

УДК 686.4

ЛИНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЛИННОМЕРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ РАСПЛАВА

© 2014 г. **С.В. Марутьян, В.А. Невровский**

Ассоциация «РосЦинкование», г. Москва

МАТИ – Российский государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского, г. Москва*Статья поступила в редакцию 11.03.13 г., доработана 01.04.13 г., подписана в печать 08.04.13 г.*

Представлен опыт создания и отработки линии непрерывной металлизации протяженных изделий на основе нового принципа их горизонтального перемещения в расплаве. Предложена установка металлизации стальной проволоки, которая работала с расплавами цинка и алюминия. Проведенные исследования позволили автоматизировать ее работу, оснастить современными приборами измерения уровня жидкого металла, температуры металла, скорости движения проволоки и т.д., подобрать средства пневмоавтоматики для вытеснения расплава из печи, разработать средства подготовки поверхности к металлизации, а также способы удаления лишнего металла с изделия.

Ключевые слова: металлизация, покрытие, расплав, автоматизация, стальная проволока.

The paper describes the experience of designing and development of the line of continuous metallization of long-sized workpieces on the basis of a new principle of their horizontal movement through melt. A steel wire metallization plant has been developed for operation with zinc and aluminum melts. The investigations allow us to automatize its operation; equip it with modern devices for measurement of liquid metal level, temperature, wire speed, etc.; choose pneumatic devices for melt displacement from the furnace; develop the means to prepare the surface to metallization as well as the techniques for extra metal removal from wire.

Key words: metallization, coating, melt, automation, steel wire.

ВВЕДЕНИЕ

Установки для непрерывного нанесения металлических покрытий из расплава широко применяются для металлизации гибких изделий (лента, лист и т.п.). Около 13 лет назад был создан и запатентован узел для нанесения покрытий из расплава металла, в котором изделие не испытывает изгиба [1]. Изделие в этом узле проходило через расплав в горизонтальном направлении, причем свободная поверхность жидкого металла находилась на несколько сантиметров выше изделия. Для предотвращения вытекания расплава через зазоры во входном и выходном отверстиях в узле создавалось давление воздуха несколько ниже атмосферного.

Такая конструкция обеспечивала два преимущества по сравнению с традиционными установками металлизации протяженных изделий. Во-первых, удаляется ролик, на котором совершается поворот изделия для выхода его вертикально из расплава. Это особенно важно в случае нанесения покрытий из алюминия, так как ролик (обычно стальной) постепенно растворяется в алюминии и это в конечном итоге ухудшает качество покрытия. Во-вторых, новая схема движения изделия позволяет непрерывно наносить покрытия на изделия, которые трудно или практически невозможно изогнуть, например на прутки, арматуру, прокат. При этом длина ванны

Марутьян С.В. – канд. техн. наук, президент Ассоциации «РосЦинкование» (115093, г. Москва, 3-й Павловский пер., 1/57) Тел.: (495) 778-17-73. E-mail: roszink@yandex.ru.

Невровский В.А. – докт. физ.-мат. наук, профессор кафедры эргономики и информационно-измерительных систем МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского (121552, г. Москва, ул. Оршанская 3). Тел.: (495) 915-07-28. E-mail: sanches0@mail.ru.

расплава в установке металлизации может быть во много раз меньше длины изделия. В данной статье представлены технические решения, использованные при создании линии непрерывной металлизации длинномерных изделий при их горизонтальном движении в расплаве.

Работоспособность узла нового типа была продемонстрирована на первом макете линии нанесения цинковых или алюминиевых покрытий на проволоку диаметром от 1 до 2 мм [2]. Эксперименты показали, что можно легко удерживать расплав над движущимся изделием (на 3–5 см над проволокой) и воздух не проникает в узел нанесения покрытия через входное и выходное отверстия, частично перекрытые изделием. При этом выбранная из конструктивных соображений длина ванны ~15 см оказалась вполне достаточной для цинкования и алюминирования самой толстой из использованной проволоки, движущейся со скоростью до 6 м/мин. Фактором, определяющим длину ванны, в первую очередь является нагрев изделий, движущихся в расплаве. Расчетная модель нагрева плоских (лист и лента) и цилиндрических (проволока) изделий [3, 4] дает оценку длины нагрева (или, по-другому, времени пребывания изделия в расплаве), которая согласуется с наблюдениями работы данной линии и последующих более крупногабаритных модификаций (с длиной ванны 80 см).

