

Д. т. н. **К. Н. Вдовин** (✉), **А. А. Ряхов**, к. т. н. **К. Г. Пивоварова**,  
д. т. н. **В. В. Точилкин**

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 621.746.047:669.054.2

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Описана методика определения температуры плавления шлакообразующей смеси на высокотемпературном микроскопе, приведены показатели ее точности. Даны основные параметры, влияющие на результаты определения температур плавления шлаковых смесей с помощью метода ДСК, и рациональные условия проведения экспериментов, направленных на определение температур разжижения, плавления, растекания шлака.

**Ключевые слова:** шлакообразующая смесь, дифференциально сканирующая калориметрия (ДСК).

### ВВЕДЕНИЕ

**У**жесточение требований, предъявляемых к качеству непрерывнолитой заготовки, в условиях постоянного увеличения объемов производства требует четкого соблюдения технологии разлива стали [1]. Одним из обязательных условий производства качественной заготовки является обеспечение заданного температурного интервала разлива. На всех технологических участках разлива (сталеразливочные и промежуточные ковши, кристаллизатор) широкое применение нашли шлакообразующие смеси (ШОС). Применяемые при разливе стали ШОС условно можно разделить на три группы по составу:  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$ ,  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ . В качестве компонентов, формирующих ШОС, применяют природные минералы или искусственные технические продукты. Многие отечественные металлургические предприятия производят ШОС для непрерывной разлива стали самостоятельно из местных недорогих и недефицитных материалов: портландцемента, доменного шлака, шлаков производства ферросплавов и алюминия, пыли газоочисток, песка, извести и др. [2–13].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для эффективной разлива слой жидкого шлака, образующийся при плавлении ШОС, должен

обладать рядом заданных физических характеристик: скоростью плавления, растекаемостью, фракционным составом, насыпной массой, теплопроводностью, температурным интервалом плавления, вязкостью, поверхностным натяжением и краевым углом смачивания. Важнейшим в технологическом отношении параметром ШОС является температурный интервал их плавления, который часто характеризуют температурами размягчения, плавления и растекания, так называемыми точками плавления ШОС. Их наравне с химическим составом смеси нормируют в сертификатах качества на выпускаемую продукцию. От величины этих характеристик зависит толщина слоя жидкого шлака на поверхности жидкой стали в кристаллизаторе машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и образование жидкоподвижного покровного шлака на зеркале металла в промежуточном ковше.

В процессе освоения непрерывной разлива установлены определенные требования к качеству ШОС, в том числе и к точности определения точек их плавления, температура которых не должна отклоняться от требуемой на  $\pm(15-30)$  °С [14, 15]. Температура полного расплавления образцов ШОС для кристаллизаторов составляет 1120–1245 °С, а для промежуточного ковша 1250–1420 °С [16]. Температуру плавления ШОС определяют по немецкому стандарту ISO 540:2008. Он соответствует требуемой точности, несмотря на то что предназначен для определения температуры плавления золы ТЭЦ [17]. Его используют на всех специализированных зарубежных и отечественных предприятиях, произ-



К. Н. Вдовин  
E-mail: vdovin@magtu.ru

водящих ШОС и имеющих в лабораториях высокотемпературные нагревательные микроскопы. Немецкий стандарт был переведен на русский язык и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации как ГОСТ 32978–2014, предназначенный для определения плавкости золы твердого топлива.

Методики определения точек плавления ШОС приведены в работах [14, 17]. Образец смеси, спрессованный в цилиндрическую таблетку, устанавливают на керамическую подложку в нагревательную печь микроскопа и нагревают с постоянной (обычно 8–10 °С/мин) скоростью, при этом он изменяет свою форму от первоначальной до полного растекания. Изменение контура образца во время нагрева ШОС фиксируют видеокамерой (рис. 1). По этим данным компьютерная программа рассчитывает температуры деформации, сферы, полусферы и растекания ШОС (ГОСТ 32978–2014).

Несмотря на широкое применение этого метода нет однозначной точки зрения среди исследователей о соответствии характерного контура, получаемого при нагревании образца, температуре размягчения, плавления и растекания ШОС. В связи с этим в литературе встречаются совершенно противоположные трактовки температур интервала плавления ШОС. В работе [16] за начало плавления принимали момент начала деформации образца, а за конец плавления — растекание образовавшегося расплава по подложке. Авторы работы [17] считают, что температуре размягчения соответствует контур образца ШОС в виде сферы, температуре плавления — полусферы. В связи с этим у исследователей возникают определенные трудности при сравнительной оценке результатов исследований, но для правильного понимания процесса плавления шлака рекомендуется употреблять понятия, указанные в ГОСТ 32978–2014 и предложенные в работе [17].

