

МРНТИ 86.40

УДК 669.168:614.83:614.84

DOI 10.70239/arsu.2025.t79.n1.06

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ПОРОШКОВ ФЕРРОСПЛАВОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

АЛМАТОВА Б.Г. , ШИЛЬМАГАМБЕТОВА Ж.Ж.* , ТОЛЕШОВ А.К. ,
ЕСАНОВА И.А. , ОТАРБАЕВА А.Т. 

Алматова Баян Газизовна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: baian.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1680-4682>

*Шильмагамбетова Жадра Жангожаевна – кандидат педагогических наук, доцент, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: zhadra_69@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8780-7160>

Толешов Асылбек Куантаевич - кандидат технических наук, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан

E-mail: tolesh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0913-9096>

Есанова Индира Адильгереевна - магистр технических наук, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: Indira_17_92@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7917-6480>

Отарбаева Айнагул Темірғазықызы - магистр технических наук, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: ainarlan1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3655-6662>

Аннотация. В данной статье приводятся экспериментальные данные и способы определения характеристик пожаровзрывоопасности дисперсных горючих материалов и смесей, применяемых в производстве сварочных электродов и в сталеплавильном производстве, широко апробированные и используемые в научных исследованиях. С целью выбора безопасного размольного оборудования в лабораторных условиях были проведены исследования пожаровзрывоопасности порошков ферросплавов, приготовленных различными способами на лабораторных установках и в промышленных условиях.

В данной статье рассматриваются вопросы пожаровзрывоопасности дисперсных горючих материалов и смесей, применяемых в производстве сварочных электродов и сталеплавильных процессах. Представлены экспериментальные данные и методы определения характеристик взрывоопасности таких веществ, широко используемые в научных исследованиях.

В рамках работы проведены исследования по определению условий безопасного измельчения порошков ферросплавов в лабораторных и промышленных условиях. Эксперименты включали анализ образцов, полученных различными способами, с целью выявления факторов, влияющих на их пожаровзрывоопасные свойства. Рассмотрены особенности применяемых методик, их практическая эффективность и точность в оценке рисков.

Результаты исследования позволяют оптимизировать выбор размольного оборудования, минимизировать вероятность возникновения опасных ситуаций при обработке порошкообразных материалов и повысить уровень промышленной безопасности. Научная значимость работы заключается в детальном анализе рисков и разработке рекомендаций по предотвращению аварий, связанных с воспламенением и взрывом горючих дисперсных материалов.

Полученные данные могут быть использованы в металлургической промышленности, на предприятиях по производству сварочных материалов, а также в других отраслях, где применяется тонкодисперсная измельченная продукция с горючими свойствами.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасность, дисперсные материалы, ферросплавные порошки, аэровзвеси, размольное оборудование, концентрационный предел, температура самовоспламенения.

Введение

Анализ причин возникновения разрушительных взрывов с гибелью людей на участках дробления и измельчения ферросплавов и комплексных сплавов в металлургическом и метизном производствах показывает, что большая часть их возникает непосредственно в размольном

оборудовании и затем распространяется вне его по воздуховодам вентсистем и другим коммуникациям, связанным с оборудованием. В производственных условиях были отмечены случаи взрывов при измельчении ферросилиция ФС-65, модификатора ФСМп-7, силикокальция СК-30, ферротитана, ферромарганца и других сплавов. [4, 5, 6]

Обобщая проведенные в последние десятилетия исследования взрывоопасности процесса измельчения в различном размольном оборудовании, а также анализируя причины происшедших аварий при приготовлении порошков металлов и сплавов, можно назвать следующие основные причины взрывов:

- образование внутри размольного оборудования взрывоопасных пылевоздушных смесей;
- образование при размоле не окисленного или малоокисленного материала;
- повышение температуры порошка и газовой среды в процессе размола;
- образование и выделение в процессе размола горючих газов, которые могут образоваться в результате взаимодействия компонентов сплавов с водой, адсорбированной на поверхности измельчаемого материала;
- поглощение кислорода из объема оборудования при окислении вновь образовавшейся поверхности и образования весьма активных порошков, самовозгорающихся при контакте с кислородом воздуха при выгрузке;
- образование газо-воздушной среды, способной к воспламенению при контакте с кислородом воздуха.

Установлено, что потенциальная взрывоопасность процесса измельчения существенно зависит от типа размольного оборудования и режимов его работы. Проведенные исследования позволили выявить наиболее опасные типы размольного оборудования и способы измельчения [7, 8, 9].

С учетом того, что до настоящего времени не существует общепринятой методики подбора взрывобезопасного размольного оборудования, на кафедре «Техносферной безопасности» разработана экспериментальная установка и методика исследований, позволяющая оценить взрывоопасность размольного оборудования, применяемого для приготовления порошков ферросплавов и комплексных сплавов и дать определенные рекомендации по выбору и рациональному подбору взрывобезопасного размольного оборудования и определению характеристик пожаровзрывоопасности порошков металлов и сплавов [10, 11, 12].

Методы исследования

Способ экспериментального определения группы горючести твердых веществ и материалов описан в ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Применим для оценки горючести неметаллических материалов, содержащих в своем составе более 3 % (масс.) органических веществ (п. 4.3 ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ).