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ЛИНИИ АЛЮМИНИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ

Работа по созданию линии непрерывной металлизации горизонтально движущихся в расплаве изделий заключалась в оснащении ее современными

приборами измерения уровня жидкого металла и его температуры, скорости движения проволоки и т.д., в подборе средств пневмоавтоматики для вытеснения расплава из печи, выборе средств и отработке методов подготовки поверхности к алюминированию, разработке способов удаления лишнего металла с изделия и др. В итоге была создана автоматизированная линия цинкования и алюминирования движущейся сквозь соответствующий расплав проволоки.

Окончательный вид линии алюминирования, полученный в результате этой работы, представлен на рис. 1.

Линия работает следующим образом.

Проволока из бухты при помощи размотки 1 подается в линию. Узел термообезжиривания 2 нагревает проволоку до 400 °С. Это необходимо для сжигания масла, которое остается на поверхности проволоки после волочения. Трудноудаляемое масло после нагрева превращается в сажу, легко смываемую впоследствии водой.

После термообезжиривания проволока охлаждается водой в узле 3. Правка проволоки осуществляется роликовым устройством правки 4.

Затем проволока поступает в узел гидроабразивной очистки 5. В нем происходит обработка ее поверхности абразивными элементами и интенсивная промывка. Грязь и металлическая стружка уносятся оборотной водой, которая очищается фильтрами. Абразивы практически шлифуют проволоку, вследствие чего в оборотной воде образуется большое количество металлической пыли, которая затем осаждается на магнитном фильтре 6. Неметаллические включения удаляет фильтр 7.

Следующий этап подготовки поверхности про-

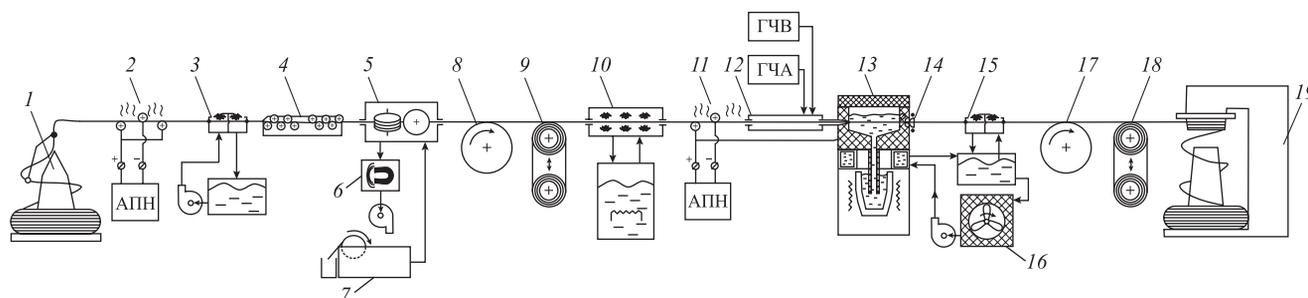


Рис. 1. Схема линии непрерывного алюминирования проволоки в расплаве

1 – размотка; 2 – термообезжиривание; 3 – охлаждение; 4 – правка; 5 – гидроабразивная очистка; 6 – магнитный фильтр; 7 – фильтр для неметаллических включений; 8 – тянущий барабан; 9 – накопитель; 10 – чистка острым паром; 11 – нагрев проволоки; 12 – реактор; 13 – узел нанесения покрытия; 14 – воздушный нож; 15 – охлаждение проволоки; 16 – теплообменник; 17 – тянущий барабан; 18 – накопитель; 19 – намотка
АПН – аппарат прямого нагрева, ГЧВ – генератор чистого водорода, ГЧА – генератор чистого азота

волоки — обработка острым паром. В узле 10 пар с температурой ~140 °С под давлением интенсивно омывает проволоку. Происходит окончательная очистка поверхности проволоки.