Подготовка образца к анализу существенно влияет на результат исследования. В связи с многообразием составов ШОС для приготовления однородной пластичной массы (пасты) для заполнения формы при изготовлении цилиндрических образцов применяют различные связующие вещества, одним из которых является

дистиллированная вода. Однако нежелательно использовать воду при подготовке шлакообразующих смесей, содержащих гидратирующиеся компоненты, например портландцемент. Связано это с тем, что в процессе гидратации и гидролиза минералов портландцементного клинкера выделяется определенное количество гидроксидов кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , который при нагреве разлагается с образованием оксида кальция ( $\text{CaO}$ ), что приводит к увеличению температуры плавления ШОС. Кроме того, влага взаимодействует с плавиковым шпатом, являющимся основным флюсующим компонентом практически всех ШОС. В результате его гидролиза образуются  $\text{CaO}$  и летучие фторсодержащие компоненты, что также приводит к изменению (увеличению) результатов определения температуры плавления ШОС. Поэтому для таких ШОС в качестве связующего лучше использовать этиловый спирт, который рекомендуют для подготовки образцов цемента к рентгенодифрактометрическому анализу (ГОСТ Р 51795–2001). Таким образом, связующее при использовании не должно изменять свойств плавления смеси, а его выбор определяться компонентным составом ШОС.

В связи с отсутствием стандартизированной методики выполнения измерений (МВИ) на высокотемпературном микроскопе качество результатов определения точек плавления ШОС и соответствие их требуемой точности зависят от выбора условий проведения эксперимента и обработки результатов исследований.

Наиболее точными методами определения температур плавления различных веществ и материалов, в том числе ШОС, считают термические методы: дифференциально-термический анализ (ДТА) и дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) [17, 18]. Вместе с тем, в литературе практически нет данных об условиях проведения экспериментов, от которых зависят диагностируемая температура точек плавления ШОС и точность ее определения.

Цель настоящей работы — выбор условий проведения термического анализа и методологии оценки характеристических температур термического эффекта плавления ШОС, направленных на определение температур размягчения, плавления и растекания.

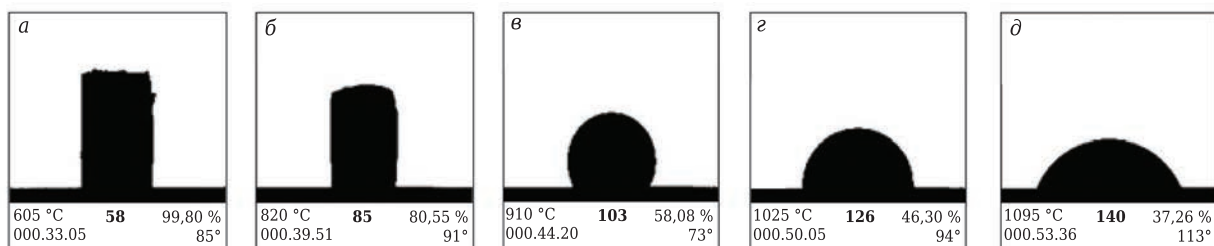


Рис. 1. Внешний вид образца ШОС при различных температурах нагрева: а — исходный контур; б — деформация; в — сфера; г — полусфера; д — растекание

Экспериментальные исследования проводили на синхронном термоанализаторе STA 449 F3 Jupiter фирмы Netzsch, Германия, в интервале 20–1500 °С под управлением программного пакета Proteus, с помощью которого производили все необходимые измерения и обработку полученных результатов. В качестве исследуемых объектов выбраны ШОС импортного и отечественного производства, применяемые на различных металлургических заводах, в том числе на ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК).

Термический анализ основан на регистрации тепловых эффектов превращений, протекающих в образце в условиях программируемого изменения температуры [19]. Форма экспериментальной кривой ДСК (ДТА) существенно зависит не только от конструкции прибора, но и от условий проведения эксперимента [20, 21].

