

Д. К. СУЛЕЕВ, Ж. О. ЖУМАДИЛОВА

(Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, г. Алматы)

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ЧЕЛОВЕКА
ОТ ТЕПЛОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУТЕРОВОК
ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ В МЕТАЛЛУРГИИ**

Аннотация

В работе представлены вопросы и основные мероприятия по защите человека от тепловых излучений, в том числе инфракрасных излучений, влияние на организм тепловых излучений. Рассмотрены методы получения теплоизоляционных материалов, методика получения огнеупорных материалов, а также технология повышения эффективности футеровок тепловых агрегатов.

Ключевые слова: тепловое излучение, теплоизоляция, огнеупоры, физико-механические свойства материала, металлургия, футеровка, химические соединения.

Кілт сөздер: жылулық сәулелену, жылуокшаулау, отқа төзімділер, материалдың физикалық-механикалық қасиеттері, металлургия, футерлеу, химиялық қосылыстар.

Keywords: radiant heat, insulation, refractory, physical and mechanical properties of the material, metallurgy, lining, chemical compounds.

Некоторые производственные процессы могут сопровождаться выделением интенсивного теплового излучения, что является причиной значительного повышения температуры воздуха в рабочих помещениях. К числу предприятий, характеризующихся высокой температурой воздуха, относятся горячие цеха на металлургических, машиностроительных, химических, стекольных и других заводах. На предприятиях железнодорожного транспорта к горячим производствам, в которых излучение оказывает существенное влияние на организм человека, относятся литейные и кузнечные участки, пропиточные, термические и сварочные отделения, а также отдельные сварочные посты и секции тепловозов.

Потоки тепловых излучений в горячих цехах создаются в основном инфракрасными лучами с длиной волны от 770 нм до 1 мм. Тепловой эффект воздействия облучения на человека зависит от длины волны, интенсивности излучения, площади облучаемого участка, длительности облучения, угла падения лучей, расположения облучаемого участка относительно жизненно важных органов человека, а также от свойства одежды.

Инфракрасные лучи, проходя через воздух, его не нагревают, но, поглотившись твердыми телами, лучистая энергия переходит в тепловую, вызывая их нагревание. Источником инфракрас-

ного излучения является любое нагретое тело. Наибольшей проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи, глубоко проникающие в ткани и мало поглощаемые поверхностью кожи.

Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

В обычных климатических условиях теплоотдача осуществляется в основном за счет излучения примерно 45% всей удаляемой организмом теплоты, конвекции – 30% и испарения – 25%.

Тепловая изоляция является эффективным и самым экономичным мероприятием не только по уменьшению интенсивности инфракрасного излучения от нагретых поверхностей (печей, сосудов, трубопроводов и др.), но и общих тепловыделений, а также по предотвращению ожогов при прикосновении к этим поверхностям и сокращению расхода топлива. По действующим санитарным нормам температура поверхностей оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45 °С. Иногда применяют внутреннюю теплоизоляцию для снижения рабочих температур наружных поверхностей оборудования.

Применение теплоизоляционных [материалов](#) в конструкциях печей позволяет уменьшить тепловые [потери](#) через стены и тем самым увеличить тепловой к.п.д. и [производительность](#) печей.

В современных технологических процессах металлургии роль высокотемпературных футеровок различных тепловых агрегатов, выполненных из огнеупорных материалов, исключительно важна.

Физико-химические и эксплуатационные характеристики огнеупоров непосредственно влияют на качество металла и на уровень таких важных технико-экономических показателей производственных процессов, как их энергоемкость, безопасность, безотходность, экологичность и др.

Главное требование, которое предъявляется к огнеупорам, заключается в обеспечении высокой стойкости футеровок основных металлургических тепловых агрегатов (плавильные печи, конверторы, миксеры, желоба, разливочные ковши и др.) и элементов их конструкций (подины ковшей, летки, фурмы, шиберные затворы и т.д.), подверженных интенсивным температурным (статического, динамического или циклического характера), механическим и химическим воздействиям со стороны расплавов металлов, шлаков и других химически агрессивных продуктов, участвующих в производственном цикле.

Высокий уровень стойкости футеровок тепловых агрегатов служит надежной гарантией увеличения срока их службы и продолжительности межремонтных периодов, что, в свою очередь, является важнейшим фактором повышения экономической эффективности металлургических процессов за счет сокращения трудозатрат и расхода огнеупорных материалов на 1 тонну производимого металла.

Для того, чтобы отечественная продукция огнеупорной промышленности по своим характеристикам отвечала современным требованиям металлургии и была конкурентоспособна на внутреннем (и мировом) рынке необходим прорыв в области технологий производства новых огнеупорных материалов и изделий из них, обеспечивающих заметное увеличение эффективности футеровок тепловых металлургических агрегатов, снижение стоимости футеровочных материалов и повышение качества выпускаемой продукции металлургических предприятий.