Последняя ступень подготовки — это декапирование поверхности проволоки. Другими словами, необходимо нагреть проволоку в защитно-восстановительной атмосфере. Это осуществляется при помощи аппарата прямого нагрева 11 проволоки, которая проходит через реактор 12. Для создания атмосферы служат генераторы газов ГЧВ и ГЧА.

Полностью очищенная и прогретая проволока поступает в узел нанесения покрытия 13. При помощи воздушного ножа 14 и узла охлаждения 15 происходит формирование алюминиевого покрытия.

Последний агрегат в линии — это намотка 19, которая укладывает готовую проволоку в бухту.

Узлы 8, 9, 17 и 18 предназначены для равномерной протяжки проволоки и обеспечения нужного ее натяжения во всех режимах работы оборудования.

Алюминий плавится в тигельной печи, находящейся под узлом нанесения покрытия, и вытесняется в узел давлением воздуха. Разрежение над расплавом в узле нанесения создается эжектором, установленным на крышке узла алюминирования (на рис. 1 не показан).

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ СОЗДАНИЯ ЛИНИИ АЛЮМИНИРОВАНИЯ

На линии данного типа были реализованы следующие технические решения. Прежде всего, был выбран способ подготовки поверхности стальной проволоки для алюминирования, использующий известную восстановительную способность расплавленного алюминия по отношению к оксидам на стальной подложке [5]. Химические способы очистки поверхности стали и ее активации не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству покрытия и охране окружающей среды, поэтому они не нашли применения в разработанной технологии. Исследования показали, что ударная обработка стальной поверхности потоком твердых частиц позволяет произвести не только ее очистку, но и активацию [6].

В линии, изображенной на рис. 1, воздействие на стальную проволоку, являющееся по физической сути таким же, как вышеупомянутая ударная обработка, осуществляется абразивными элементами узла гидроабразивной очистки 5. Особенность кон-

струкции этого устройства — кинематическая схема движения абразивных элементов, которые вращаются вокруг собственной оси и обходят проволоку по окружности. Это позволяет движущейся по оси узла очистки проволоке контактировать со всеми участками каждого абразивного элемента, обеспечивая всестороннюю чистку проволоки и равномерный износ абразива.

Для того чтобы абразив не засаливался различными маслами, находящимися на проволоке, используется узел термообезжиривания 2. Опыт работы с этим устройством и тепловые расчеты показывают, что повышение скорости транспортировки проволоки на линии с целью роста ее производительности может привести к увеличению габаритов линии в целом.

На рис. 1 показан также реактор 12, предназначенный для термического восстановления в азотно-водородной смеси тонких (около 10 монослоев) оксидных пленок, которые образуются на проволоке после ее гидроабразивной чистки от контакта с водой и от чистки острым паром. Две позиции под обозначениями ГЧВ и ГЧА (генераторы чистого водорода и чистого азота) соответствуют варианту промышленного использования линии. В настоящее время на опытном образце линии для работы терморектора восстановления остаточных оксидов железа на проволоке применяется азотно-водородная смесь заводского приготовления с 4 % водорода.

Было установлено [7], что сцепление получаемого покрытия с проволокой удовлетворяет требованиям ГОСТ 9.315-91, а само покрытие обладает высокой сплошностью. Однако сплошность нарушается, если скорость проволоки превышает некоторую величину. В исследованной линии, с длиной ванны 80 см, предельная скорость составляет ~12 м/мин. Расчеты и эксперименты показывают, что времени для нагрева проволоки до температуры алюминирования (>720÷750 °С) вполне достаточно. По-видимому, на сцепление негативно влияют остаточные оксиды железа на проволоке, на удаление которых затрачивается часть времени пребывания проволоки в узле нанесения покрытия. Нужно либо удлинять ванну расплава, либо предварительно удалять вышеупомянутые ~10 монослоев оксида.