Изменение скорости нагрева образца является важным фактором, влияющим на результаты определения температур физико-химических превращений [22]. Большинство исследователей считают, что с повышением скорости нагрева возрастают температура и амплитуда (высота) пика, соответствующего термическому эффекту. Кроме того, увеличение скорости нагрева повышает чувствительность дифференциальной записи [21]. Действительно, в ряде случаев при больших скоростях нагрева удавалось наблюдать эффекты, которые при медленном нагреве не обнаруживали. В то же время уменьшение скорости нагрева позволяет разделить накладывающиеся друг на друга термические эффекты, происходящие в близком температурном диапазоне. Однако о степени влияния скорости нагрева на температуру начала эффекта (начала отклонения дифференциальной записи) у исследователей не сложилось единого мнения. В работах [20, 23] указано, что температура нагрева не влияет на температуру начала термического эффекта, а авторы работы [19] показали, что с увеличением скорости нагрева температура начала отклонения дифференциальной кривой несколько уменьшается вследствие увеличения скорости исследуемого процесса. При реализации метода ДТА (ДСК) часто используют скорость нагрева и охлаждения 10–15 °С/мин [24]. Более высокая скорость изменения температуры приводит к завышению диагностируемой температуры термических эффектов при нагреве и занижению при охлаждении. Снижение скорости нагрева ниже 10 °С/мин сглаживает термические эффекты и усложняет их диагностику.

С увеличением массы образца на кривой ДТА (ДСК) возможно полное или частичное наложение двух эффектов [20]. Использование навесок малой массы позволяет четко регистрировать начало термического эффекта [21]. Кроме того, уменьшение массы навески позволяет работать

с более высокими скоростями нагрева [25]. Однако уменьшение массы образца ограничено чувствительностью установки. Как правило, при проведении экспериментов в термическом анализе используют порошкообразные образцы. Уменьшение размера частиц образца позволяет увеличивать плотность навески прессованием, что приводит к росту коэффициента его теплопроводности [19] и благоприятно сказывается на точности результатов термоаналитических исследований. При работе с микронавесками (массой до 40 мг) в качестве эталона можно использовать пустой тигель, масса которого должна быть близка к массе тигля для исследуемого вещества. Результаты определения температур фазовых превращений в этом случае не изменяются. Как правило, в качестве эталона используют оксид алюминия (сапфир).

Характер газовой среды при проведении термоанализа значительно влияет на получаемые результаты. Когда изучаемый процесс связан с выделением или поглощением газообразного компонента, то давление газа в системе влияет на форму пика и его начальную температуру. В динамической атмосфере можно регулировать парциальное давление газа, выделяющегося в ходе реакции, меняя состав продуваемого газа. Например, если продуваемый и выделяющийся газы одинаковы по составу, то пик может сместиться в область более высоких температур. Если продуваемый и выделяющийся газы неодинаковы по составу, то парциальное давление выделяющегося газа уменьшается с увеличением расхода и пик смещается в область более низких температур. Кроме того, газовая среда может взаимодействовать с выделяющимися газами, что приводит к появлению дополнительных пиков на кривой ДТА (ДСК). Выбор атмосферы в камере печи зависит от поставленных задач.

В настоящей работе образцы нагревали до 1300–1450 °С со скоростью 10 °С/мин в смеси аргона и воздуха. Такая смесь отвечает требованиям к работе на приборе. На весы подают защитный газ аргон (10 см<sup>3</sup>/мин), который далее поступает в печь и смешивается с рабочим газом — воздухом (30 см<sup>3</sup>/мин). Массы навесок составляли 8,5–9,0 мг. Образцы ШОС перед проведением анализа прокаливали при (850±50) °С. Измерения проводили в платиновых тиглях. В качестве эталона использовали пустой платиновый тигель. Стоит отметить, что эксперименты проводили в закрытых тиглях для предотвращения загрязнения поверхности печи и для лучшего локального нагрева внутри тигля. Перед проведением анализа прибор калибровали по температурам плавления эталонов, в качестве которых использованы чистые металлы. Ошибка измерения температуры не превышала ± 0,1 °С.

На кривой нагрева в диапазоне 1060–1243 °С виден эндотермический эффект, отвечаю-

щий только плавлению образца ШОС. Другие физико-химические превращения при такой подготовке образца ШОС к анализу не диагностировали (рис. 2).

