



УДК 666.3:621.783.2

В.Л. МАЗУР, чл.-корр. НАН Украины, главный научный сотрудник

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

А.И. РЯБОВ, генеральный директор, **В.В. МАЗУР**, председатель Наблюдательного совета
ООО «Синтиз»

ТЕПЛО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИИ: ЗАДАЧИ, РЕШЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены проблемы тепло- и энергосбережения в металлургии в условиях увеличения цен на энергоносители. Определено, что быстро реализуемыми и скупаемыми являются технические решения, предусматривающие применение оgneупоров из высокотемпературного муллитокремнеземистого волокна для футеровки различных тепловых агрегатов предприятий горно-металлургического комплекса. Созданы, внедрены в производство и стандартизированы новые виды теплоизоляционных плит из оgneупорного муллитокремнеземистого волокна, имеющие повышенную прочность, высокую точность размеров, пригодные для эксплуатации при высоких температурах.

металлургия, энергосбережение, футеровка, теплоизоляционные материалы, температура, прочность

Реализация энергосберегающего направления развития металлургии рассматривается как актуальный путь решения проблемы энергозависимости нашего государства. События на мировом рынке свидетельствуют о том,

что цены на газ, нефть, уголь будут непрерывно расти, при этом добыча этих энергоносителей в Украине, скорее всего, в перспективе не увеличится. Объемы производства кокса за первые месяцы 2008 года снизились

более чем на 15 %. Украина занимает первое место в мире по затратам энергии на единицу производимого валового продукта. Сохранение и повышение конкурентоспособности продукции украинской металлургии возможны только при условии скорейшего внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Проблему энергосбережения необходимо решать на всех производствах металлургического цикла, на каждом агрегате. При выплавке чугуна в доменных печах расходуется в среднем 100 м³ природного газа на тонну чугуна (это треть потребляемых металлургией объемов), а в целом по отрасли – более 3 млрд м³. На металлургических предприятиях Европы на производство 1 т чугуна требуется на 150 кг кокса меньше, чем в Украине, при этом существенное улучшение финансово-экономического состояния металлургических комбинатов может обеспечить оснащение доменных цехов установками для вдувания в печь пылеугольного топлива. При повышении стоимости, дефиците кокса и росте цен на природный газ это особенно уместно и эффективно.

Энергозатратность производства украинской стали на 20–25 % выше общемировой. В сталеплавильном производстве комбинатов с полным металлургическим циклом необходимо постепенно осуществить переход на конвертерный способ и непрерывную разливку стали. Сооружение мини- заводов с электросталеплавильными агрегатами на нынешнем этапе развития промышленности для крупных металлургических комбинатов также часто оказывается более эффективным решением, чем строительство новых или реконструкция действующих доменных печей и сталеплавильных агрегатов. Об этом свидетельствует опыт Магнитогорского, Череповецкого, Новокузнецкого и ряда других металлургических комбинатов России. В 2008 году совокупный объем электростали на крупнейших предприятиях Российской Федерации составит 9,5–10,0 млн т в год. Безусловно, выбор направления развития должен определяться с учетом особенностей каждого предприятия.

Задачу сокращения энергозатрат в прокатном производстве решают путем уменьшения расходов на нагрев слитков, слябов или заготовок перед горячей прокаткой, исключением промежуточного нагрева металла за счет «прямой» прокатки, выбора рационального распределения степеней деформации между черновыми и чистовыми группами клетей, оптимизации распределения объемов деформации металла между станами горячей и холодной прокатки. На современных мелкосортных станах для нагрева заготовок перед прокаткой тратится 70–90 % энергии. Суммарный расход энергии зависит от компоновки черновых и чистовых групп клетей конкретного стана и может быть минимальным при опре-

деленных диапазонах температур нагрева заготовок и скорости прокатки. На широкополосных станах горячей прокатки затраты на нагрев слябов составляют 55–60 % всех энергозатрат. Суммарный расход энергии на двух станах – горячей и холодной прокатки листовой стали – меньше, чем при использовании для холодной прокатки относительно толстого подката [1].

В трубопрокатном производстве также большое количество энергии тратится на нагрев и термическую обработку металла перед прокаткой. Вместе с тем актуальной и до конца не решенной остается задача уменьшения суммарных затрат энергии на горячую и холодную прокатку или волочение труб, т.е. оптимизации технологических режимов, исходя из условия минимума энергозатрат.

Рекомендации по теплосбережению почти одинаковы как для сортовых, трубопрокатных, так и для широкополосных станов горячей прокатки и зависят от типа и конструкции прокатного стана: оснащение тепловыми панелями (экранами) рольгангов станов, минимизация времени передвижения раскатов к рабочим клетям, транзитная прокатка, «бесконечная» прокатка и др.