Предпринятые совместно с лабораторией гетерогенного катализа Института химической физики РАН им. Н.Н. Семенова (г. Москва) исследования кинетики восстановления оксидов на стальной

проволоке СВ 08 Г2С показали, что оксидные пленки ожидаемой толщины можно удалять за приемлемое время ($\sim 1 \div 2$ с) воздействия азотно-водородной смесью различного состава при температурах значительно меньших, чем, например, используются для подготовки стальных изделий к металлизации в известном способе Сендзимира (около 800°C при содержании водорода до 18 мас.% [8]). На линии принято 4 % водорода по соображениям безопасности, причем время удаления остаточного оксида при такой концентрации водорода остается практически тем же. И проблема состоит только в обеспечении достаточно быстрого нагрева проволоки в восстановительной газовой смеси. На рис. 1 показан вариант прямого нагрева проволоки в термореакторе II, т.е. нагрева током, подводимым к проволоке через скользящие контакты. Другие варианты нагрева проволоки и соответствующие оценки скорости этого процесса приведены в работе [7].

В ходе совершенствования линии алюминирования длинномерных изделий наибольшие изменения претерпела система управления уровнем расплава в узле нанесения. Первоначально уровень жидкого металла регистрировался контактным способом поплавковым датчиком с герконом, т.е. дискретно. Затем применялся холловский преобразователь перемещений, непрерывно определяющий положение поверхности расплава. Уровень металла регулировался оператором вручную путем изменения давления вытеснения жидкого металла из печи в узел нанесения. Этого было достаточно для демонстрации нового принципа металлизации изделий без их изгиба. Опыт алюминирования и цинкования проволоки показал, что контактное измерение уровня с поплавковыми, а также пневмодатчиками (еще один тип простого датчика, который использовался на начальных стадиях создания линии) вполне годится для измерения уровня жидкого цинка. Однако для алюминирования изделий контактное измерение уровня металла нежелательно — в частности, из-за более высокой температуры расплава и агрессивности алюминия [9].

Поэтому были изучены и испытаны некоторые бесконтактные способы определения уровня металла [10]. Единственно приемлемым оказался лазерный триангуляционный датчик бесконтактного измерения расстояний фирмы «Baumer electronic» (ФРГ), закрепленный на крышке узла нанесения и направленный вертикально вниз на поверхность

алюминия. Он надежно фиксировал уровень алюминиевого расплава, несмотря на находящиеся на нем иногда оксидные и примесные пленки, с разрешением лучше 1 мм. Для управления уровнем такого разрешения хватает с избытком. Применение ультразвуковых уровнемеров для контроля уровня расплава алюминия оказалось невозможным из-за нестабильности их показаний, вызванных, по-видимому, конвекцией газовой среды над поверхностью металла.

Система управления уровнем металла путем его контролируемого вытеснения из тигля должна решать две задачи — парировать колебания уровня, вызванные случайными возмущениями, и очень медленно, по сравнению с этими колебаниями, пополнять узел жидким металлом по мере его расходования на образование покрытия. На первых моделях линии алюминирования использовалось дискретное регулирование на основе стандартного блока управления уровнем жидкости САУ—М7Е фирмы «Овен» (г. Москва) [11] и системы пневмоклапанов напуска и стравливания управляющего воздуха. Система приводила к колебаниям уровня металла и расходовала много сжатого воздуха. Для плавного регулирования давления воздуха, вытесняющего расплав из тигельной печи в узел нанесения покрытия, применялся пропорциональный регулятор давления модели 171 компании «Pneumat» (Италия). Изменение давления вытеснения было пропорционально отклонению уровня металла от рабочего положения. Подбор коэффициента пропорциональности производился эмпирически.

Использование системы плавного регулирования уровня показало, что она решает обе задачи — поддерживает текущий уровень металла и автоматически пополняет расходующий металл в узле нанесения. В принципе, по изменению давления вытеснения ($p_{\text{выт}}$) жидкого металла можно определять количество израсходованного металла. Но на практике такой подход оказался недостаточно точным. Поэтому для новой модели линии создана другая логика управления, основанная на вычислении $p_{\text{выт}}$ с учетом реальных форм тигля, ванны металла в узле нанесения покрытия и других объемов, заполняемых металлом. Схема управления уровнем показана на рис. 2.