Обработка полученных результатов сводится к выявлению определенных характеристик термического эффекта, в роли которых выступают температуры начала, окончания и пика эффекта, а также перегибов в области термического эффекта (рис. 3). Таким образом, каждый термический эффект характеризуется пятью точками, температуры которых указаны в поле термограммы. Чтобы соотнести эти характеристические температуры с температурами, полученными с помощью высокотемпературного микроскопа, необходимо

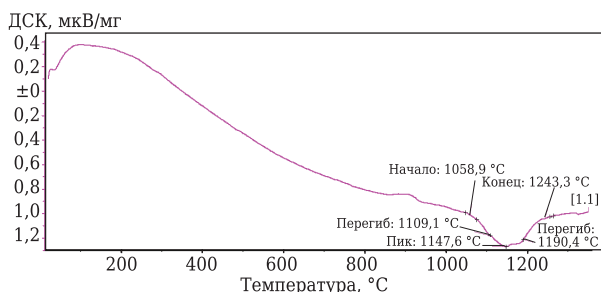


Рис. 2. Кривая ДСК ШОС марки Accuterm ST-SP/234-SC, прокаленной при 800 °C

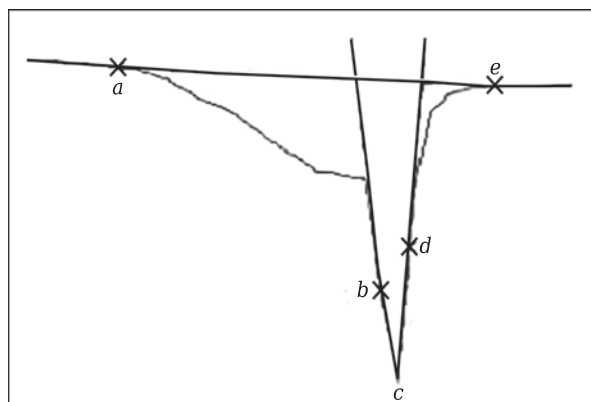


Рис. 3. Тепловой эффект, отвечающий плавлению образца двухкомпонентной системы Cu-Ni, с отмеченными характеристическими точками: *a* — начало отклонения кривой ДТА от базовой линии; *b* — точка перегиба начальной ветви эффекта; *c* — максимум (пик) эффекта; *d* — точка перегиба конечной ветви пика; *e* — возвращение ДТА-кривой к базовой линии

установить взаимосвязь этапа превращения, происходящего в образце, и положения термодинамической кривой основных характеристических точек термического эффекта [26, 27]. Интерпретация характеристических точек должна опираться на конкретный механизм превращений в образце. В работе [22] представлен стандартный термический эффект, обусловленный плавлением образца, с описанием его механизма.

Начало отклонения кривой ДТА от базовой линии (точка *a*) отвечает началу превращения у стенок тигля — начинает образовываться жидкость. Скорость плавления зависит от условий теплопередачи в тигле, связанных с площадью контакта исследуемого вещества с поверхностью тигля, массой образца, скоростью нагрева и другими факторами. В точке перегиба (точка *b*) скорость плавления увеличивается, что может свидетельствовать об улучшении условий теплопередачи вследствие увеличения площади контакта тигля и навески. Далее условия теплопередачи практически не влияют, а характер протекания процесса определяется только самой природой превращения. В точке пика (точка *c*) количество энергии, затрачиваемой на нагрев навески, превышает количество энергии эндотермического превращения, и кривая ДТА стремится вернуться к своему первоначальному направлению (конечная ветвь пика). В точке перегиба на конечной ветви пика заканчивается процесс плавления (точка *d*), а после него происходит выравнивание температур между образцом и эталоном (точка *e*). За температуру размягчения можно принимать точку перегиба начальной ветви эффекта, за температуру плавления — максимум пика, за температуру растекания — точку перегиба на конечной ветви пика.

В таблице приведены средние значения температур точек плавления ШОС на основе литературных данных и сертификатов качества, а также полученные экспериментально с помощью метода ДСК. Сравнения температур плавления ШОС, полученных с помощью высокотемпературного микроскопа и методом ДСК, показывают хорошее совпадение. Расхождения между температурой размягчения, плавления и растекания составили ± (9–26 °C), (2–25 °C) и (17–30 °C) соответственно.

**Температура плавления шлакообразующих смесей, применяемых на ПАО ММК\***

Марка ШОС	Температура, °C		
	размягчения	плавления	растекания
Accuterm 512-21-03	1100 / 1091	1140 / 1115	1160 / 1143
Accuterm ST-SP/234-SC	1135 / 1109	1155 / 1148	1165 / 1190
Alsicover TS-B1	- / 1288	1310 / 1306	- / 1313
ГШОС 8	- / 1157	1160–1180 / 1182	- / 1190
ГШОС 10	- / 1120	1130–1150 / 1150	- / 1160
ГШОС12	- / 1186	1250–1280 / 1213	- / 1222
ГШОС 14	- / 1000	1110–1140 / 1094	- / 1132

\* В числителе указаны значения, полученные на высокотемпературном микроскопе, в знаменателе — по методу ДСК.