Экспериментального определения горючести порошков металлов и содержащих их смесей стандартом не регламентирован. В настоящей работе использовались установки и методики, разработанные в Национальном исследовательском технологическом университете НИТУ МИСиС на основе результатов многочисленных экспериментов с порошками металлов и сплавов, выполненных в НИТУ МИСиС, КГИУ, ВНИИПО МВД РФ и в других научно-исследовательских организациях.

В установке, использовавшейся в данной работе, испытуемый порошок засыпается в стальную лодочку треугольного сечения (уголок) со стенками размером 20 мм, толщиной стенки 4 мм и длиной 550 мм в таком количестве, чтобы после выравнивания слоя лопаточкой он имел высоту около 12 мм (ширина 24 мм) и требуемую длину (40-120 мм). Вплотную к одному из краев основного порошка засыпается слой воспламенителя - порошка ПАМ-4 с размером частиц менее 50 мкм, который тоже выравнивается (длина слоя около 10 мм). Сверху на слой воспламенителя

и на начальный участок слоя основного порошка (длиной 10 мм) насыпается небольшое количество ПАМ без уплотнения (высотой 5 мм).

В верхнюю (насыпную) часть воспламенителя на глубине 3 мм и на расстоянии от края 5 мм помещается нихромовая спираль, к которой подводится переменный ток (напряжение около 20 В) от трансформатора, подключенного к сети. После разогрева спирали поджигается воспламенитель, раскаленные шлаки, образующиеся при горении которого, нагревают основной порошок, находящийся снизу и сбоку от него.

Уголок размещается на подставке из огнеупорных кирпичей с продольным центральным пазом, обеспечивающим устойчивое положение лодочки. В целях пожаробезопасности кирпичи размещаются на металлическом столе. На верхней поверхности подставки вдоль паза нанесена шкала длиной 200 мм и ценой деления 10 мм.

Если после сгорания воспламенителя горение или тление основного порошка при визуальном наблюдении не отмечается, фиксируется отказ и испытуемый порошок считается неспособным к горению в слое при данных условиях проведения опыта. Если порошок прогорает под воспламенителем, но фронт горения (тления) не распространяется по слою на расстояние более 10 мм, фиксируется затухание горения.

Когда горение порошка распространяется на длину не менее 10 мм, фиксируется горение и порошок считается способным к самостоятельному горению в слое. В этих случаях измеряется время сгорания каждого 10 мм слоя (с помощью секундомера), начиная от первой риски сразу за краем насыпного воспламенителя. Проводится также визуальное наблюдение процесса распространения горения (тления) и осмотр продуктов сгорания после их остывания.

Экспериментальное определение горючести проводилось в основном при использовании образцов с размерами частиц менее 50 мкм, которые регламентированы ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Все перечисленные выше ферросплавы оказались способными к распространению горения в слое при комнатной температуре образцов.

При оценке горючести изучалось влияние влажности образцов и наличие воздушного потока над слоем порошка. В проведенных экспериментах использовался поток воздуха со скоростью 1 м/с, попутный распространению горения. При выборе параметров потока исходили из результатов выполненных ранее исследований, согласно которым скорость горения увеличивается как при встречном, так и при попутном потоке, причем в последнем случае максимальная скорость горения достигается при скорости потока 1-1,2 м/с, а при более высоких скоростях наблюдается сдувание порошка.

Из приведенных в таблице 1 и 2 данных следует, что горючесть может увеличиваться при повышении содержания влаги в активных ферросплавах до определенной величины, что необходимо учитывать при оценке горючести скопившейся в вентиляционных системах и на поверхности оборудования пыли. Появление воздушного потока не только увеличивает скорость распространения горения, но и делает горючим порошок, неспособный гореть в покое в воздухе, как это видно на примере ФТн30 (аналогичный результат был получен и для порошка ферромарганца ФМн1,5).

Способ экспериментального определения температуры самовоспламенения твердых веществ и материалов, регламентированный ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ, не применим для испытания металлических порошков (п. 4.9 ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ).

Таблица 1. Скорость распространения горения порошков ферросплавов в слое

Марка сплава	Скорость движения воздуха, м/с	Скорость распространения горения (мм/с) при влажности порошка (проценты массовые)							
		0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20
ФТн70	0	1,0	1,5	1,3	1,1	0,9	0,6	нг*	Нг

ФТи70	1	3,3	4,7	3,6	3,3	2,0	1,2	1,1	Нг
СК30	0	0,4	0,5	0,8	1,0	1,1	0,9	0,8	Нг
СК30	1	1,5	1,6	3,0	3,3	4,2	2,4	1,9	0,5
ФСМг9	0	0,4	0,6	0,4	нг	Нг	нг	нг	Нг
ФСМг9	1	1,4	0,8	0,8	нг	Нг	нг	нг	Нг
ФТи30	0	нг							
ФТи30	1	0,4	1,0	0,8	0,8	0,7	нг	нг	Нг

*нг – порошок в слое не горит.