В целях независимого контроля расхода металла и для уточнения параметров связи давления $p_{\text{выт}}$ с уровнем металла в ванне и общим его количеством в

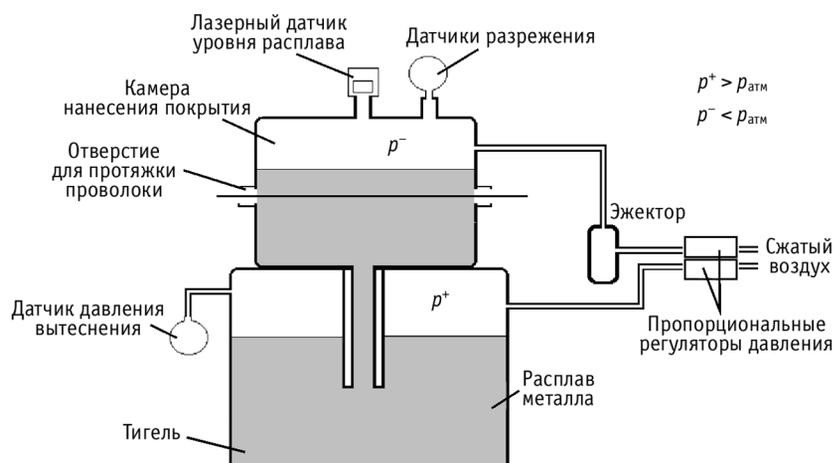


Рис. 2. Схема управления уровнем расплава в камере нанесения покрытия

установке, печь поставлена на цифровые весы фирмы «CAS Corporation» (Ю. Корея).

В настоящее время эта система с весовым контролем и новой логикой управления проходит испытания.

Одним из эффективных способов регулирования толщины покрытия в установках, в которых изделие выходит из расплава вертикально, является сдувание лишнего металла с изделий (например, листов и лент) с помощью «воздушного ножа». При этом лишний металл стекает в ванну расплава.

В узле с горизонтальным движением изделия также можно использовать принцип «воздушного ножа» [12], но с определенными предосторожностями, так как сдуваемый материал обычно накапливается на изделии и стекает каплями уже снаружи узла нанесения. Радикальным выходом из положения является применение съемников с калиброванным отверстием. При этом толщина покрытия получается постоянной для разных скоростей движения изделий. Однако со временем калиброванное отверстие изнашивается движущейся проволокой и жидким алюминием, содержащим твердые оксидные включения. Расчеты течения жидкого металла в выходном отверстии узла нанесения покрытий и эксперименты показывают, что правильный подбор давления струи воздуха, с учетом зазора, занятого металлом, позволяет регулировать толщину покрытия при относительно большом (не подвергнутом специальной калибровке) отверстии в съемнике [12].

Для плавной работы линии необходимо было добиться синхронного функционирования ряда приводов движения проволоки и обеспечить при этом

небольшое натяжение проволоки [13]. Особенно это важно при работе с тонкой проволокой (диаметром 1,2 мм) при выходе ее из камеры нанесения покрытия, где она нагревается до ~ 750 °С. Эта задача была решена применением частотных регуляторов компании LG (Ю. Корея) для регулирования независимых электродвигателей системы транспортировки проволоки. Работа регуляторов синхронизовалась программируемым образом схемой на микроконтроллерах фирмы «Atmel» (США). Несмотря на то, что система эта работала удовлетворительно,

в современной линии, схема которой показана на рис. 1, система транспортировки проволоки выполнена профессиональным образом на заводе ТТМП (г. Орел).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В создании линии непрерывной металлизации протяженных изделий на основе принципа их горизонтального перемещения нашли применение как давно известные надежные технические решения, так и новые, которые специально пришлось изыскивать, чтобы наилучшим образом использовать преимущества упомянутого принципа. Успешному решению поставленных задач также способствовала доступность современных измерительных средств (датчиков давления, уровня, расхода), надежной пневмоавтоматики, микроконтроллеров и т.д.

