

Администрация
Департамента
транспорта США

Публикация № FHWA-SA-94-069
Федеральные трассы
Июль 1994

Справочные данные по методам тестирования Битумных вяжущих Суперпейв(Superpave) в США

НАЦИОНАЛЬНЫЙ АСФАЛЬТОВЫЙ УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

ПРОЕКТ 101

Инновации

ВНИМАНИЕ

Этот документ распространяется под эгидой Министерства транспорта США в интересах обмена информацией. Эта публикация не представляет собой стандарт, спецификацию или предписание.

Данное руководство представляет собой первое официальное учебное пособие, которое включает в себя полный перечень тестов Суперпейв(Superpave), описание лабораторного оборудования, технику проведения исследований битумных вяжущих. Разработанные тесты и методики представляют собой результат 5-летних научных изысканий по Программе исследований шоссейных дорог (SHRP), включающих изучение и улучшение технологии производства асфальта. Данное руководство было разработано в соответствии с программой Национального Асфальтового Учебного центра в ФДА. Студенты, посещающие центр пользуются этим руководством, для того чтобы лучше понять основы теории исследования асфальтобетона, а также получают практические навыки по выполнению каждого из новых тестов.

Термины

Асфальтобетон, вяжущее, реометр динамического сдвига, реометризгиба образца-брускабитума, камерастарения под давлением, устройство прямогонатяжения, PG-стандарты эксплуатационных качеств битумов.

Этот документ доступен общему пользованию и находится в Национальном Сервисе технической информации, Спрингфилде, штат Вирджиния 221 61.

ПРЕДИСЛОВИЕ

С октября 1987 по март 1993 года по Программе стратегических исследований шоссейных дорог (SHRP) было потрачено 50 миллионов долларов на изучение и разработку новых способов тестирования битумных вяжущих. При завершении этой программы исследований SHRP, в работе приняло активное участие Федеральное управление шоссейных дорог. Неотъемлемой частью стратегии внедрения этих исследований стал организованный Федеральным управлением общедоступный национальный учебный центр. Цель, которую при этом преследовало Агентство, заключалась в переходе на новый стандарт Суперпейв (Superpave) и правильном использовании его и применении в производстве битумных вяжущих и асфальтобетона. Этот проект был передан в ведение Управления ФДА и технически был реализован посредством пилотного проекта 101 в Национальном учебном центре Асфальта (NATC). NATC находится в Исследовательском центре асфальта в Институте Лексингтона, штат Кентукки. Деятельность NATC в основном сконцентрирована на разработке учебных курсов преподавателями института и техническим персоналом, возглавляемым группой инженеров и технологов из лаборатории исследования Асфальта Университета штата Пенсильвания, Университета штата Техас в Остине, Национального центра по исследованию технологии Асфальта, Marathon Oil Company и FHWA .

Основной задачей образовательной программы является обучение студентов в области практического применения методов тестирования Суперпейв(Superpave) асфальта. Она состоит из двух частей: Суперпейв(Superpave) технологии анализа битумных вяжущих и готовых смесей асфальта.

Настоящее руководство представляет собой учебник для студентов и используется в качестве основы для 40 часового курса обучения Суперпейв(Superpave) технологии анализов битумного вяжущего. Основной целью данной образовательной программы является обучение студентов правильному применению новых методов испытаний вяжущего Суперпейв (Superpave) и использованию необходимого для этого оборудования. Другой ключевой задачей является привитие студентам навыков применения и правильной интерпретации методов тестирования Суперпейв(Superpave) для анализа вяжущего. В целом программа обучения студентов составляет 40 часов, из которых, восемь часов аудиторных занятий, 28 часов лабораторного обучения и четыре часа практических занятий. К концу курса студенты должны приобрести навыки проведения тестов с битумами, научиться использовать результаты испытаний для классификации связующих в соответствии с методами тестирования Суперпейв(Superpave). Авторы постарались представить информацию в удобном для понимания виде. Руководство было написано для техников-лаборантов и инженеров, не имеющих профессиональной подготовки в методах тестирования Суперпейв(Superpave), но имеющих некоторые знания в области технологии производства асфальта. Другая часть учебного пособия состоит из описания методов испытаний AASHTO и включает рисунки, на которых приведен упрощенный набор алгоритмов, помогающих облегчить изучение битумов.

Результаты тестов Суперпейв(Superpave) и данные спецификаций представлены в единицах

измерений системы СИ. Исключением из этого является некоторое оборудование и программы испытаний, в которых указаны английские единицы измерений. Исследователи NATC не могут контролировать производство этих продуктов, но призывают разработчиков программного обеспечения приложить усилия по стандартизации их в системе СИ.

Отметим, что технологии получения новых видов битумных вяжущих постоянно совершенствуются. Поэтому методы тестирования Суперпейв (Superpave) постоянно совершенствуются и пользователи должны учитывать, что в дальнейшем вполне возможны некоторые изменения. Пользователям этой информации настоятельно рекомендуется быть в курсе изменений Суперпейв (Superpave) технологии, для этого следует воспользоваться соответствующими источниками. Примером могут служить региональные ассоциации производителей асфальта, которые были организованы на последних этапах разработки исследовательской программы SHRP.

Авторы Mr. Robert B. McGennis

Dr. Scott Shueer,

Dr. Hussain U. Bahia

Январь 1994

Лексингтон, штат Кентукки

SUPERPAVE™ является зарегистрированной торговой маркой
Программы Стратегических Исследований Шоссеиных Дорог.

Замечание. В данном тексте авторы пошли на некоторые вольности при переводе терминов. Такие термины как асфальт, битум, битумные вяжущие, битумное связующее - имеют одно и то же значение. Хотя традиционно в отечественной литературе под термином асфальт скорее понимают готовую асфальтобетонную смесь. В зарубежной литературе эти понятия четко разделены, поэтому там, где в тексте идет речь об асфальтобетон термин асфальт не используется.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ТЕСТОВ СУПЕРПЕЙВ (SUPERPAVE) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО

Как ведет себя битумное вяжущее.....	1 ..
Поведение при высокой температуре	1
Поведение при низкой температуре	3 .
Поведение в процессе старения	4 ...
Современные методы исследований свойств битумных вяжущих.....	5
Современные методы тестирования Суперпейв (Superpave)	7
Реометр динамического сдвига (DSR)	8
Ротационный вискозиметр (PV)	10
Реометр для испытания образца-бруска на изгиб (BBR).....	11
Тест на осевое растяжение (DTT).....	12
Методы старения вяжущего	13
Метод старения в тонких пленках в печи (RTFO).....	13
Метод старения под давлением (PAV)	14
РЕОМЕТР ДИНАМИЧЕСКОГО СДВИГА (DSR)	17
Введение	17
Изготовление образцов	18
Оборудование для испытаний	20
Обзор процедуры	23
Данные анализов и представление результатов	24
Калибровка и стандартизация	25
Температура	25
Нагрузка и деформационные датчики	25
Общая калибровка	25
РЕОМЕТР ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦА-БРУСКА НА ИЗГИБ (BBR).....	27

Введение	27
Изготовление образцов	27
Оборудование для испытаний	28
Обзор процедуры	29
Анализ и представление данных.....	30
Калибровка и стандартизация	34
Датчик перемещения	34
Загрузочная ячейка	34
Датчик температуры	34
Проверка на соответствие	34
Проверка на достоверность	35
IVТЕСТ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ (DTT).....	37
Введение	37
Изготовление образцов	39
Оборудование для испытаний.....	41
Обзор процедуры	43
Анализ и представление данных.....	43
Калибровка и стандартизация	44
Загрузка ячейки	44
Экстензометр	44
Датчик температуры	44
Оценка скорости нагрузки	45
VРОТАЦИОННЫЙВИСКОЗИМЕТР (PV)	47
Введение	47
Изготовление образцов	48
Оборудование для испытаний.....	48
Обзор процедуры	49
Анализ и представление результатов	51

Калибровка и стандартизация.....	52
Поворотный датчик	52
Датчик температуры	52
VI МЕТОДЫ СТАРЕНИЯ БИТУМА.....	53
Введение	53
Изготовление образцов	54
Оборудование для испытаний	55
Метод старения в тонких пленках(RTFO).....	55
Метод старения под давлением (PAV)	55
Обзор процедуры	58
Метод старения в тонких пленках (RTFO).....	58
Метод старения под давлением (PAV).....	58
Анализ и представление данных.....	59
Калибровка и стандартизация	59
Метод старения в тонких пленках (RTFO).....	59
Метод старения под давлением (PAV).....	60
VII ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ СОГЛАСНО КЛАССИФИКАЦИИ СУПЕРПРЕЙВ (SUPERPAVE)...	61
Введение	61
Остаточная деформация (колейность)	61
Трещины от усталости	63
Растрескивание при низких температурах	65
Общие технические характеристики битумов	67
Выбор битумных вяжущих	68
База данных Суперпейв (Superpave) для различного климата	69
Надежность	69
Начнем с климатических условий	70
Учет температуры на поверхности шоссе	70
Выбор типа вяжущего.....	71

Выбор типа вяжущего в зависимости от дорожной нагрузки.....	72
VIII СПЕЦИФИКАЦИИ ТЕСТОВ	73
Введение	73
Классификационные испытания	74.
Классификация процессов	77
Проверка на соответствие	84
Общие тесты	84
ПРИЛОЖЕНИЕ.	
Типы битумных вяжущих (PG). Спецификация эксплуатационных свойств.....	A

I. Предпосылки создания тестов Суперпейв (Superpave) для определения эксплуатационных качеств битумного вяжущего

1. Как ведет себя битумное вяжущее

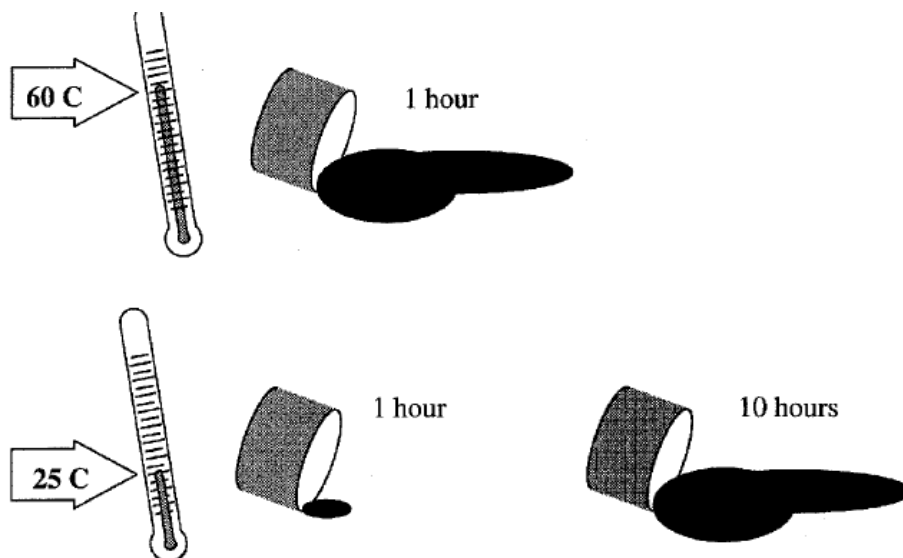


Рисунок 1-1. Как ведет себя битум

Из рисунка видно, что время и температура являются взаимозависимыми; высокая температура и короткое время эквивалентно более низкой температуре и более длительному времени.

Поведение при высокой температуре

При высоких температурах (например, в климате пустыни) или при устойчивых нагрузках (например, при медленном движении тихоходных грузовиков), асфальтобетон начинает вести себя как вязкая жидкость. Вязкость материала является характеристикой, используемой для описания сопротивления течению жидкости. Если мы будем наблюдать в мощный микроскоп за разогретым асфальтом при движении автомобильных колес, то можно увидеть, как с разной скоростью движутся жидкости между слоями вяжущего в асфальте, как это показано на Рисунке 1-2.

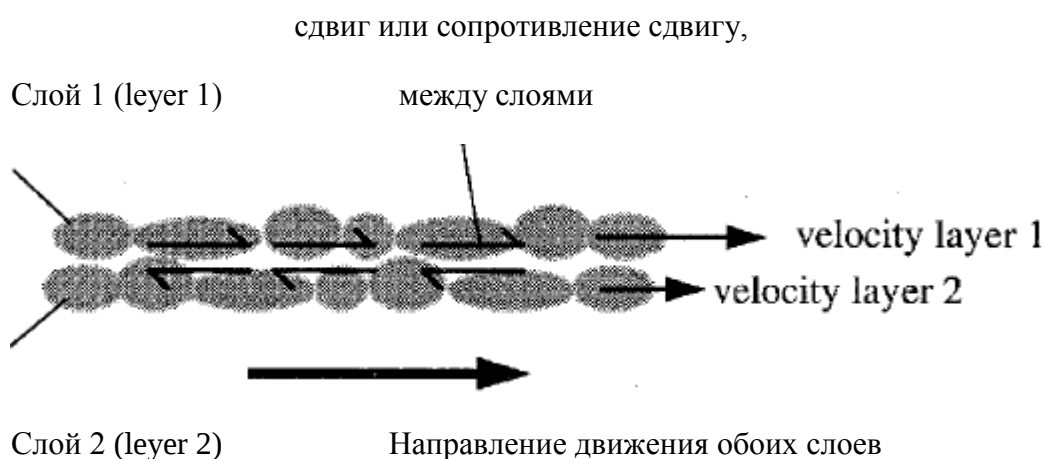


Рисунок 1-2. Видимое в микроскоп характерное движение жидкости.

Между слоями возникает сила трения или сопротивление. Это происходит потому, что слои движутся при несколько разных скоростях. При этом верхний слой пытается утащить нижний слой вместе с собой, в то время как нижний слой наоборот пытается удержать верхний слой. Отношения между силой сопротивления и

относительной скоростью движения могут быть очень разными для большинства жидкостей.

При этом вязкость является одной из характеристик (в отличие от химического состава, например), которая может быть использована для выражения этих различий. Следующее уравнение описывает ситуацию, показанную на рисунке 1-2. Из уравнения видно, как с помощью коэффициента вязкости (μ) можно объяснить различия в характеристиках между вязкими.

$$\tau = \mu \times \text{rate of shear strain}$$

rate of shear strain - скорость деформации сдвига

В этом уравнении, τ – показывает связь сопротивления сдвигу между слоями и скорости деформации сдвига. Скорость деформации сдвига является относительной. Она указывает, как слой 1 скользит по слою 2. Рисунок 1-3 показывает различные виды материалов с точки зрения их поведения при различной вязкости. Наклонные линии вязкости (μ) для различного типа материалов показаны на рисунке 1-3.

ShearStressBetweenLayers- напряжение сдвига между слоями, RateofShearStrain- скорость деформации сдвига, toothpaste – паста, shearthinning - разжижение при сдвиге, newtonian – ньютоновская жидкость (битум при высокой температуре), shearthickening – утолщение при смещении.

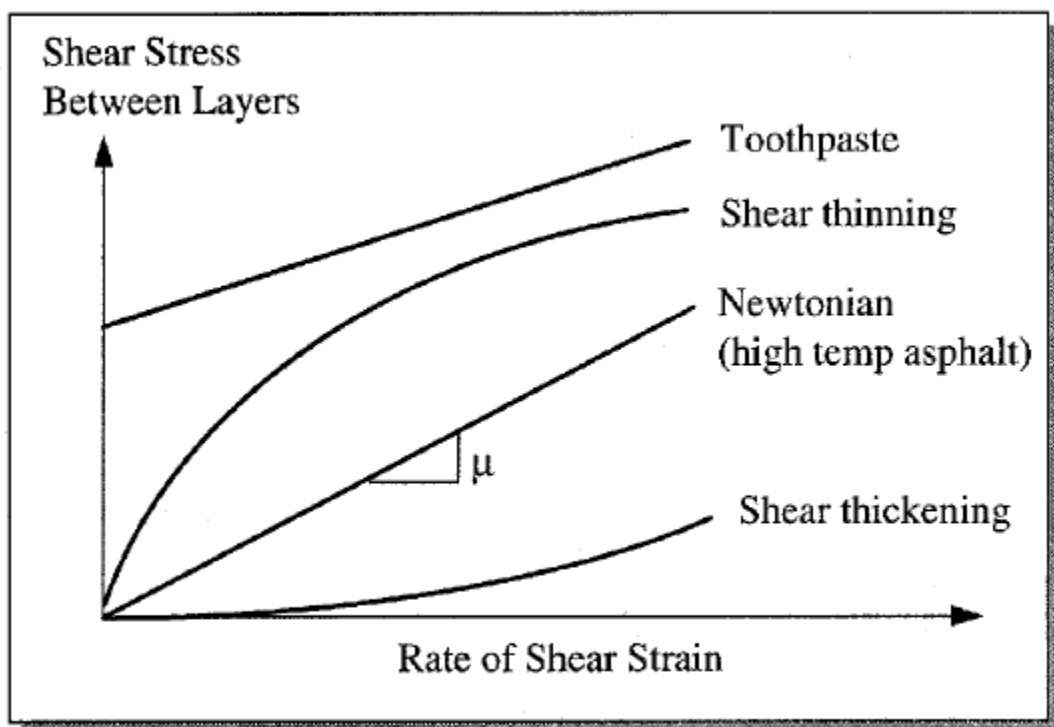


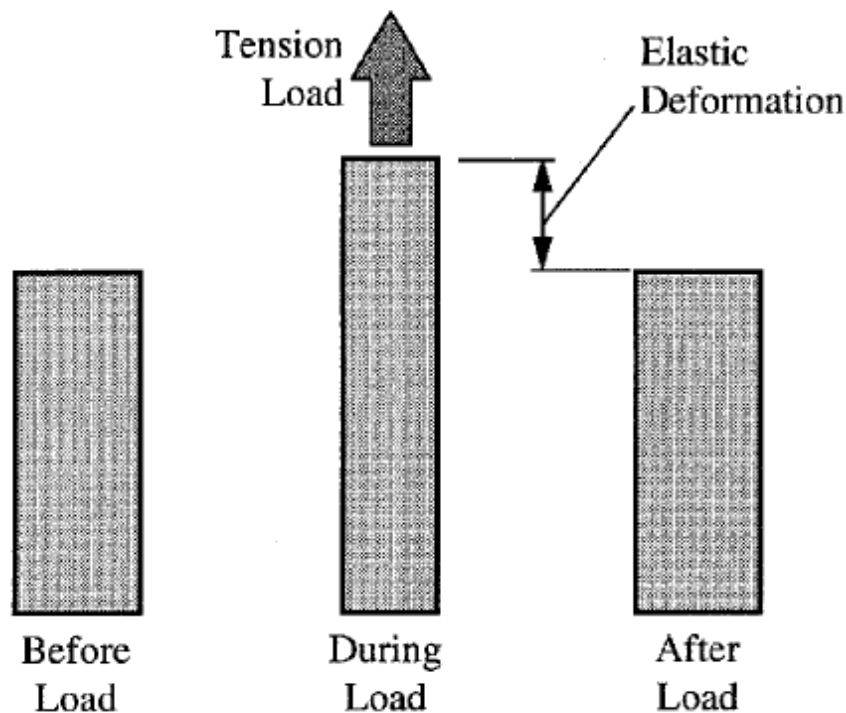
Рисунок 1-3. Характеристики различных жидкостей при различной вязкости

Ньютоновская жидкость, имеет прямолинейную зависимость между отношением силы сопротивления и относительной скоростью сдвига. Воздух, вода и асфальт, при высоких температурах (больше чем 50°C), переходят в область ньютоновских жидкостей. Такие материалы, как зубная паста, не являются ньютоновской жидкостью, поскольку у нее, верхний и нижний слои не испытывают сопротивления между собой при их движении, у них происходит скольжение друг относительно друга. При умеренных температурах, асфальт ведет себя как "разжижающаяся при сдвиге жидкость", поскольку его вязкость уменьшается при увеличении относительной скорости. Некоторые растворы полимеров проявляют себя при сдвиге жидкости аналогично. Однако в некоторых случаях все происходит наоборот и полимеры ведут себя как "утолщающиеся при сдвиге жидкости". Утолщение при сдвиге означает, что вязкость растет с увеличением относительной скорости между слоями.

Вязкие жидкости, такие как горячий битум иногда называют пластиковыми, потому что, как только они начинают течь, они не возвращаются в исходное положение. Именно поэтому в жаркую погоду, некоторые асфальтовые покрытия деформируются под воздействием многократных колесных нагрузок и колеса формируют колею. Однако на образование колеи в асфальтовых покрытиях в жаркую погоду влияет также совокупность различных свойств материалов, и будет правильнее сказать, что именно асфальтовая смесь ведет себя как пластик.

Поведение при низкой температуре

При низких температурах (например, зимой) или при очень быстрых кратковременных нагрузках (например, быстро движущиеся грузовые автомобили), битумы ведут себя как упругие тела. Упругие тела ведут себя подобно резине. То есть, при нагрузке они деформируются, а при отсутствии нагрузки, они возвращаются к их первоначальной форме. В них любая упругая деформация полностью восстанавливается (рис. 1-4).



TensioLoad– растяжение, BeforeLoad – до нагрузки, DuringLoad – в течение нагрузки, AfteLoad – после нагрузки, ElasticDeformaion – эластичная деформация

Рисунок 1-4. Поведение упругих твердых тел

При сильно большой нагрузке эластичные образцы твердых материалов могут ломаться. Несмотря на то, что асфальт ведет себя как упругое тело, при низких температурах и чрезмерных нагрузках он может стать слишком хрупким и на нем могут появляться трещины. Именно по этой причине от низкой температуры образуются трещины в асфальтовых покрытиях в холодную погоду. В этих случаях внутреннее напряжение под действием температуры и дополнительной нагрузки от транспорта накапливается в асфальте. Асфальт при этом сжимается и сжатие сохраняется. Это явление особенно проявляется во время и после появления внезапного холодного воздушного температурного фронта.

Старение

Следует упомянуть еще об одной особенной характеристике битумных вяжущих. В силу того, что битумы

состоят из органических молекул, они могут вступать в реакцию с кислородом воздуха. Эти реакции называются реакцией окисления. При протекании окислительных реакций изменяется структура и состав молекул асфальта. Образующиеся в результате этого молекулы изменяют структуру и приводят к увеличению хрупкости материала. Отсюда произошли термины "окислительное упрочнение" или "упрочнение от старения." Окислительные процессы в асфальте проходят при относительно низкой скорости, хотя в горячем, пустынном климате старение происходит более быстро по сравнению с прохладным климатом. Кроме того, окислительное упрочнение носит сезонный характер, поскольку оно более интенсивно происходит летом, чем зимой. Из-за этого типа упрочнения старые асфальтовые дороги более склонны к образованию трещин. При этом относительно новые асфальтовые покрытия могут быть подвержены окислительному упрочнению. Это происходит если не достаточно тщательно уплотнить асфальт. При отсутствии надлежащего уплотнения происходит образование пустот воздуха, которые содержат большее количество воздуха, что вызывает большую степень окисления асфальта.

На самом деле, значительное количество окислительных процессов проходит до укладки асфальта. А именно во время горячего перемешивания, при транспортировке и при производстве строительных работ. Это связано с тем, что технологические процессы при производстве и укладке асфальта проходят при высоких температурах. В этом случае реакции окисления протекают более интенсивно за счет того, что образуется более развитая поверхность, формируется большое количество тонких пленок с большим доступом кислорода.

Существует также другая форма упрочнения материала, при которой происходит испарение части более летучих органических компонентов битума во время горячего смешения и укладки асфальта. Этими компонентами являются легкие масла, которые

делают асфальт более мягким. Такой процесс называют "физическим упрочнением".

Кроме того в асфальтобетонах было замечено такое явление, которое называют "физической закалкой". Оно происходит, когда асфальтобетон подвергается в течение длительных периодов воздействию низких температур. В случае снижения температуры асфальт сжимается в объеме и происходит увеличение твердости асфальтового покрытия. Даже в случае, когда температура стабилизируется при постоянно низком значении, асфальтобетон продолжает сокращаться и становится более твердым. Физическая закалка наиболее выражена при температурах ниже 0°C и должна быть изучена при тестировании асфальтобетона при очень низких температурах.

Современные методы исследований свойств битумных вяжущих

Обычными методами описания характеристик битумных вяжущих (по согласованию) являются либо величина проникновения в материал нагруженной иглы, либо определение вязкости, как это показано на рисунке 1-5. Оба эти теста используются для оценки влияния температуры на поведение асфальта. Это делается путем измерения вязкости или проникновения иглы при двух температурах. На рисунке 1-6 показано в виде графиков, как показано ниже.

