

<sup>1</sup> Компания «Riverside Refractories & Equipment Inc.», г. Пелл-Суми, Алабама, США

<sup>2</sup> Компания «VGH Victoria Garten Hüttenindustribedarf AG», г. Швельм, Германия

УДК 669.162.216.22:666.762.1

## ОТ ПЛАНОВ — К ДЕЙСТВИЮ! ПРОВЕДЕНИЕ КОМПАНИЕЙ «RIVERSIDE REFRACTORIES & EQUIPMENT Inc.» ИСПЫТАНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ИЗУЧЕНИЕ ЛЕГКОСТИ ОТКРЫТИЯ ЛЕТОК МЕТОДАМИ БУРЕНИЯ И АБРАЗИВНЫМ СПОСОБОМ

Представлены результаты исследований, проведенных компанией «Riverside», специализирующейся на производстве леточных масс, в области открытия леток двумя способами, а именно методом бурения и методом открытия летки абразивным способом. В ходе исследований рассматривали зависимость общего коэффициента бурения от четырех заданных параметров тестирования: коэффициента бурения леточной массы в горячем состоянии под нагрузкой, степени проникновения бура в массу, потерь на истирание и потерь в объеме массы. Кроме того, изучали взаимосвязь между содержанием глинозема в леточных массах и общим коэффициентом бурения. В заключение кратко представлены результаты тестирования на абразивный износ и сделаны выводы относительно предложенных к рассмотрению методов открытия летки.

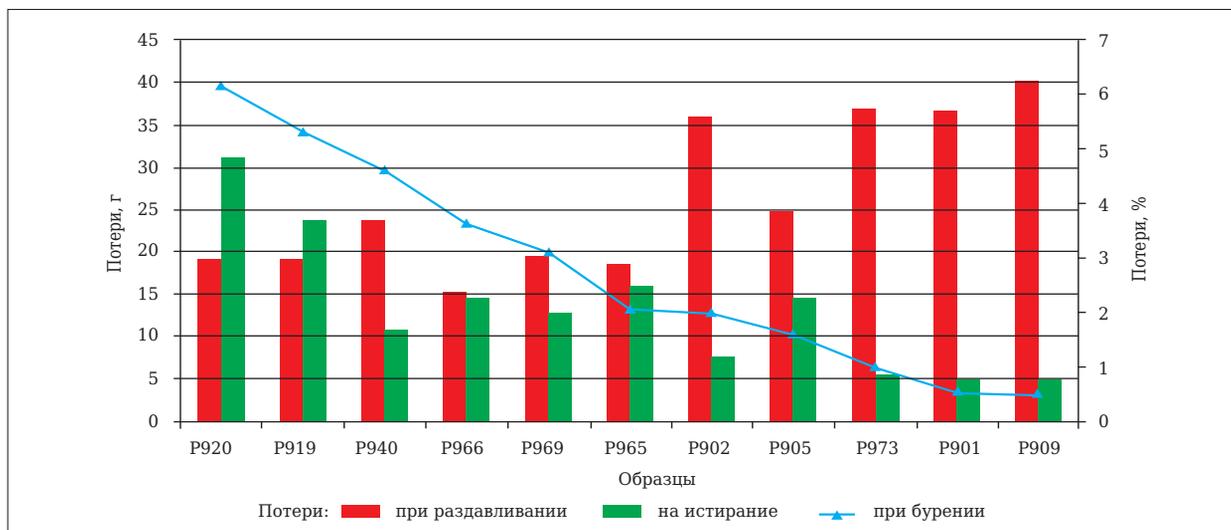
**Ключевые слова:** леточные массы, открытие летки методом бурения, абразивный способ открытия летки, общий коэффициент бурения.

Компанией «Riverside» были изучены несколько методов тестирования с целью повышения качества разрабатываемых леточных масс. В дополнение к традиционным методам исследования физических свойств масс при 260, 815, 1090, 1370 и 1425 °С изучены процессы проникновения доменного шлака в материал леточной массы.

Для открытия летки многих металлургических печей применяется метод бурения. Чем прочнее становятся леточные массы на практике, тем чаще ставится вопрос о возможности их последующего извлечения из летки бурильными машинами. На металлургическом заводе «Essar Steel Algoma» решение об использовании той или иной леточной массы при 1370 °С принимается на основе анализа данных о легкости открытия летки методом бурения в горячем состоянии. Поскольку для закрытия леток начали применять массы, содержащие металлические элементы и порошки, такие как, например, нитрид кремния, влияние этих добавок на прочность масс подвергли внимательному изучению. Специально разработанный тест на бурение предоставляет в этом смысле наибольшее количество информации. При проведении тестирования пробы нагревали, а затем бурили с использованием перфоратора. Время бурения составило 1 мин, одновременно замеряли глубину проникновения бура и потери массы. В качестве образцов при проведении исследова-

ний использовали цилиндры диаметром 50 мм, изготовленные методом прессования. Данный метод изготовления образцов применяется, когда нужно получить заготовки материала для изучения его плотности, а также для проведения регулярных тестовых испытаний.

