

Современное состояние аналитического контроля ферросплавов

Г. Е. Марьина, к. т. н.^{1,2}, М. С. Доронина, к. т. н.³

УДК 543.61, 543.68

Ферросплавы являются одной из базовых составляющих в технологических процессах металлургической промышленности. Расширение номенклатуры ферросплавов, повышение требований к их качеству привели к необходимости совершенствования методов анализа этих материалов. Сложность анализа состоит в сочетании высокоточного и экспрессного определения как легирующих элементов, так и сопутствующих компонентов и примесей. В существующих государственных стандартах на методы анализа ферросплавов регламентированы только химические и физико-химические методы анализа: титриметрия, гравиметрия, атомно-абсорбционная спектрометрия, спектрофотометрия и др., которые не являются универсальными. В статье представлен обзор методической базы и современных методов анализа ферросплавов.

Ключевые слова: ферросплавы, аналитический контроль, опробование, методы анализа ферросплавов

Введение

Ферросплавы – одна из наиболее востребованных групп металлургических материалов, необходимых для создания конкурентоспособной металлопродукции. Рыночная ситуация выглядит не очень оптимистично [1–3], но залогом успеха в нынешнее время остается систематическая работа над качеством выпускаемого металла.

Качество ферросплавов характеризуется содержанием основных элементов, концентрацией макро- и микропримесей, гранулометрическим составом, температурой плавления, содержанием неметаллических включений и наличием шлака, состоянием поверхности слитков [4–6].

Формирование новых прогрессивных модификаций сталей во многом зависит от введения легирующих компонентов в различных сочетаниях. Исторически этот перечень включал кремний, марганец, хром, никель, ванадий. Развитие технологии внепечной обработки потребовало легирования

титаном, алюминием, молибденом, вольфрамом. Современная действительность применительно к военной индустрии, авиа- и кораблестроению и многим другим отраслям науки и техники требует присутствия ниобия, циркония, тантала, редкоземельных металлов. При этом для обеспечения заданного состава необходимо высокоточное введение легирующего элемента в расплав, а также максимально полезное его усвоение (растворение) жидким металлом. Оптимальное решение этой задачи – введение в жидкую ванну ферросплавов (сплавов железа с одним или несколькими легирующими элементами).

Главная роль ферросплавов в сталеплавильном производстве – легирование и раскисление стали, легирование и модифицирование чугуна и сплавов. Также они востребованы для производства химических соединений, в качестве исходного материала для защитных покрытий на металлических конструкциях и устройствах, при обогащении полезных ископаемых [7, 8]. Незначительная добавка легирующего элемента к стали способна кардинально изменить ее свойства [9]. В табл. 1 приведено влияние отдельных компонентов ферросплавов на свойства конечного продукта – стали [10].

¹ НИТУ МИСИС.

² gelim@mail.ru.

³ ИОНХ РАН.

Качество сталей зависит от трех диагностических параметров: химического состава, структуры и свойств. Но первичным в этой триаде является химический состав. Это предопределяет актуальность развития методической базы аналитического контроля ферросплавов, как традиционных, так и прогрессивных.

Работа посвящена обзору состояния и оценке уровня методической базы аналитического контроля ферросплавов и возможностям совершенствования системы стандартизации методов анализа в этом направлении.

Опробование ферросплавов

Важное значение для аналитического контроля ферросплавов имеет опробование: отбор и подготовка проб.

Отбор проб от партии ферросплава производят в соответствии с нормативной документацией [11, 12] в следующей последовательности:

- определяют количество ферросплава, поставляемое за один раз и оформленное одним документом о качестве, или его часть, подлежащую опробованию;
- устанавливают номинальный верхний размер частиц на определенный вид ферросплавов;
- от партии в определенном месте, используя соответствующий способ, отбирают точечные пробы, количество и масса которых указаны в стандартах на методы отбора и подготовки проб для конкретных видов ферросплавов;
- точечные пробы, объединенные в подпробы, или одну объединенную пробу, подготавливают

Таблица 1. Влияние отдельных компонентов ферросплавов на свойства стали

Элемент	Обозначение элемента в марке стали	Механические свойства						Технологические свойства				
		Предел прочности	Предел текучести	Относительное удлинение	Твердость	Ударная вязкость	Усталостная прочность	Свариваемость	Коррозионная стойкость	Хладостойкость	Красностойкость	
Углерод	У	++	+	=	++	-	-	-	0	0	0	
Марганец	Г	+	+	-	+	-	+	0	+	0	0	
Кремний	С	+	+	-	+	=	0	-	-	0	0	
Никель	Н	+	+	0	+	+	0	+	++	0	0	
Хром	Х	+	+	-	++	0	0	-	++	0	0	
Медь	Д	0	0	0	0	0	0	0	++	0	0	
Ниобий	Б	++	++	-	+	0	+	+	0	0	0	
Ванадий	Ф	+	+	-	+	0	++	+	+	0	0	
Нитрид ванадия	АФ	++	++	-	+	0	+	0	0	0	0	
Молибден	М	+	+	-	+	0	++	+	+	0	0	
Бор	Р	++	++	-	+	-	+	+	0	0	0	
Титан	Т	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
Алюминий	Ю	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	
Сера	Нет	-	-	0	-	-	-	=	0	0	++	
Фосфор	П	+	+	=	+	=	0	=	-	=	0	
Мышьяк	Нет	-	-	-	0	-	-	-	0	0	0	
Азот	А	++	++	=	++	=	-	-	0	0	0	
Кислород	Нет	=	=	=	+	=	=	=	-	-	+	

Примечание: Настоящая таблица показывает примерное влияние отдельных компонентов стали в количествах, содержащихся в малоуглеродистой и низколегированной стали без учета совместного действия нескольких компонентов. Знаки обозначают: (+) – повышает; (++) – значительно повышает; (-) – снижает; (=) – значительно снижает; (0) – не оказывает заметного влияния.

до лабораторной пробы путем последовательного дробления и сокращения;

- определение химического состава лабораторной пробы проводят по государственным стандартам на методы химического анализа ферросплавов или другим аттестованным методикам.

Термины, относящиеся к отбору и подготовке проб ферросплавов, регламентированы ГОСТ Р 50724.2-94 [13].

Традиционно при производстве ферросплавов в процессе литья сталкиваются с рядом проблем, обусловленных их низкими литейными свойствами. Кристаллизация слитков ферросплавов сопровождается формированием структуры с неравномерным распределением элементов по объему. Полученная гетерофазная структура, формирующаяся при взаимодействии компонентов расплава при высоких температурах, обуславливает наличие пористости и раковин в слитках, неудовлетворительную ковкость и повышенную твердость [14, 15].

Поэтому партия ферросплава, как объект пробоотбора, характеризуется неоднородностью распределения контролируемых компонентов.

На стадии подготовки проб осуществляется перевод материала в форму, удобную для последующего определения искоемых компонентов [11, 16, 17]. Наряду с отбором пробы, это один из самых важных и ответственных этапов при проведении аналитического контроля, поскольку основной вклад в суммарную неопределенность конечного результата вносит именно этап опробования.