В связи с резким удорожанием энергоносителей усилив металлургов направлены на поиск быстро реализуемых, сравнительно недорогих и быстро окупаемых решений в сфере тепло- и энергосбережения. Анализ показал, что в горно-металлургическом комплексе (ГМК) Украины недостаточно внимания уделяется современным высокотемпературным теплоизоляционным материалам. Результат от использования прогрессивных теплоизоляционных материалов в металлургии, как правило, превышает возможности снижения энергозатрат за счет выбора рациональных режимов технологических процессов.

Для теплосбережения в высокотемпературных (до 1600 °C) тепловых объектах металлургии, энергетики, химической промышленности большое значение имеют высокие теплозащитные свойства изделий из огнеупорного волокна. При этом в черной металлургии 1 т огнеупорных волокнистых материалов заменяет от 10 до 23 т традиционных огнеупоров (огнеупорного кирпича) при одинаковом теплоизолирующем эффекте.

Учитывая эти обстоятельства, Физико-технический институт металлов и сплавов НАН Украины совместно с ООО «Синтиз» (г. Синельниково Днепропетровской области) выполнил комплекс научно-исследовательских работ, направленных на поиск технических решений, обеспечивающих минимизацию потерь тепла на различных агрегатах высокотемпературных производств ГМК Украины. Было доказано, что одним из наиболее доступных и эффективных способов экономии энергоресурсов за счет теплосбережения является применение волокнистых огнеупорных материалов. В наших



работах [2–4] рассмотрено состояние и пути развития производства муллитокремнеземистого волокнистого материала и изделий из него по ГОСТ 23619-79 и показано, что в случаях футеровки мягкими огнеупорами из волокнистых материалов вместо кирпичей потери тепла уменьшаются иногда в десятки раз. Огнеупорные вату, войлок, фетр, плиты, картон и другие изделия из муллитокремнеземистого волокна рационально использовать также в сочетании с кирпичной кладкой футеровки печей и других агрегатов.

Проведенные исследования и промышленные испытания огнеупорных изделий из волокнистых материалов различного состава позволили выбрать оптимальные режимы и освоить на ООО «Синтиз» производство цирконийсодержащего волокна, выдерживающего температуру эксплуатации до 1600 °C.

ОАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А.С. Бережного» (УкрНИИО) и ООО «Синтиз» совместно разработали ТУ У 26.2-00190503-275:2005 «Изделия (фетр, блоки) огнеупорные муллитокремнеземистые теплоизоляционные волокнистые цирконийсодержащие». Фетр и блоки предназначены для применения при температурах 1300–1400 °C в рабочем (незащищенном) слое футеровки тепловых агрегатов, не подвергающимся действию расплавов агрессивных газовых сред и абразивных потоков.

Фетр и блоки по ТУ У 26.2-00190503-275:2005 подразделяются на марки МКРЦФ-150, МКРЦФ-155, МКРЦФБ. Содержание ZrO_2 в фетре составляет 10–15 %. Физико-химические показатели фетра и блоков муллитокремнеземистых цирконийсодержащих должны соответствовать определенным требованиям. К примеру, массовая доля прокаленного вещества, %: Al_2O_3 – не менее 45; ZrO_2 – не менее 10; $Al_2O_3 + SiO_2 + ZrO_2$ – не менее 97. Изменение массы при прокаливании – не более 1,0 %. Кажущаяся плотность, kg/m^3 : МКРЦФ-150 – не более 150; МКРЦФ-155 – не более 155; МКРЦФБ – в пределах 150–250. Предел прочности (временное сопротивление) на разрыв фетра – не менее 0,01 N/mm^2 .

Размеры и предельные отклонения фетра и блоков должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 1.

ООО «Синтиз» совместно с ООО «Практика» (г. Запорожье) смонтирована с использованием блоков МКРЦФБ футеровка 22 сводов печей обжига электродов на ОАО «Укрграфит» (г. Запорожье). Кроме того, была изготовлена и смонтирована из блоков МКРЦФБ футеровка опытного свода печи обжига электродов на ОАО «Новочеркасский электродный завод». Внедрение футеровки сводов этих печей модульными блоками МКРЦФБ производства ООО «Синтиз» уменьшило массу свода

Таблица 1 – Требования к размерам и предельным отклонениям (мм) цирконийсодержащих фетра и блоков согласно ТУ У 26.2-00190503-275:2005

Показатель	Фетр марок МКРЦФ-150, МКРЦФ-155	Блоки марки МКРЦФБ		
	Номинальные отклонения	Предельные отклонения	Номинальные отклонения	Предельные отклонения
Длина	1000–10 000	±100	300	±10
Ширина	600–1400	±20	300	±10
Толщина	15–35	±5	200	±10

в два раза и снизило расход газа при эксплуатации на 20–30 % (в зависимости от сезона) [4].

