении всего предвоспламенительного периода.

Наряду с порошками, приготовленными в лабораторных условиях, в МИСиС [1] исследовали пробы, отобранные при измельчении ферросплавов на промышленных вибрационных мельницах PALLA. Исследовали фракции с размером частиц 0...50 и 0...100 мкм. Результаты исследований порошков ферромарганца приведены на рис. 2. Они согласуются с изложенными выше данными, характеризующими кинетику окисления пылевидных частиц этого ферросплава, которые получены при использовании измельчителей лабораторного типа.

Действительно, крупнодисперсная проба, как и лабораторный ее аналог, менее активна, поэтому начинает ощутимо окисляться при более высокой температуре, чем мелкодисперсная. С повышением температуры скорость ее окисления нарастает круче.

Сравнивая рис. 1 и 2, видим, что вызванное нагревом повышение скорости окисления частиц размером 0...40 мкм, выделенных из порошков ферромарганца, дробленных в лаборатории, такое же, как и частиц с размерами 0...50 мкм, выделенных из порошка, полученного на промышленной мельнице PALLA. Фракции с размером частиц 0...100 и 0...50 мкм из порошков, полученных на мельнице PALLA, по окислительной способности качественно соотносятся друг с другом так, как и одинаковые размером частицы, которые выделены из порошков, полученных дроблением и,

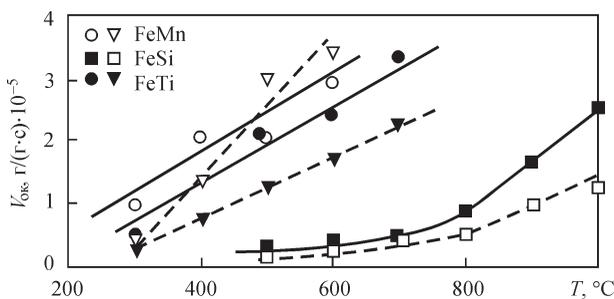


Рис. 1. Влияние температуры на скорость окисления в воздушной среде частиц ферросплавов размером 0...40 мкм, высеянных из порошков, полученных вибропомолом (сплошная кривая) и дроблением (штриховая) [1]

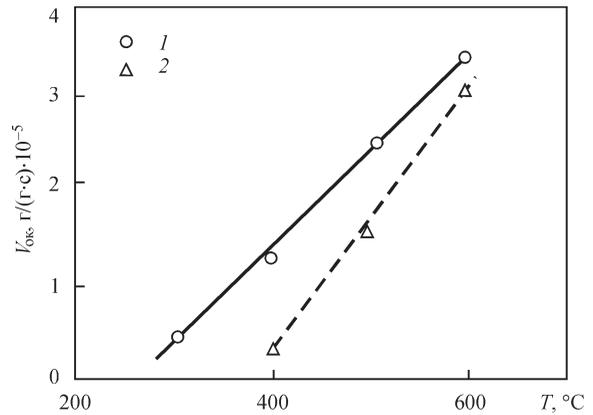


Рис. 2. Влияние температуры на скорость окисления частиц ферромарганца размером 0...50 мкм (1) и 0...100 мкм (2), высеянных из порошков, полученных помолом в мельнице PALLA [1]

соответственно, вибропомолом на лабораторных установках.

По характеру изменения взаимного положения и угла наклона сопоставляемых кривых относительно температурной шкалы может показаться, что размер частиц больше влияет на их окислительную способность, чем активирование их поверхности виброизмельчением, которое должно было бы иметь место.

Поскольку сопоставляемые ферросплавы различаются по плотности, скорость окисления порошков следовало бы, по нашему мнению, нормировать по удельной объемной поверхности частиц, а не по массе пробы.