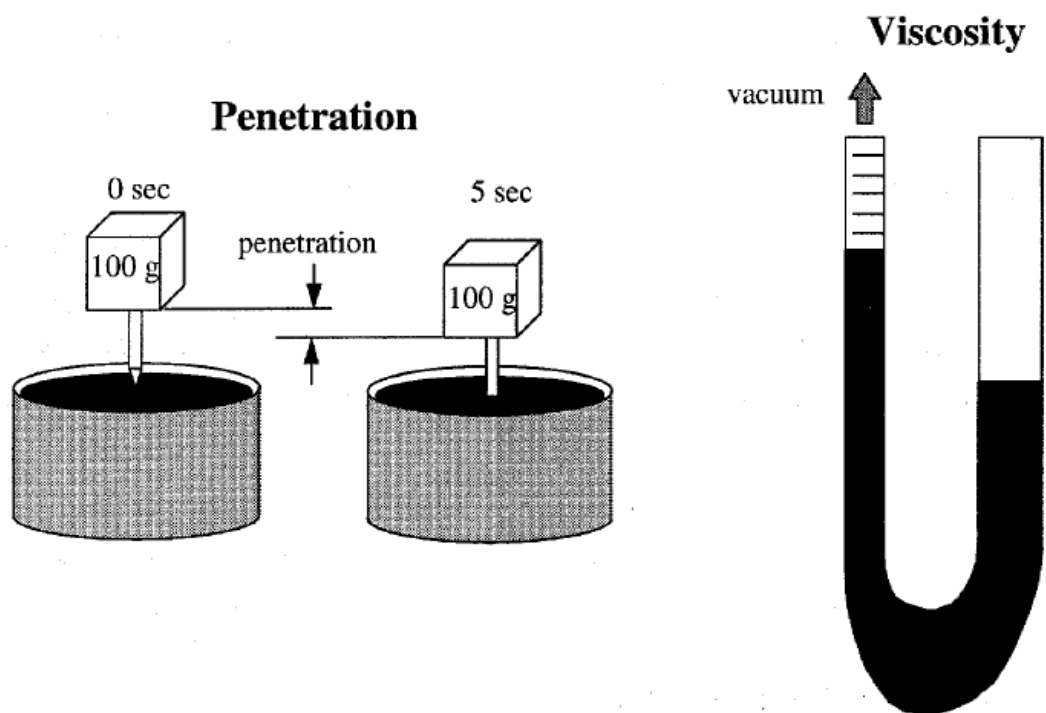


Рисунок 1-5. Испытания на проникновение иглы (пенетрация) и определение вязкости

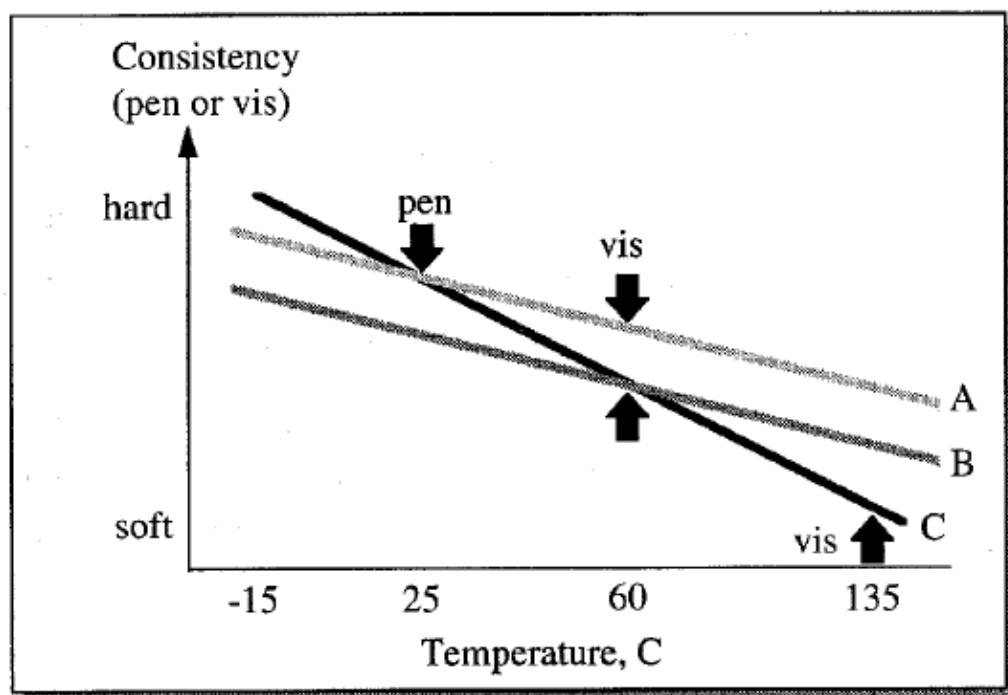


Рисунок 1-6. Три вида зависимости вязкости или пенетрации от температуры аттестованных битумных вяжущих

В этом примере все три типа битума относятся к одному классу, поскольку они при заданной температуре 60 ° С имеют примерно одну и ту же вязкость. Асфальты А и В дают один и тот же тип температурной зависимости, но при этом они имеют разную консистенцию при всех значениях температуры. Асфальты А и С имеют одинаковую консистенцию при промежуточных температурах, но при высоких и низких температурах консистенция меняется с точностью до наоборот. Асфальты В и С имеют одну и ту же консистенцию только при температуре 60° С, однако при всех других значениях температур между ними нет ни каких сходств. Поскольку эти битумы относятся к одному и тому же классу, можно было бы ошибочно ожидать, что они покажут одни и те же эксплуатационные свойства при строительстве и эксплуатации дорог в жаркую и морозную погоду.

Несмотря на то, что вязкость является основной характеристикой битумов, она предоставляет информацию о поведении материала только при высокой температуре. Для более полного предсказания эксплуатационных свойств битумов необходима информация и о поведении битумного вяжущего в условиях низких температур, поскольку оно характеризует такой параметр как упругость. Пенетрация характеризует консистенцию только при средней температуре, 25° С. Однако в существующей системе классификаций нет возможности непосредственно измерить эти свойства в области низких температур. Часто тесты по вязкости и пенетрации недостаточно полно характеризуют преимущества и возможные недостатки отдельных видов модифицированных битумов.

В силу этих недостатков многие государственные дорожные службы были вынуждены вносить поправки в спецификации и стандартные процедуры тестирования, для того чтобы их можно было применять для местных условий в отдельных регионах США.

Многочисленные корректировки тестов и спецификаций вызвали серьезные проблемы у поставщиков асфальта, желающих продавать одни и те же марки в разных штатах. Это связано еще и с тем, что зачастую материалы с очень похожими эксплуатационными качествами показывали различные битумы.

В настоящее время для определения эксплуатационных качеств битумных вяжущих, проводят испытания на исходных битумах и на битумах, к которым применяется моделирование искусственного старения.

СУПЕРПЕЙВ (SUPERPAVE) НА ПОМОЩЬ

В 1987 году Программа стратегических исследований хайвэев (SHRP) приступила к разработке новых тестов для измерения физических характеристик битумов. Одним из результатов этих исследовательских усилий, стоимостью 50 млн. \$, явилась новая спецификация для битумных вяжущих с новым набором тестов на соответствие (Приложение А). Этот документ называется - спецификация вяжущих. Эта спецификация пригодна одинаково хорошо для исследований обычных, а также модифицированных битумов. Конечным продуктом исследовательской программы SHRP явилась новая система оценок, названная Superpave. В конечном итоге она позволяет улучшить качество асфальтовых покрытий на дорогах в различных регионах страны. Суперпейв (Superpave) представляет собой компьютерную программу, которая помогает инженерам в выборе материала и состава смеси. Однако термин Суперпейв (Superpave) относится к более широкому понятию, чем просто компьютерная программа. Самое главное, она представляет собой усовершенствованную систему для определения качества вяжущих материалов, проектирования асфальтовых смесей, исследования образцов асфальтовых смесей и прогноза эксплуатационных качеств дорожного покрытия. Система Суперпейв включает в себя контрольно-измерительную аппаратуру, методы испытаний и критерии оценки.

Тесты Суперпейв (Superpave) используются для измерения физических свойств, которые могут быть связаны непосредственно с режимами эксплуатации в соответствии с инженерными принципами. Каждый из этих тестов будет подробно описан позже. Однако в качестве введения, ниже приведен список нового испытательного оборудования с последующим кратким описанием, для каких целей каждый из них используется в новой спецификации:

Процедура	Цель
DynamicShearRheometer (DSR) Реометр динамического сдвига	Измерение свойств при высоких и средних температурах
RotationalViscometer (RV) Ротационный вискозиметр	Измерение свойств при высоких температурах
BendingBeamRheometer (BBR) Реометр изгиба образца-бруска битума	Измерение свойств при низкой температуре
DirectTensionTester (DTT) Тест на осевое растяжение	
RollingThinFilmOven (RTFO) старение в тонких пленках при нагревании	Получение характеристик вяжущих после имитации старения
PressureAgingVessel (PAV) старение под давлением в камере	

Реометр динамического сдвига

Для изучения поведения битумов на зависимость температуры и времени сдвига следует проводить оценку свойств вяжущих двумя способами. Оборудование, необходимое для таких испытаний, существовало еще до SHRP и использовалось на протяжении многих лет в промышленном производстве пластмасс. Эти устройства называют по-разному: реометр динамического сдвига, реометр колебательных сдвигов или динамический реометр. Для адаптации этих устройств к работе с асфальтом, было необходимо определить эффекты влияния температуры и времени на сдвиг материала. Для этого используется реометр динамического сдвига (DSR). Он позволяет измерить реологические свойства материала при высоких температурах (комплексный модуль сдвига, фазовый угол, и т.д.).

Принцип работы этого устройства прост: вяжущее зажимают между фиксированной пластинкой и пластинкой, которая колеблется взад и вперед, как показано на рисунке 1-7.

Осциллирующая платформа начинает движение из точки А к точке В. От точки В колеблющаяся пластина движется назад, проходя точку А на пути к точке С. Из точки С пластина возвращается к точке А. Это движение, от А до В к С и обратно к А содержит один цикл.

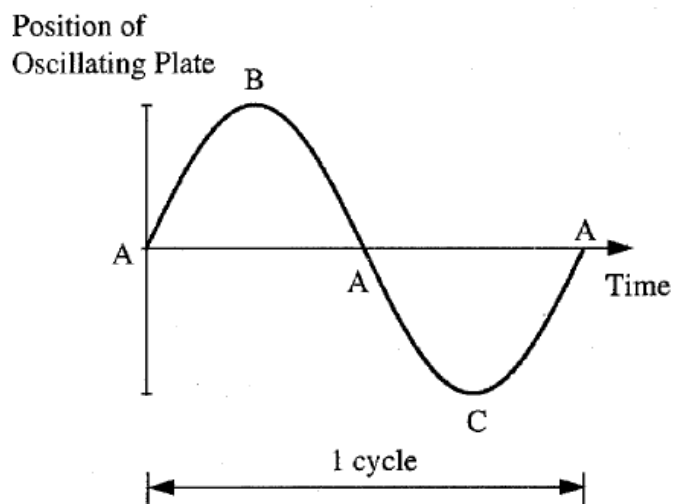
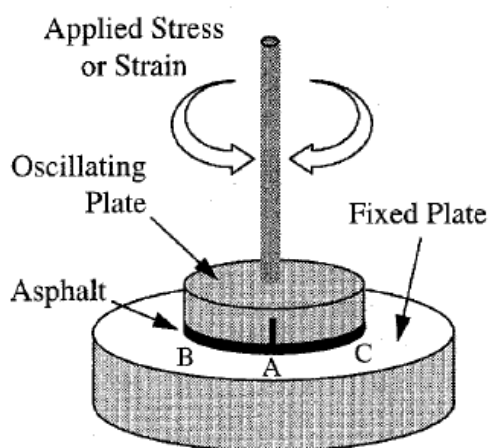


Рисунок 1-7. Основные принципы работы реометра динамического сдвига

Дадим определение понятию частоты колебаний. Частота колебаний это отрезок времени, в течение которого происходит один цикл. Один полный цикл колебаний в секунду называется один герц (Гц). Например, если цикл колебаний, как это показано на рисунке 1-7 произошёл за одну секунду, то частота будет один цикл в секунду или один Гц. Если произошло два цикла колебаний в секунду, то частота будет два Гц.

Существует и другой способ выражения частоты колебаний, в котором используют часть окружности, пройденной колеблющейся пластинкой. В этом случае частота выражается в радианах (один радиан соответствует примерно 57 градусов) и определяется в радианах в секунду. Все динамические испытания сдвига Суперпейв (Superpave) выполняются на частоте 10 рад в секунду, что составляет около 1,59 Гц.

Есть два распространенных типа реометров колебаний сдвига: постоянного напряжения и постоянной деформации. Реометры с постоянным напряжением работают с применением фиксированного момента перемещения колебаний пластины из точки А в точку В. В зависимости от консистенции вяжущего, величина крутящего момента, необходимого для перемещения пластины будет меняться. Битумы с большой жесткостью требуют большего крутящего момента. Тесты Суперпейв (Superpave) связующих проводятся в режиме постоянного напряжения. Реометры постоянной деформации работают при колебательных перемещениях пластины из точки А в точку В при измерении необходимого крутящего момента. Разница между этими двумя реометрами в том, что реометр постоянного напряжения поддерживает фиксированный крутящий момент и расстояние, на которое должна переместиться пластина, при этом время цикла может изменяться. Для реометра постоянной деформации, пластина движется на фиксированное расстояние, и при этом крутящий

момент будет меняться. Для вязких материалов, таких как битумные вяжущие, один из вариантов тестов практически не используется, в то же время второй, применяется активно. Несмотря на то, что тесты Суперпейв (Superpave) для вяжущих проводятся в режиме постоянного напряжения, тесты на постоянную деформацию (DSR) могут быть выполнены для вяжущих согласно спецификации.

Ротационный вискозиметр

Для обеспечения необходимых свойств битумных вяжущих в новой системе были предусмотрены показатели, которые указывают на то, что вяжущие могут без проблем перекачиваться на НПЗ и не создавать проблем при приготовлении асфальта в горячем смесителе. Тест на определение вязкости при вращении задает определенные характеристики текучести вяжущих при повышенных температурах, которые используются именно в этих технологических процессах. Вискозиметр вращения представляет собой коаксиальный цилиндр, в котором определяются параметры согласно методике описанной в ASTM D4402. Этот прибор иногда называют "Вискозиметром Брукфильда" (см. на рисунке 1-8). В отличие от вискозиметра в виде капиллярной трубки (рис. 1-5), в этом приборе было необходимо учесть возможности оценки более широкого типа битумных вяжущих. Вращающиеся устройства вискозиметра вращения имеют большие зазоры между элементами и применимы к исследованию широкого круга как модифицированных, так и не модифицированных битумов.

Ротационный вискозиметр связан с цифровым контроллером, который используется для автоматического расчета вязкости при температуре испытания. Вискозиметр также может быть использован для получения графика зависимости вязкости от температуры, необходимого для оценки смешивания и определения температуры уплотнения при проектировании смеси.

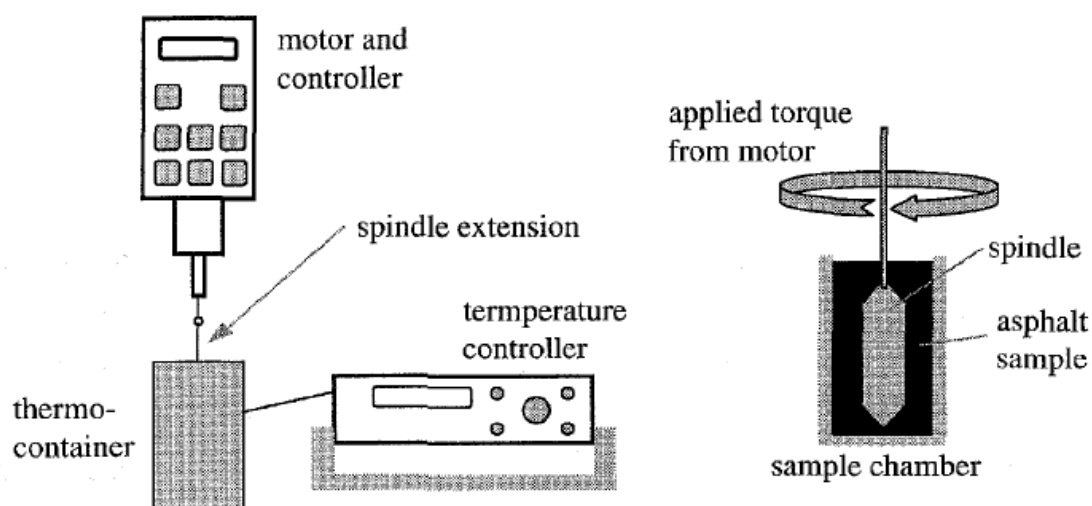


Рисунок 1-8. Ротационный вискозиметр

Реометр прогиба

Поскольку вяжущее при низких температурах является достаточно жесткими, реометры динамического сдвига не могут быть использованы для измерения этих свойств (рис. I-7). Поэтому SHRP был разработан новый тест, который может с достаточной степенью точности позволить измерить жесткость и скорость сдвига в области самых низких температур, при которых эксплуатируется дорожное полотно.

Реометр изгиба образца битума или BBR, является простым устройством, которое определяет, насколько вяжущее будет деформироваться (смещение) при постоянной нагрузке. Тесты на этом приборе проводят при температурах, соответствующих низким рабочим температурам дорожного покрытия, когда асфальт ведет себя скорее как упругое, чем вязкоупругое тело. Принцип работы этого устройства показан ниже на Рисунке 1-9.

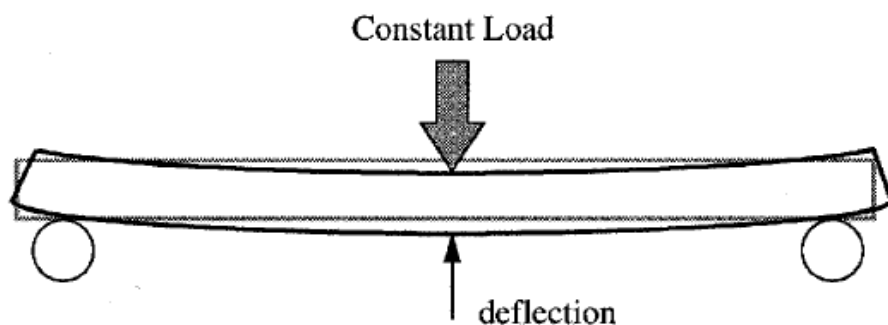


Рисунок 1-9. Принцип работы реометра изгиба

К охлажденному бруску образца битума в течение четырех минут прикладывают постоянную нагрузку и измеряют отклонение в центре бруска. При этом определяют жесткость сдвига и скорость сдвига "М", которые могут быть измерены и рассчитаны.

Динамический сдвиг и изгиб балки обеспечивают информацию, относящуюся к поведению асфальтовых связующих в широком диапазоне температур. Несмотря на то, что жесткость может быть использована при оценке хрупкости, для некоторых вяжущих, в особенности модифицированных битумов, отношение между жесткостью и прочностью (свойство хрупкости) останется неизвестным. Дополнительным, необходимым тестом для изучения способности к растяжению образца до разрыва и измерение силы натяжения необходимого для этого, является тест на осевое растяжение.

Тест на осевое растяжение

Материалы, в том числе битумы, которые могут быть подвергнуты значительным деформациям при растяжении, называются "пластичными". Те материалы, которые ломаются без особого растяжения, называются "хрупкими". Еще до SHRP, многочисленные исследования поведения асфальта при низкой температуре показывали, что существует тесная взаимосвязь между жесткостью битумных вяжущих и значением величины растяжения, которого достигает образец до его разрыва. Как правило, более жесткие битумы являются более хрупкими и

наоборот, менее жесткие битумы являются более пластичным. Этот вывод был подтвержден исследователями SHRP, которые пользовались недавно разработанным тестом BBR.

К сожалению, жесткость сдвига, измеренного тестом BBR, не является достаточной для того, чтобы полностью охарактеризовать способность некоторых битумов не растягиваться до разрыва. Например, некоторые связующие обладают высокой жесткостью сдвига, но могут растягиваться в два раза больше, чем другие связующие вещества. Следовательно, исследователи SHRP должны были разработать систему, которая удовлетворяла бы требованиям к анализу такого рода вяжущих. Этого типа вяжущие можно будет использовать при производстве асфальтобетона несмотря на то, что у них будет достаточно высокой жесткость сдвига. Это возможно, если удастся доказать, что они по-прежнему будут иметь достаточную степень пластичности при низких температурах.

Исследователи SHRP решили эту дилемму путем разработки устройства, которое непосредственно измеряет напряжение необходимое для разрушения образцов вяжущих при очень низких температурах. Это устройство называется тестер осевого растяжения. Хотя концепция этого теста проста, оборудование, которое используется для проведения испытаний, имеет некоторые особенности. Это связано с тем, что для выполнения теста из-за очень малых деформаций, необходима высокая степень точности измерений.

Тест на осевое растяжение заключается в том, что небольшой образец асфальта в форме "собачьей кости" растягивают с постоянной низкой скоростью до тех пор, пока он не разрушится. Размер удлинения при разрыве используется для расчета величины деформации при разрушении, которая является показателем того, будет ли связующее вести себя как хрупкий или пластичный материал при испытаниях в области низких температур. На Рис. I-10 показана принципиальная схема теста на осевое растяжение.

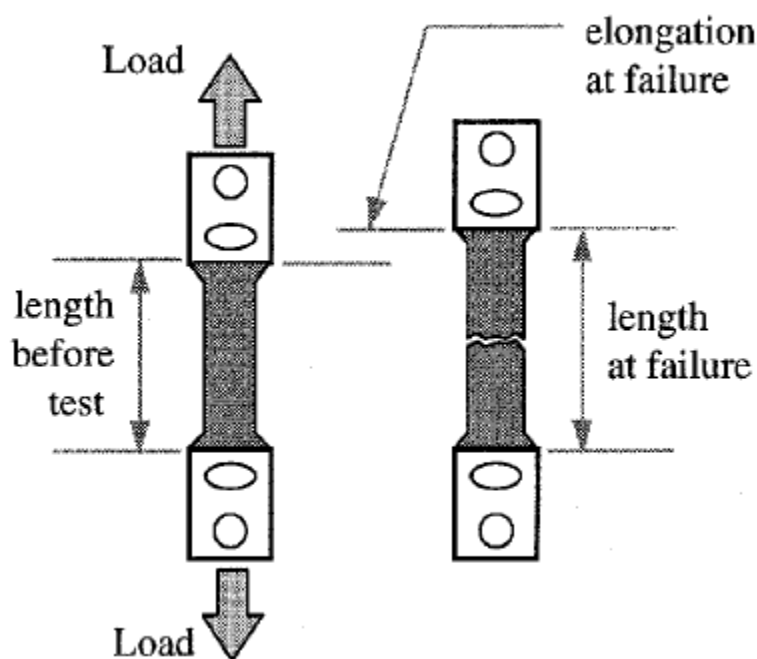


Рисунок 1-10. Испытание на осевое растяжение

Результатом теста на осевое растяжение является размер деформации до разрушения образца при заданной температуре. Способность к деформации является изменением длины, выраженное в процентах от исходной длины.

Методы старения связующего

Как упоминалось ранее, старение связующего в асфальте происходит в основном за счет двух различных механизмов: уменьшения количества светлых нефтепродуктов за счет их испарения, и реакций окисления за счет взаимодействия с кислородом воздуха. В процессе изготовления асфальтовых смесей в горячем смесителе и во время укладки дорожного полотна, происходит старение связующего за счет обоих механизмов: из-за высокой температуры, необходимой для перемешивания, и из-за открытого доступа атмосферного воздуха. Для моделирования первого типа старения используют тест, в котором

помещенные в цилиндрические чашки с плоским дном образцы вяжущего, нагреваются в печи. При этом в чашках образуется тонкая пленка, благодаря которой происходит испарение части органических веществ битума. Восемь таких образцов одного вяжущего нагреваются в печи, и платформа с этими образцами вращается по кругу при дополнительном обдуве горячим воздухом (Рис. I -11). Название этого теста - RollingThinFilmOven. В нашем варианте перевода он будет называться - Метод старения в тонких пленках (RTFO). Этот тест нашел свое место в спецификациях Суперпейв (Superpave). Отметим, что после того, как асфальтовое покрытие уложено и на нем открыто движение, старение вяжущих продолжается. При этом старение происходит в основном через механизм окисления за счет относительно невысоких температур окружающей среды. Для моделирования этой формы старения в процессе эксплуатации, SHRP разработала тест на старение под давлением.