Высококачественный фетр из муллитокремнеземистого цирконийсодержащего волокна, длительно работающий при 1350–1450 °C, производят только ООО «Синтиз». Проведенные исследования позволили спроектировать и ввести в эксплуатацию на ООО «Синтиз» производственные участки по изготовлению модульных блоков МКРЦФБ и плит ШПГТ-450. На участке установлены две линии для блоков с плотностью до 300 kg/m^3 методом сжатия с применением вставок из фанеры, а также методом прошивания, без вставок из фанеры. Использование модульных блоков, изготовленных методом прошивания, допускает их монтаж в шахматном порядке. При таком способе монтажа исчезает необходимость прокладывать между рядами блоков слой фетра, а плотность монтажной поверхности увеличивается на 20 %. Модульными блоками МКРЦФБ, расположеными в шахматном порядке, были зафутерованы 26 крышек нагревательных печей на ОАО «Укрграфит».

Участок по производству плит ШПГТ-450 состоит из линии по подготовке формовочной массы, вакуум-формовочного пресса, трех периодических сушил с температурой 220 °C и периодической печи мощностью 30 т по обжигу изделий с температурой обжига до 1350 °C. Эта печь впервые в Украине была запроектирована и изготовлена с использованием модульных блоков. Ввод в эксплуатацию этого участка позволил получать изделия с плотностью до 600 kg/m^3 , с четкими геометрическими размерами и повышенной механической прочностью. Такие изделия будут применяться в печах, где требуется повышенная механическая прочность футеровки, а теплопроводность не так важна, например, в печах по производству эмалированной посуды, в печах периодического действия, в туннельных печах для обжига строительного кирпича.

Анализ результатов применения на предприятиях черной и цветной металлургии теплоизоляционных плит ШПГТ-450 показал увеличение потреб-

ности промышленности в плитах с повышенной температурой и улучшенной механической прочностью при сохранении показателей теплопроводности. Поэтому для удовлетворения растущего спроса на такие изделия на ООО «Синтез» организовано производство плит марки ПМКРГТ-600. Совместно с УкрНИИО были разработаны ТУ У 26.2-00190503-301-2008 на эту продукцию. Плиты ПМКРГТ-600 также могут эксплуатироваться при температуре до 1350 °C, механическая прочность при изгибе этих изделий значительно выше и составляет не менее 0,45 Н/мм². Повышение температуры эксплуатации плит ПМКРГТ-600 до 1350 °C достигнуто за счет увеличения массовой доли Al₂O₃ (не менее 43 %) прокаленного вещества и Al₂O₃ + SiO₂ (не менее 90 %). Для плит ШПГТ-450 эти показатели соответственно составляют 43 % и 85 %. Увеличение механической прочности плит ПМКРГТ-600 существенно удлиняет срок службы футеровки тепловых агрегатов.

Требования ТУ У 26.2-00190503-301:2008 к точности размеров плит ПМКРГТ-600 указаны в табл. 2. Ужесточение требований к предельным отклонениям длины, ширины, толщины этих плит обеспечивает более плотную укладку, благодаря чему улучшается качество футеровки.

Таблица 2 – Размеры плит ПМКРГТ-600 и их предельные отклонения (мм) согласно ТУ У 26.2-00190503-301:2008

Длина и ширина		Толщина	
Номинальные отклонения	Предельные отклонения	Номинальные отклонения	Предельные отклонения
490	±10	100	±5

Модернизация оборудования позволила также организовать изготовление теплоизоляционных огнеупорных плит МКРПГ-400 и МКРП-300 1000×500 мм (евроразмер). Использование таких плит ускоряет и облегчает укладку при монтаже футеровки. Кроме того, футеровка оказывается более качественной, так как уменьшается количество и протяженность стыков, швов между плитами.

Разработанные новые волокнистые теплоизоляционные материалы, учитывая их высокое тепловое сопротивление, дают возможность обеспечить энергосберегающие технологии при реконструкции действующих печей и строительстве более экономичных тепловых агрегатов. Преимущества ограждающих конструкций, выполненных из муллитокремнеземистых материалов: небольшая масса волокнистой футеровки печных агрегатов при небольшой кажущейся плотности высокопористой теплоизоляции, небольшая аккумуляция тепла.