Успешное решение столь непростой задачи зависит от многих факторов и наиболее значимым из них является целенаправленный подбор многокомпонентного состава, обеспечивающего комплекс полезных с технологической и эксплуатационных точек зрения свойств и характеристик огнеупорному материалу.

Выбор минерального сырья и технических соединений для компоновки огнеупорных составов должен в значительной степени учитывать и их стоимость и опираться по возможности, на отечественный рынок сырья.

В результате апробации широкого ассортимента огнеупоров в реальных условиях производства установлено, что стойкость футеровок тепловых агрегатов на 40% зависит от свойств и природы огнеупорных материалов.

В современном представлении огнеупоры, предназначенные для высокоэффективных футеровок металлургических тепловых установок должны обладать комплексом свойств, отвечающим насущным требованиям производства.

В целом, наиболее важные требования, предъявляемые к огнеупорам нового поколения, можно сформулировать следующим образом.

В зависимости от конкретных условий эксплуатации огнеупоры могут обладать как высокой плотностью и низкой пористостью (главным образом, открытого типа), так и, наоборот, высокопористой малоплотной структурой.

В первом случае монолитные огнеупоры должны применяться в качестве рабочего слоя футеровок, находящегося в прямом контакте с расплавами металлов и шлаков, и надежно перекрывать проникновение любых продуктов производственного процесса вовнутрь футеровки. Высокоплотные низкопористые огнеупоры должны обладать и достаточно высокой теплопроводностью для быстрого отвода тепла от рабочей поверхности футеровки в глубину к теплоизоляционным слоям, которые выполняют роль теплозащиты каркаса агрегата. Для эффективной теплозащиты металлических кожухов необходимо использовать жаростойкие огнеупорные материалы с высокой пористостью (свыше 40%), низкой плотностью и теплопроводностью $\lambda < 0,5$ Вт/мК. Такие теплоизоляционные материалы крайне необходимы при конструировании футеровок желобов, ковшей, миксеров и других тепловых агрегатов.

Одним из главных показателей, определяющих эффективность металлургических футеровок, является их коррозионная стойкость, то есть способность сохранять свои эксплуатационные свойства при взаимодействии с любыми агрессивными химическими продуктами производства. В металлургии особое внимание уделяется металло- и шлакоустойчивости огнеупоров.

Это требование означает, что при прямом контакте футеровки с горячими расплавами металлов или шлаков материал огнеупора не должен вступать с ними в реакции химического взаимодействия любого типа (окисления-восстановления, замещения, присоединения и др.). Например, в доменном производстве шлаки обладают, как правило, щелочными свойствами за счет присутствия СаО в их составе. Следовательно, огнеупоры, используемые для футеровки шлакового пояса печи, желобов и других агрегатов доменного производства, должны быть нейтральны к щелочам. В настоящий период огнеупоры переходят в стадию карбонизации. Это связано с тем, что углерод занимает одно из первых мест среди всех огнеупоров по причине особо высокой шлако-металло- и термоустойчивости при высоких температурах эксплуатации. Коррозия огнеупоров такого типа связана с явлением выгорания углерода из поверхностного слоя футеровки в конверторах при кислородной продувке, что сопровождается существенным снижением стойкости огнеупора и быстрым его износом (появление сколов и других дефектов).

Для предотвращения выгорания углерода из состава огнеупоров необходимо либо создать химическую защиту углеродосодержащему материалу (покрытия, антиоксиданты), либо перейти на футеровку из материалов другой химической природы.

В процессе выплавки металла футеровки тепловых агрегатов испытывают разнообразные механические воздействия: статические и импульсные нагрузки, эрозионный и абразивный износ рабочих поверхностей, изгиб и сжатие и др.

Так, основными факторами, влияющими на разрушение огнеупорной кладки доменной печи в верхней части шахты являются механические воздействия компонентов твердой шихты при загрузке, а в нижней части – абразивные воздействия газов, содержащих пыль.

При выпуске металла из летки плавильной печи огнеупор в донной части футеровки главного желоба подвергается ударному воздействию струи металла. Такая же ситуация возникает в футеровках подины ковшей и миксеров при розливе металла.

При транспортировке расплава по желобам происходит эрозионный износ их футеровок. Все приведенные примеры, перечень которых можно значительно расширить, однозначно указывают на необходимость создания огнеупоров для футеровок металлургических агрегатов с высокими механическими характеристиками: пределы прочности на сжатие, изгиб, сдвиг, микротвердость, сопротивление деформации при высоких температурах под нагрузкой, стойкость к истиранию и абразивным воздействиям.