Ферросплавы поступают на аналитический контроль в разнообразных формах: в виде чушек, кусков, а также в виде гранул, стружки и порошков. Практически все стандарты и большая часть аттестованных методик [18–20] на методы анализа ферросплавов разработаны для исследования измельченного материала.

Поэтому в 80% случаев ферросплавы анализируют именно в виде порошка. Это обусловлено целым рядом причин [21], включающих макро- и микро-неоднородность данного объекта, удобство для последующего переведения пробы в раствор или применения твердофазных методов (например, рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), дифрактометрии и др.).

Но применительно к РФА дисперсность материала в значительной мере усложняет анализ, так как, во-первых, не любой материал можно измельчить до необходимой величины зерна, а некоторые особо твердые материалы в принципе невозможно измельчить; во-вторых, некоторые ферросплавы способны к самовозгоранию и даже взрыву при длительном истирании; в-третьих, при измельчении проб

возникает дополнительная погрешность, связанная с эффектом микронеоднородности [22], в-четвертых, увеличение времени сухого измельчения выше 5 мин не представляется возможным из-за опасности загрязнения пробы частицами материала истирающей системы.

При измельчении учитывают следующие параметры: длительность и требуемую тонкость помола, механические свойства материала, объем пробы и загрузочную дозу, возможное истирание измельчающего инструмента и занесение в пробу его компонентов в случае, если твердость пробы превышает твердость материала ступки и т. д. [23].

При анализе порошков ферросплавов можно выделить два источника погрешности, связанных с неоднородностью материала. Механическая неоднородность, как результат недостаточного усреднения материала, и остаточная неоднородность, связанная с природой распределения частиц в материале. Величину этой неоднородности можно существенно снизить увеличением массы материала или уменьшением размера частиц [24].

Подготовку проб легкодробимых ферросплавов осуществляют путем последовательного применения операций дробления, перемешивания и сокращения материала объединенной пробы, подпробы или точечной пробы [13].

Операция дробления должна выполняться с соблюдением следующих правил:

- изменение химического состава в процессе дробления недопустимо;
- весь измельчаемый материал должен пройти контрольное просеивание во избежание потери недотертых частиц пробы на ситах;
- перед первым этапом измельчения должна производиться промывка элементов истирающей системы для предотвращения попадания частиц предыдущего образца;
- необходимо следить за возможными потерями материала вследствие образования легких летучих фракций, рассыпания материала, его сгорания при перегреве и т. п.

В [25, 26] предлагается готовить пробы размолом ферросплавов с последующим прессованием таблеток. Данный способ применительно к РФА не утрачивает своей актуальности и на сегодняшний день.

В некоторых случаях прибегают к переплавке материала или к сплавлению анализируемого вещества с подходящим флюсом с целью гомогенизации вещества и получения излучателя необходимой формы с гладкой рабочей поверхностью. Выбор плавня, его характеристики и особенности воздействия на пробу подробно описаны в монографиях [27, 28]. В случае

с ферросплавами в качестве флюса чаще всего используют тетраборат лития и карбонат лития. Если получаемые сплавы неоднородны или склонны к растрескиванию, их измельчают и прессуют в таблетки. Однако разбавление флюсом приводит к снижению чувствительности определений. Поэтому это применимо только при определении основных компонентов и макропримесей.

Авторами статьи [29] была исследована возможность подготовки пробы ферромарганца для метода РФА путем сплавления с низкоуглеродистой сталью. При этом были получены плотные монолитные образцы с хорошей поверхностью после заточки на абразивной бумаге. Путем варьирования соотношения навесок FeMn и стали подобраны оптимальные условия возбуждения рентгеновских спектров, позволяющие получить образец, анализ которого приближался бы к анализу стали. Подобный подход с использованием в качестве флюса чистого железа описан Б.Венером и К. Кляйнштюком [30].

В работе [31] указаны основные преимущества плавления пробы: простота, экспрессность, отсутствие потерь определяемых элементов, большое соотношение масс образца и флюса, широкий диапазон определяемых концентраций, возможность применения способа фундаментальных параметров для коррекции матричных эффектов [32]. Необходимо отметить, что получаемые боратные отливки достаточно хрупки и имеют высокие остаточные термоупругие напряжения, что приводит к их самопроизвольному растрескиванию при недостаточно медленном снижении температуры. Еще одной трудностью является прилипание материала плавня к стенкам изложницы или формы. В таком случае необходимо пользоваться дорогостоящими тиглями из платины или золота, одноразовыми изложницами из графита или стеклоглерода. Данный подход несомненно интересен и необычен, однако при этом теряется преимущество во времени и возможно появление новых источников погрешности.

При использовании стандартизованных методик анализа ферросплавов требуется переводение пробы в раствор. При этом удается устранить помехи, связанные со структурой твердой пробы и ее неоднородностью; использовать для градуировки СО универсального типа; вводить внутренний стандарт для улучшения метрологических показателей методики; нивелировать влияние эффектов матрицы; повысить правильность и прецизионность результатов; упростить получение градуировочных функций, используя синтетические смеси [33].

Ферросплавы хорошо растворяются в смеси соляной и азотной кислот, взятых в различных пропорциях,

в том числе, и в «царской водке». В зависимости от содержания легирующих компонентов смесь $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ дополняют другими кислотами, например, для ферромolibдена, для предотвращения выпадения вследствие гидролиза вольфрама в виде вольфрамовой кислоты вводят H_3PO_4 . Введение небольшого количества HF в смесь, содержащую Mo или W, способствует их переводу в устойчивые растворимые комплексы [28], а в случае высокого содержания кремния (свыше 3%) – предотвращает осаждение силикатов [34]. Нерастворимые карбиды растворяют путем упаривания после добавления к смеси $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ серной или ортофосфорной кислот [34].

Однако для труднорастворимых ферросплавов не всегда удается подобрать оптимальную смесь кислот, и приходится подвергать лабораторную пробу повторному упариванию с доплавлением нерастворенного остатка, при этом возникает риск потери легколетучих соединений, а расход реактивов и время, отведенное на пробоподготовку, заметно увеличиваются.

Нестандартный прием перевода ферросплавов в раствор описан в работе [35]. Автором предложена методика автоклавной пробоподготовки ферросплавов в условиях ступенчатого микроволнового нагрева. Применение микроволнового излучения позволяет значительно ускорить процесс перевода пробы в раствор, уменьшить температуру разложения и исключить потери летучих компонентов за счет работы в герметичных системах.

Методы анализа ферросплавов

В существующих государственных стандартах на методы анализа ферросплавов регламентированы только химические и физико-химические методы анализа: титриметрия [36–39], гравиметрия [40–42], атомно-абсорбционная спектрометрия [43, 44], реже фотоколориметрия [45], потенциометрия [46], комплексонометрия [47], спектрофотометрия, которые не являются универсальными, трудоемки и длительны (рис. 1). Несмотря на это, в арбитражной практике применяются именно химические методы анализа, хотя данные подходы сопряжены с рядом очевидных трудностей, заключающихся в необходимости переводения пробы в раствор, многостадийности операций, разделении, маскировании мешающих примесей, улавливании газообразных компонентов пробы. Все эти стадии неизбежно влекут за собой увеличение погрешности, вносящей вклад в общую неопределенность анализа, что делает нецелесообразным их применение в условиях производства [28, 40, 48, 49].



