

УДК 665.775.4 : 625.85

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.Д.
ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»,
Ярославль, e-mail: gotovtsev_vm@mail.ru

Целью работы является разработка технологии производства асфальтобетона с повышенными эксплуатационными показателями. Показано, что решение этой задачи возможно путём использования эффекта структурирования связующего в пленках на зернах минеральной части асфальтобетонной смеси с получением структуры композита, близкой к идеальной. Сформулированы требования к структуре асфальтобетона для проявления эффекта структурирования. Экспериментально подтверждена возможность структурирования асфальтобетонной смеси при гранулировании минерального порошка с битумом методом окатывания с получением материала с принципиально новыми свойствами. Предложена технология производства асфальтобетонных смесей с использованием нового эффекта и приведены результаты испытаний образцов асфальтобетона. Полученный материал имеет повышенные показатели прочности, высокое сцепление и минимальное водонасыщение. Коэффициент водостойкости асфальтобетона близок к единице или превышает ее. Обоснована экономическая целесообразность практического использования нового материала.

Ключевые слова: дисперсная система, межфазный слой, силы межфазного взаимодействия, структурирование

STRUCTURING ASPHALT CONCRETE PRODUCTION TECHNOLOGY

Gotovtsev V.M., Shatunov A.G., Rummyantsev A.N., Sukhov V.D.
Yaroslavl state technical university, Yaroslavl, e-mail: gotovtsev_vm@mail.ru

The goal of this study is to develop the technology of producing an asphalt concrete with improved operational characteristics. It was shown that it can be achieved by using the structuring effect of a binder in films on the grains of the mineral part of the asphalt concrete mixture, which allows getting the nearly ideal composite structure. The requirements to asphalt concrete structure necessary for the structuring effect to appear were formulated. The possibility of asphalt cement structuring by granulating the mineral powder with bitumen using the roll briquetting method, resulting in obtaining a material with brand new properties, was experimentally confirmed. The asphalt concrete production technology with the use of a new effect was presented and sample asphalt concrete test results are shown. The obtained material has increased durability indices, high adhesion and minimal water saturation. The water saturation coefficient can be close to 1 or over 1. Practical use of the new material is proved economically efficient.

Keywords: disperse system, interface layer, interface interaction forces, structuring

В работе сформулированы принципы формирования структуры асфальтобетона, показаны механизмы реализации связей между дисперсными частицами композиционного материала и показано их влияние на эксплуатационные характеристики материала. Установлена роль асфальтовяжущего вещества, как активного компонента дисперсной системы, формирующей ее основные физико-механические показатели. Показано, что при определенном содержании битума и минерального порошка в асфальтовяжущем проявляется эффект структурирования, приводящий к резкому повышению взаимного притяжения частиц в дисперсной системе и существенному изменению свойств асфальтобетона.

Эффект структурирования обусловлен действием сил межмолекулярного притяжения (ван-дер-ваальсовых сил), проявляющихся в межфазных слоях. Действием этих сил объясняются многие поверхностные явления, связанные с возникновением поверхностного натяжения, капиллярные эффекты, смачивание твердых поверхностей жидкостями и т.д. В объемной жидкости (не под-

верженной поверхностным явлениям) картина распределения сил межмолекулярного притяжения и отталкивания симметрична и образует систему уравновешенных сил. В межфазном слое жидкости, граничащем с твердой поверхностью, происходит искажение этой картины, появляются дополнительные силовые факторы, приводящие к возникновению градиентов параметров состояния среды, таких как, плотность, вязкость, давление, и существенно изменяющих свойства жидкости. Наибольшие изменения возникают на границе раздела фаз и уменьшаются по толщине межфазного слоя, исчезая в объемной (невозмущенной) жидкости. Толщина межфазного слоя определяется радиусом дальнего действия сил молекулярного притяжения жидкости.

Таким образом, для проявления эффекта структурирования в дисперсной системе необходимо, чтобы толщины жидкостных прослоек между твердыми частицами были не более толщины жидкостного межфазного слоя. Применительно к асфальтобетону это условие будет сводиться к равномерному распределению малых объемов битума

в массе минерального порошка. При этом каждая частица минерального порошка должна быть смочена битумом по всей поверхности. По данным, приведенным в работе [1], эффект структурирования проявляется в бинарной системе «минеральный порошок – битум» при содержании битума не более 13 % по массе. Решение подобной задачи нереально в условиях существующей технологии получения асфальтобетонной смеси, когда битум вводится в полный объем минеральной части, содержащей щебень, песок и минеральный порошок.