Во многих тепловых агрегатах футеровки испытывают периодические резкие перепады температуры. Устойчивость футеровок к таким температурным циклическим воздействиям определяет степень их термостойкости. Высокоэффективные футеровки должны обладать высокой термостойкостью, которая в свою очередь в сильной степени зависит от таких термомеханических параметров как температурный коэффициент линейного расширения, зависимость прочности материала от температуры, модуль упругости и др., а также от плотности и структуры материала футеровки.

Высокоплотные огнеупоры, обладающие мелкопористой структурой, стабильностью своих размеров и прочностных характеристик в широком диапазоне температур, способны сохранять свои эксплуатационные качества в течение большого числа теплосмен, а следовательно, соответствовать современным требованиям эффективности.

Наконец, огнеупорность материалов футеровки определяет диапазон по температуре и его верхнюю границу, в пределах которого обеспечивается надежность службы материала. Эта важнейшая характеристика, как показывает опыт, прежде всего зависит от температуры плавления компонентов огнеупора. Тугоплавкость компонентов материала футеровки, как правило, гарантирует его высокую огнеупорность.

Создать огнеупорный материал, обладающий всем комплексом, перечисленных выше свойств и характеристик, нереально, да и нет в этом необходимости. Гораздо целесообразнее разработать широкую гамму огнеупоров нового поколения, способных удовлетворить разнообразные требования металлургического производства с учетом конкретных условий эксплуатации огнеупоров в тепловых установках. Отправным моментом в успешном решении этой важной проблемы могут служить технологические разработки новых перспективных огнеупоров для металлургии, выполненные за последние десятилетия отечественными и зарубежными специалистами. Среди них особого внимания заслуживают разработки огнеупорных композиций, в которых базовыми компонентами служат: периклаз (MgO), корунд (Al_2O_3), плавленый кварц (SiO_2), шпинель ($MgO - Al_2O_3$), известь (CaO), термообработанный доломит ($CaO - MgO$), углерод в виде графита, сажи,

кокса или углеродных соединений [1-7]. Используя эти соединения в различных комбинациях, можно получить очень богатый ассортимент огнеупоров с набором разнообразных полезных эксплуатационных свойств. Следует отметить, что все указанные соединения и минералы обладают высокой температурой плавления. Развивая это соображение, можно уверенно прогнозировать, что при разработке нового поколения эффективных огнеупорных материалов, широкое применение получают тугоплавкие соединения не только из класса простых и сложных оксидов, но и различные карбиды, нитриды, бориды, силициды. В таблице для иллюстрации помещены соединения с высокой температурой плавления из этих классов.

Тугоплавкие соединения для огнеупоров

Оксиды	T _{пл.} , °C	Карбиды	T _{пл.} , °C	Нитриды	T _{пл.} , °C
MgO	2825	C*	3800	HfN	3382
ZrO ₂	2700	HfC	3890	TiN	3205
CaO	2625	TaC	3880	TaN	3087
CaO.MgO	2450	NbC	3760	NbN	3000
CaO.ZrO ₂	2345	ZrC	3530	BN	3000
Cr ₂ O ₃	2330	TiC	3257	ZrN	2980
MgO.Al ₂ O ₃	2135	WC	2870	AlN	2400
CaO.SiO ₂	2130	VC	2830	Si ₃ N ₄	1900
Al ₂ O ₃	2050	SiC	2830		
2MgO.SiO ₂	1890	Al ₄ C ₃	2050		
3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	1850	Cr ₃ C ₂	1895		
TiO ₂	1870	Fe ₃ C	1650		
SiO ₂	1720	B ₄ C	2350		
* Температура возгонки.					

Этот список может быть существенно расширен такими соединениями, как TiB, ZrB₂ (бориды) или Al₄Si₃ (силициды) и многими другими. За редким исключением (SiO₂, Al₂O₃) все соединения, представленные в таблице, не встречаются в чистом виде в природе. Соединения из классов карбидов, нитридов, боридов и силицидов могут быть получены лишь искусственно с помощью высокотемпературных термохимических и металлотермических процессов. Например, тугоплавкие карбиды металлов получают прокалкой в электропечах или в других высокотемпературных установках металлов или их окислов с углем или коксом. Нитриды – прокалкой металлов в специальных камерах в атмосфере азота, бориды – при высокотемпературных реакциях взаимодействия бора и металлов и т.д. Продукты этих реакций обладают уникальными свойствами: сверхтвердостью (абразивностью), термо- и коррозионной

стойкостью во многих агрессивных химических средах, глубоким запасом прочности, в том числе и при высоких температурах. Такие комбинации полезных свойств привлекли к себе внимание разработчиков новой техники в авто-мобилестроении (двигатели внутреннего сгорания), ракетостроении и космонавтике (обтекатели, элементы ракетных двигателей), теплоэнергетике (лопатки газовых турбин), машиностроении (резцы, диски, втулки и т.д.).

