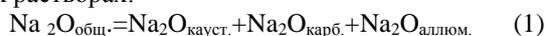


насадкам, трудностях монтажа, а также при испытаниях не достигнута необходимая крупность слива гидроциклонов.

В состав шихты кроме известняка и нефелиновой руды входят оборотные промпродукты и растворы, содержащие  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и другие. Их добавляют для корректировки щелочного модуля и придания материалу текучести и гомогенности. В этих растворах:



Доля каустической щелочи достигает (0,4÷0,45) % от массы всей шихты [1]. Глинозем в этих продуктах присутствует в виде  $\text{NaAlO}_2$  в количестве 0,15% от массы шихты. Из литературных данных известно [5], что добавка в водные растворы  $\text{NaOH}$  и  $\text{NaAlO}_2$  значительно повышает их вязкость, а в шихте увеличивает вязжестпрочностные свойства шихты. Так, добавка 2%  $\text{NaOH}$  к шихте с влажностью 32% приводит к возрастанию вязкости с 2 до 20 Мпа\*сек, а прочностные характеристики шихты с каустической щелочью и алюминатом натрия выше в (4÷5) раз, чем с карбонатной. Поэтому для снижения вязкости нефелиновой шихты можно рекомендовать перевод щелочных каустических растворов в карбонатные [6]. Таким образом, анализ различных технологических схем для спекания нефелиновой руды показал:

- существующая технология характеризуется громоздкостью и многостадийностью;
- используется четырехстадийное измельчение нефелиновой руды;
- на двух стадиях идет совместное измельчение и смешивание разных по твердости и прочности материалов, что приводит к переизмельчению известняка и большому пылевыносу  $\text{CaO}$  на переделе спекания;
- наличие алюмината натрия, каустической щелочи в содовом растворе приводит к повышению вязкости, ухудшению жидкотекучести шихты, что приводит к необходимости поддержания её высокой влажности. Кроме того, эти компоненты вызывают образование настывей в цепной зоне и зоне сушки печи спекания;
- не учитывается влияние физико-химических свойств жидкой фазы на процесс измельчения (диспергирования) минерального сырья (поверх-

ностного натяжения, адсорбционные свойства, влияние поверхностно активных веществ), что приводит к большим энергетическим затратам на процесс измельчения;

- используется при измельчении не эффективное оборудование при большом расходе мелушних тел и электроэнергии.

Предложенными мероприятиями можно нивелировать некоторые «узкие» места производства:

- перейти на двухстадийное измельчение руды и одностадийное измельчение известняка, затем их смешивание;
- учитывая разную величину поверхностного натяжения составляющих добавляемого содового раствора скорректировать его состав;
- рассмотреть возможность использования мельниц самоизмельчения или полусамозмельчения, что может привести к улучшению технико-экономических показателей;
- учитывая высокую твердость нефелиновой руды исследовать предварительную подготовку нефелина перед измельчением (исследовать процесс разупрочнения).

#### Список использованных источников

1. Биленко, Л.Ф. Особенности приготовления известняково – нефелиновой шихты глиноземного производства / Л.Ф. Биленко., Р.Я. Дашкевич., А.И. Пивнев., В.П. Логачев. – М.: Металлургия, 1993. - 189 с.
2. Лайнер, А.И. Производство глинозема / А.И. Лайнер. - М.: Металлургия, 1978. - 324 с.
3. Абрамов, В.Я. Комплексная переработка нефелино- апатитового сырья / В.Я. Абрамов., А.И. Алексеев., Х.А. Бадалянц. - М.: Металлургия, 1991. - 390 с.
4. Арлюк, Б.И. Процесс спекания в производстве глинозема / Б.И. Арлюк., В.Е. Шнеер. - М.: Металлургия, 1970. - 320 с.
5. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых / А.А. Абрамов. - М.: Металлургия, 1990. - 392 с.
6. Арлюк, Б.И., Комплексная переработка щелочного алюминийсодержащего сырья / Б.И. Арлюк., Ю.А. Лайнер., А.И. Пивнев. - М.: Металлургия, 1994. - 384 с.

## ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ БОРИДНЫХ СЛОЕВ ПУТЕМ ТРАДИЦИОННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

**Крукович Марат Григорьевич**

*Доктор технических наук, профессор,*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, РФ.*

**Бирюков Владимир Павлович**

*Кандидат технических наук, доцент*

*Российский университет транспорта (МИИТ),  
Институт Машиноведения РАН, г. Москва, РФ.*

Исследована возможность структурной модификации боридных слоев традиционным путем и с использованием лазерного нагрева. При этом обеспечивается фрагментация боридного слоя, залечивание пор, изменение фазового состава, благоприятное распределение твердости и повышение эксплуатационных характеристик.

The possibility of structural modification of boride layers in the traditional way and using laser heating was investigated. This ensures the fragmentation of the boride layer, the healing of pores, a change in the phase composition, a favorable distribution of hardness and increased operational characteristics.

**Ключевые слова:** боридные слои, лазерная обработка, фрагментация, композиционная структура, повышение пластичности.

**Keywords:** boride layers, laser treatment, fragmentation, composition structure, improve of plasticity.

Борированные слои обладают высокой твердостью и износостойкостью, при этом одновременно обладают и высокой хрупкостью [1]. Следовательно, при упрочнении деталей или инструментов борированием часто возникает необходимость по снижению хрупкости с целью расширения номенклатуры упрочняемых изделий и повышению надежности их работы. Основным направлением решения этого вопроса является структурная модификация борированных слоев [2,3].

Композиционные структуры борированного слоя имеют достаточный запас пластичности, поэтому их изнашивание значительно ниже из-за отсутствия сколов и трещин в поверхностном слое во всем рассматриваемом диапазоне скоростей скольжения. В композиционных структурах, содержащих бориды и  $\alpha$ -твердый раствор бора в железе, приложенная нагрузка действует преимущественно на боридную составляющую. Энергия разрушения высокодисперсных частиц боридов, имеющих размеры десятки и сотни микрометров, значительно больше энергии разрушения хрупких компактных боридов.

Таким образом, для повышения эффективности использования боридных слоев появляется целесообразность изменения морфологии компактного боридного слоя в композиционную структуру либо на всей изнашиваемой поверхности, либо в отдельных ее зонах.

Целью данной работы является повышение пластичности борированных слоев как при традиционном проведении процесса в печах, так и при их дополнительной лазерной обработке, что позволяет

расширить области применения защитных износостойких слоев.

Основными путями реализации цели являлись: изменение фазового состава с уменьшением твердости; диспергирование структуры поверхности и/или подслоя; создание плавного перехода твердости от поверхности к сердцевине; создание разгрузочных зон путем нанесения на изнашиваемые поверхности сетки лазерных дорожек.

Традиционными методами получение борированных слоев с гетерогенной структурой обеспечивалось при диффузионном и диффузионно-кристаллизационном механизме их образования. Насыщение стали 45X проводилось в контейнере, изготовленном из стали марки Ст3, с плавким затвором для защиты образцов и насыщающей порошковой смеси от печной окислительной атмосферы. В качестве защитного плавкого затвора использовали смесь песка (95%) и борного ангидрида (5%). Насыщение проводили при 950°C (для диффузионного механизма массопереноса) и 1150°C (для диффузионно-кристаллизационного механизма) в течение 6-3 ч. в смеси, содержащей (в % по массе): 3%  $\text{NH}_4\text{F}$ , 12-47%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 85-50%  $\text{B}_4\text{C}$ . Для получения разобленных игл боридов содержание карбида бора в смеси составляло 50% (Рис. 1, а).

Гетерогенные структуры при диффузионно-кристаллизационном механизме образовывались либо при полном расплавлении слоя в виде эвтектики (Рис. 1, б), либо при жидкокристаллическом состоянии во время насыщения с образованием псевдоэвтектических структур (Рис. 1, в).



а)

б)

в)

Рис. 1 Виды структур гетерогенных борированных слоев.