При хаотичном расположении частиц минерального порошка в асфальтовяжущем невозможно добиться равномерного распределения битума в объемах, соизмеримых с размерами частиц порошка. Для получения смачивающих пленок вокруг каждой частицы порошка примерно одинаковой толщины необходимо упорядоченное расположение частиц в структуре асфальтовяжущего. На рис. 1 показаны две частицы крупной фракции асфальтобетонной смеси с оболочками асфальтовяжущего вокруг них.

Создание условий для получения упорядоченной структуры минерального порошка в асфальтовяжущем на первый взгляд представляется весьма проблематичным. Однако известен технологический прием, который позволяет решить эту проблему. Такой технологический прием носит название метода гранулирования окатыванием [3]. Он широко используется в промышленных масштабах для получения гранулированных минеральных удобрений. Гранулирование окатыванием осуществляют во вращающихся барабанных грануляторах. Гранулируемый порошокобразный материал вводят в рабочий объем аппарата и смачивают небольшим количеством связующего материала. В процессе движения материала вдоль стенок барабана он смачивается и образует агломераты частиц, на которые накатываются зерна порошка с получением гранул округлой формы. Рост гранул происходит вследствие попеременного ввода порошокобразной фракции и связующего в массу обрабатываемого материала.

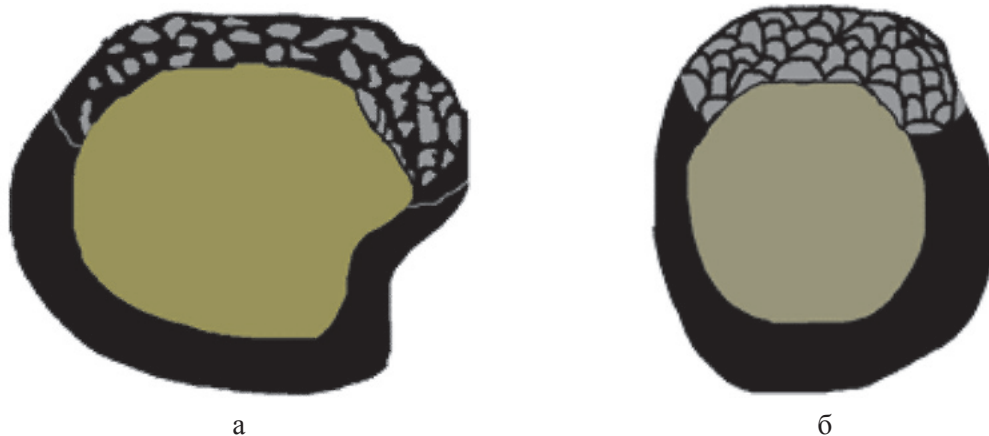


Рис. 1. Структура асфальтовяжущего на частице крупной фракции асфальтобетона:
а – хаотичное расположение частиц минерального порошка;
б – упорядоченное расположение частиц

Формирование упорядоченной структуры дисперсного материала в грануле обусловлено характером действующих на частицы сил в процессе образования и роста гранулы. Зерна гранулируемого порошка в процессе движения контактируют с поверхностью растущих гранул. В ходе такого контакта возможны два исхода:

- а) частица порошка прилипла к смоченной поверхности гранулы;
- б) частица порошка вошла в контакт с гранулой, но была сорвана с ее поверхности движущимся материалом.

Реализация того или иного исхода зависит от значений действующих на зерно порошка сил. Здесь следует выделить два вида сил:

силы, стремящиеся сорвать частицу со смоченной поверхности гранулы; силы, удерживающие частицу на поверхности. Соотношением этих сил определяется исход контакта зерна минерального порошка и гранулы.