В практике огнеупоров металлургического комплекса также имеются примеры успешного использования карбидов (B_4C , SiC), нитридов (Si_3N_4 , AlN) и других синтетических тугоплавких соединений в качестве технологических добавок в состав огнеупоров для снижения или подавления процессов выгорания углерода из футеровочных материалов, содержащих углерод, для повышения эрозионной и коррозионной стойкости и т.д. [1-7]. Однако широкого применения синтетические огнеупорные материалы в составах для металлургических высокотемпературных агрегатов до сих пор не получили. Процесс внедрения этих материалов в промышленных масштабах тормозится прежде всего тем, что существующие печные технологии их создания крайне неэффективны по причине очень высокой энергоемкости и низкой производительности. Другими словами, полученные традиционными печными методами высокоэффективные материалы не находят себе широкого применения из-за их дороговизны.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Хорошавин Л.Б., Перепелицын В.А., Кононов В.А. Магнезиальные огнеупоры. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 575 с.
- 2 Кашеев И.Д. Оксидоуглеродистые огнеупоры. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 265 с.
- 3 Перепелицын В.А., Кормина И.В., Сиваш В.Г. и др. // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – С. 89-95.
- 4 Гропянов А.В. // Новые огнеупоры. – 2002. – № 4. – С. 32-37
- 5 Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения. – М.: Металлургиздат, 1963. – 398 с.
- 6 Самсонов Г.В. Неметаллические нитриды. – М.: Металлургия, 1969. – 265 с.
- 7 Jamada T. etc. // Journal of the Techn. Association of Refractories. – Japan, 2001. – N21, N3. – P. 216.

REFERENCES

- 1 Horoshavin L.B., Perepelicyan V.A., Kononov V.A. Magnezial'nye ogneupory. – M.: Intermet Inzhiniring, 2001. – 575 s.
- 2 Kashheev I.D. Oksidouglerodistyie ogneupory. – M.: Intermet Inzhiniring, 2002. – 265 s.
- 3 Perepelicyan V.A., Kormina I.V., Sivash V.G. i dr. // Novye ogneupory. – 2002. – № 1. – S. 89-95.
- 4 Gropjanov A.V. – Novye ogneupory. – 2002. – № 4. – S. 32-37.

- 5 Samsonov G.V. Tugoplavkie soedinenija. – M.: Metallurgizdat, 1963. – 398 s.
- 6 Samsonov G.V. Nemetallicheskie nitridy. – M.: Metallurgija, 1969. – 265 s.
- 7 Jamada T. ets. // Jornal of the Techn. Association of Refractories. – Japan, 2001. – N 21, N 3. – P. 216.

Резюме

Д. Қ. Сүлеев, Ж. О. Жұмаділова

(Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы қ.)

АДАМДЫ ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕЛЕРДЕН ҚОРҒАУ БОЙЫНША ІС-ШАРАЛАР ЖӘНЕ МЕТАЛЛУРГИЯДАҒЫ ЖЫЛУ АГРЕГАТТАРЫ ФУТЕРОВКАСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕРІ

Жұмыста адамды жылулық сәуленің, оның ішінде инфрақызыл сәуленің әсерінен қорғау мәселелері мен шаралары, жылулық сәуленің адам ағзасына әсері ұсынылды. Жылу оқшаулау материалдарын алу әдістері, отқа төзімді материал-дарды алу әдістемесі, сонымен қатар жылу агрегаттары футеровкасының тиімділігін жоғарылату технологиясы қарастырылды.

Кілт сөздер: жылулық сәулелену, жылуоқшаулау, отқа төзімділер, материалдың физикалық-механикалық қа-сиеттері, металлургия, футерлеу, химиялық қосылыстар.

Summary

D. K. Suleyev, Zh. O. Zhumadilova

(Kazakh national technical university named after K. I. Satpayev, Almaty)

ACTION TO PROTECT HUMAN FROM RADIANT HEAT AND PROCESSING METHODS INCREASE EFFICIENCY LININGS OF HEATING UNITS IN METALLURGY

This paper presents the issues and key activities to protect people from heat radiation, including Infrared radiation effects on the body of thermal radiation. Methods for the preparation of heat-insulating material, technique for producing refractory materials, and technology to improve the efficiency of thermal units lining.

Keywords: radiant heat, insulation, refractory, physical and mechanical properties of the material, metallurgy, lining, chemical compounds.

Поступила 28.03.2013 г