Старение в тонких пленках при вращении (RTFO)

Тест на старение в тонких пленках соответствует известным стандартам AASHTO T240, ASTM D2872. Он был разработан Департаментом автомобильных дорог Калифорнии для имитации старения, которое происходит на асфальтовых заводах при производстве горячей асфальтобетонной смеси. Тест RTFO используется постоянно потому, что необходимо проверять каждую входящую на завод новую партию вяжущего. Его применение в некоторых случаях удается избежать за счет использования модификаторов, диспергированных в асфальт (например, некоторые полимеры). Есть одно преимущество использования теста RTFO, он занимает время выполнения всего 85 минут. Схема этого оборудования показана на рисунке I-11. Тест в тонких пленках в печи (AASHTO T 179 или ASTM D 1754) не был выбран потому, что некоторые модифицированные вяжущие в ходе исследований образуют на поверхности что-то вроде кожи, которая в ходе испытаний мешает. Дополнительным недостатком

этого теста является то, что для его выполнения необходимо пять часов времени.

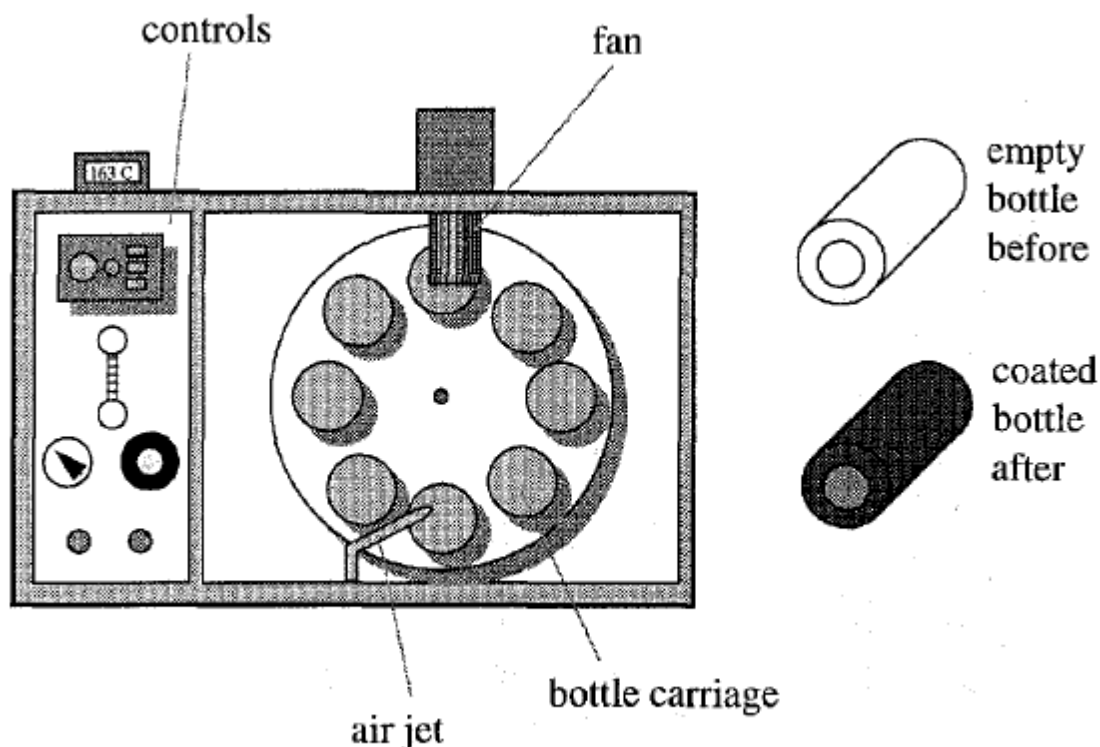


Рисунок 1-11. Тест на старение в тонких пленках (RTFO)

Этот тест служит двум целям. Одна состоит в получении состарившегося асфальтового продукта, который можно использовать для дальнейшего тестирования и определения его физических свойств. Вторая для определения потери массы за счет испарения летучих составляющих битумного вяжущего. Количественные потери летучих компонентов являются показателем старения. Потери могут возникать в асфальте как во время операции смешения, так и строительстве дорог. При определенных качествах некоторых битумов они могут набрать вес во время процедуры RTFO. Это происходит за счет окислительных процессов, протекающих во время теста.

Старение асфальта за счет процесса длительной эксплуатации асфальта было включено в новую спецификацию Суперпейв (Superpave). Несмотря на то, что такое устройство использовалось на протяжении многих лет

при исследовании асфальта, исследователи SHRP внесли изменения в тест и была разработана новая процедура для оценки процесса старения в ходе эксплуатации дорог. Для того, чтобы сократить время исследования процесса старения, была разработана методика, при которой за счет повышенного действия температуры и давления время процесса сокращается до 20 часов. Асфальтовые связующие, после старения в RTFO, помещают в PAV и выдерживают там в течение 20 часов. Для определения пригодности эксплуатации асфальта после старения под давлением так же измеряют физические свойства, как описывалось ранее. Испытания проводят при различных температурах, которые зависят от климата, в котором будет эксплуатироваться дорога. Схематически старение в камере под давлением (PAV) показано на рисунке I-12.

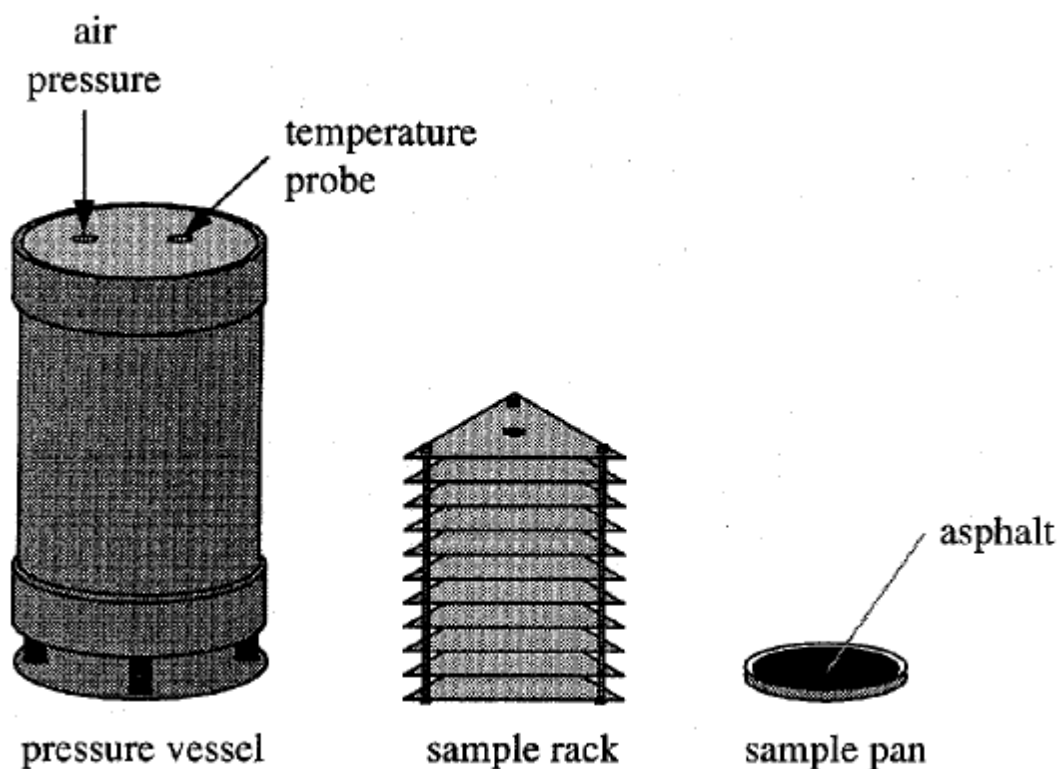


Рисунок I-12 Старение в камере под давлением

II РЕОМЕТР ДИНАМИЧЕСКОГО СДВИГА(DSR)

Введение

Реометр динамического сдвига (DSR) используется для оценки характеристик вязких и эластичных свойств битумных вяжущих. Исследование динамического сдвига битумных вяжущих DSR осуществляется путем измерения комплексного модуля сдвига (G^*) и фазового угла (δ). G^* представляет собой меру общего сопротивления материала к деформирующему многократному сдвигу. Он состоит из двух частей: из эластичной (возвращаемой) составляющей и второй жесткой (невозвращаемой) составляющей. δ является показателем относительных значений возвращаемых и невозвращаемых деформаций.

Значения G^* и δ для битумов в значительной степени зависят от температуры и частоты нагрузки. При высоких температурах (значительно превышающих температуру дорожных покрытий) асфальты ведут себя как вязкие жидкости, как это показано на рисунке II-1, вертикальная ось. С другой стороны, при очень низких температурах (значительно ниже рабочих температур дорожных покрытий) битумы ведут себя как упругие тела, как это показано на рисунке II– 1, горизонтальная ось.

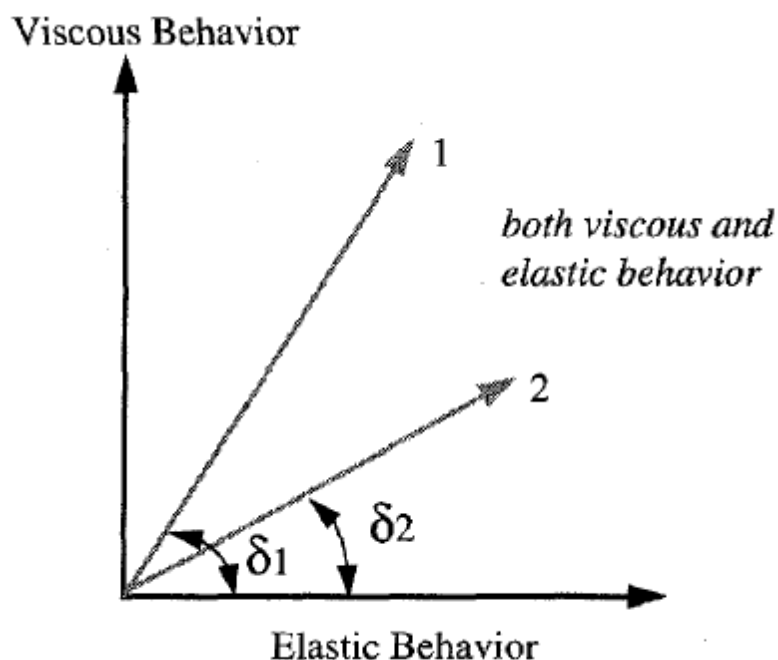


Рисунок II-1. Вязкое и упругое поведение битумов

При температурах, при которых эксплуатируется большинство асфальтовых покрытий, по которым осуществляются перевозки, битумы ведут себя одновременно и как вязкие жидкости и как упругие тела (как представлено стрелками 1 и 2). При нагрузке часть деформации упруго восстанавливаемая, а часть вязконе восстанавливаемая. По этой причине, асфальт называют вязкоупругим материалом. На приведенном примере (рис. II -1), несмотря на то, что оба битумы являются вязкоупругими, асфальт 2 более эластичен, чем асфальт 1, поскольку его значение δ меньше.

Измеряя G^* и δ , DSR обеспечивает более полное представление о поведении асфальта при рабочих температурах. Диаграмма на рисунке II-2 объясняет значения G^* , его компоненты и δ .

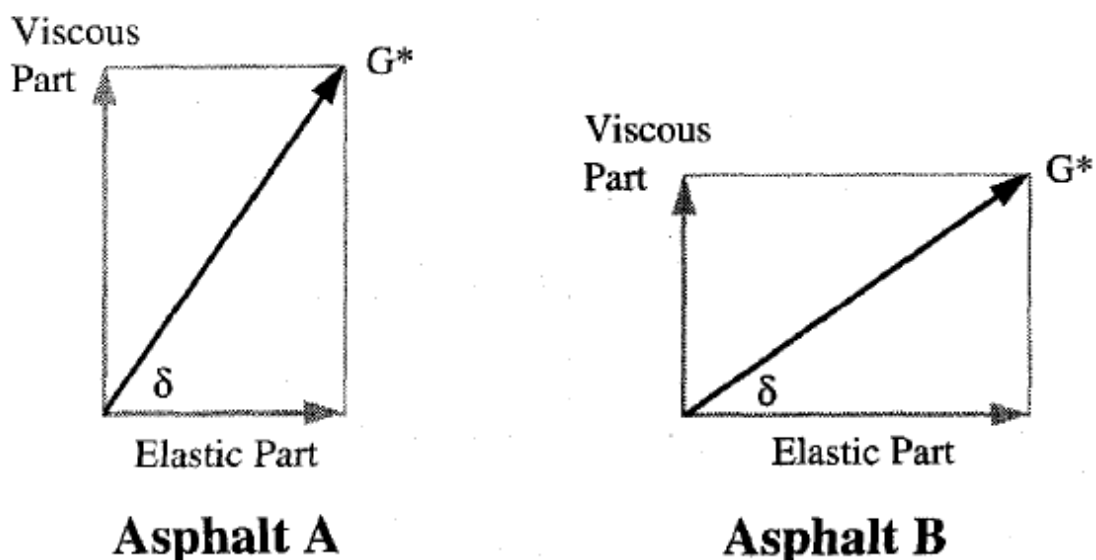


Рисунок II-2. DSR Измерения

На диаграмме, на рисунке II -2, показаны два битума с одними тем же значением G^* (длиной диагонали), но с разными фазовыми углами. Асфальт А имеет меньшее значение эластичности (восстанавливаемость), чем Асфальт В, в то время как Асфальт В имеет более низкую вязкость и более высокую составляющую компоненту эластичности (невосстанавливаемость), чем асфальта А. Если же приложить одинаковую нагрузку к обоим битумам, то Асфальт А покажет более невосстанавливаемую (постоянную) деформацию, чем асфальта В. Поскольку Асфальт В имеет относительно большую упругую составляющую, он будет восстанавливаться гораздо больше после приложения нагрузки. Этот пример показывает, что одного G^* , недостаточно, чтобы описать поведение асфальта, необходимо также значение δ .

Изготовление образцов

Для тестирования DSR методом необходим диск асфальта с диаметром, равным диаметру колеблющейся пластины, который часто называют "шпинделем". Есть два способа приготовления образца для испытаний:

1. Асфальт может быть непосредственно вылит в достаточном количестве на шпindel для того, чтобы обеспечить необходимую толщину материала.

2. Для формирования диска асфальта могут быть использованы пресс-формы. В этом случае образец вяжущего можно поместить между шпинделем и фиксированной пластиной DSR.

В первом способе необходимо попытаться использования точного количества асфальта. В этом случае нежелательно иметь слишком много или наоборот слишком мало материала. Если материала слишком мало, то тест будет неточным. Если же материала слишком много, как например, показано на рисунке 11-3, образец должен быть обрезан.

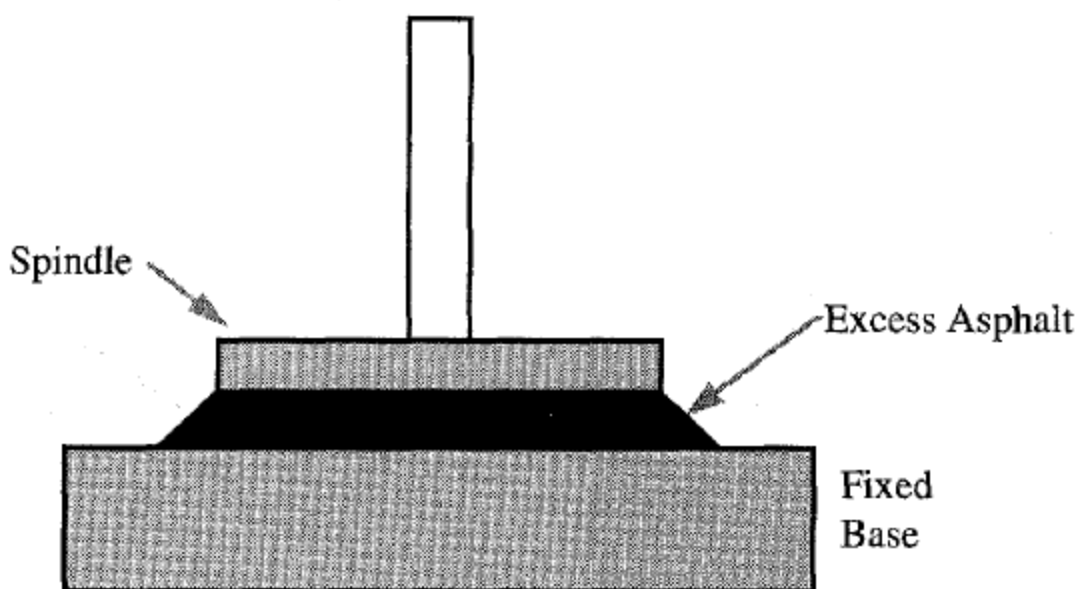


Рисунок II -3. Избыток Асфальт в DSR

Во втором способе асфальт разогревают до достаточно жидкого состояния, а затем выливают в резиновую пресс-форму и дают ей остыть. Пресс-форму, содержащую асфальт можно поместить в холодильник и понизить температуру до твердого состояния вяжущего, таким образом, чтобы можно было удалить

образец из формы. После извлечения из формы диск асфальта помещают между неподвижной пластиной и осциллирующим шпинделем DSR. Как указано выше, избыточный битум, выходящий за край пластины должны быть обрезан.

Независимо от способа изготовления образца, последним шагом в подготовке к испытанию является корректировка зазора между шпинделем и нижней пластиной (необходимо сместить их ближе друг к другу). Нужно добиться того, чтобы расстояние между шпинделем и пластиной стало 50 микрон. При этом необходимо добиться того, чтобы появился небольшой выступ на крае шпинделя, как видно на рис. II -4. Этот шаг обычно делают непосредственно перед тестированием.

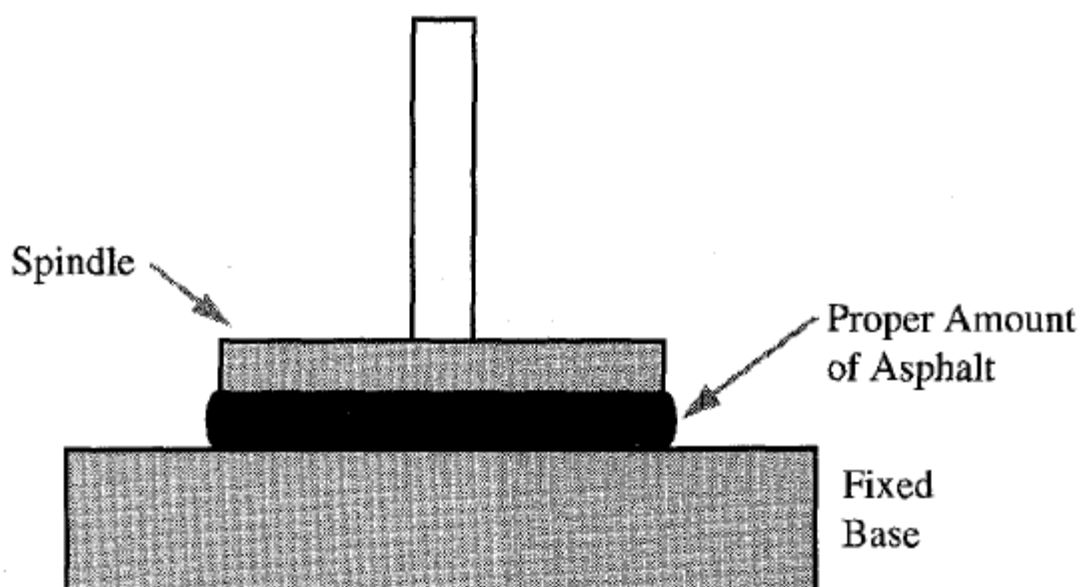


Рисунок II -4. Правильная настройка примера в DSR

Толщину диска асфальта зажато между шпинделем и неподвижной пластиной следует тщательно контролировать. Необходимая толщина образца достигается путем регулировки зазора между шпинделем и фиксированной пластиной. Этот зазор должен быть выставлен при температуре испытания, но, до установки образца асфальта. Зазор регулируется с помощью микрометрического колеса. Как правило, расстояние измеряют в микронах. На некоторых реометрах колесо микрометра

перемещается на шпинделе сверху вниз, однако на других реометрах, оно движется наоборот от несущего основания снизу вверх. Толщина зазора зависит от температуры испытания. Температуры испытаний от 46°C и выше требуют размер зазора 1000 мкм (1 мм). При более низких температурах испытаний в диапазоне от 4°C до 40°C требуются больший зазор 2000 микрон (2 мм). При этом для высоких температур требуется шпиндель большего диаметра (25 мм), а для низких температур требуется шпиндель меньшего диаметра (8 мм).

После того как образец установлен, оператор обычно устанавливает разрыв на необходимом уровне (1000 или 2000 микрон) плюс дополнительные 50 микрон. Эти 50 микрон убирают с помощью колеса микрометра перед окончательной обрезкой образца. После того, как образец обрезан заподлицо с верхней пластиной, лишние 50 микрон убирают таким образом, чтобы разрыв получился точно нужного размера, при этом края образца примут слабовыпуклый вид (рис. 11-4).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Устройство оборудования для измерения G^* и δ показано на рисунке II -5.

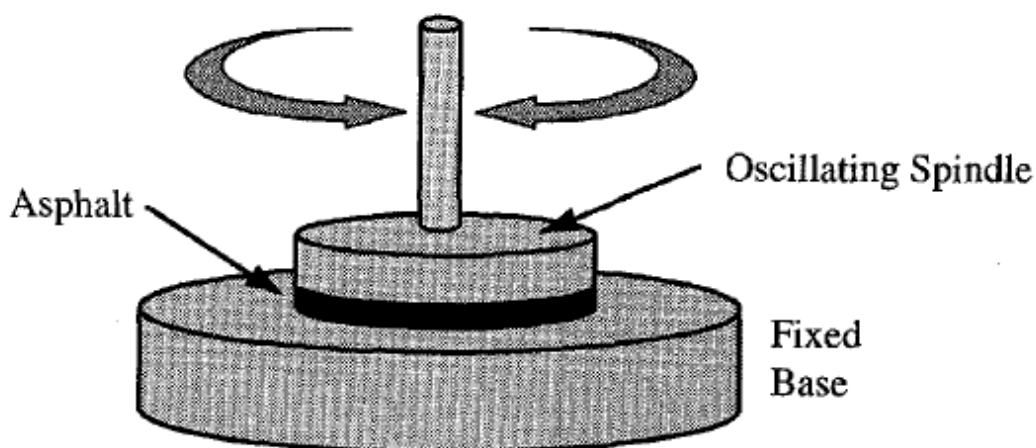


Рисунок II -5. Реометр динамического сдвига

Асфальт зажимают между осциллирующим шпинделем и постоянной базой. Шпиндель колеблется взад и вперед, используя либо постоянное напряжение, либо постоянную деформацию. Постоянное напряжение означает, что шпиндель вращается по окружности определенное расстояние, до тех пор, пока не будет достигнута фиксированная деформация. Термин "постоянная деформация" означает, что шпиндель вращается на заданный угол до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое напряжение. В процессе вращательных движений контролируется полученное напряжение или деформация. Взаимосвязь между приложенным напряжением и полученной деформацией обеспечивает информацию, необходимую для вычисления G^* и δ . Диаграмма на рисунке II-6 объясняет как происходит процесс вычисления.