Рис. 1. Стандартизованные в России методы аналитического контроля состава ферросплавов на примере феррованадия

Так при осуществлении метода спектрофотометрии требуется разрушение труднорастворимых соединений, таких как фторидные комплексы, образующихся в ходе разложения проб плавиковой кислотой, а также маскирование мешающих компонентов. Необходимо тщательно подбирать индивидуальные условия пробоподготовки для определения разных элементов, каждый компонент определяется из отдельного раствора, при этом измеряемые растворы требуется предварительно разбавлять или концентрировать [50, 51].

Метод атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) также достаточно часто используется на предприятиях черной металлургии, обладая высокой чувствительностью и селективностью определений малых количеств вещества, низкими пределами обнаружения, но не является универсальным, так как для определения компонентов требуется использование разных типов атомизации, также метод не свободен от матричных эффектов [52–54]. Кроме того, ААС является одноэлементным методом анализа, и для определения отдельных компонентов необходимы специальные условия атомизации, что ведет к значительному увеличению продолжительности анализа.

Применение многих физико-химических методов (колориметрического, спектрофотометрического, полярографического, методов изотопного разбавления, химико-спектрального и некоторых других) ограничено для определения малых примесей, особенно в производственных условиях. Поэтому сформировалась потребность в инструментальных

физических методах. Аналитические характеристики и возможности большинства широко используемых физических методов подробно описаны в монографиях [55–56].

На долю спектральных методов аналитического контроля ферросплавов приходится в настоящее время до 50% всех элементно-определений. Прежде всего, это атомно-эмиссионный (АЭС) метод анализа. АЭС в различных ее вариациях, обладая высокой точностью и чувствительностью, традиционно играет лидирующую роль в аналитическом контроле материалов черной металлургии [57–65]. Основным недостатком метода АЭС при анализе ферросплавов является сложность

эмиссионных спектров атомов и ионов пробы: число линий спектра зависит от температуры источника возбуждения и может достигать нескольких тысяч. С целью увеличения чувствительности определения, а также устранения спектральных наложений применяется предварительное химическое разделение и концентрирование примесей, что значительно усложняет и удлинняет процедуру анализа и увеличивает риск неконтролируемого загрязнения, особенно при определении распространенных элементов (Ca, Fe, Si, S, Cr, Mn и др.).

В последние годы сделаны успешные попытки применить для анализа ферросплавов метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) [66–70], с учетом ограничений, связанных с необходимостью применения химической пробоподготовки, которая делает анализ более сложным и длительным [64, 71–76]. Авторы статьи [34] анализировали измельченные хромовые руды, феррохром, ферромарганец в виде суспензий на основе глицерина и воды. Устранить влияние дисперсионного состава материала на результаты полностью не удалось, при этом суспензирование удлинит анализ и потребовало подбора условий для предотвращения фазового и фракционного расщепления пробы.

В работе [70] разработаны методики АЭС-ИСП определения основных и примесных элементов (Mn, P, Si, Fe, Al, S, Ti, Cu, Co, Ni, Cr, Ca, Pb, Mg, Zn, Sn, As, Hg) в марганцевых ферросплавах от $1 \cdot 10^{-4}\%$ до 100%. На стадии пробоподготовки применяли различные способы растворения: кислотное разложение,

сплавление с $K_2CO_3 + Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (2:3), кислотное разложение с доплавом нерастворимого остатка, кислотное разложение в микроволновой системе.

Наличие спектральных, не спектральных, вызываемых матричными элементами, и ионизационных, обусловленных влиянием кислот и легкоионизируемых элементов на аналитический сигнал, помех – основные ограничения данного метода [75, 77–79]. Для учета спектральных помех необходим тщательный выбор аналитических линий, математическая коррекция аналитического сигнала или совершенствование спектрального оборудования. Основными способами устранения матричных эффектов и ионизационных помех являются разбавление анализируемых растворов, использование для калибровки адекватных по матричному составу образцов сравнения, применение внутренних стандартов, метода добавок и предварительное химическое отделение матрицы.

Для качественного и количественного спектрального анализа металлургических проб возможно использование дуги постоянного или переменного тока [80–82]. Однако сильные матричные влияния, требующие использования серии адекватных образцов сравнения, дают возможность лишь экспрессного полуколичественного определения.

Также используется твердотельная АЭС с вдуванием порошков [34, 83–88]. Однако высокая эффективность ввода проб в источник возбуждения спектров и качественный отбор спектрального излучения от проб, обеспечивающие надежные метрологические показатели анализа, удовлетворяющие требованиям технологий пока, не достигнуты. При непосредственном воздействии плазмы на пробу, процессы фракционности поступления ограничены, что приводит к ухудшению воспроизводимости, увеличению предела обнаружения и степени влияния состава на результаты [85]. Данный способ для анализа ферросплавов не универсален, но может быть применен при поточном экспрессном определении состава большого количества однотипных проб, в случае если отсутствует необходимость определения компонентов с низким пределом обнаружения.

В большинстве металлургических лабораторий наблюдается тенденция к росту количества работ, выполняемых методом РФА. Использование аналитических возможностей РФА метода и разработка методик анализа позволяет не только облегчить и сократить длительность проведения всех операций определения основных компонентов и примесей, но и максимально использовать возможности современного рентгеноспектрального оборудования на производстве [89–92].

В работе [89] показана возможность анализа ферросиликомарганца методом РФА. При этом исследовано влияние продолжительности измельчения образца на крупность частиц и повторяемость результатов. Изучено два способа подготовки проб: истирание с последующим прессованием таблеток на подложке из борной кислоты с добавлением и без добавления связующего.

Однако при использовании рентгенофлуоресцентного метода необходимо учитывать его особенности и ограничения. Известно о наличии влияния углерода на интенсивность флуоресцентного излучения линии $K\alpha$ марганца при анализе прессованных порошковых проб ферромарганца. Для учета этого влияния авторами [91] определен корректировочный коэффициент.

Сравнивая АЭС-ИСП и РФА при анализе шлаков производства феррохрома авторы статьи показали, что погрешность результатов РФА примерно в два раза меньше, чем у АЭС-ИСП, однако оба метода рекомендованы к использованию для массового анализа шлаков [93, 94].

На сегодняшний день ни один из вариантов АЭС или РФА анализа ферросплавов в нашей стране не стандартизован. Монолитные стандартные образцы ферросплавов отсутствуют, причем как отечественные, так и зарубежные. По крайней мере, в каталогах BS и MBH указаны стандартные образцы ферросплавов только в виде порошков. А в отечественных разработках существуют ГСО ферросплавов в виде порошка и стружки, но только для химических методов анализа.