Метод тестирования на абразивный износ также рассматривали в ходе проведенных исследований. Особое внимание обращали на результаты абразивного разрушения при добавлении в леточную массу нитрида кремния. Испытания проводили с целью разработки метода тестирования лабораторных образцов леточных масс, который позволял бы изучать их стойкость к абразивному износу. За основу были взяты факторы, определяющие скорость износа леточных масс, — эрозия и коррозия. Предполагалось, что проводимый тест на стойкость масс к разрушению путем трения позволит получить данные для изучения этих свойств. Тестирование проводили при строгом соблюдении стандарта на испытания материалов ASTM C704 Американского общества по испытаниям материалов (ASTM). Так как степень абразивного износа прямо пропорциональна силе трения, возникающей при бурении, было сделано предположение о наличии взаимосвязи между прочностью материала при 1370 °С и его податливостью во время сверления и абразивного разрушения. Ожидалось, что показатели этих трех свойств будут пропор-



**Рис. 1.** Соотношение показателей прочности при раздавливании в горячем состоянии, потерь на истирание (прочности на истирание) и потерь при бурении

циональны друг другу. На рис. 1 и 2 отражены результаты проведенных испытаний. На рис. 1 представлены данные о потерях материала при раздавливании при 1370 °С, о потерях на истирание (прочности на истирание) после разогрева материала до 1425 °С в разреженной атмосфере и потерях материала при бурении. Данные измерений потерь на истирание (прочности на истирание) и прочности образцов материала в горячем состоянии при 1370 °С показывают, что с увеличением прочности материала сокращаются его потери на истирание (его показатель прочности на истирание) и при бурении.

Для сравнения данных, полученных в ходе испытаний, использовали образцы леточных масс на нефтяном связующем. Введение в состав масс металлических и иных упрочняющих компонентов привело к определенному разбросу данных. Предполагалось, что такие показатели, как гранулометрический состав леточной

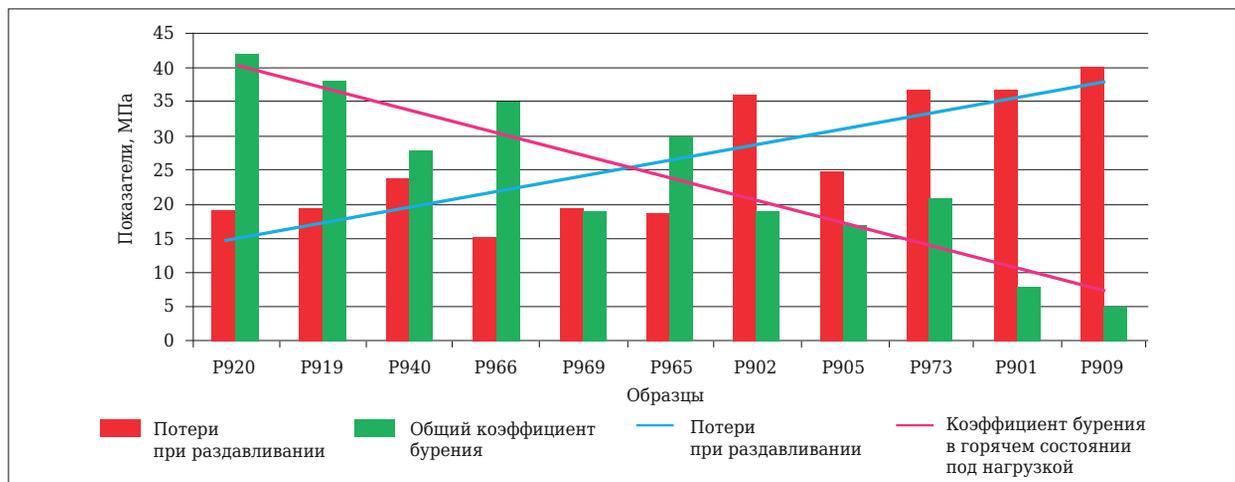
массы, качество глинозема и добавки, могут привести к неоднозначным результатам при попытке обобщения данных. Показатели свойств образцов леточных масс, таких как коэффициент бурения в горячем состоянии под нагрузкой, степень проникновения бура в массу, потери на истирание (прочность на истирание) и потери в объеме леточных масс при бурении оценивали по одиннадцатибалльной системе. Эти четыре параметра определяли общий коэффициент бурения. Чем ниже получался общий коэффициент бурения, тем хуже поддавался материал бурению при открытии летки. При этом под общим коэффициентом бурения понималась глубина проникновения бура в образец леточной массы при заданных условиях тестирования.

