

УДК 625.8

UDC 625.8

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ В СОСТАВЕ
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ГЛУБОКИХ
КАРЬЕРОВ**

**PROSPECTS OF RUBBER CRUMB
APPLICATION AS A PART OF DEEP OPEN-
CAST MINES ROAD COVERINGS**

Христофорова Александра Афанасьевна
*Институт проблем нефти и газа СО РАН,
Якутск, Россия*

Khristoforova Alexandra Afanasievna
*Institute of oil and gas problems SB RAS, Yakutsk,
Russia*

Филиппов Семен Эдуардович
*Северо-Восточный университет
им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

Filippov Semen Eduardovich
*North-Eastern Federal University named after
M.K.Ammosov, Yakutsk, Russia*

Лебедев Андрей Викторович
*Институт проблем нефти и газа СО РАН,
Якутск, Россия*

Lebedev Andrey Viktorovich
*Institute of oil and gas problems SB RAS, Yakutsk,
Russia*

Гоголев Илья Николаевич
*Северо-Восточный университет
им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

Gogolev Ilya Nikolaevich
*North-Eastern Federal University named after
M.K.Ammosov, Yakutsk, Russia*

Соколова Марина Дмитриевна
к.т.н., доцент
*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Северо-
Восточный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск, Россия*

Sokolova Marina Dmitrievna
Cand.Tech.Sci., associate professor
*Institute of oil and gas problems SB RAS, North-
Eastern Federal University named after
M.K.Ammosov, Yakutsk, Russia*

Заровняев Борис Николаевич
д.т.н., профессор
*Северо-Восточный университет
им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

Zarovnyaev Boris Nikolaevich
Dr.Sc.Tech., professor
*North-Eastern Federal University named after
M.K.Ammosov, Yakutsk, Russia*

В работе рассматривается проблема утилизации изношенных шин на горнодобывающих предприятиях. Обсуждаются наиболее важные результаты исследования влияния механоактивации на свойства резиновой крошки и на свойства модифицированных асфальтобетонов

The problem of worn out tires recycling at the mining enterprises is considered. The most important results of influence research of mechanical activation to properties of a rubber crumb and to modified bituminous concrete properties are discussed

Ключевые слова: НИЖНИЕ ГОРИЗОНТЫ
КАРЬЕРОВ, ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ,
УТИЛИЗАЦИЯ ИЗНОШЕННЫХ ШИН,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАРЬЕРНЫЕ ДОРОГИ,
РЕЗИНОВАЯ КРОШКА, МИНЕРАЛЬНЫЕ
МОДИФИКАТОРЫ, МОДИФИКАЦИЯ
РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ, МЕХАНОАКТИВАЦИЯ,
АСФАЛЬТОБЕТОН

Keywords: OPEN-CAST MINES BOTTOM
HORIZONS, ROAD COVERING, WORN TYRES
RECYCLING, TECHNOLOGICAL CAREER
ROADS, RUBBER CRUMB, MINERAL
MODIFIERS, RUBBER CRUMB MODIFICATION,
MECHANICAL ACTIVATION, BITUMINOUS
CONCRETE

Введение

Завершение открытых горных работ на основных алмазорудных месторождениях и переход некоторых из них в разряд сверхглубоких обуславливает необходимость индивидуального подхода к стратегии и

технологии доработки нижних горизонтов карьеров – углубочной зоны. В ходе исследований было установлено, что предельная глубина открытых горных работ для крупных кимберлитовых карьеров может достигать 850 м. В этих условиях актуально использование потенциала открытого способа разработки для проведения углубочных работ ниже проектного дна карьера с минимально возможным разносом его бортов путем использования крутонаклонных съездов, специальных технологий горных работ, оборудования, надежной и эффективной конструкции дорожного покрытия [1]. Одной из основных проблем при этом является создание прочной и долговечной основы дорожного покрытия и обеспечение его надежного сцепления с шинами автосамосвалов. Применение обычных гравийных покрытий и дробленого материала являются основной причиной износа автомобильных шин и снижения эффективности работы автотранспорта на карьерах.

