

УДК 625.878.06 (571.17)

*ИВАНОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ассистент,
altai-serg@mail.ru
ШАБАЕВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
shsn-22@mail.ru
Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАДИЙНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ РЕЗИНОБИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ИХ СВОЙСТВА

Проведены исследования по влиянию стадийности технологического процесса приготовления резинобитумного вяжущего на физико-химические свойства. Поставлен эксперимент, в ходе которого сравнивали процесс приготовления вяжущего при различных технологических параметрах. Установлено, что оптимально приготавливать композиционное резинобитумное вяжущее в две стадии с предварительным получением концентрированной суспензии резинобитумного композита. При заданном режиме термомеханического воздействия вяжущее обладает наилучшими физико-химическими свойствами. Увеличение числа стадий введения резиновой крошки в процессе получения концентрированной суспензии резинобитумного композита ведет к ухудшению свойств конечного продукта.

Ключевые слова: стадийность; технология получения; резинобитумное вяжущее; концентрированная суспензия.

*SERGEY A. IVANOV, Assistant Lecturer,
altai-serg@mail.ru
SERGEY N. SHABAEV, PhD, A/Professor,
shsn-22@mail.ru
Kuzbass State Technical University,
28, Vesennyya St., 650000, Kemerovo, Russia*

PRODUCTION METHOD STAGING EFFECT ON PROPERTIES OF COMPOSITE BITUMINOUS BINDERS

The paper presents the staging effect of bituminous binder production method on physical and chemical properties. The experiment allows comparing the binder production process at various technological parameters. It is shown that a two-stage process with the preliminary production of concentrated suspension of composite bituminous binder is the optimum. Under the given conditions of thermomechanical treatment, this binder possesses the best physicochemical properties. The increase in the number of stages of rubber crumb introduction during the production of concentrated suspension leads to deterioration in bituminous binder properties.

Keywords: staging; production method; bituminous binder; concentrated suspension.

Так как на сегодняшний день в силу сложившихся обстоятельств в России широко распространено производство окисленных битумов, качество которых не позволяет эффективно их применять в дорожном хозяйстве, разработано достаточно большое количество способов их модификации различными полимерами. Одним из таких способов является модификация битумов резиновой крошкой изношенных автомобильных шин, что обусловлено не только стремлением повысить качество битумов, но и параллельно решением вопроса эффективной утилизации шинных отходов.

Несмотря на большое число исследований, посвященных решению данного вопроса, способы модификации могут быть сгруппированы в две группы:

- 1) путем введения резиновой крошки в сухом состоянии («сухой» способ);
- 2) путем введения резиновой крошки в битум с последующим ее растворением («мокрый» способ).

Первая группа подразумевает введение резиновой крошки непосредственно в минеральные смеси в процессе перемешивания [1]. Однако практический опыт показал, что материалы, полученные таким способом, оказались, вопреки ожиданиям, недолговечными [2].

Вторая группа, получившая наибольшее распространение, характеризуется получением резинобитумных вяжущих, которые вводятся в минеральные смеси вместо битумов. При этом большая часть исследователей предлагают вводить резиновую крошку сразу в полном объеме [3–7], в то время как некоторые из них предлагают сначала пластифицировать резиновую крошку, а затем уже добавлять ее в вяжущее [6, 8–10].

В ходе многочисленных экспериментов было установлено, что наиболее рациональными технологическими параметрами получения композиционных резинобитумных вяжущих, состоящих из битума, масла-пластификатора и резиновой крошки изношенных автомобильных шин, являются температура $(230 \pm 5)^\circ\text{C}$ и время смешения 2,15–2,45 ч. При этом наблюдаются достаточные для процесса модификации битумов пластификация и частичное растворение резиновой крошки, что ведет к получению продукта, обладающего улучшенными физико-химическими свойствами по сравнению с исходным битумом.