Силы первого вида – это динамические силы, возникающие в результате движения материала в объеме барабана. Значения этих сил зависят от режима движения барабана, его диаметра, уровня загрузки барабана материалом, свойств обрабатываемого материала и многих других факторов. Удерживающие силы обусловлены действием межмолекулярного вандер-ваальсового притяжения. Значения этих сил зависят от свойств смачивающей жидкости и характера

взаимодействия жидкой и твердой фаз дисперсной системы. Как указывалось выше, силы межмолекулярного притяжения изменяются в пределах толщины межфазного слоя и достигают максимального значения на границе раздела твердой и жидкой фаз. С удалением от границы взаимодействие ослабевает и на границе контакта межфазного слоя с объемной фазой жидкости становится равным взаимодействию молекул в объемной фазе. В этой области особые свойства жидкости не проявляются.

Таким образом, значение удерживающей межфазной силы будет зависеть от толщины смачивающего слоя и площади контакта частицы порошка с гранулой. При этом, чем меньше толщина смачивающего слоя, тем сильнее будет притягиваться зерно порошка к образовавшейся грануле. Значение силы ванн-дер-ваальсового притяжения будет равно произведению напряжения на площадь контакта частицы порошка и гранулы. При недостаточной площади контакта частица порошка будет сорвана с поверхности растущей гранулы, а при хорошем контакте войдет в ее состав. Именно этим обеспечивается упорядоченное строение структуры материала гранулы.

Степень структурирования материала, т.е. толщина жидкостных прослоек между частицами порошка, поддается регулированию изменением режимов работы гранулятора. Важная особенность гранулирования методом окатывания состоит в том, что процесс накатывания гранул при заданном режиме работы гранулятора позволяет автоматически регулировать соотношение твердой и жидкой фаз в структуре гранулы,

т.е. получать материал с заданной степенью структурирования. Увеличение содержания связующего в материале сверх номинального количества приводит к образованию конгломератов гранул и нарушению процесса. При недостаточном количестве связующего резко возрастает время процесса, выходя за рамки экономической целесообразности. Таким образом, само наличие гранул, полученных при определенном режиме работы гранулятора, гарантирует получение материала со строго определенными свойствами.

Использование описанной технологии позволило получить гранулированное асфальтовязующее на основе доломитовой муки с содержанием битума БНД 60–90 13,6% со следующими свойствами: водонасыщение – 0,3%; плотность – $2,23 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; предел прочности на сжатие при 20°C – 9,00 МПа; предел прочности на сжатие при 50°C – 3,10 МПа; коэффициент водостойкости – 1,03. Асфальтовязующее того же состава, полученное простым смешением в лабораторном асфальтосмесителе, обеспечивает прочность образцов асфальтобетона 1,08 МПа, что является неоспоримым доказательством проявления эффекта структурирования материала.

Образцы асфальтобетона, полученные из гранулированного асфальтовязующего, имеют глянцевую, резиноподобную поверхность. Это позволило авторам использовать асфальтовязующее для формирования облицовочной плитки, которая может быть использована для облицовки и гидроизоляции цоколей зданий. На рис. 2 показано гранулированное асфальтовязующее, образец асфальтобетона и облицовочная плитка.