В связи с этим в ходе выполнения научно-исследовательской работы «Создание комплексной инновационной экологически безопасной технологии добычи и переработки алмазоносных руд в условиях Крайнего Севера» по теме «Создание новых способов вскрытия и разработки месторождений алмазов» рассматривается проблема утилизации отходов изношенных шин для создания надежного дорожного покрытия карьерных дорог на нижних горизонтах выработки.

Состояние исследований и актуальность работы

Особые проблемы с изношенными шинами возникают на горнодобывающих предприятиях: шины карьерной техники крупногабаритны, быстро выходят из строя из-за значительного износа при эксплуатации в условиях карьерных дорог, к ним предъявляются жесткие требования к захоронению со стороны природоохранных организаций.

В мире применяют различные технологии по переработке и утилизации резиновых отходов и изношенных шин. Измельчение (дробление) отходов производства и потребления считают наиболее привлекательным методом их переработки, поскольку в этом случае в продуктах переработки сохраняются физические свойства резины [2]. Резиновые отходы по своему составу и содержанию ценных компонентов практически не отличаются от не вулканизированного композита, поэтому их дальнейшее применение будет способствовать наиболее рациональному использованию ценных сырьевых ресурсов.

Однако именно на крупных горнодобывающих предприятиях можно эффективно организовать переработку шин в резиновую крошку и чипсы, т.к. во-первых, отходы располагаются и контролируются в рамках одного хозяйственного объекта, во-вторых, стоимость технологического оборудования, организация и содержание производства могут достаточно быстро окупиться. Резиновая крошка, полученная в результате переработки изношенных автопокрышек, имеет многочисленные перспективные области дальнейшего практического применения, что при эффективной организации маркетингового сопровождения, безусловно, обеспечит ее быструю и устойчивую реализацию. Кроме того, резиновая крошка и чипсы могут эффективно использоваться на нужды самих горнодобывающих предприятий:

- модификация дорожного битума в асфальтобетонных смесях при строительстве технологических дорог,
- модификация составов, укрепляющих массив горной породы карьеров, в т.ч. на нижних горизонтах;
- подкладки под рельсы шахтного транспорта и резиновые плиты для комплектования рельсовых и разгрузочных переездов в шахтах, отличающихся длительностью эксплуатации, хорошей атмосферостойкостью, пониженным уровнем шума;

- благоустройство прилегающих территорий (автопарковки, пешеходные переходы и т.п.);
- кровельные и противоскользящие покрытия и т.п.

Очевидно, что наиболее важным из перечисленных областей применения резиновой крошки для повышения эффективности работы горнодобывающего предприятия является модификация дорожного битума в асфальтобетонных смесях при строительстве технологических дорог. Известно, что разработка месторождений на горных предприятиях с каждым годом усложняется в связи с необходимостью вести работы в регионах с экстремальным климатом, на значительных глубинах современных карьеров и крутых съездах внутрикарьерных дорог. Обеспечение эффективности и безопасности ведения работ на сложных участках предъявляют повышенные требования к покрытиям технологических дорог, а именно: высокий коэффициент сцепления шин с дорогой, стойкость к удару и растрескиванию полотна при температурных перепадах, снижение пыли и износа шин карьерного транспорта. Именно эти свойства могут быть с высокой вероятностью реализованы в случае применения резиновой крошки в составе дорожных материалов.

В связи с этим, разработка покрытий технологических дорог с применением резиновой крошки перспективна, как для повышения производительности, так и для повышения ресурсосбережения и экологической безопасности на горнодобывающих предприятиях.

В большей степени качество асфальтобетона определяется свойствами применяемого вяжущего – битума. Резиновая крошка является перспективным модификатором дорожных битумов, что определяется органическим сродством с компонентами битума [3].

Использование модифицированных битумных материалов повышенного качества при строительстве и ремонте дорог с асфальтобетонными покрытиями является особенно актуальным в районах

с суровым резко-континентальным климатом и низкими зимними температурами, где в настоящее время активно ведутся горные работы и в перспективе осваиваются новые месторождения.

В данной работе представлены результаты исследования влияния модификации битума механоактивированной резиной крошкой на свойства асфальтобетона.