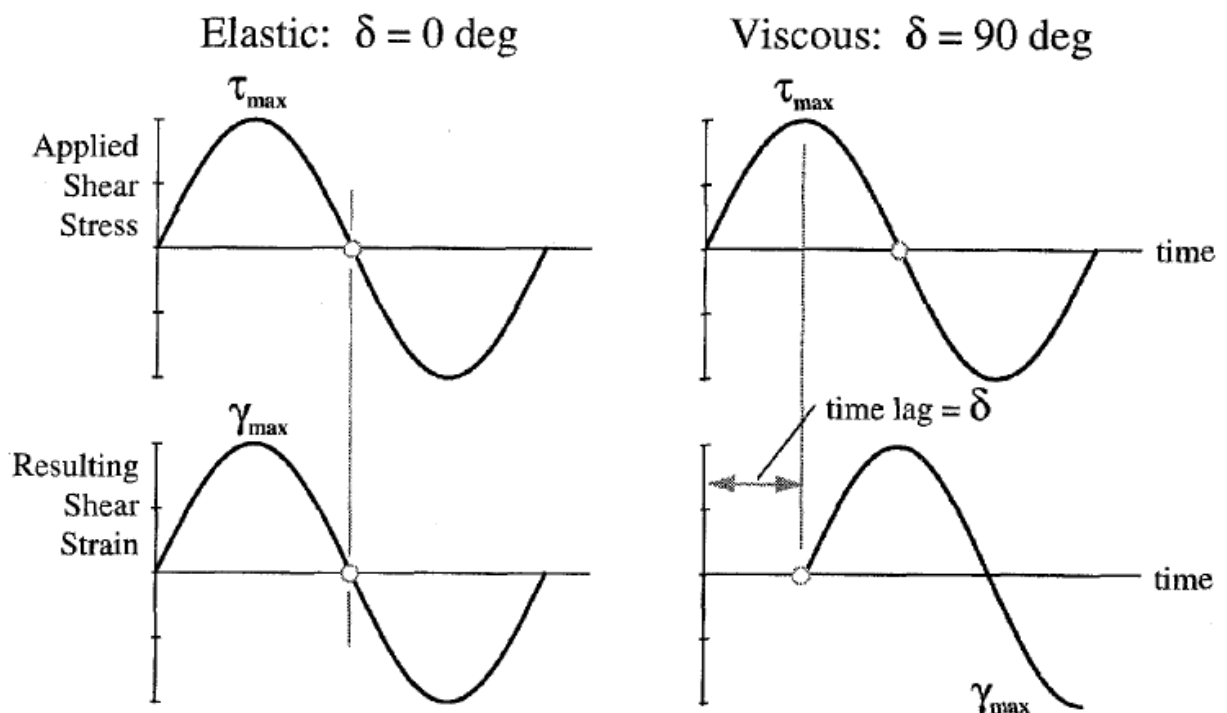


Рисунок II -6. Реометр напряжения -деформации

G^* is the ratio of maximum shear stress ($\tau_{\max}$) to maximum shear strain ($\gamma_{\max}$) or $\tau_{\max}$

G^* представляет собой отношение максимального напряжения сдвига ($\tau_{\max}$) к максимальной деформации сдвига ($\gamma_{\max}$) или $\tau_{\max} - \gamma_{\max}$.

Временной интервал между приложенным напряжением и результатом деформации (для постоянных реометров напряжения) и приложенной деформацией и результатом напряжения (постоянные реометры деформации), позволяют определить фазовый угол δ , как показано на рисунке II-6. Действие нагрузки на абсолютно упругий материал, приводит к немедленной реакции, и время задержки или угол δ в этом случае равно нулю. Для вязкого материала (например, горячего асфальта) имеет место относительно большой временной лаг между нагрузкой и ответом. В этом случае угол, приближается к 90 градусам. В тесте DSR, вязкоупругий материал, такой как асфальт, при нормальных температурах показывает напряженно-деформационную реакцию, которая находится между этими двумя крайностями, как это показано на рисунке II -7.

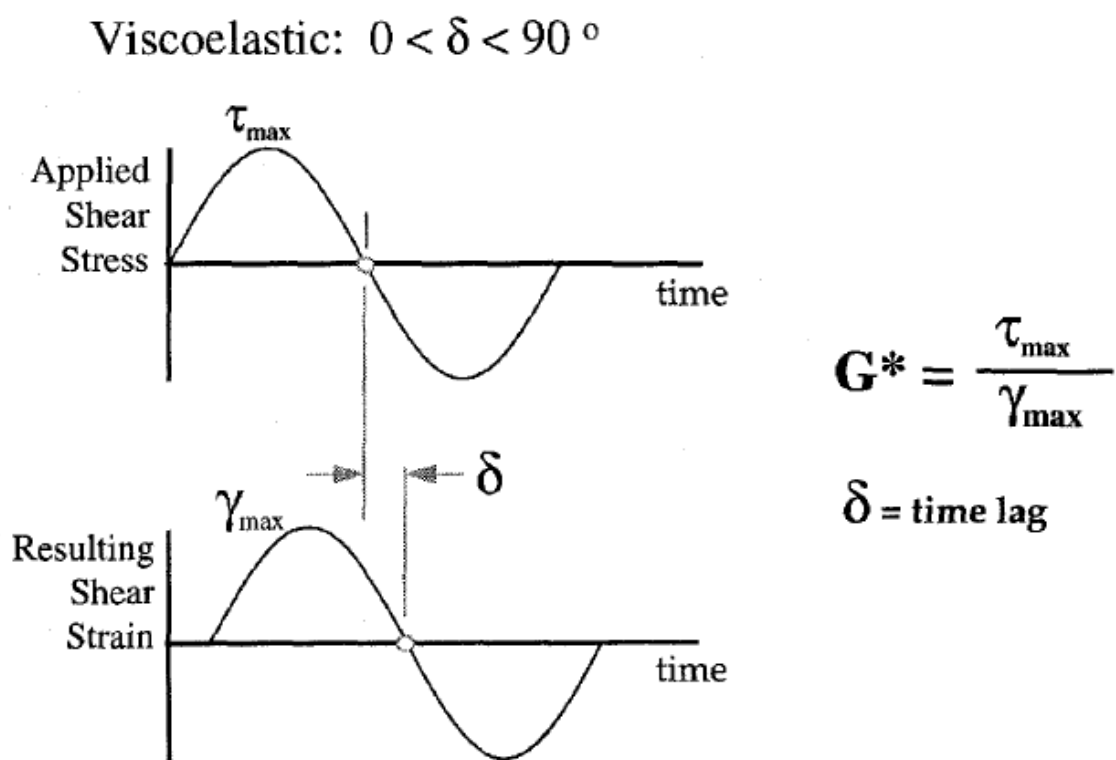


Рисунок II -7. Напряженно-деформационный отклик вязкоупругого материала

Формулы, которые используются для расчета, приведены ниже,

$\tau_{\max}$ and $\gamma_{\max}$

$$\tau_{\max} = 2T/\pi r^3 \text{ and } \gamma_{\max} = \Theta r/h$$

где

T = maximum applied torque,

r = radius of specimen/plate (either 12.5 or 4 mm),

Θ = deflection (rotation) angle,

h = specimen height (either 1 or 2 mm).

Инженеру-оператору нет необходимости беспокоиться о выполнении этих расчетов, так как они выполняются автоматически с помощью программного обеспечения реометра. Тем не менее, следует обратить внимание на то, что в формуле радиус является решающим фактором, и именно поэтому столь важным является аккуратность приобрезкеобразцов асфальта. Высота образца, то есть зазор между пластинами, также является очень важным фактором, который зависит от квалификации оператора.

Поскольку свойства битумныхвяжущих сильно зависят от температуры, реометры должны иметь средства точного регулирования температуры. Обычно это достигается с помощью циркулирующей жидкости в ваннеили принудительного воздушного обдува. В качестве жидкости для ванны обычно используют воду, в которую погружают образец. Вода циркулирует через контроллер температуры, точно устанавливает и поддерживает постоянную температуру образца на требуемом уровне. Воздушные ванны работают таким же образом, как водные за исключением того, что они окружают образец воздухом во время тестирования. В любом случае температура воздуха или воды должны контролироваться с точностью до 0.1°C .

ОБЗОРПРОЦЕДУРЫ

После того как образец асфальта правильно установлен и температура испытания стабилизировалась, оператор должен выдержать образец при этой температуре около десяти минут. Фактическое время установления температурного равновесия зависит от оборудования и должно быть проверено с использованием эталонного образца с хорошо известными температурными характеристиками.

Процедура тестирования заключается в применении программного обеспечения реометра установленного в устройстве DSR, которое используется для получения значений деформации, записи колебательных напряжений и временного лага. Спецификации тестов Суперпейв (Superpave) требуют, чтобы скорость колебаний была не менее 10 рад/сек или примерно 1,59 Гц. Компьютер используется в оборудовании DSR для контроля параметров тестирования и записи результатов испытаний.

В начале испытания реометр определяет напряжение, необходимое для достижения заданной деформации сдвига, а затем сохраняет это значение для проведения теста. Деформация сдвига может изменяться в небольших пределах от заданного значения для того, чтобы достигать необходимого постоянного напряжения. Изменение деформации сдвига обычно контролируется с помощью программного обеспечения реометра.

Перед началом испытания для получения тестовых данных образец при заданной нагрузке подвергают деформации в течение 10 циклов. Программное обеспечение реометра автоматически вычисляет и передает G^* и δ , которые впоследствии сравниваются с требованиями спецификации.

АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Устройство DSR способно одновременно измерять много различных переменных. Тем не менее, для спецификации Суперпейв (Superpave) требуются только G^* и δ . В большинстве случаев программное обеспечение, используемое в

устройстве DSR, проводит все необходимые расчеты. Таким образом, для определения соответствия битума спецификации Суперпейв (Superpave), полученная с помощью компьютера информация о результатах теста сравнивается с необходимыми требованиями. Полный отчет включает в себя данные с необходимой точностью:

- G^* -ближайшие три значащих цифры,
- δ -с точностью до 0,1 градуса,
- размер плиты с точностью до 0,1 мм, щели до 1 мм,
- температура испытания до 0.1°C,
- частота с точностью до 0,1 рад/сек,
- амплитуда деформации с точностью до 0,01%.

В спецификациях указываются два параметра G^* и δ . Остаточная деформация контролируется путем ограничения значения $G^* / \sin \delta$ при температурах испытаний исходного вяжущего, до величины больше 1,0 кПа и 2,2 кПа, после старения. Старение от усталости при определенной температуре испытаний контролируется путем ограничения отношения $G^* / \sin \delta$, для материалов, которые подвергались воздействию старения под давлением, значение меньше чем 5000 кПа. Раздел VII дает дополнительную информацию о том, как G^* и δ , используется в описании Суперпейв (Superpave).

Этот метод применим для использования при температурах от 4°C и до 85°C, где G^* находится в пределах от 0,1 кПа -до 10,000 кПа.

КАЛИБРОВКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Температура

Поскольку свойства асфальта очень сильно зависят от температуры, важно обеспечить термостатирование образца при заданной температуре испытаний в пределах 0.1°C. Чтобы проверить

точность контроля температуры, стандартный образец помещается между параллельными пластинами и проводится измерение температуры. Стандартный образец состоит из резистора, зажатого между двумя очень тонкими силиконовыми пластинами. В этом случае, резистор играет роль "термистора", поскольку он используется для измерения температуры. Сопротивление термистора сильно зависит от температуры. Таким образом, подавая небольшой электрический ток на терморезистор и измеряя его сопротивление, можно добиться очень точного измерения температуры. С помощью этого метода настраивают программное обеспечение реометра, и проводится поверка точности контроля температуры. При необходимости оператор может использовать указанные величины для корректировки точности температуры испытаний устройства.

Датчики Нагрузки и деформации

Реометры динамического сдвига должны быть очень чувствительными к изменению нагрузки (крутящий момент) и деформации сдвига, поскольку они необходимы для определения комплексного модуля сдвига (G^*). Калибровка из этих элементов, как правило, зависит от производителя реометра.

Общая Калибровка

Общая поверка реометра на точность измерений может быть выполнена с использованием стандартного вязкоупругого образца со свойствами аналогичными асфальту.

III. РЕОМЕТР ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦА-БРУСКА НА ИЗГИБ (BBR)

Введение

Реометр (BBR) используется для измерения жесткости битумов при очень низких температурах. Тест использует инженерную теорию измерения жесткости. На образец асфальта, который оформлен в виде прямоугольного бруска небольшого размера, воздействуют

нагрузкой. Давление на образец асфальта используется для имитации нагрузки, которая постепенно накапливается в дорожном полотне при понижении температуры. В тестах VBR оцениваются два параметра. Жесткость сдвига является мерой того, насколько асфальт сопротивляется постоянной погрузке, а значение Мя является мерой изменения жесткости асфальта при изменении нагрузки.

Изготовление образцов

Прямоугольный брусок асфальта формируется путем заливки подогретого асфальта в прямоугольную форму (рис. III-1).

Алюминиевые части пресс-формы смазываются органическим жидким составом. Полоски из ацетата целлюлозы (пергаментная бумага) помещают лицевой стороной вдоль смазанных частей пресс-формы. Концевые детали обрабатывают разделительным слоем, состоящим из глицерина и талька, которые предварительно смешиваются до пастообразной консистенции. Для изготовления образцов, необходимых для испытаний, возможен вариант использования силиконовых пресс-форм.

После охлаждения в течение приблизительно 45 - 60 минут, избыток асфальта обрезается с верхней поверхности при помощи горячего шпателя. Образец асфальта должен сохранять свою форму при комнатной температуре до тех пор, пока процедура тестирования не начнется. Однако это время не должно быть больше трех часов.

Для выемки образца следует охладить сборку в морозильнике в течение пяти - десяти минут или ледяной ванне в течение 30 - 45 секунд. Не следует использовать ванну реометра тестирования, поскольку это может привести к чрезмерным колебаниям температуры.

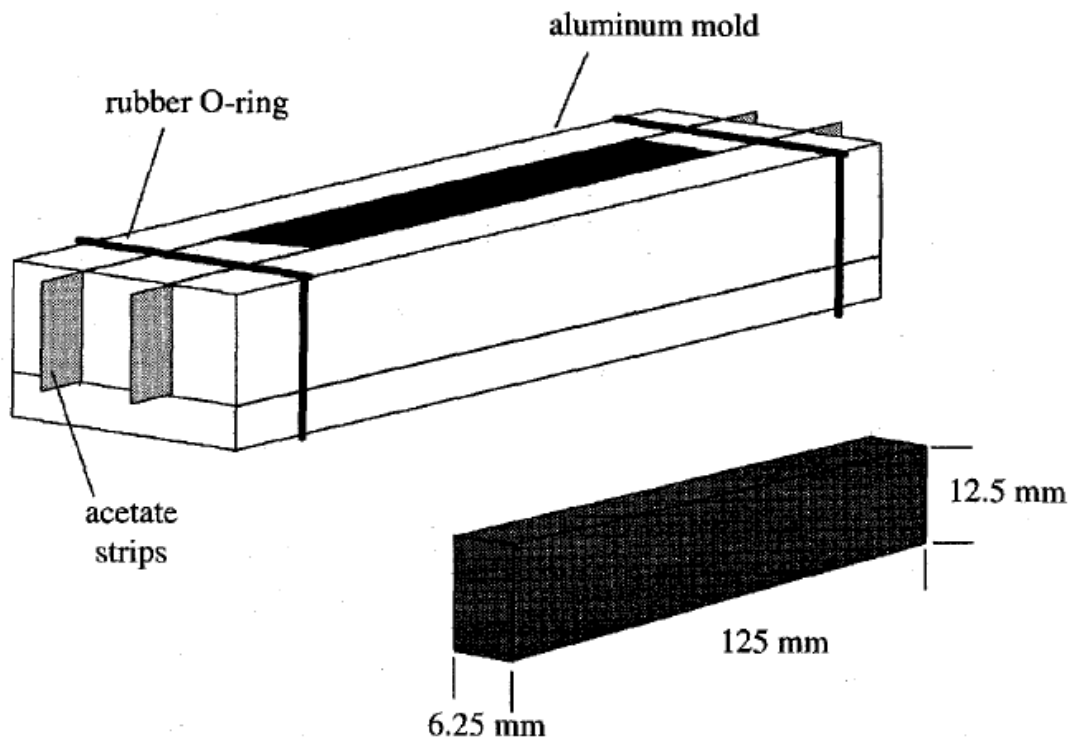


Рисунок III-I. Сборка формобразца асфальта

После удаления алюминия и пергаментной бумаги, полученные в результате бруски асфальта готовы к воздействию температуры воздуха. Для этого необходимо поместить их в испытательную баню на 60 ± 5 минут. После этого можно приступить к испытаниям.

В связи с тем, что эта процедура требует аккуратности и точности при испытаниях, оператор должен тщательно координировать подготовку оборудования и подготовку образца.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Жесткость сдвига и значение M измеряют с помощью теста VBR. Прибор VBR представляет собой простое устройство, название которого происходит от геометрии испытываемого образца и метода его испытания. Рисунок III-2 представляет собой схематичное изображение устройства VBR.

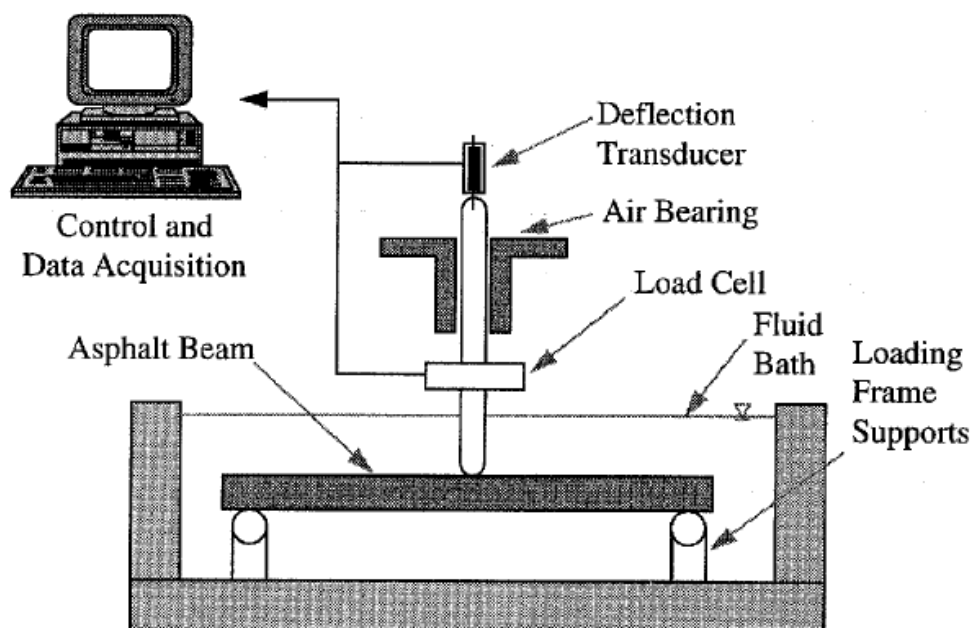


Рисунок III-2. Реометр прогиба

LoadCell- ячейка нагрузки, AirBearing - воздушный подшипник, ControlandDataAcquisition - контроль и сбор данных, AsphaltBeam - прямоугольный брусок асфальта, LoadingFrameSupports – опорная рамка, FluidBath – ванна с жидкостью, DeflectionTransducer – датчик отклонений.

Ключевыми элементами устройства BBR является ванна с рамками загрузки, в которой находится образец асфальта, который подвергают испытанию. В приборе имеется компьютерное управление, с помощью которого контролируется температура жидкости и проводится необходимый сбор и обработка данных. В устройстве BBR используется стержень с тупым носом, который устанавливают для приложения нагрузки к средней точке бруска. Образец асфальта устанавливают на опорные рамки. Датчик нагрузки устанавливается на подвижную часть стержня, который проходит через воздушный подшипник. Это необходимо для того, чтобы устранить любое фрикционное сопротивление при действии нагрузки. Преобразователь измерения прогиба, необходимый для контроля отклонений, прикреплен к стержню. Нагрузка на стержень передается за счет давления сжатого воздуха. В приборе предусмотрено устройство для регулировки этой нагрузки.

Жидкость, поддерживающая необходимую температуру в ванне, содержит смесь, состоящую из этиленгликоля, метанола и воды. Эта жидкость циркулирует между испытательной ванной и ванной, в которой происходит термостатирование жидкости и контролируется температура с точностью до 0.1°C . Циркуляция при термостатировании жидкости не должна влиять на испытываемый образец, чтобы не повлиять на результаты тестирования.

Система сбора данных состоит из компьютера (с программным обеспечением), который подключен к ВВР. Компьютер может регулировать параметры испытаний и хранить данные о нагрузке и величине прогиба.

ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ

Инженер-оператор инициирует программное обеспечение до начала испытаний. Одновременно образцы доводят до температуры тестирования в испытательной ванне, при этом необходимо провести соответствующую калибровку. К ней относится калибровка датчика перемещения и датчика нагрузки. Точность испытательного устройства проверяют с помощью жесткого опорного бруска из нержавеющей стали. Датчик температуры проверяется с помощью калиброванного ртутного термометра. Для проверки на точность системы в целом могут быть периодически использованы более тонкие эталонные бруски. Такой эталонный прямоугольный брусок позволяет достаточно быстро провести проверку точности реометра. Большая часть калибровки системы контролируется с помощью программного обеспечения реометра, и оператор должен только следовать указаниям программного обеспечения.

После 60-минутной термической выдержки брусок асфальта осторожно захватывают щипцами и помещают на опоры. Для того, чтобы брусок находился твердо в контакте с опорами, оператором применяется предварительная ручная нагрузка на

образец от 2,5 до 3,5 грамм (30 ± 5 mN). Для усадки образца с помощью программного обеспечения в реометре применяется нагрузка 100-грамм (980 mN), которая действует автоматически в течение одной секунды. После шага автоматической предварительной нагрузки в течение 20 секунд происходит период восстановления.

После окончания периода восстановления к балке прикладывается нагрузка 100 грамм (980 ± 5 mN) всего 240 секунд, в течение этого периода записывается отклонение бруска, как это показано на рисунке III-3.

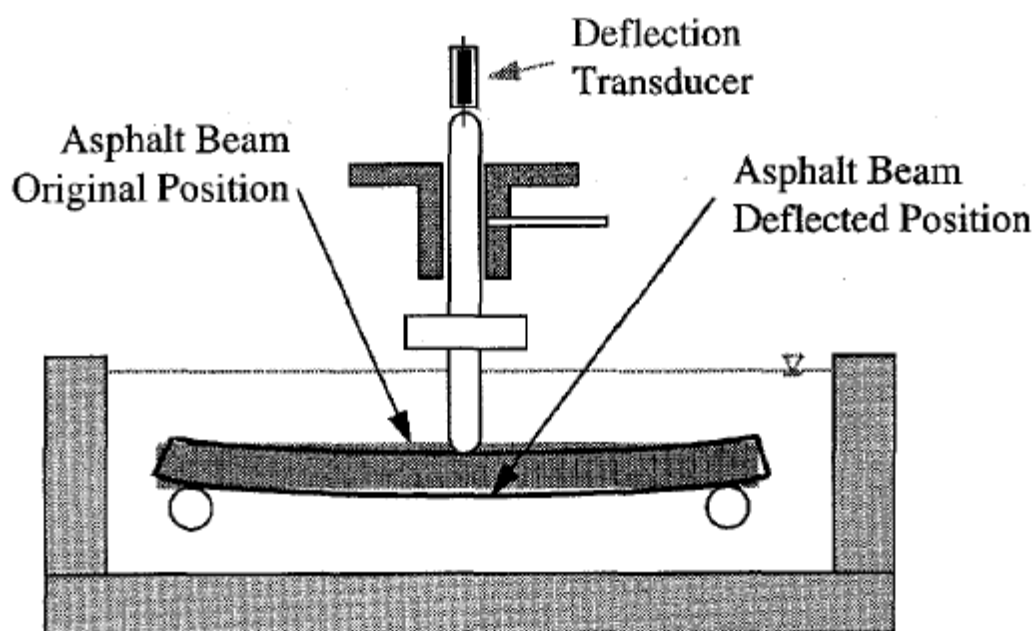


Рисунок III-3. Тест на изгиб бруска

При нагрузке 100-грамм (980 mN) датчик отклонения контролирует движение изгиба бруска. Это отклонение, в зависимости от времени, и необходимо для определения жесткости изгиба и значения M . В ходе испытаний оператору на экране компьютера можно непрерывно наблюдать за нагрузкой и отклонением в зависимости от времени. Тест заканчивается после 240 секунд автоматически, снимается нагрузка, и программное обеспечение

реометра осуществляет расчеты по определению жесткости сдвига и значению M .

АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

В этом исследовании для получения значения жесткости сдвига у прямоугольного бруска асфальта используется классическая теория анализа. Формула расчета жесткости сдвига, $S(t)$, выглядит следующим образом:

$$S(t) = PL^3/4bh^3 \delta(t) \quad (\text{Eq 1})$$

where,

$S(t)$ = creep stiffness at time, $t = 60$ seconds

P = applied constant load, 100 g (980 mN)

L = distance between beam supports, 102 mm

b = beam width, 12.5 mm

h = beam thickness, 6.25 mm

$\delta(t)$ = deflection at time, $t = 60$ seconds

$S(t)$ = жесткость сдвига от времени, $t = 60$ секунд

P = прилагаемая постоянная нагрузка, 100 г (980 мН)

L = Расстояние между опорами бруска, 102 мм

b = ширина бруска, 12,5 мм

h = толщина бруска, 6,25 мм

$\delta(t)$ = отклонение при времени воздействия, $t = 60$ секунд

Несмотря на то, что устройство BBR использует для проведения расчетов компьютер, значение может быть определено вручную путем считывания данных с графика зависимости отклонения от времени. С помощью подключенного к компьютеру принтера

можно вывести данные на печать. На Рис. III-4 изображен график, используя который можно получать значения $\delta(t)$.

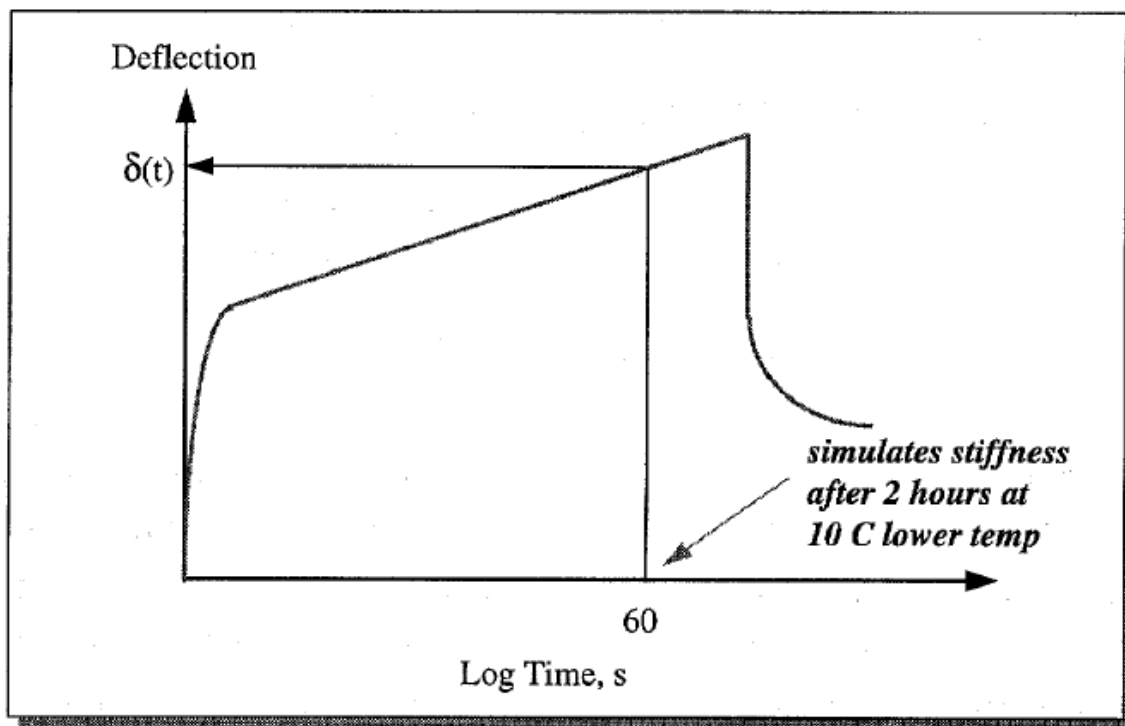


Рисунок III-4. Ручной метод для $\delta(t)$

Deflection– отклонение.

С помощью формулы уравнения 1, задавая величины отклонения, жесткости, времени, $t = 60$ секунд, можно получить искомое значение. Желательно определять жесткость сдвига, при минимальной расчетной температуре дорожного покрытия после двухчасовой нагрузки. Исследователи SHRP обнаружили, что повышение температуры испытаний на 10°C , эквивалентно жесткости, которая получается после 60 секундной нагрузки. Очевидным преимуществом такого подхода является то, что результаты анализа могут быть получены в гораздо более короткий временной период.

Вторым параметром, который необходимо определить в реометре (BBR), является значение M . Значение M представляет собой скорость изменения жесткости в зависимости от времени $S(t)$. Это значение также рассчитывается на компьютере автоматически в процессе испытаний. Тем не менее, для того, чтобы проверить результаты, значение M легко получить с помощью данных компьютера. Для получения значения M жесткость рассчитывается при разной нагрузке несколько раз. Затем определяют эти значения в зависимости от времени, как показано ниже.

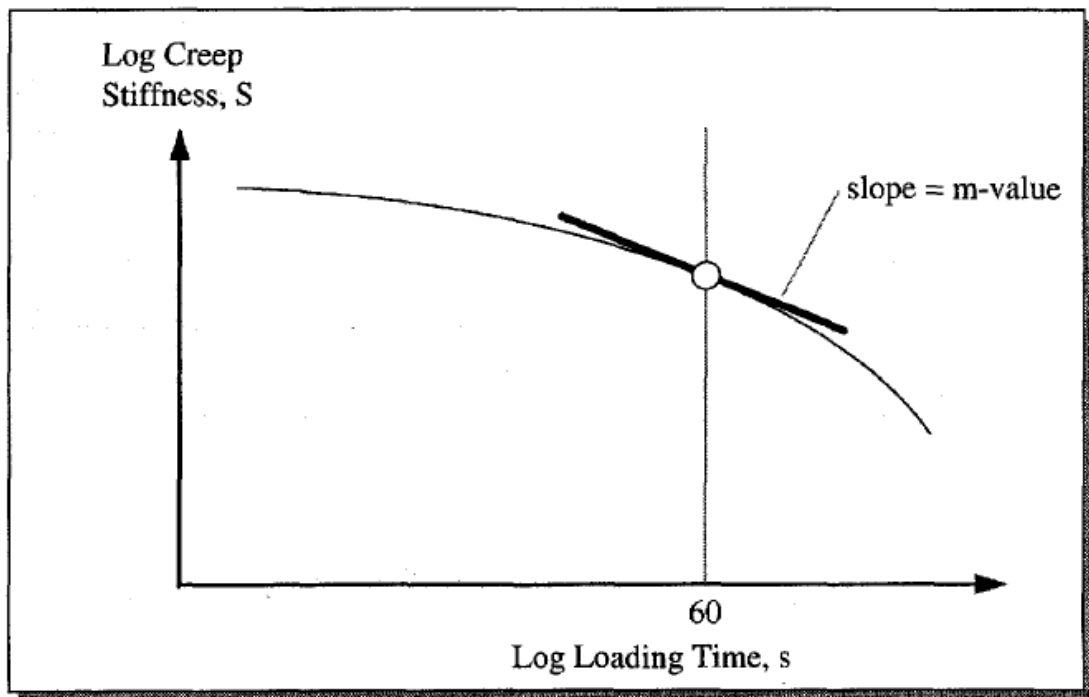


Рисунок III-5. Ручной метод определения значений M

Значение M - является касательной кривой зависимости жесткости S от времени t . Для спецификации Суперпэйв (Superpave) требуется значение M , большее или равное 0,300 при времени измерения равного 60 секундам.

Генерируемые при испытаниях на изгиб реометром (BBR) выходные значения автоматически сообщаются в компьютер, где формируются все необходимые элементы отчетности.

Отчетность включает в себя: графики отклонений и нагрузки в зависимости от времени, фактическую нагрузку, значения отклонений в разное время, параметры тестирования, а также информацию оператора. В следующей таблице приведена типичная информация, собранная и представленная системным программным обеспечением. Рисунок III-6 иллюстрирует типичные выходные графики.

TEST INFORMATION						
Proj: NCUPG	Target Temp: -18.0 C		Conf			
Oper: RSW	Actual Temp: -18.0 C		Test: 2.14e+00			
Spec: IN-10	Soak time: 60.0 min		Date: 01/13/94			
Time: 15:53:47	Beam Width: 12.7 mm		Load			
Date: 01/13/94	Thickness: 6.35 mm		Const: 0.246103			
File: 0216943.DAT			Defl			
			Const: .002417			
			Date: 01/13/94			
RESULTS						
Time, sec	Force, N	Defl, mm	Measured Stiffness kPa	Estimated Stiffness kPa	Diff, %	m-value
8	.9954	.1382	580900	580000	-.1550	.217
15	.9970	.1601	502100	503000	.1778	.236
30	.9989	.1903	423100	424100	.2339	.256
60	.9993	.2279	353600	352600	-.2797	.277
120	.9994	.2785	289300	289100	-.09025	.297
240	.9998	.3454	233400	233700	.1142	.317
Regression Coefficients						
a=5.932 b=-.1565			c=-.03374 R^2=.999964			

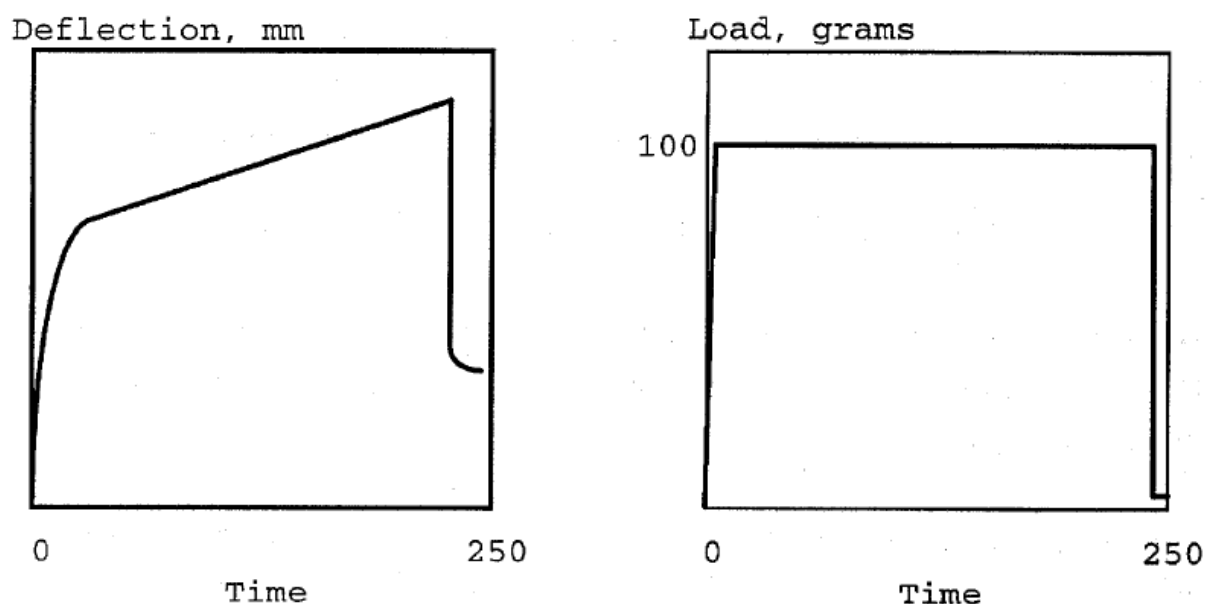


Рисунок III-6. Диапазон сканирования и нагрузки

КАЛИБРОВКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Датчик перемещения

Реометр(BBR) с помощью датчика перемещений с высокой степенью точности определяет очень важную характеристику асфальта - величину линейного изгиба бруска. Для проверки датчика перемещений используется эталонный образец известной толщиной.

Ячейка загрузки

Динамометрический датчик точно измеряет нагрузку, прилагаемую к бруску асфальта через нагрузочный стержень. Чтобы проверить точность срабатывания датчика, его испытывают с помощью нагрузки на жесткий стержень известной массой на бруски из стали.

Определение температуры

Тестирование в термостате реометра изгиба требует очень точных показаний датчика температуры, который еще иногда называют

"детектором теплового сопротивления " или RTD. Для избегания ошибок при измерениях датчики RTD располагают очень близко к опорам бруска. Точность датчиков RTD проверяется с помощью калиброванного ртутного термометра.

Проверка на соответствие

Значение жесткости сдвига образцов асфальта сильно зависит от точности измерений прогиба балки. Следовательно, важно, чтобы была уверенность в том, что измеряемый прогиб состоит полностью из прогиба самой балки и не включает в себя ошибки линейного отклонения реометра, которые могут образоваться за счет вмятин в балке на упорах загрузочной рамки. Вмятины от загрузочной рамки реометра на нижней части балки называют еще "податливостью". Проверка реометра проводится с применением стандартной нагрузки на стержень. Нагрузка продолжает действовать до тех пор, пока стержень не упрётся в жесткий брусок стали. Таким образом, любое измеренное отклонение будет результатом прогиба самого образца, и программное обеспечение реометра настроится на определение жесткости сдвига лишь той части отклонения, которое связано непосредственно со свойствами изучаемого материала.

Проверка достоверности

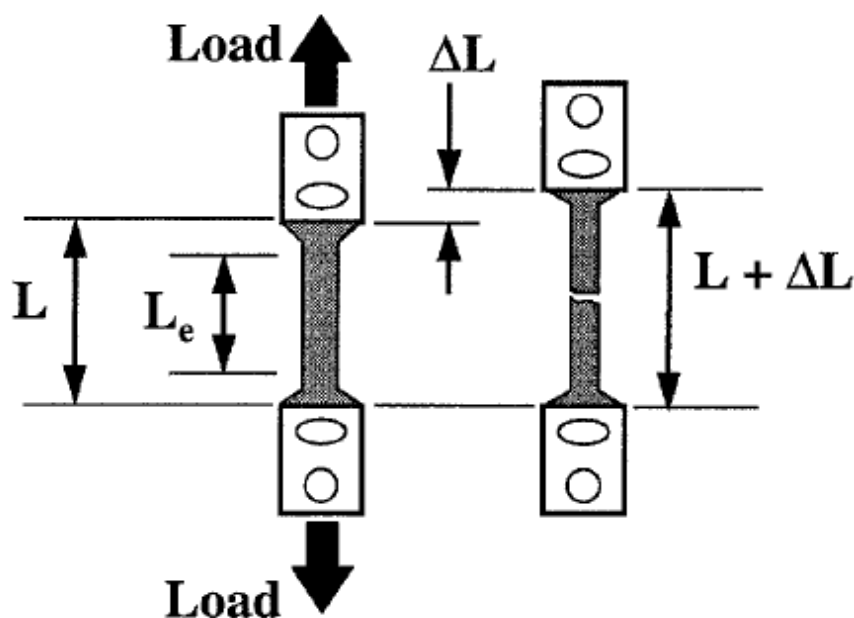
Общие эксплуатационные характеристики реометра проверяются путем загрузки тонкого опорного бруска из стали с известной жесткостью. В том случае если измеренная жесткость балки отклоняется от ее известного значения более чем на 10 %, то работа реометра считается неудовлетворительной.

IV. ТЕСТ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Тест на осевое растяжение измеряет относительное удлинение вяжущего при низкой температуре. Испытание проводят при относительно низких температурах, когда асфальт становится хрупким. Это диапазон от 0°C до -36° C. На приборе, кроме испытания исходных битумов, проводят испытания вяжущих, которые были подвергнуты старению в печи (RTFO) и под давлением (PAV).

Маленький образец битума в форме собачьей кости (см. рисунок ниже) нагружается с постоянной скоростью (рис. IV-1).



$$\text{failure strain } (\epsilon_f) = \frac{\text{change in length } (\Delta L)}{\text{effective gauge length } (L_e)}$$

Рисунок IV-1. Тест на прямое растяжение

failurestrain - деформация при разрушении, changeinlength - изменение длины, effectivegauge length - эффективное расстояние между метками.

Деформация при разрушении образца (ϵ_f) является отношением изменения длины (ΔL) к эффективной длине (L_e), отмеченной метками. В испытаниях на прямоерастяжение определяется напряжение, при котором образец достигает своего максимального

значения и разрушается (см. на рис. IV-2). При этом образец может не сломаться полностью, а растянуться. Отношение значения напряжения (σ_f) к величине поперечного сечения образца (36 мм^2), называется нагрузкой разрушения. Для вяжущих спецификация Суперпейв (Superpave) требует определить минимальное значение напряжения, при котором образец удлиняется более, чем на один процент.

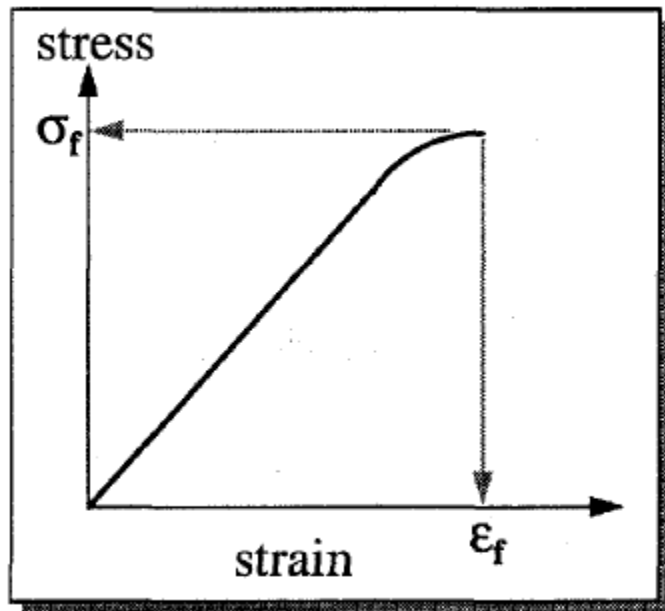
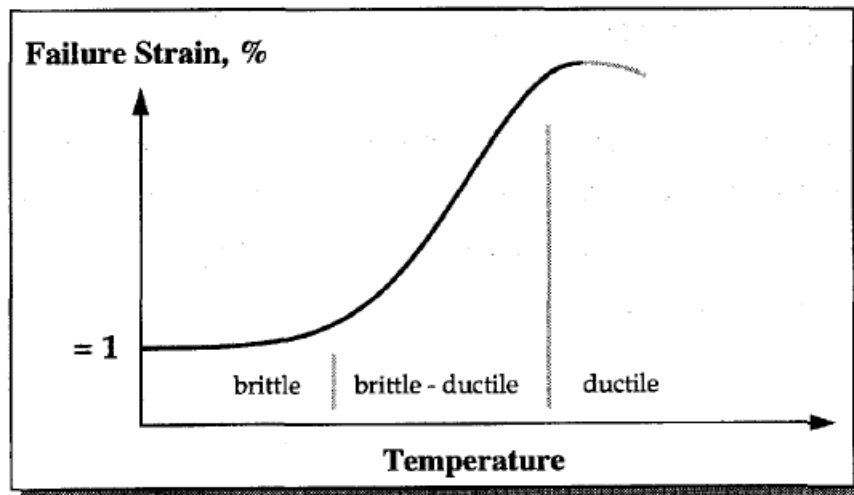


Рисунок IV-2. Тест прямого растяжения. Зависимость напряжения и деформации до разрушения.

Stress – напряжение, Strain – деформация.

Напряженно-деформационное поведение вяжущих в значительной степени зависит от температуры (рис. IV-3). Исследования поведения образцов вяжущих при различных температурах с помощью этого теста показало три типа зависимости.



FailureStrain - Неспособность к деформации в % , brittle – хрупкий,

brittle – ductile - хрупко-пластичный, ductile - пластичный.

Рисунок IV-3. Влияние температуры на растяжение асфальта до разрушения

Характерные зависимости напряженно-деформационных отношений показаны на рисунке IV-4. На этом графике три различных участка представляют один и тот же асфальт, испытанный при многочисленных температурах или различные испытания асфальта при одной и той же температуре. Хрупкое поведение означает, что асфальт очень быстро поднимает нагрузку и происходит лишь небольшое удлинение до образования трещин. Для пластичного асфальта характерно то, что на нем невозможно даже не образуются трещины при испытании на прямоерастяжение. Материал растягивается в длину до тех пор, пока его удлинение не превысит длину штока. В этом случае для испытаний увеличивают нагрузку до таких величин, при которых образец разрушается.

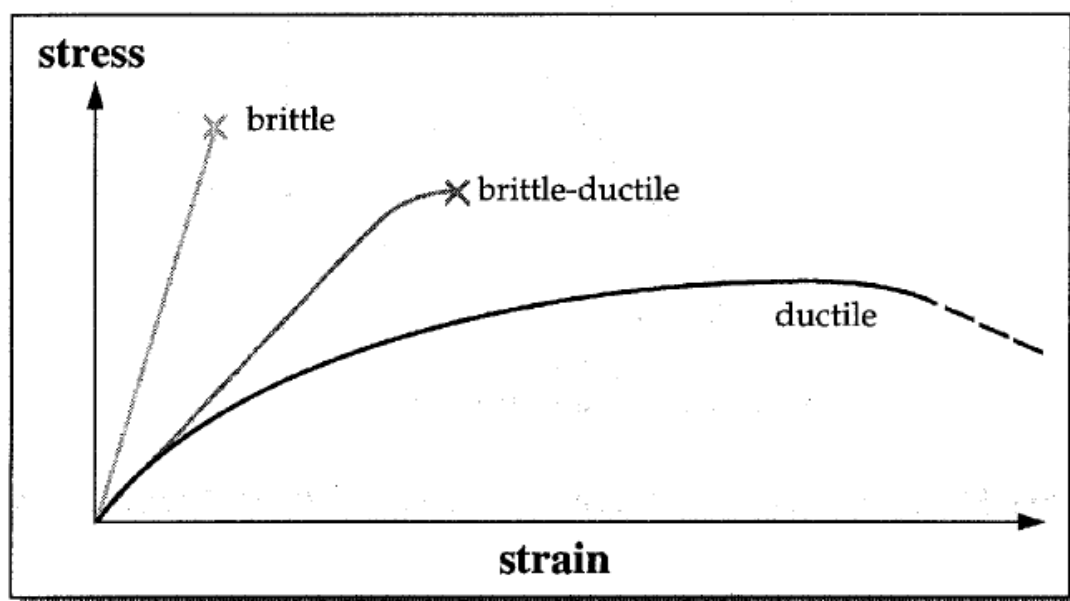


Рисунок IV-4. Напряжение - деформация. Поведение битумных вяжущих

Изготовление образцов

Образцы для прямогорастяжения заливают в форму из кремниевой резины (рис. IV-5). Пресс-форма позволяет изготовить четыре образца. Эти четыре образца используются для того, чтобы получить один результат теста. Пластиковые концевые вкладыши помещают в форму, и горячий асфальт заливают между вставками в пространстве, как это показано на рисунке IV-5.

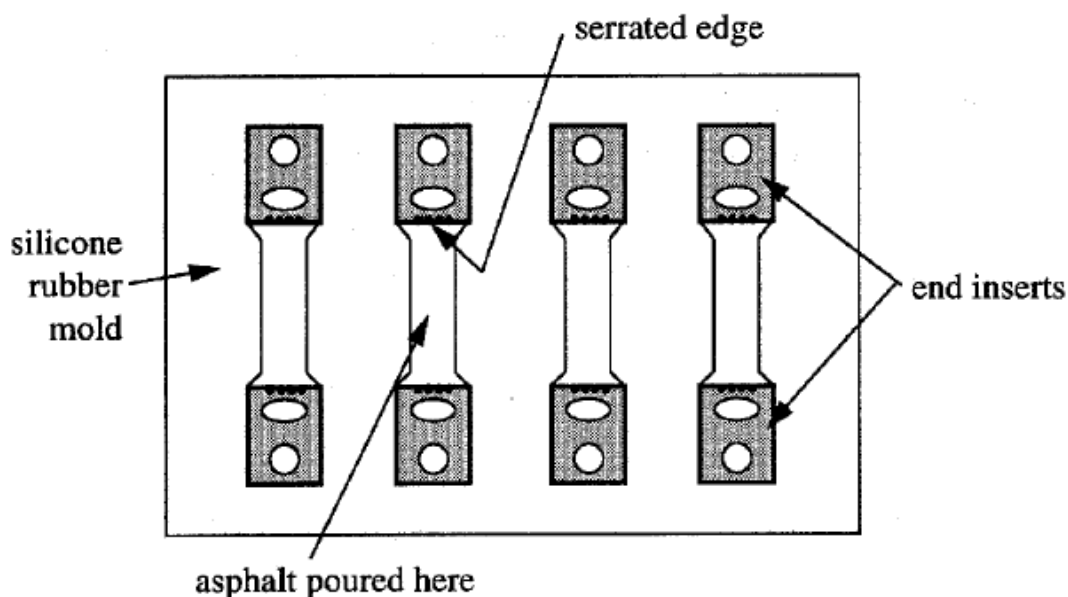


Рисунок IV-5. Форма для заливки образцов

serrated edge - зубчатые края, end inserts - концевые вставки, asphalt poured here - асфальт заливается здесь, silicone rubber mold – пресс-форма из силиконовой резины.