Однако было отмечено, что на свойства композиционных резинобитумных вяжущих также оказывает значительное влияние стадийность процесса их получения. Хотя отдельные авторы предлагают осуществлять предварительную пластификацию резиновой крошки в масле, от повторения подобного опыта было решено отказаться, т. к. необходимое для пластификации резиновой крошки большое количество масла ведет к чрезмерному снижению вязкости конечного продукта, что оказывает негативное влияние на такой важный показатель, как температура размягчения по методу «Кольцо и шар». Несмотря на то что многие авторы не уделяли должного внимания возможной стадийности получения композиционных резинобитумных вяжущих, практический опыт показал, что единовременное (одностадийное) смешение всех компонентов может привести к недоиспользованию потенциала резиновой крошки как модификатора битума, по сравнению со способом, подразумевающим разделение процесса на несколько стадий.

Чтобы дать объективную оценку влияния стадийности технологического процесса получения композиционных резинобитумных вяжущих на их свойства, был поставлен соответствующий эксперимент:

1. В первом случае (базовый способ) композиционное резинобитумное вяжущее заданного состава было приготовлено в одну стадию, характеризующуюся тем, что все компоненты были загружены в один реакционный котел с выдерживанием при постоянном перемешивании при заданных температуре и времени.

2. По второму способу было принято решение получить композиционное резинобитумное вяжущее при использовании стадийного процесса. Суть состояла в том, что способ получения разделен на две стадии и заключается в предварительной термомеханической обработке резиновой крошки в количестве 37,5 % в среде битума в количестве 50 % и нефтяного масла в количестве 12,5 % с получением концентрированной суспензии резинобитумного композита с последующим термомеханическим смешением концентрированной суспензии резинобитумного композита в количестве от 52 % с битумом в количестве 48 %.

3. Третий способ характеризовался получением композиционного резинобитумного вяжущего подобно второму варианту с тем отличием, что резиновая крошка вводилась частями. Суть метода заключается в том, что в среду битума в количестве 50 % и нефтяного масла в количестве 12,5 %, нагретую в битумном котле при постоянном перемешивании до температуры $(230 \pm 5)^\circ\text{C}$, добавляют резиновую крошку размером до 1 мм, имеющую температуру, соответствующую температуре окружающей среды, в количестве 12,5 %, смесь непрерывно перемешивают в течение 20–30 мин, повторно добавляют резиновую крошку в количестве 12,5 %, смесь непрерывно перемешивают в течение 40–50 мин, еще добавляют резиновую крошку в количестве 12,5 %, смесь непрерывно перемешивают в течение 70–80 мин с образованием концентрированной суспензии резинобитумного композита. Непосредственно после получения в концентрированную суспензию резинобитумного композита в количестве 52 % добавляют битум в количестве 48 %, имеющий температуру от 80 до 170°C , отключают нагревательные элементы и смесь окончательно перемешивают в течение 10–15 мин с получением композиционного резинобитумного вяжущего.

4. По четвертому способу было принято решение увеличить концентрацию резиновой крошки в концентрированной суспензии резинобитумного композита. Так как ввести резиновую крошку в один прием в данном случае не представляется возможным, то было принято решение вводить ее в состав частями по аналогии с третьим вариантом. При этом соотношение компонентов в концентрированной суспензии резинобитумного композита было принято: резиновая крошка: масло-пластификатор: битум = 3:1: 3.

5. Последний способ повторяет четвертый с той разницей, что резиновая крошка вводилась в состав в пять стадий.

После получения композиционных резинобитумных вяжущих по каждому варианту производилась оценка их физико-химических свойств. Результаты исследований приведены в таблице.

Физико-химические свойства композиционных резинобитумных вяжущих, полученных различными способами

№ способа получения	Физико-химические свойства									
	П25	П0	Д25	Д0	Э25	Э0	КиШ	Хр	ΔКиШ	ΔМ
	Исходный битум БНД 60/90									
–	61	26	71	2,9	–	–	53	–19	2	0,11
	Композиционное резинобитумное вяжущее									
Способ 1	44	19	13,0	7,5	86	80	58	–24,5	8	0,57
Способ 2	57	25	10,3	8,0	85	78	68	–25,0	–1	0,59
Способ 3	47	20	12,1	7,1	91	83	64	–25,0	2	0,62
Способ 4	40	26	10,1	7,4	91	78	67	–24,5	–1	0,56
Способ 5	43	22	11,0	6,3	88	86	64	–21,0	2	0,55