В периодически работающих печах тепловые потери, обусловленные аккумуляцией тепла кладкой из волокнистых материалов, уменьшаются на 20–40 % по сравнению с кирпичной футеровкой. В печах, работающих в непрерывном режиме, экономия тепловой энергии от применения волокнистых теплоизолирующих материалов обеспечивается при уменьшении теплового потока через стены печи и может достигать 8–10 %. В непрерывно работающих нагревательных толкателевых печах или с шагающими балками потери тепла через кладку могут быть меньше на 2–5 %. Однако абсолютные величины экономии энергии при высокой производительности печей для нагрева заготовок оказываются достаточно высокими. Кроме названных преимуществ, необходимо отметить, что применение рассмотренных огнеупорных материалов упрощает и облегчает металлоконструкции на 15–20 % для вновь проектируемых печей, ускоряет процесс нагрева металла и упрощает его регулирование. Расход огнеупоров уменьшается в 10–12 раз, а затраты при монтаже кладки – в 2–3 раза.

Положительные свойства разработанных волокнистых теплоизоляционных материалов позволяют эффективно использовать их в печах различного назначения: нагревательных, термических, проходных, камерных, с выкатным подом, колпаковых, стекловаренных, коксовых и др. Изделия из муллитокремнеземистого волокна применяют также в воздухонагревателях доменных печей и в самих доменных печах, где теплоизоляционные плиты устанавливают в зазор между кожухом и огнеупорной кирпичной кладкой. Такое же решение применяют и при футеровке чугуновозных ковшей. В результате потери температуры чугуном уменьшаются на 4–5 °C, тогда наряду с теплоизоляционными функциями волокнистые материалы выполняют роль компенсатора при температурных деформациях кладки и кожуха в процессе вывода доменной печи и воздухонагревателя на рабочий режим.

В прокатных цехах предприятий черной металлургии применение волокнистых муллитокремнеземистых материалов и изделий ограничивается использованием их в изоляционных слоях футеровок печей в комбинации с кирпичной и бетонной кладками. При внедрении предложенных разработок производили футеровку блоками размерами 300×300×70 мм³ из фетра муллитокремнеземистого волокна части рабочего пространства проходной туннельной печи длиной 120 м, предназначеннной для обжига керамического кирпича при температуре 1000 °C непосредственно на ООО «Синтез». В результате расход природного газа на нагрев печи был сокращен на 45 %, что подтверждает теоретические предпосылки и расчеты.



ВЫВОДЫ

Недорогим, доступным и быстроокупаемым способом уменьшения теплопотерь и энергосбережения является оснащение тепловых агрегатов футеровкой из оgneупорного муллитокремнеземистого волокна, выдерживающего температуру до 1600 °C. На основании проведенных исследований усовершенствована технология производства и разработаны новые виды изделий из оgneупорного муллитокремнеземистого волокна. Созданы и зарегистрированы в Украине ТУ У 26.2-00190503-301:2008, регламентирующие технические требования к теплоизоляционным плитам ПМКРГТ-600 из муллитокремнеземистого волокна, цирконийсодержащему фетру и блокам МКРЦФБ – ТУ У 26.2-00190503-275:2005. Подтверждены преимущества этих материалов для футеровки тепловых агрегатов доменных, сталеплавильных и прокатных цехов металлургических заводов, а также агрегатов других отраслей промышленности.

Розглянуто проблеми тепло- і енергозбереження в металургії в умовах зростання цін на енергонасії. Зазначено, що швидко реалізуються та окупаються технічні рішення, які передбачають застосування вогнетривів з високотемпературного муллітакремнеземистого волокна для футеровки різних теплових агрегатів підприємств гірничо-металургійного комплексу. Створені, впроваджені у виробництво та стандартизовані нові види теплоізоляційних плит із вогнетривкого муллітакремнеземистого волокна підвищеної стійкості, високої точності розмірів та придатності щодо експлуатації за високих температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мазур, В.Л.** Некоторые пути решения проблемы тепло- сбережения в прокатном производстве [Текст] / В.Л. Мазур // Сучасні проблеми металургії. Наукові відії. Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ : Системні технології. – 2005. – 576 с.
2. **Мазур, В.Л.** Проблемы теплосбережения и теплоизоляции в металлургии и пути их решения [Текст] / В.Л. Мазур, А.И. Рябов, В.В. Мазур // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 68–71.
3. **Мазур, В.Л.** Решение проблемы теплосбережения и теплоизоляции в металлургии [Текст] / В.Л. Мазур, А.И. Рябов, В.В. Мазур // Новые оgneупоры. – 2005. – № 4. – С. 51–56.
4. **Мазур, В.Л.** Развитие производства эффективных оgneупорных материалов [Текст] / В.Л. Мазур, А.И. Рябов, В.В. Мазур // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 6. – С. 65–67.

Problems of heat- and energy-saving in metallurgy in view of increase in energy costs are considered. It is shown, that use of refractory materials from high-temperature mullitesiliceous fibre for lining various thermal units at the enterprises of mining and metallurgical complex is well-vended and payback technical approach. New kinds of board insulation from refractory mullitesiliceous fibre with increased strength, high size accuracy and operation in conditions of high temperatures were developed and applied in industry.

Поступила в редакцию 04.04.2008