Образцы для испытаний (рис. IV-6) весят приблизительно 2 г и имеют длину 100 мм, включая концевые вставки. Каждая вставка имеет длину 30 мм, а длина испытуемого образца вяжущего составляет 40 мм в длину. Каждый образец имеет нормированное сечение 6 мм. В расширяющейся части образца диаметр материала увеличивается с 6 мм до 12 мм. В торцевой вставке диаметр увеличивается до ширины 20 мм. Торцевые пластины изготавливают из полиметилметакрилата или другого подходящего материала с линейным коэффициентом теплового расширения, аналогичного асфальту ($0,00006 \text{ мм / мм / } ^\circ\text{C}$). Асфальт легко прилипает к этим материалам и, поэтому, дополнительный связующий агент не требуется.

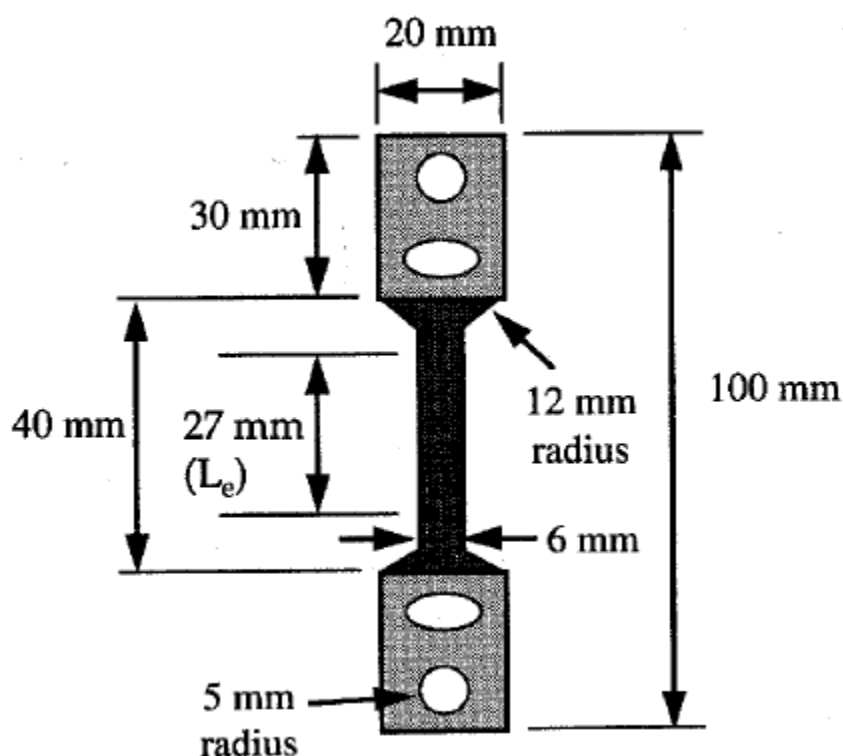


Рисунок IV-6. Размеры образцов нате́ст прямо́го растяже́ния

После того как образцы залиты, их охлаждают и у них удаляют лишний выступающий материал. Затем извлекают из формы и проводят испытания в течение 60 ± 10 минут. Поскольку время проведения теста ограничено, оператор должен тщательно скоординировать подготовку оборудования с подготовкой образцов.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Устройство, используемое для выполнения теста прямогорастяжения, состоит из трех компонентов:

- испытательной машины, обеспечивающей нагрузку на растяжение,
- системы контроля удлинений,
- системы охлаждения образцов.

Универсальные испытательные машины должны обеспечивать мощность нагрузки от 400 до 500 N при скорости

деформации $1,0 \text{ mm/min}$. Устройство должно быть оснащено электронным датчиком нагрузки, способным обеспечить нагрузку с точностью $\pm 0.1 \text{ N}$. В то же время устройство должно быть способно, снять необходимую информацию с электронных цифровых приборов достаточную для расчетов по программной спецификации.

Основным, и очень важным, элементом испытательной машины является система захвата, которая позволяет укрепить образцы и выровнять испытываемые на растяжение стержневые образцы (рис. IV-7). Для этого в устройстве предусмотрено крепление в виде шарнира, который обеспечивает отсутствие изгиба. Тем самым удастся исключить действие индуцированного напряжения изгиба. При испытаниях стержни выравниваются и присоединяются сверху к тензодатчику, а внизу к загрузочной раме.

Поскольку тест на прямое растяжение выполняется при низких температурах, величина деформации до разрыва образца относительно невелика. Поэтому традиционные методы измерения деформаций в этом случае не подходят. В этом случае используется лазерный микрометр. Это устройство состоит из генератора лазерного луча и блока приема. Свет в вертикальной плоскости направляется через образец в сторону приемника. Приемник видит два слота света, поскольку образцы и конечные вставки блокируют плоскость лазерного луча за исключением двух отверстий в конечных вставках. За счет этого, приемник отслеживает движение между верхним и нижним слотом света, и происходит измерение удлинения образца. Рисунок IV-8 иллюстрирует концепцию лазерного микрометра.

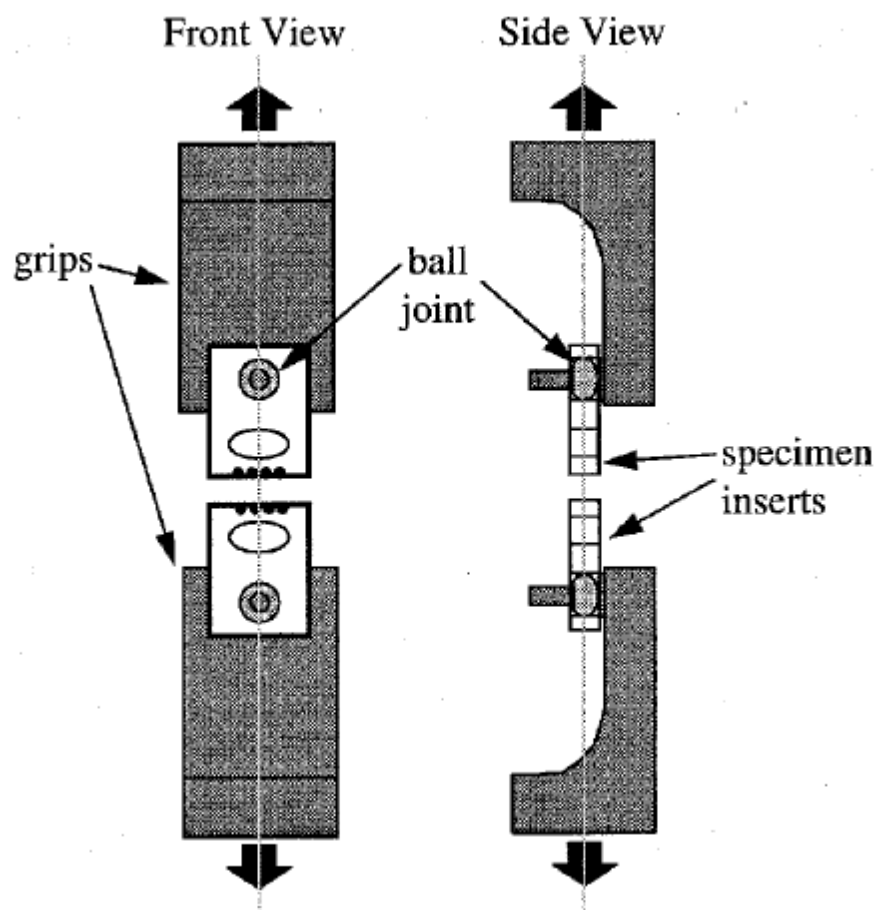


Рисунок IV-7. Захваты в тесте прямого растяжения

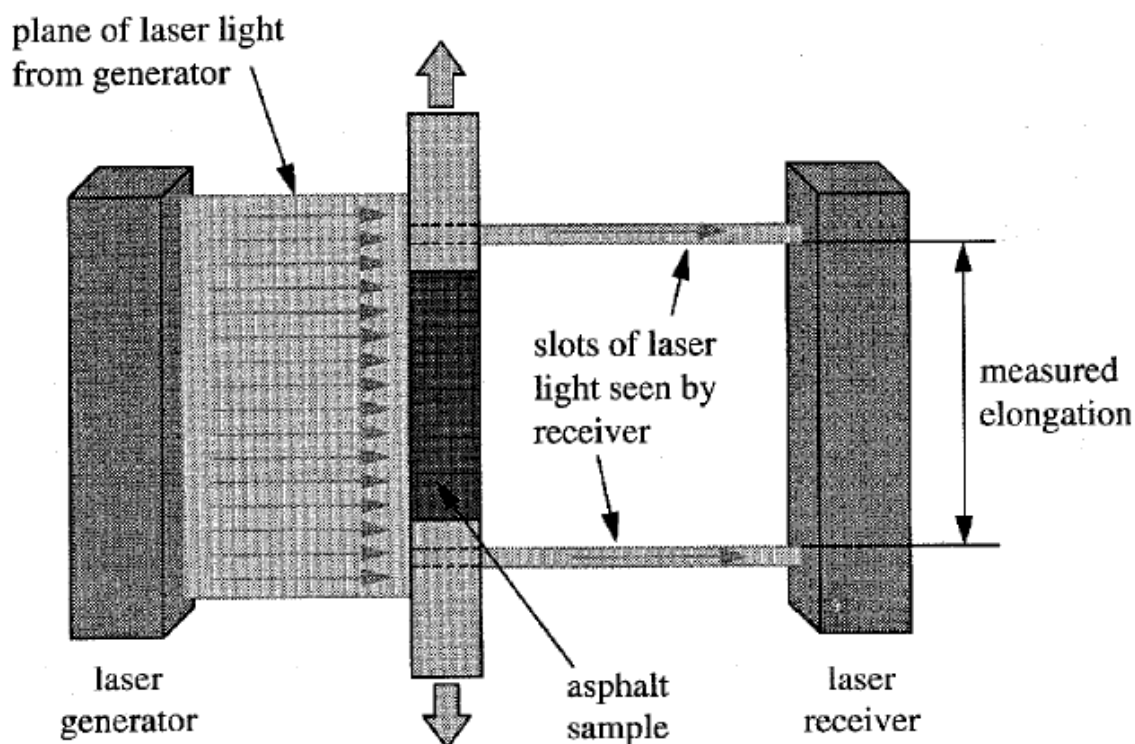


Рисунок IV-8. Принцип лазерного микрометра (вид сбоку)

Для обеспечения постоянной температуры во время испытаний образцы находятся в термостате, который состоит из камеры и механического холодильного агрегата способного поддерживать температуру с точностью до $-40^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Камера имеет небольшой люк, через который образцы могут устанавливаться захваты. Для более равномерного поддержания температуры в камере используются специальные отверстия, через которые вставляют образцы. Образцы перед установкой предварительно охлаждают в емкости со льдом или, в период высокой влажности, в качестве охлаждающей жидкости используется Азот.

ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ

Каждый образец испытывается по отдельности. Образцы устанавливают в шарнир через отверстие доступа, но ни в коем случае не через открытие крышки отсека. Перед началом испытаний оператор инициализирует индикаторы нагрузки и обнуляет лазерный микрометр. Сила растяжения действует до тех пор, пока образец не разрушится. Обычно сам тест проводится за время

меньше, чем одна минута. Испытание считается пригодным, если разрушение происходит в узкой центральной части образца.

АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Результат теста на осевое растяжение представляет собой среднеарифметическое значение величины разрушения четырех образцов. В приведенной ниже таблице показаны типичные результаты теста.

Batch Number - Acme Refining 759AC1196-16				
Operator - CEL				
Date - 3/15/93				
Time - 14:16:26				
Test Number	Peak Load, N	Peak Stress, kPa	Strain at Peak Stress, mm/mm	Peak Elong., mm
000091	65.70	1845.9	0.00369	0.099
000092	64.72	1818.6	0.00540	0.146
000093	56.45	1586.9	0.00459	0.124
000094	64.94	1825.6	0.00549	0.148
Mean	62.95	1769.3	0.00479	0.129
Std Dev	4.36	122.1	0.00083	0.023

Peak Load, N – пик нагрузки N, Peak Stress, kPa – пик напряжения, kPa Strain at Peak Stress, mm/mm – деформация при пиковом напряжении, Peak Elong., mm – пик относительного удлинения.

В этом случае представляет собой интерес среднее значение напряжения на пике действия силы, 0,00479 mm/mm, что составляет 0,5% деформации (т.е. $0,00479 \times 100\% = 0.479\%$ или после округления, 0,5%). Это значит, что данный образец не соответствует техническим требованиям предъявляемым битумам,

поскольку в требованиях нет таких допустимых значений.

Деформация должна составлять не менее одного процента при минимальном напряжении. Несмотря на то, что в спецификации особо не указываются требования к соблюдению точности параметров, мы посчитали необходимыми привести:

- температура испытания с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$,
- степень удлинения с точностью до $0,01\text{ mm/min}$,
- провал напряжения с точностью до $0,01\text{ МПа}$,
- пиковая нагрузка с точностью до N ,
- наблюдаемый тип зависимости (хрупкий, хрупко-пластичный или пластичный).

КАЛИБРОВКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Ячейка загрузки

Поскольку наибольшая деформация достигается при максимальном напряжении, важно, чтобы датчик располагался точно в точке приложения нагрузки. Точность расположения датчика нагрузки может быть определена путем смещения тензодатчика в мертвой зоне.

Экстензометр

Точность работы лазерного экстензометра можно проверить с помощью калиброванного образца. Эталонный образец испытывают точно так же как образец битумного вяжущего, при этом аналогичным образом блокируется часть лазерного источника света. Эталон необходимо установить в двух захватах и с помощью двух измерений определить больший и меньший размеры. Сравнивая данные измерений с эталонным размером, можно проверить точность лазерного экстензометра.

Датчик температуры

В камере устройства прямого растяжения имеется точный датчик температуры, который называется "детектор теплового сопротивления" или RTD. Датчик RTD расположен очень близко к полке, на которой находятся испытываемые образцы. Точность RTD проверяется с помощью калиброванного ртутного стеклянного термометра.

Оценка скорости нагрузки

Скорость, с которой подвергается нагрузке образец, можно проверить с помощью стрелочного индикатора и секундомера. Шкала датчика смонтирована так, что индикатор воспринимает движение ползуна. Измеряя расстояние, пройденное ползуном в течение определенного периода времени (приблизительно одна минута), с помощью вычислений определяется фактическая скорость нагрузки.

V. РОТАЦИОННЫЙ ВИЗКОЗИМЕТР

ВВЕДЕНИЕ

Вращательный вискозиметр используется для оценки пригодности вяжущих в технологии производства асфальтобетона при высокой температуре. На практике вместо капиллярного вискозиметра используется вращательный коаксиальный цилиндрический вискозиметр, например, аппарат Брукфильда (Brookfield). В некоторых технологиях производства асфальта используют такое понятие, как "вязкость по Брукфильду." Этот метод измерения вязкости, подробно изложен в ASTM метод D 4402, "Определение вязкости битумов с использованием устройства термостата Брукфильда".

Вязкость при высокой температуре битума измеряют для того, чтобы асфальт был достаточно жидким при перекачивании и перемешивании. Вязкость вращения измеряют для исходного битума. В соответствии со спецификацией

Суперпейв(Supergrave), вязкостьбитума должна превышать значение $3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ при температуре 135°C .

Вязкость вращения определяется путем измерения крутящего момента, необходимого для поддержания постоянной скорости вращения цилиндрического вала, погруженного в образец вяжущего,при постоянной температуре (рис. V-1)

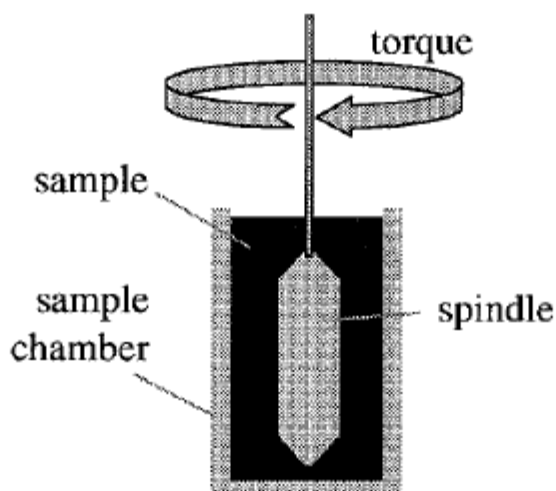


Рисунок V-1. Принцип ротационного вискозиметра

Крутящий момент, требуемый для вращения шпинделя при постоянной скорости, непосредственно связан с вязкостью образца вяжущего, которая определяется автоматически с помощью вискозиметра.

Изготовление образцов

Приблизительно 30 граммов вяжущего нагревают в печи таким образом, чтобы оно стало достаточно жидким, и его можно было бы разлить. Ни в коем случае не следует нагревать образец выше 150°C . Во время нагревания образца иногда асфальт необходимо перемешивать, чтобы удалить растворенный воздух. Образец асфальта взвешивают вместе с камерой. Количество используемого асфальта варьируется в зависимости от шпинделя. Чем больше шпиндель, тем меньше асфальта может поместиться в камеру. Как правило, в приборе используется не менее 11 граммов.

Камеру для тестирования, содержащую образец вязущего, помещают в термостат и ждут пока температура в ней не стабилизируется. Обычно это занимает около 15 минут.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

Прибор для измерения вязкости вращения состоит из двух элементов:

- вискозиметра Брукфильда
- системы термостатирования.

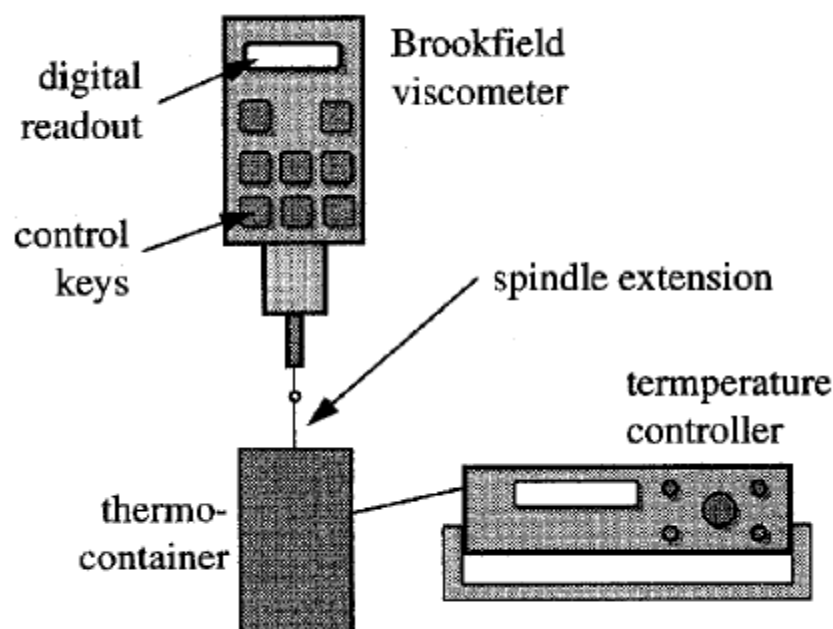


Рисунок В-2. Вискозиметр Брукфильда и система записи данных температуры

Вискозиметр Брукфильда состоит из двигателя, веретена, клавиш управления и цифровых индикаторов. Двигатель приводит в действие шпиндель через закручивающуюся пружину. При увеличении крутящего момента пружина наматывается больше. Крутящий момент пружины измеряется с помощью роторного преобразователя. Для большинства вращательных вискозиметров

в спецификации указано требование: двигатель должен работать при частоте 20 оборотов в минуту.

Шпиндель имеет цилиндрическую форму и напоминает отвес. Сопротивление вращению зависит от природы вязкостного тума, в который погружен отвес. В аппарате Брукфильда есть возможность использовать сменные шпиндели. Необходимый шпиндель выбирается в зависимости от вязкости испытываемого вещества. Многие вязущие могут быть проверены только с помощью двух шпинделей: № 21 и 27, из которых шпиндель № 27 используется наиболее часто.

Крутящий момент и скорость вращения указываются на цифровом индикаторе. Кнопки управления в аппарате используются для следующих целей: для установки параметров тестирования, ввода номера шпинделя, который используется в вискозиметре, для установки скорости вращения, включения и выключения двигателя.

Для нормальной работы вискозиметр необходимо выровнять. Пузырьковый индикатор уровня, расположенный в верхней части вискозиметра, регулируется с помощью подъемных винтов на базе.

Система термостабилизации состоит из стакана пробоотборника, термоконтейнера и регулятора температуры. Пробоотборник изготовлен из нержавеющей стали в форме стакана. Камера для образцов также изготовлена из нержавеющей стали в форме широкой чашки. Для извлечения нагретого образца из термостата используется специальный инструмент.

Термоконтейнер представляет собой камеру, куда помещается образец. В ней имеются электрические нагревательные элементы, которые поддерживают необходимую для испытаний температуру. Регулятор температуры позволяет оператору установить температуру теста на требуемом значении 135°C. Пузырьковый уровень, установленный на базе термоконтейнера, позволяет добиться в камере горизонтального уровня жидкости.

ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ

Когда цифровой индикатор на температурном контроллере показывает, что температура образца выровнялась, можно приступить к тестированию образца. Шпиндель опускают в камеру, содержащую горячий образец. При этом шпиндель соединен с валом вискозиметра при помощи резьбового соединения (рис. V-3).

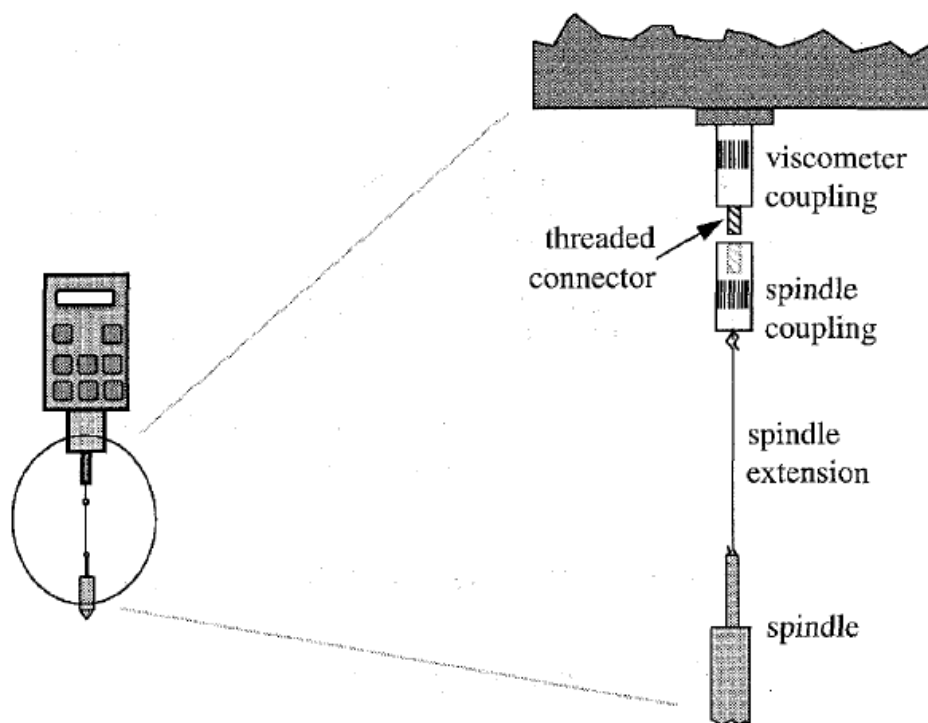


Рисунок V-3. Соединение шпинделя и вискозиметра

Затем необходимо выдержать время (обычно около 15 минут), для того чтобы образец вернулся к прежней температуре 135°C. В этот период двигатель вискозиметра будет включенным, и оператор может наблюдать за изменением вязкости. После выравнивания температуры вязкость стабилизируется, и оператор может начать получать результаты испытаний. Оператор может установить цифровой дисплей для отображения информации о вязкости. В конечном итоге на основе этой информации оформляется протокол испытаний. В него входят следующие параметры: вязкость, температура испытания, номер шпинделя и скорость вращения. Три значения вязкости должны быть записаны с 1-минутным

интервалом. Диаграмма V-4 показывает четыре возможных дисплея, которые оператор может выбрать. Обратите внимание, на то, что в этом примере, на дисплее изменяется только левый верхний элемент.