Существуют различные методы модификации резиновой крошки: химическая модификация и/или размягчение поверхности частиц измельченной резины, физическая обработка с целью разрушения серных связей и физико-химическое размельчение измельченной резины в результате разрушения полимерных связей (аналогично регенерации) [4]. В последнее время наметилась тенденция использования механохимических методов диспергирования минеральных наполнителей для перевода их в метастабильное состояние. К таким методам относятся механическое дробление и активация материалов с помощью различного рода измельчительного оборудования: планетарных мельниц, дезинтеграторов, атриторов и т.д. Перспективность технологий механической активации порошковых материалов связана с низкими энерго- и металлоемкостью оборудования, экологической безопасностью процесса, возможностью расширения сырьевой базы [5].

Экспериментальная часть

Механическая активация резиновой крошки проводилась в планетарной мельнице АГО-2, принцип работы которой заключается в следующем: при вращении барабанов вокруг общей и планетарной осей мельницы, возникает не только ударное воздействие, но и фрикционное взаимодействие между шарами и измельчаемым материалом, что приводит к высвобождению огромного количества механической энергии. Образованная механическая энергия частично расходуется на увеличение

удельной поверхности диспергируемого материала и в большей степени приводит к повышению внутренней энергии вещества [6].

На рисунке 1 представлены результаты элементного анализа поверхности резиновой крошки, проведенного шагово-точечным методом на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV с помощью аналитической рентгеноспектральной приставки.

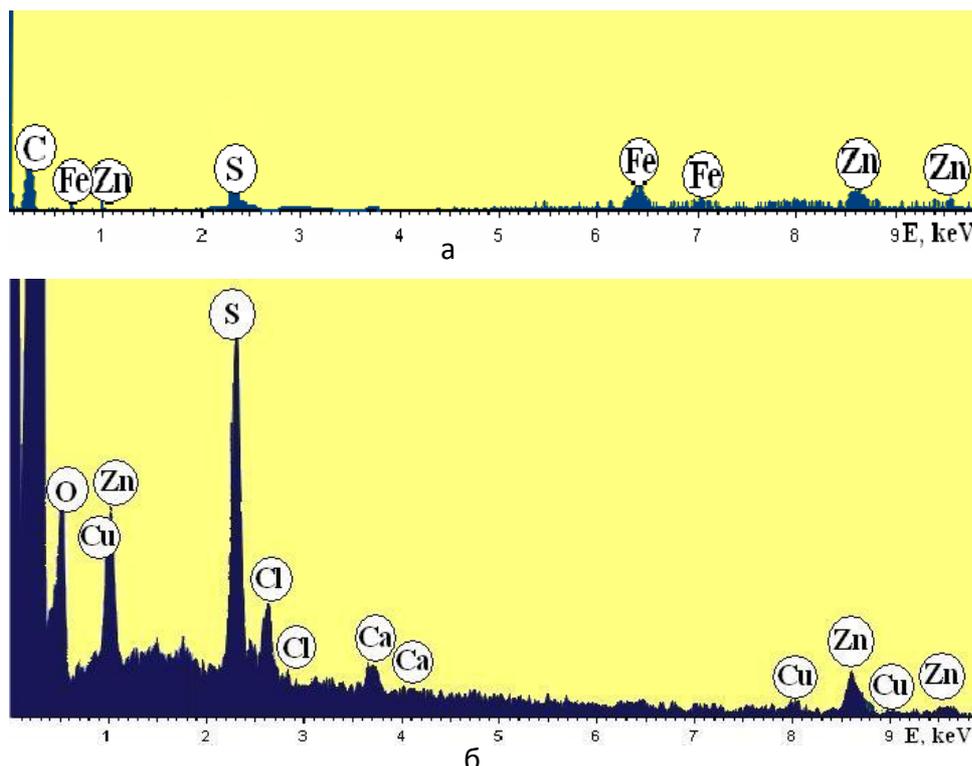


Рисунок 1. Суммарный спектр распределения элементов на поверхности резиновой крошки: а – неактивированная, б – механоактивированная.

Установлено, что механоактивация резиновой крошки приводит к появлению большего числа химических элементов на поверхности. Особенно важно, что выявлена миграция серы к поверхности резиновой крошки, что должно предполагать интенсификацию процессов на границе раздела фаз «резиновая крошка – битум».