Таблица 2. Скорость распространения горения в слое для сухих и влажных порошков ферросплавов и лигатур

Марка сплава	Оборудование для измельчения	Скорость горения сухой порошок, мм/с	Скорость горения влажный порошок, мм/с
Ферромарганец ФМн1,5 (РМЗ)	Виброистирательлабор. (МИСиС)	1.06	-
Ферромарганец ФМн1.0 (завод Прометей)	Виброистирательлабор. (МИСиС)	-	0.33 влажность 2.5%)
Лигатура №1	Виброистирательлабор. (МИСиС)	-	0,66 (влажность 5.0%)
Лигатура №2	Виброистирательлабор. (МИСиС)	-	0.68 (влажность 2.55)
Ферротитан ФТи30А (РМЗ)	Виброистирательлабор. (МИСиС)	0.93	1.00 (влажность 2.5%)

Примечание: РМЗ-московский ремонтный завод.

Способ экспериментального определения температуры самовоспламенения порошков металлов и содержащих их смесей стандартом не регламентирован. В настоящей работе с этой целью использовалась дериватографическая методика, разработанная в НИТУ МИСиС на основе результатов многочисленных экспериментов с порошками металлов и сплавов. Дериватография – синхронный дифференциально-термический и термогравиметрический анализ исследуемого материала [14, 15, 16].

Дериватограф Q-1500D (Венгрия) системы F.Paulik, J.Paulik, Erdey состоит из двух печей (до 1000 и 1500±С), весов, основного и контрольного блоков и самописца. Навеска порошка (m_0), взвешенная с точностью 0,00025 г, засыпалась в кварцевый тигель (внутренний диаметр 7-10 мм, высота 15-20 мм, толщина стенки 1,5-2 мм) и помещалась в печь. При нагревании от 20 до 1000±С в соответствии с программой, задающей параметры нагрева, на самописце рисовались четыре кривые:

- 1) температуры образца (Т) - зависимость температуры от времени нагрева;
- 2) термогравиметрического анализа (ТГ), фиксирующего изменение массы образца по сравнению с массой инертного образца (для металлов - прирост массы вследствие окисления);
- 3) дифференциального термического анализа (ДТА), показывающего качественное изменение температуры образца по сравнению с температурой инертного материала;
- 4) дифференциального термогравиметрического анализа (ДТГ), качественно показывающего скорость изменения массы образца.

В качестве инертного материала использовался порошок Al_2O_3 массой 2,0 г, находящийся в кварцевом тигле. Параметры нагрева во всех опытах были одинаковыми: скорость нагрева – 10 К/мин, степень нагрева - 95 %. Масса навески зависела от насыпной плотности порошка и была такой, чтобы тигель заполнялся примерно на 2/3 по высоте.

Начало экзотермического эффекта определялось по кривой ДТА и, что более точно, по соответствующему приросту массы на кривой ТГ. Температура самовоспламенения ($T_{св}$) определялась как самая низкая из температур, соответствующих началу первого пика на кривой ДТГ и первому

экзотермическому пику на кривой ДТА. Результаты исследований промышленных образцов и полученных в лабораторных условиях приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Скорости окисления порошков ферросплавов в слое

Способ получения	Фракция, мкм	T _{нз} , °C	Скорость окисления при температуре, °C, *10 ⁻⁵ г/г*с								
			300	400	500	600	700	800	900	1000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Ферромарганец ФМн 1,5											
ШМ периодич	0-40	200	0,56	1,70	2,10	2,40	-	-	-	-	
действ.(МОСЗ)	40-100	200	0,15	0,91	2,50	3,20	-	-	-	-	
ШМ непрерыв	0-40	200	0,16	1,40	4,10	3,10	-	-	-	-	
дейст. (МЭЗ)	40-100	300	-	0,45	2,70	3,50	-	-	-	-	
СМ-435 (ОРСПЗ) мокрого помола:											
Вибросита	0-40	350	-	0,40	3,00	3,5	-	-	-	-	
	40-100	350	-	0,10	1,00	2,60	-	-	-	-	
	полид.	350	-	-	0,70	2,30	-	-	-	-	
Дозировочные весы	полид.	300	-	0,20	1,40	2,60	-	-	-	-	
Фильтр рукавный	полид.	300	-	1,00	2,60	3,50	-	-	-	-	
ВМ «Палла»	0-50	200	0,42	1,10	2,60	3,50	-	-	-	-	
(РНПО)	50-100	270	-	0,14	1,40	3,00	-	-	-	-	
Дробление	0-40	200	0,40	1,30	3,00	3,30	-	-	-	-	
ВМ лабораторная	0-40	140	0,99	2,10	2,10	3,00	-	-	-	-	
ФерротитанФТи 30											
ШМ периодич. действия (МОСЗ)	0-50	240	0,46	0,69	1,40	1,60	3,00	-	-	-	
ШМ непрерыв. действия. (МЭЗ)	0-40	250	0,19	0,77	1,60	2,30	2,10	-	-	-	
ВМ «Палла»	0-50	280	0,25	0,72	1,60	1,90	1,70	-	-	-	
Дробление	0-40	220	0,42	0,77	1,20	1,7	2,10	-	-	-	
ВМ лабораторная	0-40	180	0,52	0,65	2,10	2,60	3,30	-	-	-	
Ферросилиций ФС-45											
ШМ непрерыв. действия (МОСЗ)	0-40	560	-	-	-	0,26	0,50	1,20	2,10	2,60	
ШМ непрерыв. действия (МОСЗ)	0-40	500	-	-	-	0,30	0,63	1,20	2,10	2,60	
ВМ «Палла» (РЗС)	0-50	270	-	0,50	1,70	2,30	2,30	2,50	3,00	3,00	
Дробление	0-40	450	-	-	0,17	0,23	0,42	0,50	1,00	1,10	
ВМ лабораторная	0-40	450	-	-	0,20	0,30	0,40	0,95	1,70	2,60	

Примечание: T_{нз} – температура начала экзотермического эффекта; ШМ – шаровая мельница; СМ – стержневая мельница; ВМ – вибрационная мельница.