Заключение

Проведенный обзор методической базы анализа ферросплавов показывает, что применение большинства используемых методов, несмотря на удовлетворительную чувствительность и точность, затруднительно для анализа ферросплавов с точки зрения универсальности и многоэлементности. Требуется определение очень малых содержаний наряду с основными компонентами. Используются усложненные процедуры анализа с многостадийными операциями предварительного растворения, разделения и концентрирования, маскирования мешающих примесей, улавливания газообразных компонентов пробы.

Предприятия металлургической отрасли работают по внутренним методикам, многие из которых устарели и требуют замены, или просто не могут быть проконтролированы. Кроме того, появляются новые ферросплавы и их модификации,

сплавы и лигатуры, для которых не только методы анализа, но и аттестованные стандартные образцы вовсе отсутствуют.

В связи с этим, актуальны вопросы модернизации методов аналитического контроля ферросплавов, их гармонизация с существующими требованиями, возможностями современной аппаратуры, метрологическим и информационным обеспечением, а также их стандартизация на федеральном уровне [95].

Литература / References

1. Рынок ферросплавов в 2022 г. Металлургические исследования. Metalresearch.ru. 12.01.2023. URL: https://www.metalresearch.ru/ferroalloys_market.html
2. Ферроалloys market in 2022. Metallurgical research. Metalresearch.ru. 12.01.2023. URL: https://www.metalresearch.ru/ferroalloys_market.html
3. Кому сплавить наши ферросплавы? Потребителей российского сырья для производства стали становится все меньше. Prometall.info 12.01.2023. URL: [- 4. Мысик В. Ф., Жданов А. В., Павлов В. А. *Металлургия ферросплавов: технологические расчеты*. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. 536 с.
- 5. Mysik V. F., Zhdanov A. V., Pavlov V. A. *Metallurgy of Ferroalloys: Technological Calculations*. Ekaterinburg. Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta Publ. 2018. 536 p.
- 6. Gasik M., Dashevskii V., Bizhanov A. *Ferroalloys. Theory and Practice. Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering*. Springer Publ., 2022. 531 p.
- 7. Young R. S. The Analysis of Ferroalloys. *Talanta*. 1985. 33\(7\):561-565.
- 8. Wang Y., Karasev A., Park J. H. et al. Non-metallic Inclusions in Different Ferroalloys and Their Effect on the Steel Quality: A Review. *Metallurgical and Materials Transactions*. 2021. 52:2892-2925.
- 9. Кудрин В. А., Парма В. М. *Технология получения качественной стали*. М.: Металлургия, 1984. 320 с.
- 10. Kudrin V. A., Parma V. M. *Technology for Producing High-quality Steel*. Moscow. Metallurgija Publ. 1987. 320 p.
- 11. Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И. *Теория и технология производства ферросплавов*. М.: Металлургия, 1988. 784 с.
- 12. Gasik M. I., Ljakishev N. P., Emlin B. I. *Theory and Technology of Ferroalloy Production*. Moscow. Metallurgija Publ. 1988. 784 p.
- 13. Зайко В. П., Жучков В. И., Леонтьев Л. И. и др. *Технология ванадийсодержащих ферросплавов*. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 515 с.
- 14. Zajko V. P., Zhuchkov V. I., Leont'ev L. I. et al. *Technology of Vanadium-containing Ferroalloys*. Moscow. IKC Akademkniga Publ. 2004. 515 p.
- 15. Влияние отдельных компонентов на свойства сталей. Neva-stal.ru. 12.01.2023. URL: \[http://neva-tal.ru/vliyanie_otdelnyh_komponentov_na_sv\]\(http://neva-tal.ru/vliyanie_otdelnyh_komponentov_na_sv\). The influence of individual components on the properties of steels. Neva-stal.ru. 12.01.2023. URL: \[http://neva-tal.ru/vliyanie_otdelnyh_komponentov_na_sv\]\(http://neva-tal.ru/vliyanie_otdelnyh_komponentov_na_sv\).
- 16. ГОСТ 17260-2009 \(ИСО 3713:1987\). Ферросплавы, хром и марганец металлические. Общие требования к отбору и подготовке проб. М.: Стандартиформ. 2010. 21 с.
- 17. GOST 17260-2009 \(ISO 3713:1987\). Ferroalloys, chromium and manganese metal. General requirements for sampling and preparation of samples. Moscow. Standartinform Publ. 2010. 21 p.
- 18. ГОСТ Р 57135-2016 Ферросплавы. Методы отбора и подготовки проб для количественного химического анализа. Часть 1. Феррохром, ферросиликохром, ферросилиций, ферросиликомарганец, ферромарганец. М.: Стандартиформ, 2016. 16 с.