Исследование влияния времени активации на вид и размеры резиновой крошки показало, что при активации происходит ее измельчение, на поверхности образуются следы механического воздействия в виде расслоения частиц (рис. 2), что должно повысить

площадь контакта с матрицей, в которую будет вводиться крошка. Проведенная статистическая обработка данных показывает, что после 3 минут активации в системе происходит усреднение размеров зерен.

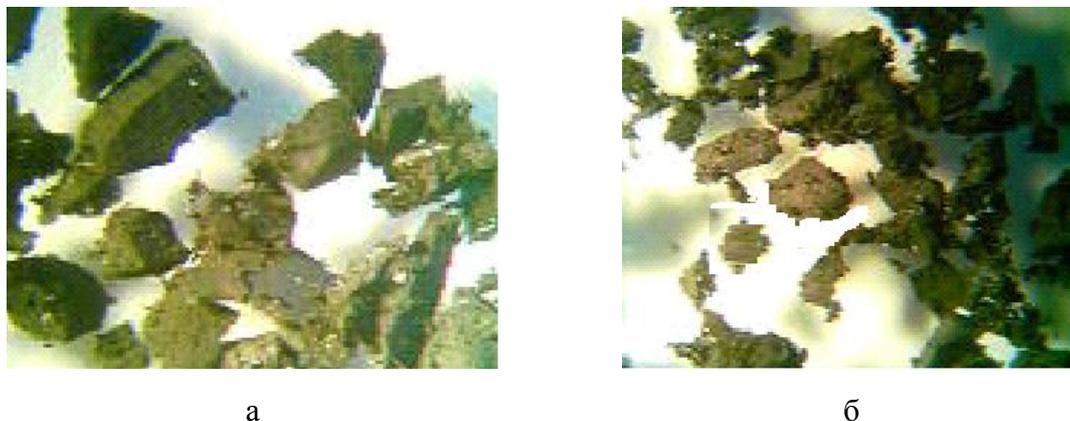


Рисунок 2. Поверхность резиновой крошки (оптический микроскоп МБС-10, увеличение $\times 8$): а – неактивированной, б – механоактивированной.

Методом однотоочечного БЭТ установлено, что механоактивация резиновой крошки в течение 2 мин приводит к увеличению удельной поверхности практически в 2 раза (неактивированная – $0,277 \text{ м}^2/\text{г}$, механоактивированная – $0,523 \text{ м}^2/\text{г}$).

Для приготовления асфальтобетона применялся битум марки БНД 90/130. В качестве модификатора битума применялась резиновая крошка из отработанных шин, полученная на режущей мельнице фирмы «Fritch» с использованием сита $0,25$, $0,50$ и $0,75 \text{ мм}$. В качестве добавки, улучшающей взаимодействие на границе раздела фаз «битум - резиновая крошка» применялась нанодисперсная шпинель магния, синтезированная в Институте твердого тела и механохимии (ИХТТМ) г. Новосибирск.

Для приготовления образцов была выбрана щебеночная мелкозернистая смесь типа «В» марки 2. Количество вводимой резиновой крошки назначалось в соответствии с «Рекомендациями по применению резиновой крошки в асфальтобетоне» [7] и составило 7% от массы битума.

В таблице 1 представлены результаты исследования прочностных показателей асфальтобетонных смесей.

Таблица 1 - Прочностные показатели асфальтобетонных смесей

Показатель Модификатор битума	Предел прочности асфальтобетона при сжатии, кН				Раскол при 0°C, кН
	при 20°C	при 50°C	при 0°C	водонасыщенных образцов при 20°C	
-	14,8	4,2	22,4	10,4	20,6
Резиновая крошка сито 0,25 мм	18,3	8,2	29,0	17,9	20,3
Резиновая крошка сито 0,50 мм	15,8	4,7	26,5	15,4	20,7
Резиновая крошка сито 0,75мм	9,7	1,5	14,0	10,2	18,0
Резиновая крошка сито 0,25 мм активированная	19,8	8,7	29,9	16,9	20,0
Резиновая крошка сито 0,50 мм активированная	18,0	10,2	28,8	16,2	20,9
Резиновая крошка сито 0,75 мм активированная	11,0	2,1	17,9	12,5	17,3
Резиновая крошка сито 0,75мм активированная + шпинель магния	21,5	10,8	30,3	22,4	21,8