Таблица 4. Скорости окисления промышленных порошков ферросилиция ФС-45 в слое

Способ получения	Фракция, мм	T _{нз} , °C	Скорость окисления при температуре, °C * 10 ⁻⁵ г/г*с								
			300	400	500	600	700	800	900	1000	
Ферросилиций ФС-45											
ШМ непрерывного действия (МОСЗ)	0-40	560	-	-	-	0,26	0,50	1,20	2,10	2,60	
ШМ непрерывного действия (МЭЗ)	0-40	500	-	-	-	0,30	0,63	1,20	2,10	2,60	
ВМ «Палла35 U» (РЗС)	0-50	270	-	0,50	1,70	2,30	2,30	2,50	3,00	3,00	
Дробление	0-40	450	-	-	0,17	0,23	0,42	0,50	1,00	1,10	
ВМ лабораторная	0-40	450	-	-	0,20	0,30	0,40	0,95	1,70	2,60	

Примечание: $T_{нэ}$ – температура начала экзотермического эффекта; ШМ – шаровая мельница; МОСЗ - Московский опытно-сварочный завод; МЭЗ-Московский электродный завод; СМ – стержневая мельница; ВМ – вибрационная мельница; РЗС –Ростовский завод спецсплавов.

Способ экспериментального определения показателей взрыва нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушных смесей соответствовал требованиям ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ.

Установка для определения показателей взрыва пылевоздушных смесей включает в себя следующие элементы:

1. Реакционный сосуд, представляющий собой цилиндр высотой (450 ± 25) мм и внутренним диаметром (105 ± 5) мм, выполненный из нержавеющей стали и снабженный штуцерами для подачи газовых компонентов и подсоединения датчика давления. Кроме металлического реакционного сосуда установка снабжена реакционным сосудом из стеклянной трубы по ГОСТ 8894 высотой (450 ± 25) мм, внутренним диаметром 105 мм и толщиной стенки (7 ± 1) мм.

2. Система газ приготовления и распыления исследуемого вещества состоит из: конусного распылителя с углом раствора $(30 \pm 5)^\circ$, который является верхней крышкой реакционного сосуда и выполнен из нержавеющей стали; форкамеры, в которую помещают образец исследуемого вещества) обратного клапана и клапана с электроприводом; время открытия электропневмоклапана $(0,3 \pm 0,1)$ с; ресивера с трубопроводами вместимостью $(1,0 \pm 0,2)$ дм³; манометра.

3. Источник зажигания, представляющий собой нагреваемую электрическим током до температуры $(1050 \pm 50)^\circ\text{C}$ спираль из проволоки марки Х80Н20-Н (ГОСТ 12766.1) диаметром 0,8 мм. Длина спирали (50 ± 1) мм, внутренний диаметр спирали $(8,0 \pm 0,5)$ мм, число витков 30, потребляемая мощность при токе $(13,0 \pm 0,5)$ А составляет (475 ± 25) Вт, время выхода на рабочую температуру (8 ± 1) с. Спираль расположена горизонтально на оси цилиндра на расстоянии (150 ± 5) мм от нижнего фланца.

Для проведение испытаний взвешивают образец исследуемого вещества с погрешностью не более 0,01 ги помещают его в форкамеру. Устанавливают на пульте управления продолжительность распыления образца. Включают источник зажигания и по выходу последнего на режим распыляют образец, фиксируя при этом изменение давления в реакционном сосуде и конечное давление (p_k) в ресивере. После распыления образца определяют массу оставшегося в форкамере нераспыленного вещества. Повторяют испытания с различными по массе образцами исследуемого вещества. Оценка результатов: за величину нижнего концентрационного предела распространения пламени пылевоздушной смеси исследуемого вещества принимают значение концентрации, соответствующее давлению взрыва 50 кПа. Если в процессе испытаний пылевоздушных смесей максимальное давление взрыва не превышает 50 кПа, то исследуемое вещество можно отнести к взрывобезопасным только при условии, что оно является трудногорючим или негорючим по результатам определения группы горючести. Результаты исследования приведены в таблицах 5, 6 и 7.