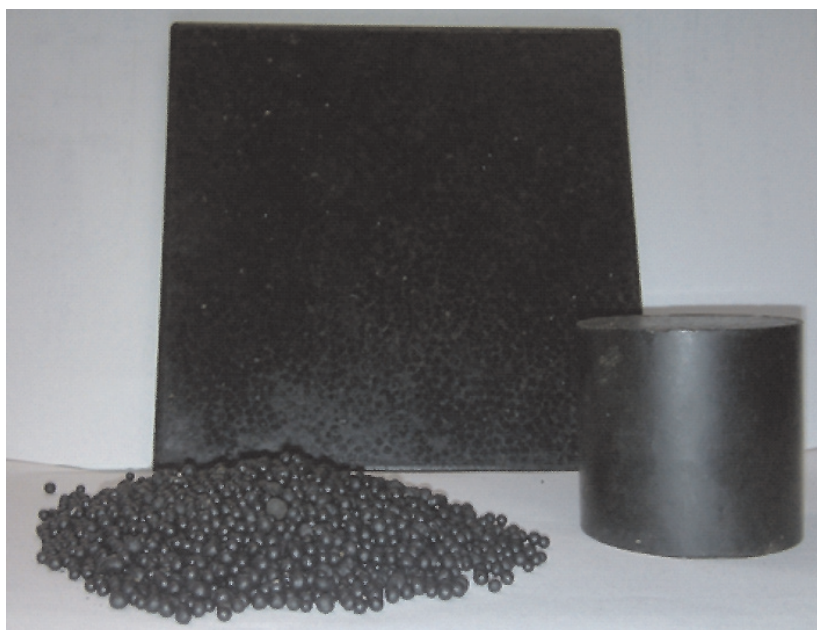


Рис. 2. Гранулированное асфальтовязующее и изделия из него

Проанализируем показатели свойств асфальтобетона, приведенные выше. Прежде всего, отметим, что полученный материал является практически монолитным. Его водонасыщение составляет всего 0,3%. Такой результат имеет простое объяснение: разогретые гранулы обладают высокой степенью пластичности, что позволяет при уплотнении практически избежать образования пустот в структуре композита. Отметим еще один интересный результат. Коэффициент водостойкости материала больше единицы, т.е. материал в водонасыщенном состоянии обладает более высокой прочностью, чем в сухом. Этот эффект пока не нашел более и менее правдоподобного объяснения и связан с особенностями строения структурированного материала. Приведенные данные позволяют говорить о создании материала, свойства которого принципиально отличаются от свойств типового асфальтобетона, в связи с чем рассмотренное техническое решение было защищено патентом РФ [4].

Несмотря на отмеченные достоинства, рассмотренный материал не имеет шансов на широкое практическое использование в дорожном строительстве. Себестоимость такого материала достаточно высока, в связи со значительным содержанием битума. Одним из способов снижения себестоимости асфальтобетона является использование в его составе крупных фракций минеральной части асфальтобетонной смеси. В этом случае материал представляет собой гранулы, ядрами которых являются крупные частицы, например, высевки щебня, а асфальтовязующее образует вокруг ядра оболочку, полученную методом окатывания. В этом случае, как и ранее, асфальтовязующее обладает всеми свойствами структурированного композита. Толщина оболочки асфальтова-

жущего определяется из условия обеспечения необходимого значения водонасыщения асфальтобетона.

Полученный таким образом гранулированный материал представляет собой готовую асфальтобетонную смесь, пригодную для укладки в дорожное полотно. Использование крупных фракций в качестве ядер гранул позволяет снизить содержание асфальтовязующего в асфальтобетонной смеси и довести содержание битума в ней до 3–5%. Кроме того, использование крупных частиц в качестве зародышей гранул, позволяет повысить производительность процесса гранулирования в 3–4 раза в сравнении с процессом гранулирования без зародышей. При использовании высевок дробления горных пород, стоимость которых невелика, в качестве крупной фракции асфальтобетона можно получить материал, себестоимость которого будет на 30–50% ниже себестоимости типового асфальтобетона.

Приведем результаты испытаний образцов асфальтобетона, полученных из гранулированной асфальтобетонной смеси. Свойства такой смеси во многом будут определяться сцеплением структурированного асфальтовязующего с поверхностью каменного материала. В связи с этим в число определяемых при испытании показателей были введены показатели сдвигоустойчивости [2]. Кроме того, был использован менее вязкий битум, так как описанный ранее материал обладал повышенной жесткостью, что создавало проблемы при уплотнении асфальтобетона.

Состав асфальтобетонной смеси: высевки гранитного щебня фракции 3–5 мм – 62,9%; доломитовая мука – 32,54%; битум дорожный БНД 90-130 – 4,56%.

Показатели свойств асфальтобетона сведены в таблицу.