Тем не менее остаются не до конца решенные технические проблемы, связанные с необходимостью повышения скорости транспортировки изделий (а следовательно, производительности) при сохранении хорошего качества покрытия, полученного при относительно небольшой скорости движения изделия сквозь расплав (до 12 м/с).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2199602 (РФ). Устройство для непрерывного нанесения защитных металлических покрытий на стальные протяженные изделия / С.В. Марутьян, Ю.С. Волков. 2000.
2. Марутьян С.В., Волков Ю.С. // Металлоснабжение и сбыт. 2003. № 5. С. 52.

3. *Невровский В.А.* // Науч. тр. МАТИ. 2004. № 7(79). С. 112.
4. *Марутьян С.В., Марутьян С.С., Невровский В.А.* // Технол. машиностроения. 2007. № 11. С. 23.
5. *Рябов В.Р.* Алюминирование стали. М.: Металлургия, 1975.
6. *Марутьян С.В.* // Сб. докл. 3-й Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, дек. 2004 г.). М.: МАТИ, 2004. С. 100.
7. *Марутьян С.В., Марутьян С.С., Невровский В.А.* // Сб. докл. 8-й Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, ноябрь 2009 г.). М.: МАТИ, 2009. С. 85.
8. *Проскуркин Е.В., Попович В.А., Мороз А.Г.* Цинкование. М.: Металлургия, 1988.
9. *Невровский В.А., Канцырев А.В., Марутьян С.С., Чуриков Г.Е.* // Сб. докл. 3-й Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, дек. 2004 г.). М.: МАТИ, 2004. С. 107.
10. *Васильев М.Б., Марутьян С.В., Марутьян С.С., Невровский В.А.* // Сб. докл. VI Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, ноябрь, 2007 г.). М.: МАТИ, 2007. С. 6.
11. *Канцырев А.В., Марутьян С.С., Невровский В.А., Петров П.Н.* // Сб. докл. 2-й Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, дек. 2003 г.). М.: МАТИ, 2003. С. 168.
12. *Канцырев А.В., Марутьян С.В., Марутьян С.С., Невровский В.А.* // Сб. докл. VI Всерос. науч.-техн. конф. «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (Москва, ноябрь 2007 г.). М.: МАТИ, 2007. С. 99.
13. *Канцырев А.В., Васильев М.Б., Петров П.Н.* // Науч. тр. МАТИ. 2007. № 13 (85). С. 67.

УДК 87.17

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ВЫБРОСОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА В АТМОСФЕРЕ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ БАЙКАЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

© 2014 г. **Н.И. Янченко, А.Н. Баранов, О.Л. Яскина**

Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ)

Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БЦГМС)

Статья поступила в редакцию 09.08.12 г., доработана 27.08.13 г., подписана в печать 30.08.13 г.

Рассмотрено распределение фтора и серы в технологии производства первичного алюминия, атмосфере и атмосферных осадках в районе г. Братска. Установлено, что содержание HF и SO₂ в атмосфере уменьшается при увеличении количества осадков. Впервые определены фактические концентрации фтора во всех суточных пробах осадков дождя и снега в зоне влияния выбросов промышленной площадки Братска и выявлены влияющие на них показатели (температура приземного слоя воздуха, интенсивность атмосферных осадков). Характеристики распределения компонентов выбросов в атмосферных осадках позволяют использовать их для экологической оценки состояния атмосферного воздуха и установления корреляционных связей с технологическими параметрами.

Ключевые слова: производство первичного алюминия, экологическая безопасность, выбросы фтора, диоксид серы, интенсивность атмосферных осадков.

Янченко Н.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры общеобразовательных дисциплин ИрГТУ (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83). Тел.: (3952) 40-52-65. E-mail: fduesn@bk.ru.

Баранов А.Н. – докт. техн. наук, профессор кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ. Тел.: (3952) 40-52-65. E-mail: Baranov@istu.edu.

Яскина О.Л. – вед. инженер, аэрохимик БЦГМС (665702, Иркутская обл., г. Братск, ул. Набережная, 74). E-mail: olgyaskina@yandex.ru.