Таблица 5. Взрывоопасность среднеуглеродистого ферромарганца при различных способах измельчения на лабораторных установках

Тип оборудования	НКПР при дисперсности,			мкм
	0-50	50-63	63-80	80-100
Вибромельница	90	140	230	340
Мельница шаровая	150	250	440	740
Дезинтегратор	190	270	600	750
КИД-60	280	Св.1000	Св. 1000	Св. 1000
Дробилка щековая	250	470	620	Св.1000

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің хабаршысы, №1 (79), наурыз 2025
 Техникалық ғылымдар-Технические науки-Technical sciences
 Таблица 6. Характеристики пожаровзрывоопасности промышленных порошков
 ферротитанаФТи 30

Способ получения	Фракция, мкм	НКПР, г/м ³	T _в , К	T _{св} , К
Промышленные методы:				
Шаровая мельницапериодическогодействия	0-50	св.1000	863	963
	50-100	св.1000	883	1023
	100-200	св.1000	963	1133
	полидисп.	св.1000	393	1033
Шаровая мельница непрерывного действия	0-40	св.1000	793	1013
Вибромельница "Палла 35"	0-50	св.1000	793	983
	50-100	св.1000	953	1133
	100-200	св.1000	1103	1193
	полидисп.	св.1000	883	1143
Лабораторные методы:				
Дробление	0-40	св.1000	823	1033
Вибромельница	0-40	255	783	703
	40-63	св.1000	823	1093
	63-80	св.1000	843	1033
	80-100	св.1000	893	1063
	100-200	св.1000	923	1083

Таблица 7. Характеристики пожаровзрывоопасности порошков ферротитана Ти 1Э, полученных на лабораторных установках

Способ получения	Фракция, мкм	НКПР, г/м ³	T _в , К	T _{св} , К
Дробление	0-40	св. 1000	893	1013
Шаровая мельница	0-50	св. 1000	863	683
	50-100	св. 1000	908	723
Стержневой виброистиратель	0-63	205	933	763
Дезинтегратор	0-50	св. 1000	св. 1275	1073
	50-100	св. 1000	св. 1275	1113
	полид.	св. 1000	св. 1275	1103

Результаты исследования

Метод экспериментального определения температуры воспламенения аэрозвесей дисперсных горючих материалов в ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ не регламентирован. В международной практике для определения этой характеристики используется методика Гартмана, сущность которой заключается во вдувании в цилиндрическую печь аэрозвеси заданной концентрации и определении минимальной температуры внутренней поверхности печи, необходимой для получения устойчивого горения аэрозвеси [1,2,3,4,5].

В настоящей работе использовалась установка, разработанная в НИТУ МИСиС, которая представляла собой разновидность метода Гартмана. Она состоит из вертикальной цилиндрической печи с внутренним диаметром 20 мм высотой 200 мм, распылительного устройства и измерительного блока. Температура печи сопротивления устанавливается с помощью автотрансформатора. Для замера температуры используется хромель-алюмелевая термопара в комплекте с гальванометром.

Для получения равномерных по концентрации аэрозвесей используется вертикально поднимающийся поток пыли, создаваемый воздушным импульсом при срабатывании электромагнитного клапана. Необходимая концентрация аэрозвеси обеспечивается распылением через форсунку навески определенной массы. Для каждой концентрации аэрозвеси

определяется минимальная температура печи, вызывающая воспламенение аэровзвеси. Определяется зависимость температуры воспламенения от концентрации (температура воспламенения сначала снижается с увеличением концентрации аэровзвеси, а затем остается постоянной) и наименьшее значение принимается за температуру воспламенения данной аэровзвеси.

Таблица 8. Условия воспламенения промышленных порошков ферросплавов ОрСПЗ в аэровзвеси Тв и в слое Тсв

Наименование	После мельницы		После дозирочных весов		Из фильтра рукавного		Из шлама	
	Тв, °С	Тсв, °С	Тв, °С	Тсв, °С	Тв, °С	Тсв, °С	Тв, °С	Тсв, °С
Полидисперсные порошки								
Ферромарганец	830	550	810	530	380	400	500	370
Ферротитан	620	860	720	850	600	420	-	-
Ферросилиций	Св. 1000	Св. 1000	Св. 1000	Св. 1000	Св. 1000	Св. 1000	-	-

Таблица 9. Условия воспламенения среднеуглеродистого ферромарганца в аэровзвеси Тв и в слое Тсв при различных способах измельчения на лабораторных установках

Тип оборудования	Тв в аэровзвеси, °С	Тсв в слое, °С
Размер частиц менее 50 мкм		
Вибромельница	330	165
Мельница шаровая	370	350
Дезинтегратор	600	450
КИД-60	650	410
Дробилка щековая	650	480

Способ экспериментального определения максимального давления взрыва регламентирован ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ.

Для определения максимального давления взрыва используется та же установка и методика, что и для определения НКПР, которая описана нами ранее.

Определяется давление взрыва при различных массах распыляемого вещества. Для определения максимального давления взрыва исследуемого вещества строят кривую зависимости давления взрыва ($p_{взр}$) от концентрации вещества. Массу образца, соответствующую наибольшему из полученных значений $p_{взр}$, принимают за оптимальную (типичные значения оптимальных масс образца находятся в диапазоне от 1,5 до 5,0 г). Наибольшее из полученных значений давления взрыва принимают за максимальное давление взрыва исследуемого вещества.

Способ экспериментального определения скорости нарастания давления при взрыве регламентирован ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ.