- 19. GOST R 57135-2016 Ferroalloys. Methods of sampling and preparation of samples for quantitative chemical analysis. Part 1. Ferrochrome, ferrosilicochrome, ferrosilicon, ferrosilicomanganese, ferromanganese. Moscow. Standartinform Publ. 2016. 16 p.
- 20. ГОСТ Р 50724.2-94. Ферросплавы. Отбор и подготовка проб. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 1994. 6 с.
- 21. GOST R 50724.2-94 Ferroalloys. Sampling and preparation of samples. Terms and definitions. Moscow. Standartinform Publ. 1994. 6 p.
- 22. Топалов Л. И., Шаевич А. Б., Шубина С. Б. *Спектральный анализ ферросплавов*. Свердловск: Металлургиздат, 1962. 288 с.
- 23. Topalov L. I., Shaevich A. B., Shubina S. B. *Spectral Analysis of Ferroalloys*. Sverdlovsk. Metallurgizdat Publ. 1962. 288 p.
- 24. Змитревич А. Г., Пупышев А. А. *Атомно-эмиссионный спектральный анализ ферросплавов*. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 270 с.
- 25. Zmitrevich A. G., Pupyshev A. A. *Atomic Emission Spectral Analysis of Ferroalloys*. Ekaterinburg. UGTU-UPI Publ. 2009. 270 p.
- 26. Карпов Ю. А., Савостин А. П., Глинская И. В. *Методы пробоотбора и пробоподготовки: Курс лекций*. М.: МИСиС, 2001. 232 с.
- 27. Karpov Ju. A., Savostin A. P., Glinskaja I. V. *Sampling and sample preparation methods*. Moscow. MISIS. 2001. 232 p.
- 28. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских лабораториях. Сб. науч. трудов: пер. с нем. / Под ред. Эрхардта Х. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
- 29. X-ray Fluorescence Analysis. Application in Factory Laboratories. Moscow. Metallurgija Publ. 1985. 256 p.
- 30. Standards ISO/TC132-Ferroalloys. Iso.org. 12.01.2023. URL: <https://www.iso.org/ru/committee/52364/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0>.
- 31. Росстандарт. Каталог национальных стандартов. Rst.gov.ru. 12.01.2023. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational>.
- 32. Rosstandart. Catalogue of national standards. Rst.gov.ru. 12.01.2023. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational>.
- 33. ФГИС «АРШИН» Аттестованные методики \(методы\) измерений. Fgis.gost.ru. 12.01.2023. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16>.
- 34. FGIS "ARSHIN" Certified measurement methods \(methods\). Fgis.gost.ru. 12.01.2023. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16>.
- 35. Вернидуб О. Д., Якимова Н. Ю. Применение анализаторов МАЭС в промышленности. VI Международный симпозиум. Тезисы докл. Новосибирск: ООО «ВМК-Оптоэлектроника». 2005. С. 4-11.
- 36. Vernidub O. D., Jakimova N. Ju. Application of MAES analyzers in industry. VI International Symposium. Novosibirsk. 2005. pp. 4-11.
- 37. Смагунова А. Н., Потапова Л. А., Ондар У. В., Паньков С. Д., Розова О. Ф., Полякова С. В., Козлов В. А. Влияние условий подготовки проб к рентгенофлуоресцентному анализу на эффект микроабсорбционной неоднородности. *Журнал аналитической химии*. 2008. 63\(8\):723-729.
- 38. Smagunova A. N., Potapova L. A., Ondar U. V., Pan'kov S. D., Rozova O. F., Poljakova S. V., Kozlov V. A. The Effect of Sample Preparation Conditions for X-ray Fluorescence Analysis on the Effect of Microabsorption Heterogeneity. *Journal of Analytical Chemistry*. 2008. 63\(8\):723-729.
- 39. Buhrke V., Jenkins R. and Smith D. *A Practical Guide for the Preparation of Specimens for X-ray Fluorescence and X-ray Diffraction Analysis. Comprehensive reference for XRF and XRD sample preparation*. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 360 p.
- 40. Anzelmo J., Seyfarth A., Arias L. Approaching a universal sample preparation method for XRF analysis of powder materials. JCPDS-International Centre for Diffraction. *Advances in X-ray Analysis*. 2001. 44:368-373.
- 41. Wagner F., Vorträge der IV. Informationstagung, Hamburg: C. H. F. Müller, GmbH, 1968. pp. 101-106.
- 42. Koch U. H., Schmitz L., Lohse W. HOESCH-Berichte, 1968. 2:51-57.
- 43. Бок Р. *Методы разложения в аналитической химии*. М.: Химия, 1984. 432 с.
- 44. Bok R. *Decomposition Methods in Analytical Chemistry*. Moscow. Himija. 1984. 432 p.](https://www.prometall.info/analitika/komu_splavit_nashi_ferrosplavy#:~: text=Who should fuse our ferroalloys? There are fewer and fewer consumers of Russian raw materials for steel production. Prometall.info 12.01.2023. URL: https://www.prometall.info/analitika/komu_splavit_nashi_ferrosplavy#:~: text=)