Нормативные характеристики пожаровзрывоопасности ферросплавов, установленные в лабораторных условиях. Значения показателей пирофорности и взрываемости порошков ферромарганца, ферросилиция и ферротитана приведены по данным ИПМ НАН Украины в табл. 2. Для сравнения в нее включены также показатели порошков металлического марганца и кремния.

Зерновые характеристики использованных порошков ферромарганца и ферротитана сопоставляются на рис. 3.

Принятая в таблице и на рис. 2 индексация образцов: 1 — полидисперсные порошки исследованных ферросплавов; 2 — фракции с размером частиц мельче 50 мкм, высеянные из полидисперсных порошков; 3 — отложения пыли в воздуховоде; d_{cp} — средневзвешенный диаметр частиц.

Приведенные данные показывают, что наибольшей стойкостью против воспламенения и взрывов характеризуются порошки ферросилиция. Они не воспламеняются ни тепловым, ни пиротехническим источником зажигания, ни в слое, ни в состоянии аэрозвеси.

Порошки ферромарганца и ферротитана в слое характеризуются примерно одинаковыми значе-

Таблица 2. Показатели пирофорности и взрываемости порошков ферросплавов, используемых в технологии производства электродов [7]

Материал	Порошок в слое				Аэрозвесь			
	Доля фракции -005, %	$T_{сз}, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_v, ^\circ\text{C}$	НКПВ, г/м ³	$P_{\text{макс}}, \text{МПа}$	$V_{\text{макс}}, \text{МПа/с}$	МВСК, об %
Ферромарганец, ФМн-92	12,5 ¹	-	-	-	260	0,15	3,0	12,3
	100,0 ²	-	550	-	76	0,32	5,0	7,8
	100,0 ³	-	-	-	74	0,38	20,0	-
Ферросилиций, Фс-45	17,0 ¹	Не воспламеняется тепловым (до 1100 °С) и пиротехническим источником зажигания (температура горения около 2500 °С)						
	100,0 ²							
Ферротитан, Фт-30	14,5 ¹	-	-	-	430	0,10	0,9	15,8
	95,0 ²	400	530	370	90	0,37	8,0	10,0
	100,0 ³	-	-	-	82	0,36	12,0	12,0
Марганец метал., $d_{\text{cp}} = 44 \text{ мкм}$		240	450	-	130	0,33	3,0	-
Кремний метал., $d_{\text{cp}} = 74 \text{ мкм}$		790	700	55	100	5,80	8,4	11,0

ниями T_3 . Однако в состоянии аэрозвеси они существенно различаются. Так, с увеличением доли мелких частиц от 15 до 100 %, для порошка ферротитана значения НКПВ (изначально примерно в 2 раза большие, чем у ферромарганца), уменьшаются почти в 5 раз, а у ферромарганца — лишь в 3 раза. При этом значение МВСК сравниваемых объектов понижается лишь в 1,5 раза.

Давление взрыва аэрозвеси порошков ферротитана и ферромарганца и особенно скорость нарастания давления при взрыве изменяется при таком же повышении степени дисперсности в значительно большей мере. Так, значение $P_{\text{макс}}$ сравниваемых ферросплавов в состоянии аэрозвеси возрастает в 2,5...3,0 раза. Аналогично возрастает значение $V_{\text{макс}}$ аэрозвеси ферромарганца (от 3 до 5 МПа/с). В то же время $V_{\text{макс}}$ аэрозвеси ферротитана повышается в 10 раз (от 0,9 до 8 МПа/с).

Особо опасна с точки зрения нарастания показателя $V_{\text{макс}}$ роль пылевидных частиц в составе отложений, образцы которых для испытаний отбирали в воздуховоде. Как следует из табл. 2, зна-

чения $V_{\text{макс}}$ аэрозвесей отложений в 4 раза, а ферротитана — в 1,5 раза выше, чем у аэрозвесей подситовых фракций полидисперсных порошков этих ферросплавов.

Влияние типа измельчителя на пожаровзрывоопасность порошков ферросплавов.