Методика выполнения измерений на высокотемпературном микроскопе обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей значений  $\Delta$ , и имеет следующие показатели точности [14]:

Температура, °С:	
размягчения.....	750–1350
растекания.....	1000–1350
Предел допускаемой погрешности $\pm\Delta$ ( $P = 0,95$ )	30
Показатель воспроизводимости (СКО) $\sigma_R$ .....	15
Показатель внутрилабораторной прецизионности (СКО) $\sigma_{Rn}$ .....	13

Расхождение между результатами измерений точек плавления ШОС, выполненных разными методами, не превышает предела допускаемой погрешности, что указывает на корректность выбранных условий эксперимента и обработки результатов.

**Библиографический список**

- Вдовин, К. Н.** Модернизация огнеупорного оборудования сортовой МНЛЗ / *К. Н. Вдовин, Василий В. Тоцилкин, В. И. Умнов* [и др.] // Новые огнеупоры. — 2017. — № 8. — С. 3–7.
- Vdovin, K. N.** Upgrading of the refractory equipment of a continuous section caster / *K. N. Vdovin, Vasilii V. Tochilkin, V. I. Umnov* [et al.] // *Refract. Ind. Ceram.* — 2017. — Vol. 58, № 4. — С. 349–353. DOI: 10.1007/s11148-017-0109-9.
- Лозовский, Е. П.** Разработка составов шлакообразующих смесей для промежуточных ковшей с основной футеровкой / *Е. П. Лозовский, Д. В. Юречко, С. В. Горосткин* [и др.] // *Черная металлургия.* — 2008. — № 5. — С. 25–28.
- Соколов, В. В.** Освоение производства шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали на ОАО «ЗСМК» / *В. В. Соколов, Д. Б. Фойгт, И. А. Журавлев* [и др.] // *Сталь.* — 2004. — № 9. — С. 20–22.
- Экхардт, Д.** Выбор шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / *Д. Экхардт, Д. Бехманн* // *Сталь.* — 2008. — № 11. — С. 19–22.
- Суворов, С. А.** Совершенствование шлакообразующих смесей для кристаллизаторов МНЛЗ / *С. А. Суворов, Е. А. Вихарев* // *Сталь.* — 2010. — № 4. — С. 38–41.
- Лейтес, А. В.** Защита стали в процессе непрерывной разливки / *А. В. Лейтес.* — М.: Металлургия, 1984. — 200 с.
- Шульц, Т.** Экологически безопасные шлакообразующие смеси для процесса непрерывной разливки / *Т. Шульц, Д. Янке, Х. Хеллер, Б. Лихатц* // *Черные металлы.* — 2008. — № 9. — С. 32–40.
- Смирнов, А. Н.** Свойства шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали с повышенной скоростью / *А. Н. Смирнов, С. П. Макуров, М. Б. Епишев, А. Ю. Цупрун* // *Электрометаллургия.* — 2007. — № 3. — С. 13–16.
- Хаазе, Р.** Шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали / *Р. Хаазе* // *Новые огнеупоры.* — 2004. — № 3. — С. 20–22.
- Гречишный, В. В.** О критериях выбора компонентного состава гранулированной шлакообразующей

Определение точек плавления ШОС методом ДСК может обеспечить получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей  $\pm 30$  °С, рекомендуемое количество параллельных определений  $n = 3$  (но не менее двух).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выбраны рациональные условия определения температур плавления ШОС методом ДСК. Достоверность результатов измерений подтверждена практически экспериментами путем сравнения с известной методикой определения температур плавления ШОС с помощью высокотемпературного микроскопа. Предложен и теоретически обоснован метод обработки результатов экспериментов, направленных на определение температур размягчения, плавления и растекания с помощью метода ДСК.