Примечание. П25 – глубина проникания иглы при температуре 25 °С, доли мм; П0 – глубина проникания иглы при температуре 0 °С, доли мм; Д25 – растяжимость при температуре 25 °С, см; Д0 – растяжимость при температуре 0 °С, см; Э25 – эластичность при температуре 25 °С, %; Э0 – эластичность при температуре 0 °С, %; КиШ – температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °С; ΔКиШ – изменение температуры размягчения по методу «Кольцо и шар» после прогрева, °С; ΔМ – изменение массы после прогрева, %; Хр – температура хрупкости.

Анализ полученных данных позволяет сделать несколько важных выводов:

1. Если приготавливать композиционное резинобитумное вяжущее в одну стадию (путем единовременного смешения всех компонентов), то времени термомеханического воздействия, составляющего 2,15–2,45 ч, необходимого для пластификации и частичного растворения резиновой крошки, явно недостаточно. Это характеризуют такие показатели, как глубина проникания иглы и изменение температуры размягчения по методу «Кольцо и шар» после прогрева (фактические значения сопоставимы с численными значениями, характерными для композиционных резинобитумных вяжущих, полученных по второму способу при времени термомеханического воздействия 1,5–2,0 ч). Обусловлено это, скорее всего, тем, что резиновые частицы набухают и растворяются, прежде всего, за счет легких углеводородов, преимущественно ароматической группы, количество которых на единицу объема при приготовлении по первому способу значительно меньше, чем при других представленных способах. Это ведет к необходимости более длительного термомеханического воздействия на резиновую крошку по первому способу, по сравнению с другими, что, безусловно, негативно скажется на производительности установок по получению композиционных резинобитумных вяжущих. Кроме того, известно, что чем более длительное высокотемпературное воздействие на битум оказывается, тем больше он окисляется, а значит, материалы, полученные на его основе, потенциально будут иметь более низкий срок службы, чем материалы, полученные на основе исходного битума.

2. Если приготавливать композиционное резинобитумное вяжущее в две стадии с предварительным получением концентрированной суспензии резинобитумного композита (второй способ), то при заданном режиме термомеханическо-

го воздействия вяжущее обладает наилучшими физико-химическими свойствами. Увеличение числа стадий введения резиновой крошки в процессе получения концентрированной суспензии резинобитумного композита (способ 3 относительно способа 2 или способ 5 относительно способа 4) ведет к ухудшению свойств конечного продукта (падают значения глубины проникания иглы, температуры размягчения по методу «Кольцо и шар», возрастает показатель изменения температуры размягчения по методу «Кольцо и шар» после прогрева). Обусловлено это, вероятно, тем, что часть резиновой крошки, которая была введена в первую очередь, достаточно хорошо набухает и растворяется, в то время как пластификация и растворение резиновой крошки, введенной позже, проходит в меньшем объеме. Важно отметить, что данные способы (второй – пятый) подразумевают длительное высокотемпературное воздействие лишь на 20–30 % битума от всего его объема, содержащегося в композиционном резинобитумном вяжущем, т. е. с точки зрения негативного процесса окисления вяжущего двухстадийный способ является более «щадящим», чем одностадийный.

3. Увеличение объема резиновой крошки в концентрированной суспензии резинобитумного композита (способы 4 и 5 относительно способов 2 и 3) в целом не ведет к изменению физико-химических свойств композиционных резинобитумных вяжущих (за исключением глубины проникания иглы при температуре 25 °С), однако с технологической точки зрения менее предпочтительно, т. к. резиновые частицы плохо смачиваются, особенно на первых этапах, и слипаются.