а) Борированный слой с разобленными иглами боридов; б) Эвтектическая структура; в)

Псевдоэвтектическая структура.

Дополнительной лазерной обработке подвергались двухфазные боридные слои, полученные в

порошковой насыщающей смеси, содержащей (в % по массе): 3%  $\text{NH}_4\text{F}$ , 12%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 85%  $\text{B}_4\text{C}$ .

Сканирование борированной поверхности лазерным лучом проводили на сканере с пространственным управлением. Лазерная установка «Комета-М» и сканирующее устройство для высокочастотного колебания луча обеспечивало более широкие возможности контроля температуры [4]. Мощность излучения изменялась в пределах 700...1300 Вт. Скорость перемещения луча 2...50 мм/с.

Лазерный нагрев боридного покрытия производили расфокусированным и сканирующим лучом в направлении поперечном его перемещению с частотой 220 Гц. Ширина зоны лазерного воздействия составила при обработке расфокусированным лучом 2,4...3,2 мм и 5,6...6,1 мм при обработке сканирующим лучом. Режим обработки выбирался таким образом, чтобы температура поверхности не

превышала температуру плавления Fe-B-C эвтектики, т.е. не превышала 1100°C.

Микроструктура исходных борированных слоев состояла из крупных столбчатых кристаллитов боридов размером более 100 мкм и подслоя, располагающегося между иглами и под ними. Слой боридов состоял из фаз FeB и Fe<sub>2</sub>B с микротвердостью 19500 МПа и 16000 МПа, соответственно (Рис.2). Кроме этого в приповерхностном слое наблюдались поры размером около 50 мкм. Появление пористой структуры поверхности связано с недостаточной герметизацией насыщающего контейнера и быстрой истощаемостью рабочей смеси. В то же время такая структура слоя является предпочтительной в условиях трения в присутствии смазочного материала, так как полученная открытая пористость играет роль маслоудерживающих карманов.

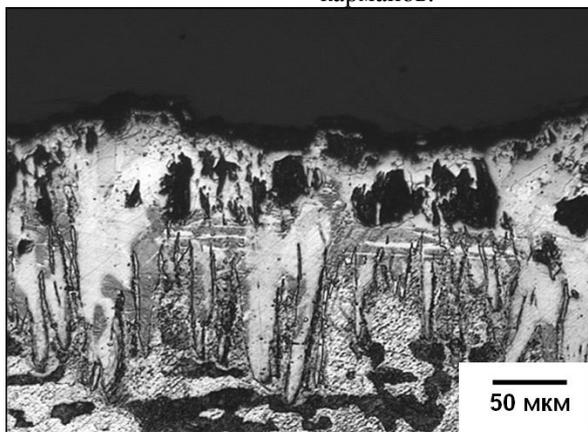


Рис. 2 Микроструктура исходного боридного слоя.

В результате дополнительного высокоскоростного лазерного нагрева боридных слоев и охлаждения за счет теплоотвода вглубь материала происходила фрагментация структуры боридов и залечивание пор и дефектов слоя. Следует предположить, что зарастивание пор могло происходить за счет резкого увеличения объема при местном нагреве и возникновении сжимающих напряжений, а также за счет активных диффузионных процессов с участием атомов железа и бора (Рис. 3). Такое видоизменение слоя должно способствовать повышению износостойкости в условиях трения без смазывающего материала слоев, обработанных лазерным лучом, при этом местный нагрев помимо структурных

изменений вносит изменения в напряженное состояние борированной поверхности в целом. Средняя микротвердость столбчатых фаз составила 15000 МПа, а серых зон расположенных между иглами боридов и под ними 7500 МПа. Снижение микротвердости боридов связано с рассасыванием высокобористой и более твердой фазы (FeB), а также снижением уровня напряженного состояния за счет образования блочной структуры. Наблюдается также притупление игл боридов и увеличение их толщины. Все это, в конечном счете, обеспечивает некоторое повышение запаса пластичности слоя боридов.



Рис. 3. Блочная микроструктура боридов после лазерной обработки.