Во время тестирования подтвердилось, что гранулометрический и компонентный составы леточной массы оказывают влияние на результаты испытаний.

**Союзники на рынке материалов для доменного производства: производители огнеупорных материалов — VGH AG и «Riverside Refractories & Equipment Inc.» заключили союз для совместного освоения рынка леточных масс**

В 2012 г. компания VGH AG начала сотрудничество с компанией «Riverside Refractories & Equipment Inc.» — ведущим американским производителем леточных масс. Благодаря инновационным технологиям и творческим идеям фирма «Riverside» заслуженно занимает ведущие позиции на огнеупорном рынке США и является перспективным и надежным партнером компании VGH AG. Фирма VGH AG, со своей стороны, зарекомендовала себя как компания, предлагающая эффективные высокотехнологичные решения в области огнеупоров, высококачественные огнеупорные материалы и квалифицированную техническую поддержку. Кроме того, компания располагает обширной экономической, финансовой и маркетинговой основой, а также опытом работы в осуществлении поставок огнеупорной продукции, производимых на производственных мощностях дочернего предприятия «theramer», как в страны СНГ (Украина, Республика Беларусь), Прибалтики, так и в Италию, Польшу, Германию и США.

Все эти преимущества компаний стали надежной основой для учреждения в начале 2013 г. совместного предприятия по производству леточных масс в Европе, которое направлено на удовлетворение спроса европейских клиентов в данных материалах.



**Рис. 2.** Соотношение коэффициента бурения в горячем состоянии под нагрузкой и общего коэффициента бурения, а также потерь при раздавливании

В таблице отображен другой подход к проведенным испытаниям — изучение взаимосвязи между содержанием глинозема в массах и общим коэффициентом бурения. Напомним, что общий коэффициент бурения является суммой вышеназванных параметров: коэффициента бурения в горячем состоянии под нагрузкой, степени проникновения бура в леточную массу, потерь на истирание и потерь объема леточной массы при бурении.

В ходе испытаний было выявлено, что чем меньше глубина проникновения бура, тем больше прочность леточной массы при раздавливании при 1370 °С и тем меньше потери массы на истирание и потери объема леточной массы при ее бурении. В целом это означает, что данный образец хуже поддается бурению. Полученные при тестировании данные обобщены в таблице.

На рис.2 показано, что при увеличении коэффициента бурения в горячем состоянии под нагрузкой происходит рост потерь в объ-

еме массы. Линии на рис.2 означают, что с увеличением прочности леточной массы к воздействию силы давления в горячем состоянии общий коэффициент бурения снижается. Приведенные данные представляют собой выборку наилучших показателей исследуемых свойств. Неоднородность полученных данных объясняется тем, что при тестировании применяли леточные массы как на основе кремнезема, так и на основе глинозема. Нагрев леточных масс на основе кремнезема привел к формированию в них стекловидных образований, в результате чего увеличился показатель прочности при раздавливании.

В ходе испытаний была сделана попытка классифицировать пробы леточных масс в порядке возрастания содержания в них глинозема. При этом рассматривалась возможность влияния гранулометрического состава проб на результаты проводимых испытаний. Было отмечено резкое снижение общего коэффициен-

**Классификация леточных масс и их параметров**

Серия	Содержание глинозема, %	Коэффициент бурения в горячем состоянии под нагрузкой	Потери при истирании бура	Степень проникновения бура	Потери в объеме массы	Общий коэффициент бурения
P920	5	9	11	11	11	42
P919	8	8	10	10	10	38
P940	30	6	5	8	9	28
P966	35	11	7	9	8	35
P969	43	7	6	7	7	19
P965	32	10	9	5	6	30
P902	38	4	4	6	5	19
P905	58	5	8	4	4	17
P973	35	2	3	3	3	21
P901	47	3	1	2	2	8
P909	42	1	2	1	1	5