Таким образом, наиболее предпочтительным для достижения наилучших физико-химических свойств и технологичным способом получения композиционных резинобитумных вяжущих является двухстадийный процесс, заключающийся в предварительной термомеханической обработке при температуре $(230 \pm 5)^\circ\text{C}$ и времени воздействия 2,15–2,45 ч резиновой крошки в среде битума и нефтяного масла с получением концентрированной суспензии резинобитумного композита с последующим термомеханическим смешением концентрированной суспензии резинобитумного композита с битумом в течение 10–15 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руденская, И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М. : Транспорт, 1984. – 226 с.
2. Петов, Н.А. Оценка накопления изношенных покрышек в регионах России / Н.А. Петов // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 11. – С. 50–52.
3. Хойберг, А.Дж. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки) / А.Дж. Хойберг. – М. : Химия, 1974. – 248 с.
4. Пат. № 2007113596/04, 11.04.2007. Российская Федерация. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / Алексеенко В.В., Кижняев В.Н., Верещагин Л.И. [и др.]. – 2007, № 2327719, Бюл. № 18.
5. Пат. № 2002108223/032002108223/03, 01.04.2002. Российская Федерация. Способ получения битумной мастики / Радица Т.Н., Свергунова Н.А., Аполинская О.И. – 2004, № 2223292, Бюл. № 18.
6. Галдина, В.Д. Модифицированные битумы / В.Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2009. – 219 с.
7. Fisher, K. Die constitution von Bitumen / K. Fisher, A. Schram // Erdol u. Kohle. – 1959. – V. 12. – № 5. – P. 368.

8. *Walther, H.* Kautschukzusätze zu Bitumen / H. Walther // Bitumen, Teere, Asphalte, Pechе und verwandte stoffe. – 1964. – V. 12. – № 3 – P. 104.
9. *VanDerBie.* Rubber for Roadway Purposes, Proceedings 8 / VanDerBie // Congress Permanent international Association of Roads Congress, report. – 1938. – № 13.
10. *Adrian, A.* Time-temperature superposition in rheology and ductile failure of asphalt binders / A. Adrian, A.M. Simon // International Journal of Pavement Engineering. – 2009. – V. 10. – № 4. – P. 229–240.

REFERENCES

1. *Rudenskaya I.M., Rudenskiy A.V.* Organicheskie vyazhushchie dlya dorozhnogo stroitel'stva [Organic binders for road construction]. Moscow : Transport Publ., 1984. 226 p. (rus)
2. *Petov N.A.* Otsenka nakopleniya iznoshennykh pokryshek v regionakh Rossii [Evaluation of accumulation of worn-out tyres in Russia]. *Municipal Solid Waste*. 2008. No. 11. Pp. 50–52. (rus)
3. *Hoiberg A.J.* Bitumnye materialy (asfal'ty, smoly, peki) [Bituminous materials]. Moscow : Khimiya Publ., 1974. 248 p. (transl. from Engl.)
4. *Alekseenko V.V., Kizhnyayev V.N., Vereshchagin L.I.* Bitumno-rezinovaya kompozitsiya i sposob ee polucheniya [Bituminous and resin composition and its production]. Pat. Rus. Fed. N 2327719. Publ. 11.04.2007, Bul. No. 18. 7 p. (rus)
5. *Radina T.N., Svergunova N.A., Apolinskaya O.I.* Sposob polucheniya bitumnoy mastiki. Pat. Rus. Fed. N 2223292. Publ. 10.08.2004, Bul. No. 18. 8 p. (rus)
6. *Galdina V.D.* Modifitsirovannye bitumy [Modified bitumens]. Omsk: SibADI Publ., 2009. 219 p. (rus)
7. *Fisher K., Schram A.* Die constitution von Bitumen, Erdöl u. Kohle. 1959. V. 12. No. 5. 368 p.
8. *Walther H.* Kautschukzusätze zu Bitumen; Bitumen, Teere, Asphalte, Pechе und verwandte stoffe. 1964. V. 12. No. 3. 104 p.
9. *VanDerBie.* Rubber for roadway purposes. *Proc. 8th Congress 'Permanent International Association of Roads'*. 1938. No. 13.
10. *Adrian A., Simon A.M.* Time-temperature superposition in rheology and ductile failure of asphalt binders. *International Journal of Pavement Engineering*. 2009. V. 10. No. 4. Pp. 229–240.