В работах [1, 8] рассмотрена пожаровзрывоопасность порошков, полученных диспергированием ферромарганца, ферросилиция и ферротитана в шаровой мельнице и дезинтеграторе лабораторного типа Д95 с защитной газовой средой. Из изготовленных порошков были отобраны и испытаны две фракции (0...50 и 0...100 мкм). Для сравнения использовали порошок ферромарганца полидисперсного состава, изготовленного в дезинтеграторе Д95. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Приведенные данные показывают, что порошки сравниваемых фракций, полученные измельчением в дезинтеграторе, менее активны, чем в шаровой мельнице. Это объясняется их большей окисленностью из-за более высокой энергетичности процесса измельчения в дезинтеграторе. С повышением доли крупных частиц пожаровзры-

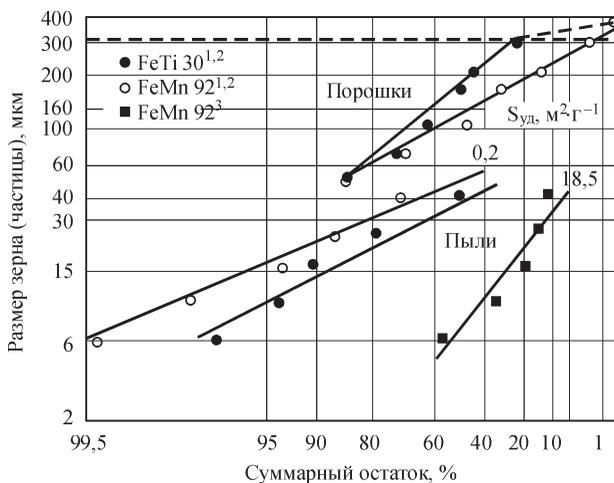


Таблица 3. Влияние вида измельчителя на показатели пожаровзрывоопасности порошков [1, 8]

Ферросплав	Фракция, мкм	НКПВ, г/м ³	$T_{св}, ^\circ\text{C}$	$T_v, ^\circ\text{C}$
Шаровая мельница лабораторная*				
Ферромарганец	0...50	69	370	350
	50...100	106	540	420
Ферросилиций	0...50	н.в.	н.в.	н.в.
Ферротитан	0...50	н.в.	590	470
	50...100	н.в.	635	450
Лабораторный дезинтегратор Д95*				
Ферромарганец	0...50	190	600	450
	50...100	н.в.	790	550
	Полидисперсная	280	630	470
Ферротитан	0...50	н.в.	н.в.	н.в.
	50...100	н.в.	н.в.	н.в.

* Инертная смесь аргона с воздухом.

воопасность порошков всех испытанных ферросплавов понижается.

По результатам проведенных исследований пылевой фракции, выделенной из порошков ферромарганца, МИСиС [5] ранжировал по значению НКПР использованные лабораторные измельчительные установки следующим образом: КИД (280), дезинтегратор ДЗ5 (190), шаровые мельницы барабанного ШБ (70) и вибрационного типа ВМ (50 г·м⁻³).

Сравнительная оценка промышленных измельчительных установок, используемых в электродном производстве. Общую ситуацию с подготовкой порошков ферросплавов, а также фактические значения показателей их пожаровзрывобезопасности, достигнутые в технологии производства сварочных электродов, можно характеризовать данными, приведенными в работах [5, 8, 9]:

обширный типаж измельчителей (камерные, проходные, щелевые и вибрационные шаровые и стержневые мельницы, а также роликовые, молотковые и конусные дробилки);

многообразие схем измельчения (с инертной добавкой, в контролируемой газовой или водной среде);

разнообразие способов выделения целевого продукта (грохочение, непрерывный просев совместно с грохочением, сепарирование или центрифугирование);

различные методы межоперационного транспорта готового порошка в технологическом цикле (кюбель, пневмотранспорт и др.).