28. Карпов Ю. А., Савостин А. П. *Методы пробоотбора и пробоподготовки*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 243 с.
Karпов Ju. A., Savostin A. P. *Sampling and Sample Preparation Methods*. Moscow. BINOM. Laboratorija znaniij, 2003. 243 p.
29. Самопляс В. Н., Гаврилюков Н. Н., Орлова Л. И. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ химического состава ферромарганца, марганца металлического и марганцевой лигатуры. *Аналитика и контроль*. 2004. 8(1):42-50.
Samopljas V. N., Gavriljukov N. N., Orlova L. I. X-ray Spectral Fluorescence Analysis of the Chemical Composition of Ferromanganese, Metallic Manganese and Manganese Ligature. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2004. 8(1):42-50.
30. Венер В., Кляйнштюк К., Зенгер Х. Рентгенофлуоресцентный анализ ферросплавов с подготовкой проб сплавлением. *Заводская лаборатория*, 1985. 51(2):26-28.
Vener V., Kljajnshtjuk K., Zjenger H. X-ray Fluorescence Analysis of Ferroalloys with Sample Preparation by Fusion. *Industrial Laboratory*. 1985. 51(2):26-28.
31. Claisse F. in 43rd Annu. Denver Conf. on Appl. X-Ray Anal. Steamboat Springs, Colorado. 1994. p.96.
32. Бланк А. В., Экспериандова Л. П. *Пробоподготовка в рентгенофлуоресцентном анализе*. Препринт ИМК-98-1. Харьков: Институт монокристаллов НАН Украины, 1998. 46 с.
Blank A. V., Jekспериандова L. P. *Sample Preparation in X-ray Fluorescence Analysis*. Har'kov. Institut monokristallov NAN Ukrainy Publ. 1998. 46 p.
33. Пупышев А. А., Данилова Д. А. *Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой и тлеющим разрядом по Гримму*. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 202 с.
Pupyshv A. A., Danilova D. A. *Atomic Emission Spectral Analysis with Inductively Coupled Plasma and Glow Discharge by Grimm*. Ekaterinburg. GOU VPO UGTU-UPI Publ. 2002. 202 p.
34. Пупышев А. А., Данилова Д. А. Использование атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для анализа материалов и продуктов черной металлургии. *Аналитика и контроль*. 2007. 11(2-3):131-181.
Pupyshv A. A., Danilova D. A. The Use of Atomic Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma for the Analysis of Materials and Products of Ferrous Metallurgy. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2007. 11(2-3):131-181.
35. Тормышева Е. А. Микроволновая пробоподготовка в анализе ферросплавов, магнезиальных огнеупоров и наплавочных порошков методом АЭС ИСП: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.02. Москва, 2011. 152 с.
Tormysheva E. A. Microwave sample preparation in the analysis of ferroalloys, magnesia refractories and surfacing powders by the ICP-AES method. *Candidate's thesis*. Moscow. 2011. 152 p.
36. ГОСТ 27041-86. Ферросплавы, хром и марганец металлические. Методы определения серы. М.: ИПК Издательство стандартов. 1988. 14 с.
GOST 27041-86 Ferroalloys, chromium and manganese metal. Methods for the determination of sulfur. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ. 1988. 14 p.
37. ГОСТ 13217.7-90. Феррованадий. Методы определения общего алюминия. М.: ИПК Издательство стандартов. 1990. 11 с.
GOST 13217.7-90. Ferrovaniadium. Methods for determining total aluminum. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ. 1990. 11 p.
38. ГОСТ 16591.3-94. Ферросиликомарганец. Методы определения марганца. М.: ИПК Издательство стандартов. 1995. 8 с.
GOST 16591.3-94. Ferrosilicomanganese. Methods for the determination of manganese. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ. 1995. 8 p.
39. ГОСТ 14021.6-78. Ферробор. Методы определения марганца. М.: ИПК Издательство стандартов. 1980. 7с.
GOST 14021.6-78. Ferrobob. Methods for the determination of manganese. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ. 1980. 7 p.
40. Мосичев В. И., Калинин И. П., Николаев Г. И. *Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Аналитический контроль состава черной и цветной металлургии*. Том III. М.: НПО «Профессионал», 2007. 1092 с.
Mosichev V. I., Kalinkin I. P., Nikolaev G. I. *Metals and Alloys. Analysis and Research. Analytical Control of the Composition of Ferrous and Non-ferrous Metallurgy*. Moscow. NGO Professional Publ. 2007. 1092 p.
41. ГОСТ 15933.4-90. Феррониобий. Метод определения кремния. М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. 3 с.
GOST 15933.4-90 Ferroniobium. A method for determining silicon. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1990. 3 p.
42. ГОСТ 14638.4-81. Ферровольфрам. Метод определения кремния. М.: ИПК Издательство стандартов, 1983. 6 с.
GOST 14638.4-81. Ferrovolffram. A method for determining silicon. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1983. 6 p.
43. ГОСТ 13217.6-90. Феррованадий. Методы определения марганца. М.: Издательство стандартов, 1991. 7 с.
GOST 13217.6-90. Ferrovaniadium. Methods for the determination of manganese. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1991. 7 p.
44. ГОСТ 14250.10-80. Ферротитан. Методы определения меди. М.: Издательство стандартов, 1998. 7 с.
GOST 14250.10-80. Ferrotitan. Methods for determining copper. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1998. 7 p.
45. ГОСТ 15933.16-70. Феррониобий. Метод определения содержания сурьмы. М.: Издательство стандартов, 1971. 6 с.
GOST 15933.16-70. Ferroniobium. Method for determining antimony content. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1971. 6 p.
46. ГОСТ 21876.1-76. Ферромарганец. Метод определения марганца. М.: Издательство стандартов, 1978. 14 с.
GOST 21876.1-76. Ferromanganese. Method of determination of manganese. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1978. 14 p.
47. ГОСТ 17001.8-86. Ферросиликоцирконий. Метод определения алюминия. М.: Издательство стандартов, 1988. 5 с.
GOST 17001.8-86. Ferrosilicocirconium. Method of determination of aluminum. Moscow. IPK Izdatel'stvo standartov Publ, 1988. 5 p.
48. Кнапп Г. *Decomposition Methods in Elemental Trace Analysis. Trends in Analytical Chemistry*. 1984. 3(7):182-185.
49. Степин В. В., Курбатова В. И., Сташкова Н. В., Федорова Н. Д. *Химические и физико-химические методы анализа ферросплавов*. М.: Металлургия, 1991. 282 с.
Stepin V. V., Kurbatova V. I., Stashkova N. V., Fedorova N. D. *Chemical and physico-chemical methods of ferroalloy analysis*. Moscow. Metallurgija Publ, 1991. 282 p.
50. Степин В. В., Курбатова В. И., Федорова Н. Д., Сташкова Н. В. *Определение малых концентраций компонентов в материалах черной металлургии*. М.: Металлургия, 1987. 256 с.
Stepin V. V., Kurbatova V. I., Fedorova N. D., Stashkova N. V. *Determination of small concentrations of components in ferrous metallurgy materials*. Moscow. Metallurgija Publ. 1987. 256 p.
51. Ashy M. A., Headridge J. B. The differential spectrophotometric determination of molybdenum in ferromolybdenum. *Analytica Chimica Acta*. 1972. 59(2):217-223.
52. Харламов И. П., Еремина Г. В. *Атомно-абсорбционный анализ в черной металлургии*. М.: Металлургия, 1982. 168 с.
Harlamov I. P., Eremina G. V. *Atomic absorption analysis in ferrous metallurgy*. Moscow. Metallurgija Publ, 1982. 168 p.
53. Пупышев А. А. *Атомно-абсорбционный спектральный анализ*. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2009. 784 с.
Pupyshv A. A. *Atomic absorption spectral analysis*. Moscow. TEHNOSFERA Publ. 2009. 784 p.
54. Lundberg E., Frech W. Direct determination of trace metals in solid samples by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomizers: Part 1. Investigations of homogeneity for lead and antimony in metallurgical materials. *Analytica Chimica Acta*. 1979. 104(1): 67-74.
55. Кельнер Р., Мерме Ж.-М., Отто М., Виднер Г. М. *Аналитическая химия. Проблемы и подходы*. Том 2. М.: Мир, АСТ, 2004. 697 с.
Kel'ner R., Merme Zh.-M., Otto M., Vidner G. M. *Analytical chemistry. Problems and approaches*. Volume 2. Moscow. Mir, AST Publ. 2004. 697 p.
56. Карпов Ю. А., Савостин А. П., Сальников В. Д. *Аналитический контроль металлургического производства: Учебное пособие для вузов*. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 352 с.