Для определения скорости нарастания давления при взрыве используется та же установка и методика, что и для определения НКПР, которая описана нами ранее. По результатам единичного испытания определяют наибольшее значение скорости нарастания давления взрыва пылевоздушной смеси. Для определения максимальной скорости нарастания давления взрыва строят кривую зависимости скорости нарастания давления взрыва $(dp/dt)_{взр}$ от концентрации вещества. Наибольшее из полученных значений $(dp/dt)_{взр}$ принимают за максимальную скорость нарастания давления взрыва исследуемого вещества.

Таблица 10. Параметры взрыва промышленных порошков ферросплавов на ОрСПЗ по результатам крупномасштабных полигонных испытаний

Наименование, способ получения	После мельницы		Из дозирочных весов		Из фильтра рукавного	
	Рм, МПа	Снд, МПа/с	Рм, МПа	Снд, МПа/с	Рм, МПа	Снд, МПа/с
Полидисперсные порошки						
Ферромарганец, мокрый помол с добавкой 1 % раствора хромпика	НВ	-	0,02	0,01	0,1	0,7
Ферротитан, сухой помол с добавкой 10 % мрамора в атмосфере азота	0,06	0,1	НВ	-	0,2	1,7
Ферросилиций, сухой помол в атмосфере азота	НВ	-	НВ	-	0,4	2,7

Примечание: Рм - максимальное давление взрыва, МПа; Снд – скорость нарастания давления взрыва, МПа/с.

Таблица 11. Пожар взрывоопасность промышленных порошков ферросплавов на ОрСПЗ

Наименование	После мельницы	Из дозирочных весов	Из фильтра рукавного	Из шлама
Размер частиц менее 50 мкм				
Ферромарганец	820	400	270	110
Ферротитан	Св. 1000	Св. 1000	700	-
Ферросилиций	Св. 1000	Св. 1000	Св. 1000	-

Как следует, из приведенных данных, более надежные результаты в отношении достоверности взрывоопасности трудно воспламеняющихся дисперсных материалов могут быть получены при крупномасштабных полигонных экспериментах в камерах объемом 1 м³.

Заключение

На кафедре «Нефтегазовое дело» были усовершенствованы существующие, а также разработаны новые методы определения характеристик пожаровзрывоопасности дисперсных горючих материалов в сварочном и сталеплавильном производствах.

В результате были исследованы характеристики пожаровзрывоопасности значительного количества дисперсных горючих материалов и смесей на их основе, вошедшие в стандарты, технические условия и технологические регламенты.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили выявить причины многих промышленных аварий в различных отраслях металлургического производства.

Список литературы

1. Jacobson M., Cooper A., Nagy I. – «Reports of Invest». N. S. Bur. of Mines, 1964, № 6516, p. 41.
2. Недин В.В., Нейков О.Д., Алексеев А.Г. и др. (1971) Взрывоопасность промышленных порошков. Киев, Наукова думка.
3. 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.
4. Злобинский Б.М., Иоффе В.Г. Злобинский В.В. Воспламеняемость и токсичность металлов

и сплавов. - М.: Металлургия. 1972, - 264 с.

5. Бабайцев И.В., Карнаух Н.Н. Безопасность производства и применения порошковых экзотермических материалов в металлургии. - М.: Металлургия. 1979, - 72 с.

6. Бабайцев И.В., Карнаух Н.Н., Толешов А.К. Определение взрывоопасности порошков ферросилиция// Черная металлургия, БНТИ, 1983, вып.18.

7. Гридин А.А., Серебрякова В.В., Бабайцев И.В. и др. (1985) Исследование дезинтеграторных процессов диспергирования и активации взрывопожароопасных ферросплавов. Сталь, 11, 36–37.

8. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. - М.: Изд-во стандартов. 1990, - 312 с.

9. Толешов А.К. Нормативные характеристики пожаровзрывоопасности порошков ферросплавов, приготовляемых в производстве сварочных электродов // Металлург. 1995, № 4.

10. Бабайцев И.В., Толешов А.К. Державец А.А. Оценка горючести порошков металлов и сплавов //Металлург. 1995, № 9.

11. L.S.Strizhko, A.K.Toleshov, S.K.Uandykova, and E.B.Kudravaya Effect of the granulometric composition of powdered ferroalloys on their flammability and explosiveness// Metallurgist. - 1997. - Vol.41, Nos.3-4. - P. 107-109.

12. Стрижко Л.С., Бабайцев И.В., Толешов А.К. Предотвращение взрывов при измельчении ферросплавов// Металлург.-1998.- № 9.-с.27-28.

13. Toleshev A.K. Method of evaluating the danger of fire and explosion posed by operations performed in the production of metal and alloy powders // Metallurgist. – 2009. – Vol. 53, Nos. 5-6. – P. 317-321.

14. Толешов А.К., Гельманова З.С. Показатели пожарной и взрывной опасности измельченного ферросилиция. Конкурентоспособность нации–основное условие повышения благосостояния народа», конференция посвященной 55-летию юбилею Карагандинского государственного индустриального университета: Труды X Международной научно-практической конференции. – Темиртау, 2018 – 427 с. – 1 ч.С.49-54.

15. Марченко А.Е. Факторы риска и критерий пожаро- и взрывоопасности при измельчении ферросплавов. «Автоматическая сварка» № «7, 2019, г. Киев ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины.