Простейшим и зачастую вполне надежным техническим приемом предотвращения взрывоопасных ситуаций при тонком измельчении ферросплавов в мельницах периодического действия является загрузка в измельчительную камеру вместе с кусками ферросплава так называемой инертной добавки. Таким продуктом может быть любой из рудоминеральных компонентов покрытия, добавленный в количестве не менее 8 % массы измельчаемого ферросплава. Даже при этом варианте измельчения для предотвращения взрыва мельница может быть разгерметизирована лишь после предварительной выдержки в течение не менее 15 мин с момента останова, чтобы гарантировать оседание пыли.

В настоящее время используются в основном мельницы непрерывного действия, обеспечивающие высокую производительность процесса и работающие на проход, с непрерывным просевом измельченного продукта или последующим его грохочением. В этих мельницах измельчение осуществляют преимущественно в защитных газовых

средах, а схема и режимы подачи защитного газа (азота или углекислого газа с регламентированной концентрацией кислорода) выбираются с учетом:

- химической активности измельчаемого ферросплава;
- их дисперсности в измельченном состоянии;
- конструкции измельчительной установки, в том числе возможностью герметизации кожуха мельницы, а также тракта дальнейшего перемещения готового порошка за его пределы;
- конструктивных особенностей аспирационных отсосов, а также возможностей оптимизации их аэродинамического взаимодействия с защитной средой с целью поддержания парциального давления кислорода в защитной атмосфере измельчителя на заданном уровне, необходимом для образования флегматизирующей оксидной пленки на свежесформированной поверхности.

В связи с этим характеристики пожаровзрывоопасности промышленных порошков ферросплавов, полученных разными электродоизготавливающими предприятиями, изменяются в достаточно широких пределах (табл. 4). Оценивая их, можно заключить, что порошки, полученные на лабораторных установках, пожаровзрывоопаснее, чем те, которые получены на промышленных установках.

Несмотря на достаточно высокую степень окисленности поверхности частиц они, тем не менее, сохраняют способность гореть и взрываться. Особенно порошки ферромарганца, значения НКПР которых не достигают 1000 г·м⁻³, а $T_{св}$ и $T_{в}$ полидисперсных порошков составляют 460 и 570 °С, даже если они получены в защитной среде нужной кондиции.

Особенно опасны фракции промышленных порошков мельче 50 мкм. Из табл. 4 следует, что значения НКПР этой фракции составляют 690 г·м⁻³, а $T_{св}$ и $T_{в}$ — 420 и 510 °С, соответственно. Эффективность инертной добавки невысокая, поскольку она легче измельчается и выходит из камеры щелевой мельницы быстрее, чем частицы порошка ферросплава.

Несколько пассивнее порошки ферротитана такой же фракции, значение НКПР которой превышает 1000 °С, а $T_{св}$ и $T_{в}$ составляет 710 и 520 °С, соответственно.

Особую опасность представляют взрывы ферросплавных аэрозвесей, возникающих в размольном оборудовании с участием горючих газов [9].

Водород, выделяющийся из измельчаемого ферросплава, совместно с водородом, ацетиленом, метаном, арсенидами и фосфинами, образующимися в результате взаимодействия сплавов с влагой, оказавшейся по какой-либо причине в мелющей камере, существенно понижают НКПР и

Таблица 4. Нормативные показатели пожароопасности порошков ферросплавов, полученных в измельчительных установках в производстве электродов