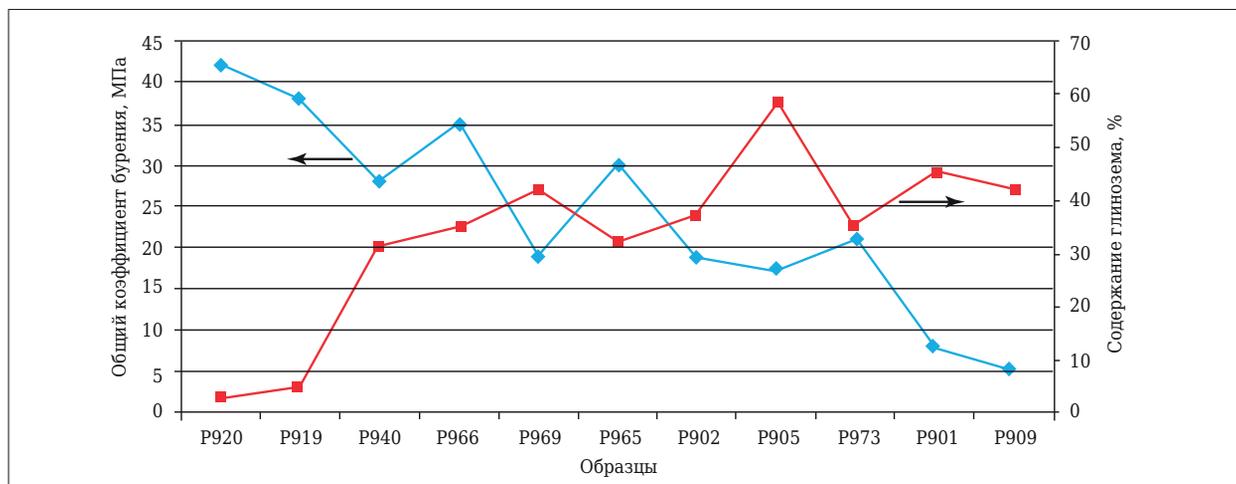


Рис. 3. Соотношение общего коэффициента бурения с содержанием глинозема в леточных массах

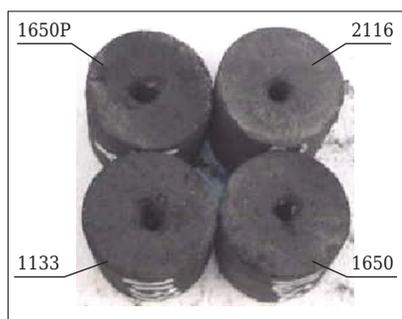


Рис. 4. Бурение леточных масс с высоким содержанием кремния

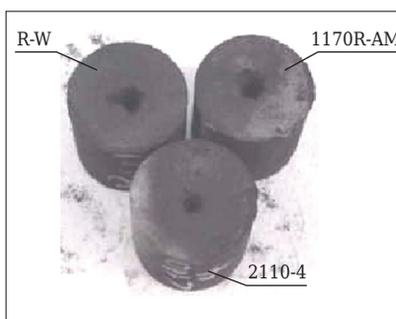


Рис. 5. Бурение проб алюмосиликатных леточных масс серии P960

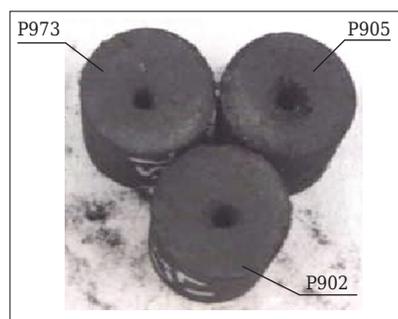


Рис. 6. Бурение пробы леточных масс с высоким содержанием алюминия

та бурения в материалах серий P960 и P900\*. Массы серии P900 являются производными от серии масс для ремонта. Во время испытаний наблюдалось уменьшение объема леточных масс с высоким содержанием кремнезема на 30 единиц и более. Чем выше общий коэффициент бурения, тем легче происходит открытие летки методом бурения.

На рис. 3 содержание глинозема в пробах увеличивается слева направо. Содержание кремнезема в материале образцов, расположенных в левой части графика, около 70 % при содержании в них глинозема 3–5 %. По направлению к правой части графика доля компонентов изменяется постепенно в реверсивном порядке. Пробы, расположенные в центре рис. 3, содержат около 35 % глинозема и около 35 % кремнезема.

### ОТКРЫТИЕ ЛЕТКИ МЕТОДОМ БУРЕНИЯ

Леточные массы серий P919 и P920, пробы которых представлены на рис. 4, классифицируются как материалы с высоким содержанием кремнезема. Показатели прочности этих масс и общего

\* В таблице эти серии материала не отражены.