16. Толешов А.К., Жунисбаева А.Б., Щербакова Е.А. Разработка рекомендации по взрывопожаробезопасному способу получения порошков ферромарганца в производстве сварочных электродов. IV Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности 21-22 апреля 2020 г. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2020, -с. 56-60.

References

1. Jacobson M., Cooper A., Nagy I. – «Reports of Invest». N. S. Bur. of Mines, 1964, № 6516, p. 41.

2. Nedin V.V., Nejkov O.D., Alekseev A.G. i dr. (1971) Vzryvoopasnost' promyshlennyh poroshkov. Kiev, Naukova dumka.

3. Nejkov O.D., Vasil'eva G.D., Kuzub A.P. i dr. (1971) Issledovanie vzryvaemosti poroshkov ferrosiliciya, ferromarganca, ferrotitana, ferrohroma, silikokal'ciyaimarganca. Preduprezhdenie vnezapnyh vzryvov gazodispersnyh sistem. Kiev, Naukova dumka, ss. 36–44.

4. Zlobinskij B.M., Ioffe V.G. Zlobinskij V.V. Vosplamnyaemost' i toksichnost' metallov i spлавov. - М.: Metallurgiya. 1972, - 264 с.

5. Babajcev I.V., Karnauh N.N. Bezopasnost' proizvodstva i primeneniya poroshkov yhekzotermicheskikh materialov v metallurgii. - М.: Metallurgiya. 1979, - 72 с.

6. Babajcev I.V., Karnauh N.N., Toleshov A.K. Opredelenie vzryvoopasnosti poroshkov ferrosiliciya// SChernaya metallurgiya, BNTI, 1983, vyp.18.
7. Gridin A.A., Serebryakova V.V., Babajcev I.V. i dr. (1985) Issledovanie dezintegratornyh processov dispergirovaniya i aktivacii vzryvopozharoopasnyh ferrosplavov. Stal', 11, 36–37.
8. GOST 12.1.044-89 SSBT. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya. - M.: Izd-vo standartov. 1990, - 312 s.
9. Toleshov A.K. Normativnye harakteristiki pozharovzryvoopasnosti poroshkov ferrosplavov, prigotovlyaemyh v proizvodstve svarochnyh elektrodov // Metallurg. 1995, № 4.
10. Babajcev I.V., Toleshov A.K., Derzhavec A.A. Ocenka goryuchesti poroshkov metallov i splavov //Metallurg. 1995, № 9.
11. L.S.Strizhko, A.K.Toleshov, S.K.Uandykova, and E.B.Kudravaya Effect of the granulometric composition of powdered ferroalloys on their flammability and exploziveness// Metallurgist. - 1997. - Vol.41, Nos.3-4. - P. 107-109.
12. Strizhko L.S., Babajcev I.V., Toleshov A.K. Predotvrashchenie vzryvov pri izmel'chenii ferrosplavov// Metallurg.-1998.-№ 9.-s.27-28.
13. Toleshev A.K. Method of evaluating the danger of fire and explosion posed by operations performed in the production of metal and alloy powders // Metallurgist. – 2009. – Vol. 53, Nos. 5-6. – P. 317-321.
14. Toleshov A.K., Gel'manova Z.S. Pokazateli pozharnoj i vzryvnoj opasnosti izmel'chennogo ferrosiliciya. Konkurentosposobnost' nacii–osnovnoe uslovie povysheniya blagosostoyaniya naroda», konferenciya posvyashchennoj 55-letnemu yubileyu Karagandinskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta: Trudy H Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Temirtau, 2018 – 427 s. – 1 ch. C.49-54.
15. Marchenko A.E. Faktory riska i kriterij pozharo- i vzryvoopasnosti pri izmel'chenii ferrosplavov. «Avtomaticheskaya svarka № «7, 2019,g. Kiev IES im. E.O. Patona NAN Ukrainy.
16. Toleshov A.K., ZHunisbaeva A.B., SHCHerbakova E.A. Razrabotka rekomendacii po vzryvopozharobezopasnomu sposobu polucheniya poroshkov ferromarganca v proizvodstve svarochnyh elektrodov. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh po problemam tekhnosfernoj bezopasnosti 21-22 aprelya 2020 g. – M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2020, -s. 56-60.

ДӘНІКЕРЛІК ЭЛЕКТРОДТАРДЫ ӨНДІРУДЕГІ ФЕРРОҚОРЫТМА ҰНТАҚТАРЫНЫҢ ӨРТ ЖӘНЕ ЖАРЫЛУ ҚАУІПТІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

АЛМАТОВА Б.Г. , ШИЛЬМАГАМБЕТОВА Ж.Ж. , ТОЛЕШОВ А.К. ,
ЕСАНОВА И.А. , ОТАРБАЕВА А.Т. 

Алматова Баян Газизовна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанова атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан..

E-mail:baian.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1680-4682>

*Шильмагамбетова Жадра Жангожаевна – педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбек., Қазақстан.

E-mail:zhadra_69@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8780-7160>

Толешов Асылбек Қуантаевич - техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Қ. Жұбанова атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан..