Ферросплав (и добавка, %)	Среда	Выдержка, сутки*	Фракция, мкм	НКПР, г·м ⁻³	T _{св} , °С	T _в , °С	
Шаровая мельница щелевая							
Ферромарганец (мрамор 15)	Воздух	3	0...50	740	430	620	
			Полидисперсная	н.в.**	460	760	
Ферротитан (мрамор 7)			0...50	н.в.	740	520	
			Полидисперсная	н.в.	930	590	
Ферромарганец (магнезит 10)	Азот (92 %)	10	0...50	н.в.	430	760	
			Полидисперсная	н.в.	450	780	
Ферротитан, (мрамор 10)			-	0...50	740	420	600
				Полидисперсная	н.в.	850	640
Вибрационная мельница стержневая							
Ферромарганец ФМн 92	Азот (92 %)	7	0...50	690	420	510	
			Полидисперсная	760	460	570	
Ферросилиций Фс 45			0...50	н.в.	620	н.в.	
			Полидисперсная	н.в.	790	н.в.	
Ферротитан ФТи 30			0...50	н.в.	710	520	
			Полидисперсная	н.в.	870	610	

* В соответствии с заводской технологией с целью торможения химического взаимодействия с жидким стеклом в обзажке;
 ** н.в. — значение НКПР превышает 1000 г·м⁻³, а T_в превышает 1000 °С.

МВСК, а также повышают P_{макс} и V_{макс} взрывоопасей. Установлено, что на достижение взрывоопасной концентрации водорода, который накапливается в размольной камере вследствие десорбции из частиц ферросплава и их взаимодействия с влагой, может потребоваться не более 1 мин [9]. В таких условиях не достигается нужная эффективность срабатывания аварийных систем газового анализа и своевременная блокировка работы оборудования.

Дополнительную опасность представляют собой микрочастицы (сателлиты), которые, накапливаясь на поверхности более крупных ферросплавных зерен, увеличивают их удельную поверхность. В результате этого значение НКПР полидисперсных порошков может понизиться в 1,5...2,0 раза. С целью предотвращения неблагоприятного влияния этого фактора в размольное оборудование впрыскиваются флегматизирующие добавки склеивающих и обволакивающих жидкостей. Они агломерируют микрочастицы в более крупные агрегаты, покрытые защитной пленкой химически инертной жидкости [8, 10, 11]. На примере порошка ферромарганца, виброизмельченного в течение 3 ч, показано, что долю свободных частиц с размером мельче 40 мкм, можно понизить в нем в 5 раз, а его НКПР — в 3 раза [10].

Изложенные выше результаты показывают, что пожаровзрывоопасность порошка каждого ферросплава, используемого в электродной технологии, необходимо определять для каждого вида размольного оборудования, режима его работы, места отбора проб, а также использованных технологических приемов предупреждения воспла-

менений и взрывов. Другими словами, необходима регулярная аттестация каждой конкретной технологии измельчения ферросплавов подобно тому, как это делается в технологии сварочного производства, с целью регулярного подтверждения качества изготовленной продукции.

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

Список литературы

1. Толешов А.К. (2009) Метод оценки пожаровзрывоопасности производственных процессов получения порошков металлов и сплавов. *Металлург*, 6, 30–33.
2. Недин В.В., Нейков О.Д., Алексеев А.Г. и др. (1971) *Взрывоопасность промышленных порошков*. Киев, Наукова думка.
3. (1990) ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения*. Москва, Изд-во стандартов.
4. Толешов А.К. (1995) Нормативные характеристики пожаровзрывоопасности порошков ферросплавов,готавливаемых в производстве электродов. *Металлург*, 4, 19–21.
5. Бабайцев И.В., Толешов А.К., Державец А.А. (1995) Оценка горючести порошков металлов и сплавов. *Там же*, 9, 26–27.
6. (2009) *Правила улаштування електроустановок*. Харків, Форт.
7. Нейков О.Д., Васильева Г.Д., Кузуб А.П. и др. (1971) Исследование взрываемости порошков ферросилиция, ферромарганца, ферротитана, феррохрома, силикокальция и марганца. *Предупреждение внезапных взрывов газодисперсных систем*. Киев, Наукова думка, сс. 36–44.
8. Гридин А.А., Серебрякова В.В., Бабайцев И.В. и др. (1985) Исследование дезинтеграторных процессов диспергирования и активации взрывопожароопасных ферросплавов. *Сталь*, 11, 36–37.
9. Стрижко Л.С., Бабайцев И.В., Толешов А.К. (1998) Предотвращение взрывов при измельчении ферросплавов. *Металлург*, 9, 27–28.