- Karpov Ju. A., Savostin A. P., Sal'nikov V. D. *Analytical Control of Metallurgical Production*. Moscow. IKC Akademkniga Publ, 2006. 352 p.
57. Томсон М., Уолш Д. Н. *Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно-связанной плазмой*. М.: Недра, 1988. 288 с.
Tomson M., Uolsh D. N. *Guide to spectrometric analysis with inductively coupled plasma*. Moscow. Nedra Publ, 1988. 288 p.
58. Inductively coupled plasma emission spectroscopy. Part 1: Methodology. Instrumentation and Performance. Ed P. W. G. M. Boumans. NY: Wiley, 1987. 584 p.
59. Inductively coupled plasma emission spectroscopy. Part 2: Application and Fundamentals. Ed P. W. G. M. Boumans. NY: Wiley, 1987. 432 p.
60. Малютина Т. М., Конькова О. В. *Аналитический контроль в металлургии цветных и редких металлов*. М.: Металлургия, 1988. 240 с.
Maljutina T. M., Kon'kova O. V. *Analytical control in metallurgy of non-ferrous and rare metals*. Moscow. Metallurgija Publ. 1988. 240 p.
61. Путьмаков А. Н., Комиссарова Л. Н., Шелпакова И. Р. О некоторых возможностях повышения эффективности атомно-эмиссионного спектрального анализа порошковых проб. *Аналитика и контроль*. 2008. 12(3-4):120-129.
Put'makov A. N., Komicsarova L. N., Shelpakova I. R. On some possibilities of increasing the efficiency of atomic emission spectral analysis of powder samples. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2008. 12(3-4):120-129.
62. Заксас Н. П., Шелпакова И. Р., Герасимов В. Г. Атомно-эмиссионное определение микроэлементов в порошковых пробах разной природы с возбуждением спектров в двухструйном дуговом плазматроне. *Журнал аналитической химии*. 2004. 59(3):254-260.
Zaksas N. P., Shelpakova I. R., Gerasimov V. G. Atomic emission determination of trace elements in powder samples of different nature with excitation of spectra in a two-jet arc plasma torch. *Journal of Analytical Chemistry*. 2004. 59(3):254-260.
63. Лебедева Р. В., Туманова А. Н., Машин Н. И. Исследование матричного влияния при атомно-эмиссионном определении примесей в железе и его соединениях. *Журнал аналитической химии*. 2004. 59(3):250-253.
Lebedeva R. V., Tumanova A. N., Mashin N. I. Investigation of the matrix effect in the atomic emission determination of impurities in iron and its compounds. *Journal of Analytical Chemistry*. 2004. 59(3):250-253.
64. Вернидуб О. Д., Ломакина Г. Е. Анализ материалов черной металлургии атомно-эмиссионным с ИСП методом с применением МАЭС. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2007. 73(5):54-57.
Vernidub O. D., Lomakina G. E. Analysis of ferrous metallurgy materials by atomic emission with ISP method using MAES. *Industrial Laboratory*. 2007. 73(5):54-57.
65. Самопляс В. Н., Гаврилюков Н. Н., Мандрыгин В. В. Применение многоканального анализатора эмиссионных спектров (МАЭС) на вакуумном квантометре ДФС-51 для анализа стали, чугуна и меди. *Аналитика и контроль*. 2005. 9(2):157-165.
Samopljas V. N., Gavriljukov N. N., Mandrygin V. V. Application of a multichannel emission spectrum analyzer (MAES) on a vacuum quantum meter DFS-51 for the analysis of steel, cast iron and copper. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2005. 9(2):157-165.
66. Лузянина П. А., Морозова М. В., Неудачина Л. К. Выбор способа подготовки проб для определения алюминия, кальция, титана и бора в ферросиликомарганце методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. «Проблемы теоретической и экспериментальной химии» XXXII Российская молодежная научная конференция, Екатеринбург, 2020. 61 с.
Luzjanina P. A., Morozova M. V., Neudachina L. K. Selection of the method of sample preparation for the determination of aluminum, calcium, titanium and boron in ferrosilicomanganese by atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma. *Problemy teoreticheskoy i jeksperimental'noj himii XXXII Rossijskaja molodezhnaja nauchnaja konf.* Ekaterinburg, 2020. p.61.
67. Лузянина П. А., Попкова Г. Н. Анализ стандартного образца ферросиликомарганца методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. V Международная научная конференция «Стандартные образцы в измерениях и технологиях», тезисы докладов, Екатеринбург. 2022. 86-87 с.
Luzjanina P. A., Popkova G. N. Analysis of a standard sample of ferrosilicomanganese by atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma. *Standartnye obrazcy v izmerenijah i tehnologijah V Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija*. Ekaterinburg. 2022. pp. 86-87.
68. Майорова А. В., Белозерова А. А., Мельчаков С. Ю., Машковцев М. А., Суворкина А. С., Шуняев К. Ю. Определение содержания мышьяка и сурьмы в ферровольфраме методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. *Журнал аналитической химии*. 2019. 74(7S): S24-S33.
Majorova A. V., Belozerova A. A., Mel'chakov S. Ju., Mashkovcev M. A., Suvorkina A. S., Shunjaev K. Ju. Determination of arsenic and antimony content in ferrovolphram by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. *Journal of Analytical Chemistry*. 2019. 74(7S): S24-S33.
69. Черникова И. И., Тюмнева К. В., Бакалдина Т. В., Ермолаева Т. Н. Совершенствование пробоподготовки при анализе ферросплавов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2019. 85(5):11-17.
Chernikova I. I., Tjumneva K. V., Bakaldina T. V., Ermolaeva T. N. Improvement of sample preparation in the analysis of ferroalloys by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. *Industrial Laboratory*. 2019. 85(5):11-17.
70. Спирина С. В., Гриценко Н. Н., Снежко Е. А., Люборец И. И., Дрожко Н. А., Богославская И. Ю. Применение метода эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для анализа химического состава ферросплавов, флюсов, шлаков, шламов и пылей. *Экология и промышленность*. 2013. 4(37):88-94.
Spirina S. V., Gricenko N. N., Snezhko E. A., Ljuborec I. I., Drozhko N. A., Bogoslavskaja I. Ju. Application of the method of emission spectrometry with inductively coupled plasma for the analysis of the chemical composition of ferroalloys, fluxes, slags, slurries and dusts. *Jekologija i promyshlennost' = Ecology and Industry of Russia*. 2013. 4(37):88-94.
71. Gomez Coedo A., Dorado Lopez M. T., Vindel Maeso A. Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopic determination of major elements in ferroalloys. *Spectrochimica Acta*, 1986. 41B(2):193-196.
72. Brown A. J. *Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries Proceedings of 5 International conference*. Luxembourg. 1999. pp. 405-413.
73. Рубинштейн Е. А., Устинова В. И., Коркодинова Т. П. Технология приготовления стандартных образцов для спектрального анализа феррониобия. Стандартные образцы в черной металлургии: темат. отрасл. сб. № 3/ВНИИСО/Отв. Ред. Ю. Л. Плинер. М.: Металлургия, 1974. 152 с.
Rubinshtejn E. A., Ustinova V. I., Korkodinova T. P. Technology of preparation of standard samples for spectral analysis of ferrowniobium. *Standartnye obrazcy v chornoj metallurgii=Standard Samples in Ferrous Metallurgy*. Moscow. Metallurgija Publ. 1974. 152 p.
74. Mittelstadt H., Muller G., Nazikol C. Progress in Analytical Chemistry in Steel and Metal Industries. Abstracts, Luxembourg, 2002. p. 30.
75. Мосичев В. И., Николаев Г. И., Калинин Б. Д. *Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Методы атомной спектроскопии. Атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный анализ: Справочник*. Под ред. В. И. Мосичева. СПб.: НПО «Профессионал», 2006. 716 с.
Mosichev V. I., Nikolaev G. I., Kalinin B. D. *Metals and alloys. Analysis and research. Methods of atomic spectroscopy. Atomic emission, atomic absorption and X-ray fluorescence analysis*. St. Petersburg. NGO Professional Publ. 2006. 716 p.
76. Зубова Ж. Л., Какуркин Н. П., Лапина З. В. Определение фосфора в ферросплавах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. *Успехи в химии и химической технологии*. 2011. 25(8):93-98.