- смеси для кристаллизатора УНРС / *В. В. Гречишный, С. К. Носов, А. Ф. Сарычев* [и др.] // *Тр. 3-го конгресса сталеплавателей.* — М.: Черметинформация, 1996. — С. 352–354.
- Хаазе, Р.** Современные шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали / *Р. Хаазе, Г. Шарф* // *Тр. 5-го конгресса сталеплавателей.* — М.: Черметинформация, 1999. — С. 426–429.
- Лепихов, Л. С.** Практический опыт применения шлакообразующих смесей различного химического и гранулометрического составов при непрерывной отливке слябов крупных сечений / *Л. С. Лепихов, О. Б. Исаев, Н. И. Губин* [и др.] // *Тр. 5-го конгресса сталеплавателей.* — М.: Черметинформация, 1999. — С. 429–432.
- Фойгт, Д. Б.** Порошкообразные ШОС для разливки стали на МНЛЗ / *Д. Б. Фойгт, В. В. Соколов, Е. В. Протопопов* // *Сталь.* — 2006. — № 5. — С. 36, 37.
- Лебедев, И. В.** Повышение ассимилирующей способности шлакового расплава в промежуточном ковше при непрерывной разливке низкоуглеродистых сталей, раскисленных алюминием : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 : защищена 10.06.14 / *Лебедев Илья Владимирович.* — М., 2014. — 145 с.
- Лейтес, А. В.** Требования к шлакообразующим смесям для производства непрерывнолитых заготовок / *А. В. Лейтес* // *Электрометаллургия.* — 2000. — № 4. — С. 26–30.
- Лозовский, Е. П.** Разработка эффективных шлакообразующих смесей для промежуточных ковшей высокопроизводительных слябовых МНЛЗ : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 : защищена 26.10.10 / *Лозовский Евгений Павлович.* — Магнитогорск, 2010. — 117 с.
- Куклев, А. В.** Практика непрерывной разливки / *А. В. Куклев, А. В. Лейтес.* — М.: Металлургиздат, 2011. — 432 с.
- Гронебаум, Р. Х.** Исследование сталеразливочной смеси с помощью термического анализа / *Р. Х. Гронебаум, Д. Плишке* // *Черные металлы.* — 2007. — № 11. — С. 39–43.
- Егунов, В. П.** Введение в термический анализ / *В. П. Егунов.* — Самара : 1996. — 269 с.

20. **Берг, Л. Г.** Введение в термографию / Л. Г. Берг. — М. : Наука, 1969. — 395 с.
21. **Уэндландт, У.** Термические методы анализа / У. Уэндландт. — М. : Мир, 1979. — 520 с.
22. **Синева, С. И.** Влияние экспериментальных факторов на результаты определения температур фазовых превращений методом термического анализа / С. И. Синева, Р. В. Старых // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2009. — Т. 75, № 11. — С. 27–33.
23. **Пилюян, Г. О.** Введение в теорию термического анализа / Г. О. Пилюян. — М. : Наука, 1964. — 231 с.
24. **Лозицкий, В. Ю.** Исследование температур ликвидус штейнов шахтных печей комбината «Южурал-никель» / В. Ю. Лозицкий, С. И. Синева, Л. Б. Цымбу-

- лов, Р. В. Старых // Цветные металлы. — 2008. — № 11. — С. 38–41.
25. **Топор, Н. Д.** Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н. Д. Топор, Л. П. Огородова, Л. В. Мельчакова. — М. : Изд-во Московского государственного университета, 1987. — 187 с.
26. **Берг, Л. Г.** Физический смысл некоторых характерных точек кривой ДТА / Л. Г. Берг, В. П. Егунов // Журнал неорганической химии. — 1969. — Т. XIV, № 3. — С. 614.
27. **Аносов, В. Я.** Основы физико-химического анализа / В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Ю. Я. Фиалков. — М. : Наука, 1976. — 503 с.■

Получено 04.04.2018  
 © К. Н. Вдовин, А. А. Ряхов,  
 К. Г. Пивоварова, В. В. Точилкин, 2017 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**UNITECR 2019**

Refractories for the Future:  
 Collaboration among Customers, Manufactures and  
 Academia in Pursuit of Further High-Temperature Technology

**Дата** 13–16 октября 2019 г.

**Место** Pacifico Yokohama  
 г. Йокогама, Япония

**Темы:**

- Огнеупоры для производства:
  - железа и стали
  - стекла
  - цемента
- Огнеупоры для цветной металлургии
- Огнеупоры для нефтехимических процессов
- Огнеупоры для сжигания отходов
- Сырье
- Экологическая устойчивость и переработка сырья
- Достижения в области производства и оборудования
- Огнеупорные инженерные системы и дизайн
- Новые разработки
- Базовая наука
- Энергосбережение и теплоизоляция
- Тестирование огнеупоров
- Образование
- Промышленное применение огнеупоров
- Высокотемпературная инженерная керамика
- Сотрудничество между клиентами, производствами и научными организациями

Hosted by TARJ. Technical Association of Refractories, Japan

<http://unitecr2019.org/index.html>