10. Бабайцев И.В., Герусова В.П., Делян В.И. (1983) Пассивация порошков силикокальция. *Известия вузов. Черная металлургия*, **5**, 151–152.
11. Бабайцев И.В., Толешов А.К., Щепелев А.В. (1996) Снижение взрывоопасности порошков ферросплавов в процессе виброизмельчения. *Там же*, **1**, 73–74.
5. Babajtsev, I.V., Toleshov, A.K., Derzhavets, A.A. (1995) Evaluation of inflammability of powders of metals and alloys. *Ibid.*, **9**, 26-27 [in Russian].
6. *Rules of arrangement of electric units PUE7* [in Russian].
7. Nejkov, O.D., Vasilieva, G.D., Kuzub, A.P. et al. et al. (1971) *Examination of explosibility of ferrosilicon, ferromanganese, ferrotitanium, ferrochrome, silicocalcium and manganese powders. Prevention of sudden explosions of gas-dispersed systems*. Kiev, Naukova Dumka, 36-44 [in Russian].
8. Gridin, A.A., Serebryakova, V.V., Babajtsev, I.V. et al. (1985) Study of disintegrator processes of dispersion and activation of explosion and fire hazardous ferroalloys. *Stal*, **11**, 36-37 [in Russian].
9. Strizhko, L.S., Babajtsev, I.V., Toleshov, A.K. (1998) Prevention of explosions in refining of ferroalloys. *Metallurg*, **9**, 27-28 [in Russian].
10. Babajtsev, I.V., Gerusova, V.P., Delyan, V.I. (1983) Passivation of powders of silicocalcium. *Izv. Vuzov. Chyorn. Metallurgiya*, **5**, 151-152 [in Russian].
11. Babajtsev, I.V., Toleshov, A.K., Shchepelev, A.V. (1996) Decrease of explosion risk of ferroalloys powders during vibrogrinding. *Ibid.*, **1**, 73-74 [in Russian].

References

ФАКТОРИ РИЗИКУ ТА КРИТЕРІЇ ПОЖЕЖО- ТА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ФЕРОСПЛАВІВ

А.Ю. Марченко

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

Розглянуто основні показники, що характеризують пожежо- та вибухонебезпечність продуктів подрібнення феросплавів, що застосовуються в електродній технології. Відзначено вплив типу подрібнювача на поведінку порошків феросплавів та приведена порівняльна оцінка промислових установок, що використовуються в електродному виробництві. Зроблено висновок про необхідність регулярної атестації кожної конкретної технології подрібнення феросплавів. Бібліогр. 11, табл. 4, рис. 3.

Ключові слова: зварювальне виробництво, пожежо- та вибухонебезпечність, електродна технологія, подрібнення феросплавів, якість виготовлення, атестація технології.

RISK FACTORS, AND CRITERIA OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY AT FERROALLOY GRINDING*

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

Considered are the main values, characterizing the fire and explosion safety of products of grinding ferroalloys, applied in electrode technology. The effect of grinder type on behaviour of ferroalloy powders is noted, and comparative evaluation of industrial plants used in electrode production, is given. A conclusion is made about the need for regular certification of each specific technology of ferroalloy grinding. 11 Ref., 4 Tabl., 3 Fig.

Keywords: welding production, fire and explosion safety, electrode technology, ferroalloy grinding, manufacturing quality, technology certification

Поступила в редакцію 24.04.2019

НОВАЯ КНИГА

Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент: Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 642 с.

доступна в открытом доступе по ссылке
https://patonpublishinghouse.com/compilations/Krivtsun_Sbornik_2018_small.pdf