17-я Международная выставка
вакуумного и криогенного оборудования

11–13 апреля 2023

Москва, ВДНХ, Павильон 57



Представьте
свою продукцию
потенциальным
заказчикам



Вакуумное
оборудование

Криогенное
оборудование

Оборудование
для нанесения
функциональных
покрытий

Забронируйте стенд
vacuumtechexpo.com

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+ 7 (495) 252 11 07
vacuumtechexpo@mvk.ru

- Zubova Zh.L., Kakurkin N.P., Lapina Z.V. Determination of phosphorus in ferroalloys by atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma. *Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii = Advances in chemistry and chemical technology*. 2011. 25(8):93-98.
77. Sesi N.N., Hieftje G.M. Studies into interelement matrix effect in inductively coupled plasma spectrometry. *Spectrochimica Acta, Part B*. 1996. 51(13): 1601-1628.
78. Пупышев А.А., Данилова Д.А. Разработка модели термохимических процессов для метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Часть 1. Матричные неспектральные помехи. *Аналитика и контроль*. 2001. 5(2):112-136. Pupyshv A.A., Danilova D.A. Development of a model of thermochemical processes for the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. Part 1. Matrix non-spectral interference. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2001. 5(2):112-136.
79. Stepan M., Musil P., Poussel E., Mermet J.M. Matrix induced shift effects in axially viewed inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Spectrochim. Acta Part B*. 2001. 56:443-453.
80. Змитревич А.Г., Пупышев А.А. Новый способ отбора излучения при спектральном анализе порошков методом вдувания. *Аналитика и контроль*. 2000. 4(2):179-183. Zmitrevich A.G., Pupyshv A.A. A new method of radiation selection in the spectral analysis of powders by injection. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2000. 4(2):179-183.
81. Сукач Ю.С., Савинова Е.Н., Колесов Г.М., Тюрин Д.А., Силкис Э.Г. Современные аналитические возможности атомно-эмиссионной спектроскопии на базе спектрографов ДФС-8 и ПГС-2 с использованием дуговых и плазменных источников возбуждения и ПЗС - регистрации спектров. Съезд аналитиков России «Аналитическая химия – новые методы и возможности». Тезисы докладов. М., 2010. 286-287 с. Sukach Ju.S., Savinova E.N., Kolesov G.M., Tjurin D.A., Silkis Je. G. Modern analytical capabilities of atomic emission spectroscopy based on DFS-8 and PGS-2 spectrographs using arc and plasma excitation sources and CCD recording of spectra. *Analytical chemistry – new methods and opportunities*. Moscow. 2010. pp. 286-287.
82. Комиссарова Л.Н., Моисеенко Е.П., Заксас Н.П. и др. Прямой атомно-эмиссионный спектральный анализ оксида вольфрама с использованием дуги постоянного тока и двухструйной дуговой плазмы. *Аналитика и контроль*. 2010. 14(2):73-81. Komissarova L.N., Moiseenko E.P., Zaksas N.P. et al. Direct atomic emission spectral analysis of tungsten oxide using a direct current arc and a two-jet arc plasma. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2010. 14(2):73-81.
83. Змитревич А.Г., Пупышев А.А. Разработка методики атомно-эмиссионного спектрального определения V_2O_5 в шлаках феррохрома низкоуглеродистого способом вдувания порошков. *Аналитика и контроль*. 2009. 13(2):114-117. Zmitrevich A.G., Pupyshv A.A. The development of a technique for an atomic emission spectral determination of V_2O_5 in low-carbon ferroschromium slags using the injection of powders method. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2009. 13(2):114-117.
84. Змитревич А.Г., Пупышев А.А. Атомно-эмиссионное определение углерода в ферромарганце способом вдувания порошков в низковольтный искровой разряд. *Аналитика и контроль*. 2004. 8(1):56-58. Zmitrevich A.G., Pupyshv A.A. Atomic emission method of carbon determination in ferromanganese by blowing powders into low-voltage spark. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2004. 8(1):56-58.
85. Змитревич А.Г. Разработка аппаратуры и способов атомно-эмиссионного спектрального анализа ферросплавов при вдувании порошков в источник возбуждения спектров: дисс. кандидата химических наук: 02.00.02. Екатеринбург, 2006. 195 с. Zmitrevich A.G. Development of equipment and methods for atomic emission spectral analysis of ferroalloys when blowing powders into the excitation source of spectra. *Candidate's thesis*. Ekaterinburg. 2006. 195 p.
86. Суриков В.Т., Пупышев А.А. Введение образцов в индуктивно связанную плазму для спектрометрического анализа. *Аналитика и контроль*. 2006. 10(2):112-125. Surikov V.T., Pupyshv A.A. Introduction of samples into inductively coupled plasma for spectrometric analysis. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2006. 10(2):112-125.
87. Змитревич А.Г., Пупышев А.А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ порошков сложного матричного и фазового состава способом вдувания. *Аналитика и контроль*. 2009. 13(2):91-95. Zmitrevich A.G., Pupyshv A.A. Atomic emission spectral analysis of powders with complex matrix und phase composition using the injection method. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2009. 13(2):91-95.
88. Змитревич А.Г., Пупышев А.А. Разработка методики атомно-эмиссионного спектрального определения кремния в порошках ферросилиция способом вдувания. *Аналитика и контроль*. 2011. 15(4): 401-408. Zmitrevich A.G., Pupyshv A.A. The development of a technique for an atomic emission spectral determination of silicon in ferrosilicon powders using the injection method. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2011. 15(4): 401-408.
89. Волков А.И., Осипов К.Б., Серёгин А.Н. Рентгенофлуоресцентный анализ спрессованных проб ферросиликомарганца. *Спектрометрические методы анализа. Материалы II Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием*. 2014. С. 28-33. Volkov A.I., Osipov K.B., Serjogin A.N. X-ray fluorescence analysis of compressed samples of ferrosilicon manganese. *Spectrometric methods of analysis. Internet Conf*. 2014. pp.28-33.
90. Волков А.И., Осипов К.Б., Серёгин А.Н. Применение рентгенофлуоресцентного спектрометра «Спектроскан Макс-GV» для определения Mn, Cr, Ti, P в ферросиликомарганце. *Проблемы черной металлургии и материаловедения*. 2013. 4:86-93. Volkov A.I., Osipov K.B., Seryogin A.N. Application of the X-ray fluorescence spectrometer Spectroscan Max-GV for the determination of Mn, Cr, Ti, P in ferrosilicon manganese. *Problemy chernoj metallurgii i materialovedeniya=Problems of ferrous metallurgy and materials science*. 2013. 4:86-93.
91. Самоплас В.Н., Гаврилюков Н.Н. Экспериментальная оценка влияния углерода при определении содержания марганца в ферромарганце рентгенофлуоресцентным методом. *Аналитика и контроль*. 2011. 15(2):170-173. Samoplyas V.N., Gavrilyukov N.N. Experimental evaluation of the effect of carbon in determining the manganese content in ferromanganese by X-ray fluorescence method. *Analitika i kontrol=Analytics and Control*. 2011. 15(2):170-173.
92. Калинин Б.Д., Руднев А.В., Дудик С.Л. и др. Анализ сталей и сплавов на рентгеновских спектрометрах серии «СПЕКТРОСКАН МАКС». *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2014. 80(1):19-26. Kalinin B.D., Rudnev A.V., Dudik S.L. et al. Analysis of steels and alloys on X-ray spectrometers of the SPECTROSCAN MAX series. *Industrial Laboratory*. 2014. 80(1):19-26.
93. Kozak E., Hudnik V., Slekovec-Golob M., Vrečko V. Analysis of slags from the ferrochromium production by ICP atomic emission and X-ray fluorescence spectrometry. *Vestn. Sloven. Kem. Drus*. 1987. 34(3):351-360.
94. Somogye A., Braun M., Posta J. Comparison between X-ray fluorescence and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry in the analysis of sediment samples. *Spectrochim. acta, Part B*. 1997. 52(13-14):2011-2017.
95. Карпов Ю.А., Барановская В.Б. Проблемы стандартизации методов химического анализа в металлургии. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2019. 85(1(II)):5-14. Karpov Yu.A., Baranovskaya V.B. Problems of standardization of chemical analysis methods in metallurgy. *Industrial Laboratory*. 2019. 85(1(II)):5-14.

Статья поступила в редакцию 1.03.2023
Принята к публикации 21.03.2023

rosmould & 3D-TECH

rosmould.ru

Международная выставка
пресс-форм и штампов,
оборудования
и технологий для
производства изделий

6–8 июня 2023

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

3D-TECH

Специализированная
экспозиция аддитивных
технологий и 3D-печати



Промокод для получения
бесплатного билета
RM23-HV4RV

GA GEFERA MEDIA