Охлаждение подслоя привело к образованию сплошной зоны мартенсита (Рис. 3). Образование мартенсита связано с наличием в подслое повышенного содержания углерода, полученного при борировании за счет оттеснения его растущим слоем боридов, и достаточной скоростью теплоотвода. Включения феррита, располагающиеся на некотором удалении от слоя боридов, подвергаются наклепу и их микротвердость становится в 1,5...2 раза выше, чем в исходном состоянии. Таким образом, дополнительной обработкой создается благоприятное плавное распределение микротвердости от поверхности вглубь образца.

При воздействии на поверхность расфокусированным лазерным лучом на всех режимах наблюдается частичное деборирование поверхности. При обработке же высокочастотным сканирующим лучом топография поверхностного слоя имеет более ровный характер и незначительно отличается от исходного состояния. Это позволяет использовать деталь с модифицированной высокочастотным сканирующим лучом борированной поверхностью без дополнительной доводки или тонкого шлифования.

При нанесении отдельных дорожек на изнашиваемую поверхность модифицированная структура, вследствие повышения запаса пластичности, играет роль релаксаторов эксплуатационных напряжений. В особенности их роль повышается при нанесении таких дорожек в виде сетки с углом  $60^\circ$  по отношению к направлению скольжения.

Для оптимизации износостойкости размер ячеек сетки лазерных дорожек, угол наклона по отношению к направлению трения и глубина модификации борированного слоя должна подбираться индивидуально, исходя из материала детали, состояния основы, условий насыщения и структурного типа борированного слоя, величины допустимого изнашивания, формы поверхности трения и условий эксплуатации.

Проведенное исследование показало технологические возможности получения гетерогенных структур борированных слоев, что обеспечивает повышение их пластичности и эксплуатационных характеристик для самых разнообразных условий работы деталей и инструментов.

#### Список использованных источников

1. Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г., Горбунов Н.С., Дубинин Г.Н., Жунковский Г.Н., Крукович М.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов /Справочник/ - М.: металлургия, 1981. 424 с.
2. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010, 365 с.
3. Krukovich M.G., Prusakov B.A., Sizov I.G. Plasticity of Boronized Layers/ Springer Series in Materials Science, V. 237. – Springer International Publishing Switzerland 2016. – 364 pp.
4. Бирюков В.П. Промышленное применение  $\text{CO}_2$  – лазеров для наплавки, упрочнения деталей и точного раскроя листовых материалов //Тяжелое машиностроение №4, 2006. – С. 25-28.

## МОНИТОРИНГ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Солодовник А.А.,*

*к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика» СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск*

*Савинкин В.В.*

*к.т.н., доцент кафедры «Транспорт и машиностроение» СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск*

*Крючков В.Н.*

*докторант кафедры «Транспорт и машиностроение» СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности регистрации явлений, протекающих в верхних слоях атмосферы Земли и в ближнем космосе. Основное внимание обращено на мезосферные серебристые облака, которые могут считаться индикатором климатических изменений. На основе анализа существующих методик изучения феномена показано, что наземные наблюдения отягощены неблагоприятными погодными условиями. Методы космических наблюдений не дают полную информацию об объекте. Обосновывается перспектива применения БПЛА для решения рассматриваемых задач, методом мониторинга. Показана эффективность предлагаемого решения. Сформулированы общие технические требования к приборному комплексу.

### ABSTRACT

The article discusses the issue of increasing the efficiency of recording phenomena occurring in the upper layers of the Earth's atmosphere and in near space. The focus is on mesospheric noctilucent clouds, which can be considered an indicator of climate change. Based on the analysis of existing methods of studying the phenomenon, it has been shown that ground-based observations are aggravated by adverse weather conditions. Space observation methods do not provide complete information about the object. Substantiates the prospect of using UAVs for solving the problems under consideration, by the method of monitoring. The effectiveness of the proposed solution is shown. The general technical requirements for the instrument complex are formulated.

**Ключевые слова:** изменение климата, серебристые облака, БПЛА.

**Keywords:** climate change, noctilucent clouds, UAVs.