E-mail:tolesh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0913-9096>

Есанова Индира Адильгереевна – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail:Indira_17_92@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7917-6480>

Отарбаева Айнагул Темірғазықызы - техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Қ. Жұбанова атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail:ainarlan1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3655-6662>

Андатпа. Бұл мақалада дәнекерлеу электродтарын өндіруде және болат балқыту өндірісінде қолданылатын, кеңінен сыналған және ғылыми зерттеулерде қолданылатын дисперсті жанғыш материалдар мен қоспалардың өрт-жарылыс қаупінің сипаттамаларын анықтаудың эксперименттік деректері мен әдістері келтірілген. Зертханалық жағдайда қауіпсіз ұнтақтау жабдықтарын таңдау мақсатында зертханалық қондырғыларда және өнеркәсіптік жағдайларда әртүрлі тәсілдермен дайындалған ферроқорытпа ұнтақтарының өрт-жарылыс қаупі бойынша зерттеулер жүргізілді.

Бұл мақалада дәнекерлеу электродтары мен болат балқыту процестерінде қолданылатын дисперсті жанғыш материалдар мен қоспалардың өрт-жарылыс қаупі мәселелері қарастырылады. Ғылыми зерттеулерде кеңінен қолданылатын осындай заттардың жарылғыш сипаттамаларын анықтайтын эксперименттік деректер мен әдістер ұсынылған.

Жұмыс аясында зертханалық және өнеркәсіптік жағдайларда ферроқорытпа ұнтақтарын қауіпсіз ұнтақтау шарттарын анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді. Тәжірибелер олардың өрт-жарылыс қасиеттеріне әсер ететін факторларды анықтау мақсатында әртүрлі тәсілдермен алынған үлгілерді талдауды қамтыды. Қолданылатын әдістердің ерекшеліктері, олардың практикалық тиімділігі және тәуекелдерді бағалаудағы дәлдігі қарастырылады.

Зерттеу нәтижелері ұнтақтау жабдықтарын таңдауды оңтайландыруға, ұнтақты материалдарды өңдеу кезінде қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығын азайтуға және өнеркәсіптік қауіпсіздік деңгейін арттыруға мүмкіндік береді. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы тәуекелдерді егжей-тегжейлі талдау және жанғыш дисперсті материалдардың тұтануы мен жарылуына байланысты авариялардың алдын алу бойынша ұсыныстар әзірлеу болып табылады.

Алынған деректер металлургия өнеркәсібінде, дәнекерлеу материалдарын өндіретін кәсіпорындарда, сондай-ақ жанғыш қасиеттері бар ұсақ дисперсті ұсақталған өнімдер қолданылатын басқа салаларда пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: өрт-жарылыс қаупі, дисперсті материалдар, ферроқорытпа ұнтақтары, аэростаттар, ұнтақтау жабдықтары, концентрация шегі, өздігінен тұтану температурасы.

STUDIES OF FIRE AND EXPLOSION HAZARD CHARACTERISTICS OF FERROALLOY POWDERS IN THE PRODUCTION OF WELDING ELECTRODES

ALMATOVA B.G. , SHILMAGAMBETOVA ZH.ZH.* , TOLESHOV A.K. ,
ESANOVA I.A. , OTARBAYEVA A.T. 

Almatova Bayan Gazizovna — candidate of technical sciences, associate professor, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail:baian.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1680-4682>

***Shilmagambetova Zhadyra Zhangozhaevna** - candidate of pedagogical sciences, docent, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail:zhadra_69@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8780-7160>

Toleshov Asylbek Kuantayevich - candidate of technical sciences, professor, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail:tolesh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0913-9096>

Esanova Indira Adilgerievna - master of technical sciences, senior lecturer, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail:Indira_17_92@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7917-6480>

Otarbayeva Ainagul Temirgazykyzy - master of technical sciences, senior lecturer, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail:ainarlan1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3655-6662>

Abstract. This article presents experimental data and methods for determining the characteristics of fire and explosion hazards of dispersed combustible materials and mixtures used in the manufacture of welding electrodes and in steelmaking, widely tested and used in scientific research. In order to select safe grinding equipment in the laboratory, studies of the fire and explosion hazard of ferroalloy powders prepared by various methods in laboratory installations and in industrial conditions were conducted.

This article discusses the issues of fire and explosion hazard of dispersed combustible materials and mixtures used in the production of welding electrodes and steelmaking processes. Experimental data and methods for determining the explosive properties of such substances, which are widely used in scientific research, are presented.

As part of the work, studies were conducted to determine the conditions for safe grinding of ferroalloy powders in laboratory and industrial conditions. The experiments included the analysis of samples obtained by various methods in order to identify factors affecting their fire and explosive properties. The features of the applied methods, their practical effectiveness and accuracy in risk assessment are considered.

The results of the study make it possible to optimize the choice of grinding equipment, minimize the likelihood of dangerous situations during the processing of powdered materials and increase the level of industrial safety. The scientific significance of the work lies in a detailed risk analysis and the development of recommendations for the prevention of accidents associated with ignition and explosion of combustible dispersed materials.

The data obtained can be used in the metallurgical industry, in enterprises producing welding materials, as well as in other industries where finely dispersed crushed products with combustible properties are used.

Key words: fire and explosion hazard, dispersed materials, ferroalloy powders, airweights, grinding equipment, concentration limit, self-ignition temperature.