Исследования зависимости влияния дисперсности резиновой крошки на прочностные характеристики показали, что в случае применения резиновой крошки, измельченной на сите 0,75 мм, не происходит улучшения свойств, в случае применения крошки с ситом 0,5 мм повышение предела прочности при сжатии достигает 15%, водонасыщенных образцов – до 32%. В случае дисперсности 0.25 мм улучшение достигает 23%, водонасыщенных образцов 42%. Таким образом, с уменьшением размера крошки свойства модифицированных ею асфальтобетонов улучшаются. Учитывая затраты на измельчение,

перспективно применение резиновой крошки, измельченной с применением сита 0,5 мм.

Применение механоактивированной резиновой крошки по сравнению с аналогичной композицией содержащей неактивированную резиновую крошку приводит к повышению предела прочности при сжатии до 12%, а для водонасыщенных образцов до 5%. Наилучшие результаты получены для композиции, содержащей резиновую крошку дисперсностью 0,75 мм, активированную совместно со шпинелью магния. В этом случае затраты на диспергирование резиновых отходов сравнительно малы, в то время как прочностные показатели улучшаются значительно. Так, повышение предела прочности при сжатии при температуре 50⁰С составило 62%, для водонасыщенных образцов 54%. Эти показатели значительно превышают значения, полученные для асфальтобетонов с неактивированной резиновой крошкой с меньшими размерами (табл. 1).

Заключение

Применение активированной смеси резиновой крошки и шпинели магния в качестве модификатора битума асфальтобетонных смесей наиболее целесообразно в природно-климатических условиях Севера, так как основной проблемой дорожного строительства Российского Севера является низкая трещиностойкость дорожного полотна, которая обусловлена подвижностью грунтов из-за наличия вечной мерзлоты, резких годовых (до 100 °С) и суточных (до 20 °С) перепадов температур. В этом случае повышенные прочностные свойства полученного модифицированного асфальтобетона в широком интервале температур могут предотвратить трещинообразование и повысить долговечность дорожного покрытия, что может компенсировать затраты на дополнительные технологические операции (механоактивация и добавление резиновой крошки в асфальтобетон) и дает возможность

применения этого материала в особо трудных и ответственных местах горных работ.

Таким образом, на основании проведенных исследований показана перспективность применения резиновой крошки из отходов шин для создания дорожных покрытий с улучшенными эксплуатационными свойствами, что позволяет рекомендовать их составы для строительства наиболее ответственных технологических дорог на горнодобывающих предприятиях, в т.ч. для углубочной зоны карьера. В данной работе для модификации резиновой крошки применен синтетический наполнитель, в дальнейших работах предполагается его замена на минеральные наполнители на основе местного сырья, которые будут переведены в высокоактивное состояние с помощью механоактивационных технологий.

Литература

1. Заровняев Б.Н., Гоголев И.Н., Акише Н.А. Новые способы и методы формирования рабочей зоны глубоких карьеров // Проблемы и пути эффективной отработки алмазонасных месторождений: Сборник тезисов докладов Международной конференции; Институт «Якутнипроалмаз». Мирный, 2011. С.31-32.
2. Сметанин В. И. Защита окружающей Среды от отходов производства и потребления. М.: Колос, 2003. 230 с.
3. Васильевская Г.В., Иванова Л.А. Повышение долговечности асфальтобетона путем модификации вяжущего полимерными добавками // Современные строительные материалы и ресурсосберегающие технологии. Труды НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2003. Т.6, №2 (23). С.203-207.
4. Разгон Д.Р. Переработка изношенных шин: состояние и перспективы // Твердые бытовые отходы. 2008. № 5. С. 12-15.
5. Охлопкова А.А., Адрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. 224 с.
6. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирков Е.Н. Активация минералов при измельчении. МПСНТ, вып. № 10. - Одесса: НПО «ВОТУМ», 2000.
7. Методические рекомендации по строительству асфальтобетонных покрытий с применением дробленой резины. Балашиха, 1985, 22с. ПреПринт. Союздор НИИ.