Наименование показателей	Единица измерения	Показатели гранулированной а/б смеси	Требования ГОСТ 9128-2009
Плотность	г/	2,51	–
Водонасыщение	%	4,3	1,5–4,0
Предел прочности при сжатии при 50°C	МПа	1,6	не менее 1,2
Предел прочности при сжатии при 20°C	МПа	6,8	не менее 2,5
Сдвигоустойчивость: коэффициент внутреннего трения; сцепление при сдвиге при 50°C	– МПа	0,81 0,58	не менее 0,81 не менее 0,37
Коэффициент водостойкости	–	0,92	0,90

Анализ приведенных данных показывает, что большинство показателей асфальтобетона значительно превышает требования ГОСТ 9128-2009 [5] к плотной мелкозернистой смеси (тип Б марка I). Испытанные

образцы имеют достаточно высокое водонасыщение, обусловленное тем, что образцы формовались из гранул практически одинакового размера. Подбором надлежащего грануляционного состава можно достичь

требуемого значения водонасыщения. Отметим еще одну особенность нового материала, подтвержденную экспериментально. Прочностные показатели образцов асфальтобетона, полученных уплотнением гранул в нагретом до 130°C состоянии и при комнатной температуре, отличаются незначительно (на 20–25%). Этот факт не исключает возможности холодной укладки материала в дорожное полотно.

Формирование плотной структуры материала из гранулированного продукта обеспечивается деформацией пластичной оболочки асфальтовяжущего в процессе уплотнения материала. Известно, что объем порозностей в плотной упаковке монодисперсных сферических частиц составляет примерно 25% от общего объема. В соответствии с этим для создания плотной упаковки гранул в асфальтобетоне необходимо, чтобы объем асфальтовяжущего на каждой частице составлял не менее 25% от общего объема материала. При таком соотношении возможно создание практически монолитного материала.

Подводя итог сказанному, можно сформулировать следующие выводы.

1. Разработан принципиально новый вид асфальтобетона на основе структурирования асфальтовяжущего и технология его производства. Повышенные показатели эксплуатационных свойств материала обусловлены проявлением внутренних свойств материалов, составляющих асфальтобетонную смесь.

2. Стоимость материала на 30–40% ниже стандартного асфальтобетона.

3. Имеется возможность регулирования степени структурирования асфальтовяжущего в асфальтобетоне (а следовательно, и свойств дорожного покрытия) в достаточно широких пределах путем изменения режимов гранулирования.

4. Гранулированный продукт является готовой асфальтобетонной смесью. Он не склонен к слеживанию и может длительное время храниться под открытым небом. Этот факт позволяет заготавливать материал впрок в зимнее время, обеспечивая круглогодичный режим работы асфальтобетонных заводов.

5. Допускается возможность холодной укладки материала в дорожное полотно.

6. Резко снижаются требования к прочностным показателям крупных фракций

минеральной части асфальтобетона вплоть до возможности использования в качестве основы материала различных промышленных отходов.

В заключение отметим, что приведенные в работе данные представляют собой результаты лабораторных исследований, проведенных на базе имеющегося в высшем учебном заведении оборудования. Наработка партий материала, достаточных для укладки в дорожное полотно и проведения представительных натуральных испытаний, в этих условиях не представляется возможной. Дальнейшее продвижение технологии требует значительных инвестиций, в связи с чем приглашаем всех заинтересованных лиц к взаимовыгодному сотрудничеству.

Список литературы

1. Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Изд-во по строительству, 1971. – 255 с.
2. Кирюхин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний. – М.: Информавтодор. Автомобильные дороги и мосты. Обзорная информация. Вып. 6, 2005. – 89 с.
3. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
4. Патент РФ №2182136, 10.05.2002.
5. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. ГОСТ 9128-2009.

References

1. Gezencvej L.B. Asfaltovyj beton iz aktivirovannyh mineralnyh materialov., M.: Izd-vo po stroitelstvu, 1971. p. 255.
2. Kirjuhin G.N. Proektirovanie sostava asfaltobetona i metody ego ispytaniy., M.: Informavtodor. Avtomobilnye dorogi i mosty. Obzornaja informacija. no.6, 2005., p. 89.
3. Klassen P.V., Grishaev I.G. Osnovy tehnik granulirovaniya., M.: Himija, 1982., p. 272.
4. Patent RF №2182136, 10.05.2002.
5. Smesi asfaltobetonnye dorozhnye, ajerodromnye i asfaltobeton. GOST 9128–2009.

Рецензенты:

Епархин О.М., д.т.н., профессор, директор Ярославского филиала ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Ярославль;

Бачурин В.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей и прикладной математики Ярославского филиала ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Ярославль.

Работа поступила в редакцию 06.09.2012.