коэффициента бурения находятся в обратной пропорциональной зависимости, т. е. при низкой прочности материала коэффициент бурения высокий и наоборот. Глубина проникновения бура в материал летки имеет большое значение, так как с увеличением этого показателя облегчается проведение работ по открытию летки. Однако необходимо учитывать, что если этот показатель слишком высок, то это свидетельствует о низкой прочности леточной массы.

Алюмосиликатные леточные массы, представленные на рис. 5, были разработаны путем изменения гранулометрического состава и содержания нитрида кремния. Они входят в группу материала серии P960. Образец 2110-4 является самой прочной для бурения леточной массой в этой группе. Следует обратить внимание на маленький диаметр отверстия.

На рис. 6 показаны пробы леточных масс различных серий (см. таблицу) для доменных печей большого объема. Массы для восстановления летки доменных печей бурятся легче, так как материал более мелкозернистый и подвергался меньшему экструзивному давлению. Более высокая текучесть материала обуславливает его повышенную пористость и, следова-



Ряд сверху	Обозначение образца (слева направо)			
1	R-2	<b>2116</b>	R-красн.	X2100
2	<b>1133</b>	<b>1650P</b>	1175-7	<b>Масса для закрытия летки 1650</b>
3	2117	2100	Re	
4	2110-4	R-W	R-AM	R-красн.

Рис. 7. Пробы леточных масс, прошедших испытание на абразивный износ

тельно, пониженную прочность. Образец серии P905 является леточной массой для ремонта.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ НА АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

Результаты исследования показаны на рис. 7. Масса для закрытия летки и образец 1650 являются высококремнеземистыми леточными массами, так же как и образцы 1133, 2116 и 1650P. Это отмечено жирным шрифтом. Содержание в образцах глинозема возрастает начиная со второго столбца справа, а также третьего ряда сверху, как отмечено стрелками на рис. 7.

При абразивном вскрытии летки предусматривается применение другого метода оценки эрозии леточного отверстия. Под влиянием потоков расплавленного металла и шлака возникает физическая и химическая эрозия леточного отверстия. Проведенные испытания показали, что метод открытия летки бурением имеет ряд преимуществ — низкие потери при истирании (низкую прочность на истирание), повышенный коэффициент бурения в горячем состоянии под нагрузкой, высокая степень проникновения бура, а также умеренные потери материала при открытии летки. Для того чтобы определить возможность открытия летки бурением, можно использовать несколько различных методов тестирования.

Особенно следует подчеркнуть, что на прочность заделки леточного отверстия доменных печей влияют как содержание глинозема в ле-

точной массе, так и конструкционные особенности самой летки. Предложенные к рассмотрению методы тестирования можно использовать и при разработке новых сортов леточных масс со все более высоким содержанием в них глинозема, и для оценки сложности бурения леточных масс при открытии летки. Это важный фактор, который необходимо учитывать при принятии решения о целесообразности применения для закрытия летки той или иной леточной массы. Следующим этапом на пути совершенствования технологии выбора характеристик применяемых леточных масс могла бы быть разработка специальных методов тестирования при определенных заданных температурах наряду с методами определения коэффициента бурения леточной массы в горячем состоянии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании общего коэффициента бурения, который сочетается с низкими потерями на истирание (прочностью на истирание) и высокой прочностью при раздавливании в горячем состоянии, а также при измерении степени проникновения при бурении и потерь материала можно применять различные виды тестирования, которые позволяют определить, насколько легко открыть летку методом бурения. Следует особенно подчеркнуть, что помимо содержания глинозема в леточной массе на прочность закрытия леточного отверстия доменной печи оказывают влияние и иные компоненты, входящие в состав леточной массы. Наряду с изучением влияния растущего содержания глинозема рассмотрены методы тестирования леточной массы, которые можно было бы использовать на практике заранее, еще на этапе выбора материала, так как оценка сложности бурения летки доменной печи — это важный фактор при принятии решения о целесообразности применения определенного материала для закрытия летки. Следующим этапом при оценке характеристик применяемых леточных масс наряду с методами определения прочности леточной массы при раздавливании в горячем состоянии могла бы стать разработка специальных методов тестирования при заданных температурах. ■

Получено 02.04.13  
© М. Александр, В. Гартен, 2013 г.



**LMPC 2013 — Металлообработка и литье 2013**

**22—25 сентября 2013 г.**

**г. Остин, Техас, США**