В некоторых случаях может возникнуть необходимость определения вязкости асфальта при температурах отличных от 135°C. Например при более низких температурах, при которых растворяют ПАВ, с которым проходит смешение и уплотнение для проектирования асфальтовых смесей. Для достижения этого, следят по термоконтроллеру и дожидаются необходимой температуры. Со временем термоконтейнер остынет, и образец придёт к желаемой температуре. Этот шаг занимает около 30 минут, после чего тест выполняется снова, как описано выше.

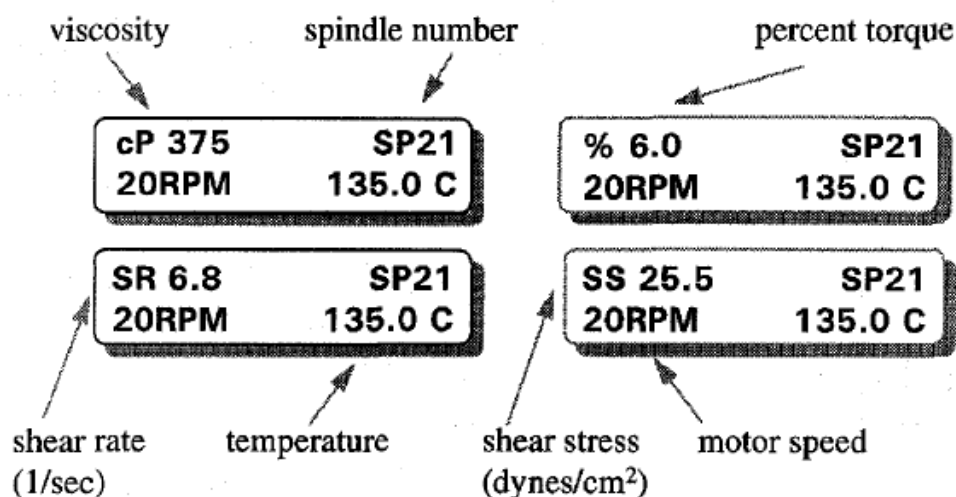


Рисунок V-4. Вискозиметр Цифровые дисплеи

АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Вязкость при 135°C рассчитывается как среднеарифметическое трех измерений. Цифровым результатом теста, по определению вязкости вращения, является вязкость, измеренная в сП (сР). Однако, согласно спецификации Суперпейв (Superpave), вязкость вещества должна быть измерена в Па · с. Для преобразования полученных данных, используется следующая формула:

$$1000 \text{ cP} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Поэтому для того, чтобы получить вязкость в $\text{Pa} \cdot \text{s}$, необходимо умножить полученное значение вязкости Брукфилда в сП на 0,001.

Как упоминалось ранее в отчете по испытаниям, в дополнение к вязкости приводят: температуру испытания, номер шпинделя и скорость его вращения.

Исследование битумов согласно спецификации Суперпейв (Superpave) требует значение вязкости не менее $3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Однако, в некоторых случаях это не требуется. Если по каким-то причинам изменяются указания надзорных органов по возможному применению конкретных материалов, то это требование может быть отменено. Так же это возможно, если завод изготовитель дает гарантии для вяжущего о том, что оно может быть использовано при безопасной температуре в технологии.

КАЛИБРОВКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Поворотный датчик

Точность поворотного датчика проверяется при использовании эталонной жидкости.

Датчик температуры

Точность показаний температуры в термостате проверяется путем сравнения результатов показания прибора и калиброванного термометра.

VI. МЕТОД СТАРЕНИЯ БИТУМА

ВВЕДЕНИЕ

Центральной темой спецификации связующих Суперпейв (Superpave) является изучение свойств битумов в условиях, при

которых моделируются процессы старения. Можно выделить три наиболее важных этапа этого процесса:

- старение во время транспортировки, хранения и обработки,
- старение во время смешивания, производства и строительства,
- старение после длительных периодов эксплуатации асфальта.

Моделирование старения исходного асфальта, которое происходит во время транспортировки, хранения и перекачки представляет собой первый этап испытаний.

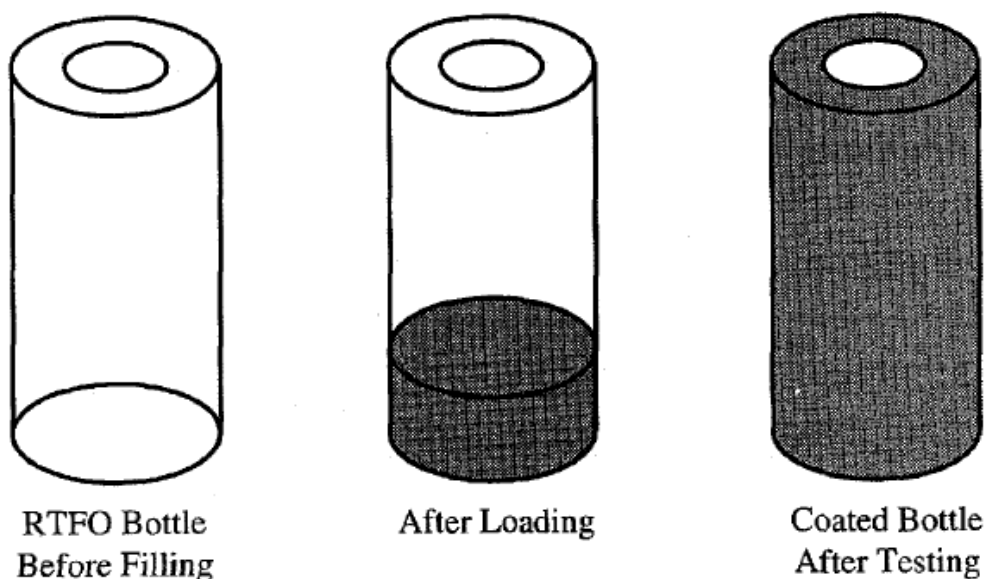
На втором этапе моделируется старение вяжущего вещества в прокатной тонкопленочной печи (RTFO) аналогично тому, как это происходит в процессе производства асфальтобетонных смесей и укладке дорожного полотна. Техника старения RTFO была разработана Департаментом шоссейных дорог Калифорнии и подробно описана в AASHTO T-240 (ASTM D 2872). Этот тест предоставляет собой смещенное воздействие на связующее тепла и воздуха. Он моделирует реальные процессы, происходящие с асфальтом во время горячего смешения и укладки.

Третий этап старения вяжущего вещества происходит аналогично тому, как это происходит после длительного периода эксплуатации асфальта. Этот этап моделируется с помощью старения под давлением (PAV). Этот тест позволяет имитировать действие на образцы битумов тепла и давления в течение нескольких часов, аналогично тому, как это происходит за несколько лет при эксплуатации дорожного полотна.

Важно отметить, что для тестов PAV используются образцы вяжущего, полученные после старения RTFO. Таким образом, в итоге старения под давлением PAV, получается вяжущее, которое подверглось всем возможным видам воздействий, происходящим в процессе производства и эксплуатации асфальта.

Изготовление образцов

Для подготовки к тесту на старение RTFO образец вяжущего нагревают до жидкого состояния. При этом образец не должен нагреваться до температуры выше 150°C . В сосуды RTFO заливают $35 \pm 0,5$ г вяжущего. Устройство RTFO предполагает наличие восьми таких емкостей. Однако содержимое только двух из них будет использовано для определения потери массы при нагревании. Две емкости, содержащие образцы, должны быть охлаждены и взвешены с точностью до 0,001 г. Оставшиеся после RTFO шесть из восьми емкостей выливают в один контейнер и перемешивают (для обеспечения однородности). Остаток битума после RTFO следует слить из емкостей, и при этом материал не соскабливают со стенок. Полученный материал может быть использован для DSR тестирования или заливки в емкости PAV для дополнительного старения. В противном случае, материал следует хранить в одинаковых порциях в маленьких контейнерах для последующего использования.



RTFO Bottle Before Filling - RTFO Емкость (бутылка) перед заполнением, After Loading - после загрузки, Coated Bottle After Testing - После тестирования.

Рисунок VI-1. Емкость RTFO с образцом до и после старения

Для подготовки к PAV остаток RTFO переносится в отдельную кастрюльку на другой тестер, где разливается в PAV pan-

(специальные плоские чашки). Образец следует нагревать для того, чтобы он мог быть легко залит в PAV pan, и при этом, для обеспечения его однородности, образец хорошо перемешивают. Каждая плоская чашечка с образцом должна весить 50 гр. Для заливки одного образца, как правило, необходим остаток примерно из двух емкостей RTFO.

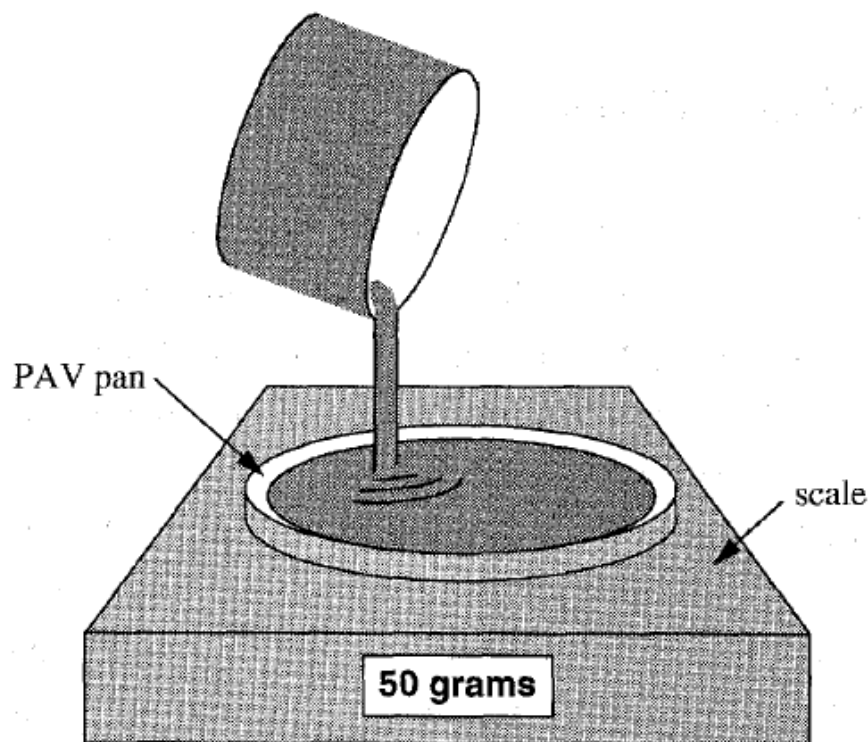


Диаграмма VI-2. Остаток RTFO выливается в чашечки PAV pan

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Прокатка в тонких пленках при нагревании (Rolling Thin Film Oven)

Процедура RTFO требует электрического подогрева конвекционной печи. Особые требования к печи подробно описаны в AASHTO T 240 (ASTM D 2872). Печь содержит в себе вертикальную круглую каретку (рис. VI-3), в которой расположены отверстия для размещения бутылок с образцами. Каретка с механическим приводом вращается по кругу. К печи также подведен воздух, который попадает на образцы асфальта.

Старение под давлением в сосуде (PAV)

Аппарат старения под давлением состоит из сосуда для старения и температурной камеры. Давление в цилиндре обеспечивается подачей сухого очищенного сжатого воздуха. В приборе имеются следующие устройства: регулятор давления, впускной клапан и выпускной клапан для медленного стравливания.

Сосуд высокого давления изготовлен из нержавеющей стали и предназначен для работы в условиях повышенного давления и температуры (2070 кПа и одной из температур -90°C , 100°C или 110°C). Камера должна вмещать в себя не менее 10 образцов, которые помещаются в специальную стойку. Стойка представляет собой набор ячеек, в которые удобно входят образцы. На диаграмме VI-4 показан еще один вариант такого устройства. Герметичность крышки емкости обеспечивается посредством кольцевого сдвига. Устройство сборки состоит из замка (алюминиевое кольцо) и бронзовых сегментов кольцевого сдвига (рис. VI-5). Крышка сосуда снабжена муфтой для соединения с манометром и температурным датчиком. Датчик температуры подключается к цифровым индикаторам, которые позволяют осуществлять визуальный контроль температуры внутри сосуда на протяжении всего периода испытаний. Другой тип устройства показан на рисунке VI-6. В этом случае аппарат состоит из цилиндрической камеры с верхней и нижней пластиной, которые стягиваются болтами.

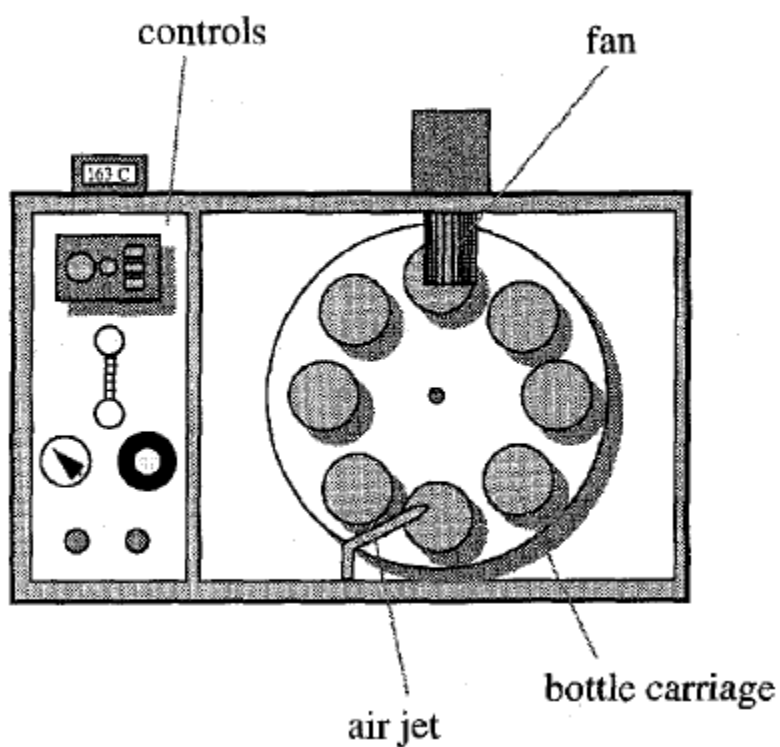
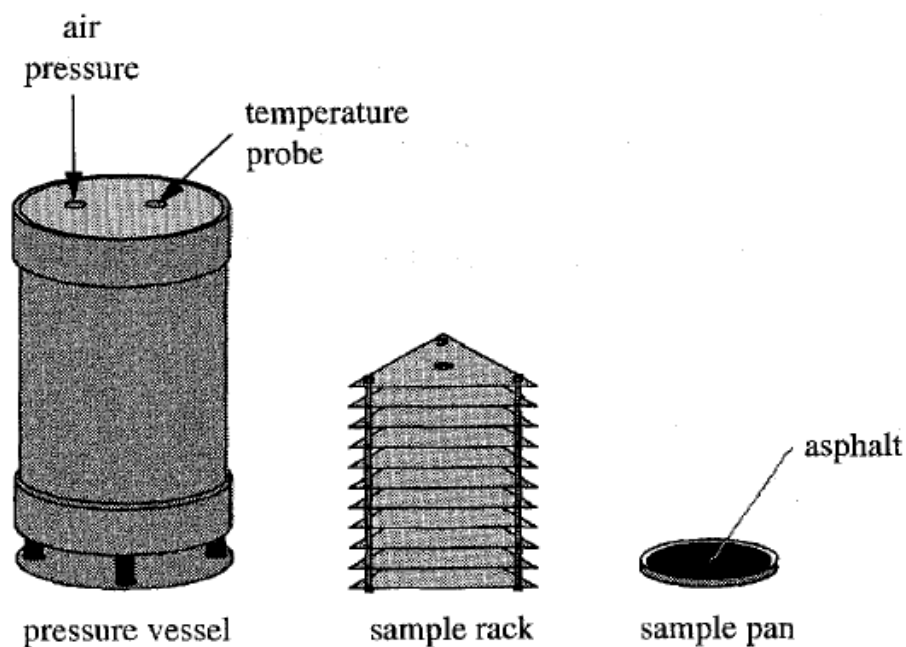


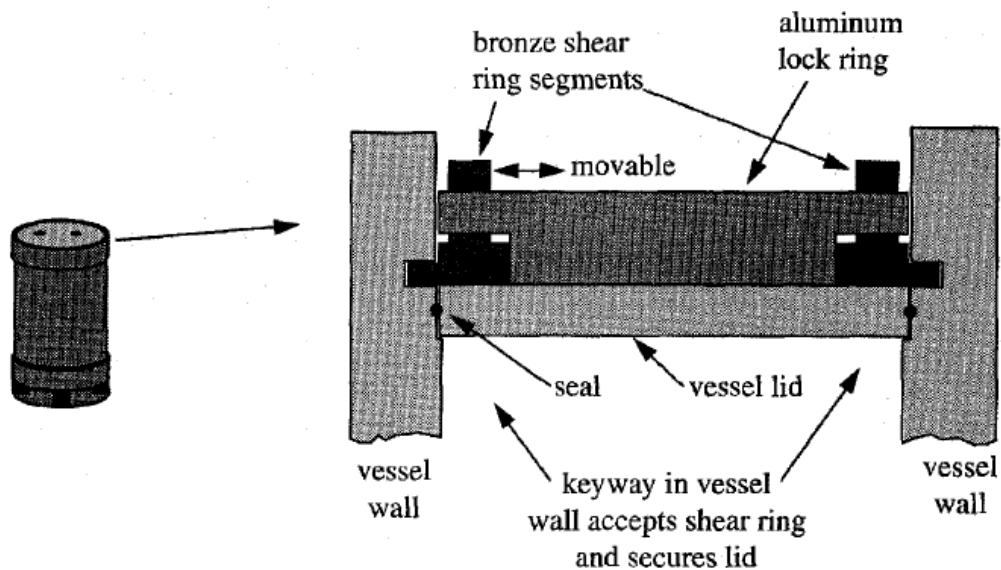
Диаграмма VI-3. RTFO Духовка

Fan – вентилятор, airjet - воздушная струя, bottlecarriage – каретка для бутылок



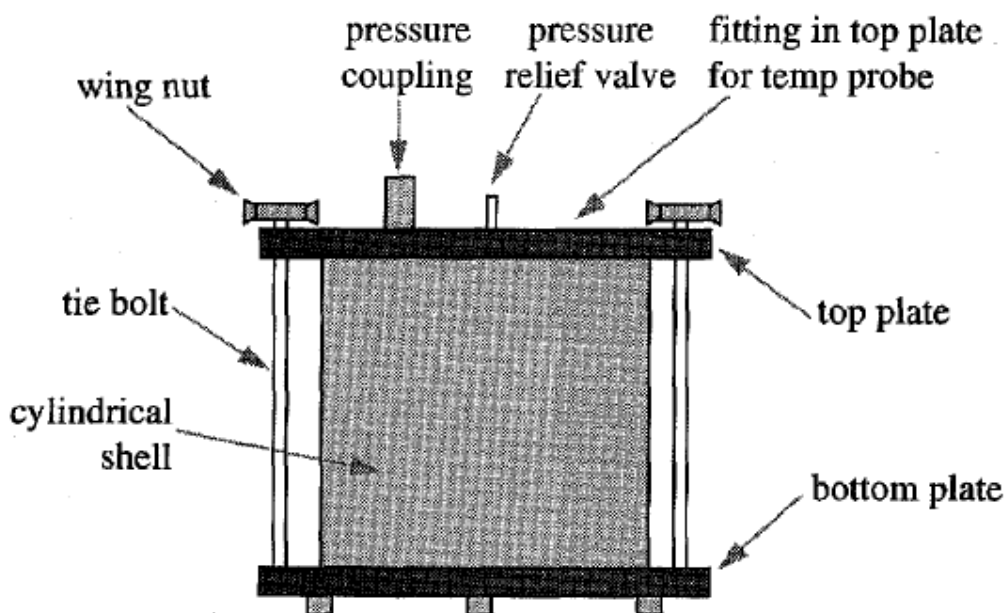
Airpressure – давление воздуха, temperature probe – температура пробы, pressurevessel - сосуд под давлением, samplerack - стойки для образцов, samplepan – образец в специальной плоской чашке.

Диаграмма VI-4. Устройство прибора для старения под давлением



bronzeshearringsegments – сдвигающиеся сегменты бронзовых колец, aluminumlockring - алюминиевое стопорное кольцо, vesselwall – стенки сосуда, movable – направление для разбора, seal – затвор, vessellid - крышка сосуда, keywayinvesselwallacceptsshearringandsecureslid - шпоночный паз в стенке сосуда, куда сдвигается кольцо, которое обеспечивает герметичность крышки.

Диаграмма VI-5. Сдвижное монтажное кольцо для крышки сосуда
 ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ



Cylindricalshell – цилиндрическая оболочка, tiebolt–болт, wingnut - барашковая гайка, pressurecoupling - муфта давления, pressurereliefvalve - клапан сброса давления, fittingintopplatefortempprobe – вход для температурного зонда в верхней пластине, topplate - верхняя пластина, bottomplate - нижняя пластина

Диаграмма VI-6. Альтернативная конфигурация прибора на старение под давлением

Принудительная тяга в печи используется для термостатирования камеры. Печь должна иметь возможность контролировать температуру на протяжении всего теста в пределах $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Прибор также позволяет наблюдать и записывать температуру.

ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ

Печь RTFO перед использованием предварительно нагревают до температуры $163^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в течение как минимум 16 часов.

Термостат должен быть настроен так, чтобы печь могла вернуться к этой температуре в течение 10 минут после того, как в нее загрузят образцы.

После того как сосуды загрузят в пустые гнезда RTFO, каретка должна начать вращаться со скоростью $15 \pm 0,2$ об/мин. Расход воздуха должен иметь величину 4000 ± 200 мл/мин. В этих условиях образцы выдерживают в течение 85 минут.

После того как испытание закончено, проводят исследование на потерю массы. Для этого образцы оставляют охлаждаться до комнатной температуры, а затем взвешивают с точностью до 0,001 г.

ТЕСТ НА СТАРЕНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (PAV)

Для выполнения старения под давлением сначала для набора температуры включают печь. Сосуд помещают в камеру (без давления) и нагревают до требуемой температуры теста.

Плоские чашечки с образцами помещают в стойку. После того как температура достигнет необходимого значения, образцы с пробами перемещают в стойку и погружают в разогретый сосуд.

Затем устанавливается крышка и для завершения сборки сдвигают и закрепляют кольца. Этот шаг следует выполнять как можно более быстро для того, чтобы избежать чрезмерных потерь тепла в сосуде.

После этого сосуд загружают в термокамеру, подключают шланг с давлением и соединяют датчики температуры. Как только температура сосуда приблизится к температуре испытания в пределах 2°C, начинают нагнетать давление воздуха через клапан цилиндра. Когда давление воздуха достигнет нужной величины, начинается проведение теста.

Через 20 часов с помощью спускового клапана медленно снижают давление. Для того, чтобы постепенно сбросить давление, требуется от 8 до 10 минут. Если сбрасывать давление быстрее, то в образце могут образоваться пузырьки воздуха и может появиться пена. Затем чашки удаляются из держателя образцов и помещают в сушильный шкаф при температуре 163°C на 30 минут. Данный шаг позволяет удалить из проб захваченный воздух. Затем образцы переносят в контейнер, в котором хранятся материалы для дальнейших тестов.

АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Поскольку сами по себе тесты RTFO и PAV не несут полной информации о старении вяжущих, не все данные по этим испытаниям заносят в протокол. Исключением являются значения потери массы после старения RTFO, которая вычисляется как среднее между потерей массы двух образцов. Она рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Потеря массы, \%} = \frac{[(\text{исходная масса} - \text{масса после старения}) / \text{исходная масса}] \times 100\%}{}$$

Характеристики Суперпейв (Superpave) допускают потерю массы не более одного процента для всех классов вяжущих веществ.

В отчете по тесту PAV содержатся следующие данные:

- идентификация номера образца,
- значение температуры старения с точностью до 0.1°C ,
- максимальная и минимальная температуры, записанные с точностью до 0.1°C ,
- общее время процесса старения с точностью 0,1 мин, при которой температура находится за пределами заданной границы,
- общее время старения в часах и минутах.

КАЛИБРОВКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Старение в тонких пленках в печи (Rolling Thin Film Oven)

Температуру в печи измеряют с помощью теплового детектора (RTD) или калиброванного термометра. Точность измерений RTD проверяют калиброванным термометром. Поток воздуха в RTFO проверяется с помощью калиброванного расходомера. Скорость вращения каретки проверяется с помощью секундомера и подсчета количества оборотов за определенный интервал времени.

СТАРЕНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (PAV)

Температура внутри сосуда контролируется детектором RTD. Точность RTD также проверяется с помощью калиброванного термометра. Указанное давление выставляется на регуляторе и, как правило, проверяется стандартной калибровкой.

VII. ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ СОГЛАСНО КЛАССИФИКАЦИИ СУПЕРПЕЙВ (Superpave)

ВВЕДЕНИЕ

Спецификация вяжущих Суперпейв (Superpave) предназначена для контроля остаточной деформации, которая происходит при разрушении битумов от усталостных нагрузок и низких температур (см. Приложение А). Этот контроль достигается с

помощью изучения различных физических свойств описанными ранее тестами. В этом разделе кратко объясняется назначение каждого из новых параметров тестирования, связанных с эксплуатационными качествами автомобильных дорог.

Отличие спецификации Суперпейв (Superpave) от тех, которые использовались ранее, заключается в новой методике проведения исследований. На рис. VII-1 можно обратить внимание на то, что требования к некоторым физическим свойствам вяжущих остаются постоянными для всех видов битумов. Однако температуры, при которых эти свойства должны иметь определенные значения, варьируются в зависимости от климата, в котором они будут использоваться. В качестве примера, возьмем класс PG 52-40, он предназначен для использования в климате, где средняя семидневная максимальная температура дорожного покрытия летом составляет 52°C , а минимальная зимняя температура дорожного покрытия -40°C .

Остаточная деформация (образование колеи)

Проблема колейности в дорожных покрытиях возникает при действии повышенных температур окружающей среды. Спецификация Суперпейв определяет требования к коэффициенту колейности, $G^*/\sin\delta$, который представляет собой отношение высокотемпературной составляющей вязкости к общей жесткости вяжущего. Этот коэффициент еще называют «отношение G^* к синусу дельта». Он определяется путем деления значения комплексного модуля (G^*) на синус угла сдвига фаз (δ), измеренного с помощью динамического реометра сдвига, как это было описано ранее. Значение $G^*/\sin\delta$ должно быть не менее 1.00 кПа для оригинального битумного вяжущего, и минимум 2,20 кПа для битумного вяжущего после старения в прокатной тонкопленочной печи RTFO. Оба требования спецификации приведены на рисунке VII-2. Описание таблицы.

Performansgrade – класс эксплуатационных свойств (тип битумного вяжущего) , PG 52, PG 58, Average 7 - dayMaximumPavement - Среднегодовая Максимальная 7- дневная температура асфальтового покрытия, MinimumPavementdesignTemperature – минимальная годовая температура асфальтового покрытия, OriginalBinder – исходное битумное вяжущее, FleshPointTemp, T48 – температура размягчения; Minimum, ° C – температура вспышки, , Viscosity - вязкость, ASTM D 4402:Maximum, 3 Pa•s (3000 cP), TestTemp, °C – вязкость, максимум 3 Pa•s (3000 cP), при температуре 135° C, DynamicShear, TP5: $G^*/\sin\delta$, Minimum, 1.00 kPaTestTemp 10 rad/sec, °C - Динамический сдвиг, по TP5: $G^* / \sin\delta$, минимум, 1,00 кПа при фиксированной температуре нагрева 10 рад/сек, C

Performance Grade	PG 52							PG 58		
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28
Average 7-day Maximum Pavement Design Temp, C	<52							<58		
Minimum Pavement Design Temperature, C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28
Flash Point Temp, T48: Minimum, C								Original Binder		
Viscosity, ASTM D 4402: ^b Maximum, 3 Pa-s (3000 cP) Test Temp, C								230		
Dynamic Shear, TP5: ^c $G^*/\sin\delta$, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, C	52							58		

Spec Requirement
Remains Constant

Test Temperature
Changes

SpecRequirementremainsconstant – Требование Спецификации - остается постоянным,
TestTemperaturechanges - Изменения температуры испытания

Рисунок VII-1. Пример битумноговяжущего согласно
Спецификации Суперпейв

Класс эксплуатационных свойств	PG 52 PG 58	
	-10,16,22,28,34,40,46	-16,22,28
Средняя 7- дневная Максимальная температура асфальтового покрытия	<52< 58	

Минимальная температура асфальтового покрытия	Отрицательные температуры	
	>-10,16,22,28,34,40,46	>-16,22,28
	исходное битумное вяжущее	
температура вспышки, min	230° C	
вязкость, ASTM D 4402: максимум 3 Pa•s (3000 cP) при температуре	135° C	
Динамический сдвиг, TP5: $G^* / \sin \delta$, минимум, 1,00кПа при фиксированной температуре нагрева 10 рад/сек, C	5258	
Требование Спецификации остается постоянным	Температуры испытания Изменяемые	

Рисунок VII-1. Спецификация Суперпейв(Superpave)для вяжущего.
Пример

Performansgrade – класс эксплуатационных свойств,, Average 7 dayMaximumPavement - Средняя 7- дневная Максимальная температура асфальтового покрытия, MinimumPavementdesignTemperature – минимальная температура асфальтового покрытия,FleshPointTemp, T48; Minimum, C – температура вспышки, Viscosity, ASTM D 4402: Maximum, 3 Pa•s (3000 cP), TestTemp, C – вязкость, максимум 3 Pa•s (3000 cP) при температуре 135° C минимум,RollingThinFilmOven (T240) - Старение связующего в прокатной тонкопленочной печи (RTFO), MassLoss, Maximum, % - потеря массы, max %, DynamicShear, TP5: $G^*/\sin \delta$, Minimum, 1.00 kPaTestTemp 10 rad/sec, C - Динамический сдвиг, TP5: $G^* / \sin \delta$, минимум, 1,00 кПа при фиксированной температуре нагрева 10 рад/сек, C

Performance Grade
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, C
Minimum Pavement Design Temperature, C
Flash Point Temp, T48: minimum C
Viscosity, ASTM D 4402: ^b Maximum, 3 Pa-s (3000 cP), Test Temp, C
Dynamic Shear, TP5: ^c G*/sin δ, Minimum, 1.00 kPa Test Temperature @ 10 rad/s, C
Rolling Thin Film Oven (T240)
Mass Loss, Maximum, %
Dynamic Shear, TP5: G*/sin δ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, C

Spec Requirements to Control Rutting

Класс эксплуатационных свойств
Средняя 7- дневная Максимальная температура асфальтового покрытия
минимальная температура асфальтового покрытия
температура вспышки T48
вязкость, ASTM D 4402, максимум 3 Pa•s (3000 cP) при температуре, минимум
Старение связующего в прокатной тонкопленочной печи (RTFO)
потеря массы, max %,
Динамический сдвиг, TP5: G * / sinδ, минимум, 1,00кПа при фиксированной температуре

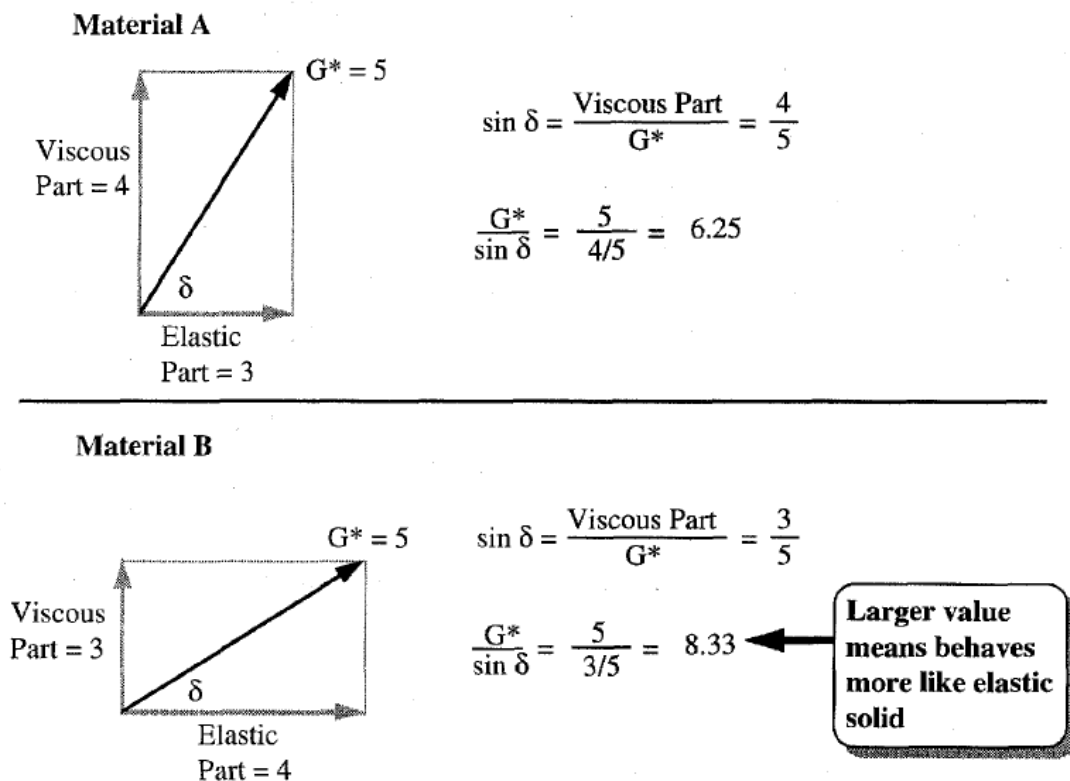
нагрева 10 рад/сек, С

Динамический сдвиг, TP5: G^* / $\sin \delta$, минимум, **2,20 кПа** при фиксированной температуре нагрева 10 рад/сек, С

Диаграмма VII-2. Особые требования Спецификации Суперпейв (Superpave) к коэффициенту колеи (выделены жирно)

(динамический сдвиг- $G^* / \sin \delta$ должен быть в пределах давления 1,00 кПа - 2,20 кПа)

Использовать $G^* / \sin \delta$, имеет смысл для того, чтобы помочь исследователям определить эксплуатационные качества битумов с точки зрения образования колеи. $\sin \delta$ рассчитывается как отношение вязкой части G^* к общему значению G^* . Для двух материалов А и В, показанных на рис. VII-3 имеется значительная разница между значениями $\sin \delta$.



Largervalue means behaves more like elastic solid - Большее значение говорит о том, что материал ведет себя скорее как упругое тело

Диаграмма VII-3. Контроль колейности в Спецификации Суперпейв (Superpave)

$\sin \delta$ для материала А составляет (4/5), что больше чем значение $\sin \delta = (3/5)$ для материала В. Это означает, что при делении G^* (равной для А и В), соотношение $G^* / \sin \delta$ будет меньше для материала А (6,25), чем для материала В (8,33). Поэтому материал В должен показать более высокие эксплуатационные качества с точки зрения образования колеи, чем материал А. Это связано с тем, что материал В имеет гораздо меньшую вязкую составляющую, чем материал А. В обоих случаях G^* имеют большие значения и, соответственно чем меньше $\sin \delta$, тем больше значение будет у отношения $G^* / \sin \delta$, что является желательным с точки зрения сопротивления образованию колеи.

Усталостное растрескивание

Для того чтобы контролировать процесс усталости в асфальтовых покрытиях в спецификации Суперпейв (Superpave), также используют оценки значений G^* и δ . В дорожных покрытиях усталость накапливается за счет двух факторов. Это низкие и умеренные температуры, а также длительный период эксплуатации. Для моделирования этих процессов требуется проведение старения битумов по методикам RTFO и PAV. Полученные после проведения тестов материалы подвергают исследованиям.

PAV Aging Temp, C
Dynamic Shear, TP5: $G \cdot \sin \delta$, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, C
Physical Hardening ^e
Creep Stiffness, TP1: ^f S, Maximum, 300 MPa m-value, Minimum, 0.300 Test Temp, @ 60 sec, C
Direct Tension, TP3: ^f Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, C

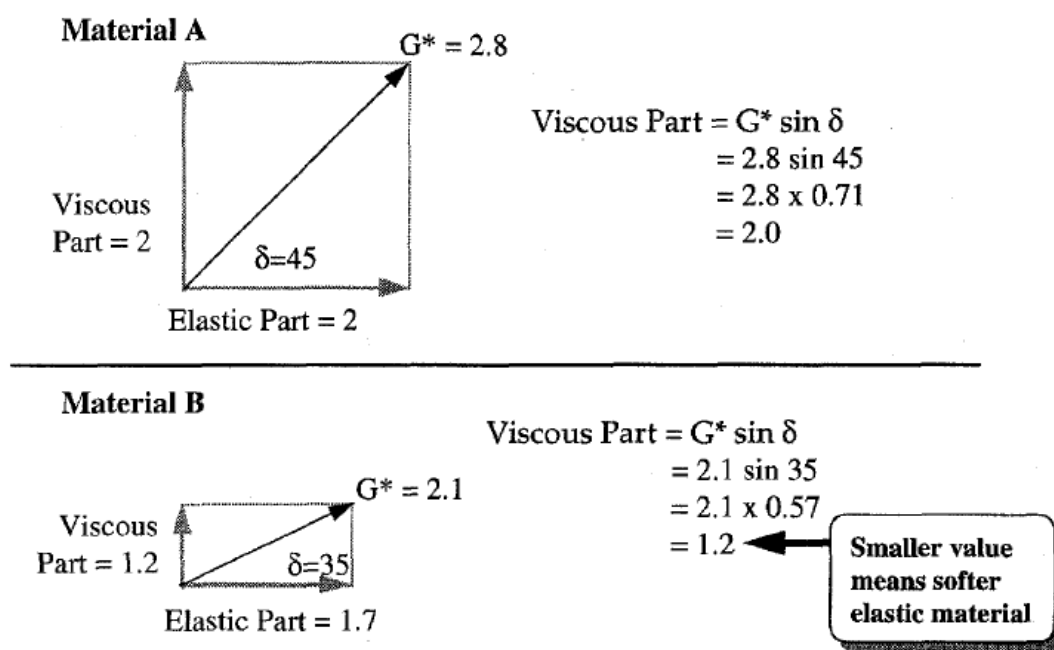
Specification requirement
to control fatigue cracking

PAV Aging Temp, C - Температура теста PAV, Dynamic Shear, TP5; $G \cdot \sin \delta$, Maximum, 5000 kPa, Test Temp 10 rad/sec, C - Динамический сдвиг - **Требование для контроля усталостного растрескивания**, Physical Hardening - Физическая Закалка, Creep Stiffness, TP1: f S, Maximum, 300 MPa m-value, Minimum, 0.300 Test Temp, @ 60 sec, C - Жесткость сдвига, TP1: S, максимум, 300 МПа m-значение, минимум, 0.300 испытанной при температуре, при 60 сек, C, Direct Tension, TP3 Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, C - Прямое Напряжение, TP3 разрушение от напряжения, минимум, 1,0% Тест Temp @ 1.0 мм / мин, C.

Диаграмма VII-4. Требования Спецификации Суперпейв (Superpave) для фактора усталостных трещин

Для того чтобы показать, как работает фактор усталости при образовании трещин, обратимся к рисунку VII-5. В этом примере материал В имеет такое сочетание $G \cdot \sin \delta$, которое приводит к тому, что его вязкость имеет меньшее значение, чем составляющая упругой части по сравнению с материалом А. Поскольку материал В имеет меньшее значение δ , чем материал А, то он ведет себя скорее как мягко-эластичный материал, чем материал А. Эта характеристика вызывает в материале В гибкость и способность неоднократно восстанавливать свою первоначальную форму, что является лучшим показателем, чем у материала А. Способность действовать в качестве мягкого-эластичного материала и восстанавливаться после нагрузки является желательной. Такое связующее обладает признаками сопротивления образованию трещин от усталости. Вполне возможна комбинация $G \cdot \sin \delta$, которая может

привести значение $G^* \sin \delta$ к такой большой величине, что вязкие и упругие части станут слишком значимыми, и вяжущее больше не будет в состоянии эффективно противостоять усталости растрескивания. Именно поэтому спецификация определяет максимальный предел значения $G^* \sin \delta$ в 5000 кПа.



SpecRequirementremainsconstant – Требование Спецификации - остается постоянным,
 TestTemperaturechanges - Изменения температуры испытания

Рисунок VII-5. Пример вяжущего в Спецификации Суперпейв (Superpave)

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ

Обычно битумные вяжущие ведут себя как твердые тела при очень низких температурах ($< -50^\circ\text{C}$) и как жидкости при высоких температурах ($> +70^\circ\text{C}$). На практике асфальтовые покрытия, как правило, эксплуатируются между этими крайними значениями температур. Тест на испытание бруска битумного вяжущего на изгиб позволяет установить, будет ли вести себя битум скорее как упруго-твердый или как вязко-жидкий материал. Этот тест

проводят при значительно более низких температурах, чем испытания битумного вяжущего на реометре динамического сдвига. Тест на изгиб бруска в реометре применяется для определения сдвига при небольшой нагрузке на образец и измеряет жесткость сдвига асфальта. Если жесткость сдвига слишком высока, то асфальт будет вести себя как хрупкий материал, при этом более вероятно будет происходить растрескивание битума. Максимальный предел нагрузки при тестировании на жесткость сдвига составляет 300 МПа, (рисунок VII-6).

PAV Aging Temp, C	
Dynamic Shear, TP5:	
G* $\sin \delta$, Maximum, 5000 kPa	
Test Temp @ 10 rad/sec, C	
Physical Hardening ^c	
Creep Stiffness, TP1: f	
S, Maximum, 300 MPa	Specification requirements to control low temperature cracking
m-value, Minimum, 0.300	
Test Temp, @60 sec, C	
Direct Tension, TP3: f	
Failure Strain, Minimum, 1.0%	Specification requirements to control low temperature cracking
Test Temp @ 1.0 mm/min, C	

PAV AgingTemp, C - PAV Старение Temp, C, DynamicShear, TP5: DynamicShear, TP5: G* $\sin \delta$, Maximum, 5000 kPaTestTemperature @ 10 rad/s, C - Динамический сдвиг, TP5: G * $\sin \delta$, максимум, 5000 кПа Температура испытания @ 10 рад /сек, C, PhysicalHardening - Физическая Закалка, CreepStiffness, TP1: f S, **Maximum, 300 MPa m-value**, Minimum, 0.300 TestTemp, @60 sec, C - Жесткость сдвига, TP1: S, максимум, 300 МПа м-значение, минимум, 0.300 испытаний температура, при 60 сек, C, DirectTension, TP3 FailureStrain, Minimum, 1.0% TestTemp @ 1.0 mm/min, C - Прямое Напряжение, TP3 **разрушение от напряжения, минимум, 1,0%** Тест Temp@1.0 мм / мин, C, Specificftionrequirementtocontrol lowtemperaturecracking - Требование Спецификация по контролю за низкотемпературным растрескиванием

Диаграмма VII-6. Спецификация Суперпейв (Superpave) устанавливает требования по контролю над растрескиванием при низкой температуре

В описании Спецификации Суперпейв (Superpave) для битумного вяжущего скорость, с которой изменяется упругость вяжущего под нагрузкой сдвига, определяется при низких температурах с

помощью значения M . Желательно, чтобы значение M было по возможности большим. Значительная величина M говорит о том, что с изменением температуры в битуме будет сильно накапливаться термическое напряжение, и при этом жесткость будет меняться относительно быстро. Относительно быстрое изменение жесткости приводит к тому, что вяжущее стремится избавиться от напряжения. При этом оно стремится в образце материала вверх до уровня, при котором будет происходить растрескивание при низкой температуре. Спецификация Суперпейв (Superpave) для битумных вяжущих требует значение M больше, чем - 0,300 (рис. VII-6).

При снижении уличной температуры в дорожном покрытии происходит сжатие битумного вяжущего. Это усадка вызывает рост напряжения в асфальте. Когда это напряжение превышает прочность битума, происходит растрескивание. Изучение свойств битумных вяжущих показало, что если вяжущее может растягиваться до значения больше чем 1% от его первоначальной длины во время усадки, то образование трещин маловероятно. В соответствии с этим, в методики исследования качества битумных вяжущих был включен тест на прямое растяжение. Этот тест применяют для битумов, которые имеют жесткость сдвига в границах 300 и 600 МПа. Если жесткость сдвига меньше 300 МПа, то нет необходимости проводить дальнейшие испытания. Тест на растяжение образца асфальта проводят с очень медленной скоростью натяжения, что имитирует реальные условия, подобные тем, которые происходят при усадке асфальта. Величина деформации, которая происходит до разрыва образца, записывается и сравнивается со значением минимально допустимого в спецификации - 1,0 % (рис. VII-6).

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМОВ

Помимо индивидуальных характеристик вяжущих, в спецификации Суперпейв (Superpave) содержится набор общих требований. Эти

требования к битумам включены для общего контроля и учета вопросов техники безопасности.

Температура вспышки (AASHTO T48) используется для оценки проблем пожарной безопасности. Минимальное значение температуры вспышки для всех классов битумных вяжущих должно быть не менее 230°C. Это требование относится только к исходному битуму.

Исследователям необходимо убедиться, что вяжущее можно бесппроблемно перекачивать в смеситель и использовать в технологии производства асфальтобетона, в противном случае его необходимо применять в специальных устройствах и при особых условиях. Спецификация Суперпейв (Superpave) определяет максимальное значение вязкости исходного битума. Это значение для всех типов вяжущих составляет 3 Па•с (3000 сП на ротационном вискозиметре). Асфальтобетонные заводы могут не проводить эти тесты, если от поставщиков имеется соответствующий сертификат на битум, где указано, что данное вяжущее отвечает необходимым требованиям.

Для предотвращения ухудшения качества битума от испарения углеводородов во время горячего перемешивания и укладки асфальта установлена максимально допустимая потеря массы. Для всех марок вяжущих требование потери массы к остатку после теста RTFO не должно превышать 1,0 %.

Во время хранения битума в хранилищах происходит физическое упрочнение битумных вяжущих. Особенно это проявляется при низких температурах. Эти свойства битумов обусловлены тем, что молекулы асфальта связываются друг с другом, и это физическое явление называют закалкой материала. Спецификация Суперпейв (Superpave) требует, чтобы закалка или физическое упрочнение было определено количественно. Для этого требуется проведение теста на изгиб бруска вяжущего при повышенном давлении, который необходимо выдержать в течение 24 часов при

заданной температуре испытаний. Два комплекта брусков изготавливаются для определения жесткости сдвига и измерения значения М. Один образец испытывают, как обычно, при заданной температуре после термостатирования в течение одного часа, другой образец тестируется после выдержки, при заданной температуре в течение 24 часов. Жесткость сдвига и значение М записываются для обоих образцов. Результаты испытаний должны показать необходимые значения этих параметров.

ВЫБОР БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Битумное вяжущие обычно выбирают на основе климата, в котором должно эксплуатироваться дорожное полотно. В следующей таблице приведена классификация вяжущих по спецификации Суперпейв (Superpave) .

High Temperature Grade	Low Temperature Grade
PG 46-	34, 40, 46
PG 52-	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG 58-	16, 22, 28, 34, 40
PG 64-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 70-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 76	10, 16, 22, 28, 34
PG 82	10, 16, 22, 28, 34

В этой таблице марки PG 76 и 82 используются только для того, чтобы применять их в местах эксплуатации асфальтового покрытия, где имеются перекрестки с замедленным движением транспорта, места остановки или присутствует постоянная нагрузка, особенно с движением избыточного тяжелого грузового транспорта.

Специальный модуль программного обеспечения Суперпейв (Superpave) помогает пользователям в выборе необходимого сорта

связующих для проектирования шоссейных дорог. Суперпейв (Superpave) содержит три метода, с помощью которого пользователь может выбрать сорт асфальта:

- по географическим зонам: Американское Агентство разработало карту, указывающую на то, какую марку связующего необходимо использовать проектировщиком в заданной местности. Она составлена на основе погодных данных.
- по температуре Дорожного покрытия: Проектировщику нужно знать расчетную температуру дорожного покрытия.
- по температуре воздуха: Проектировщик определяет температуру воздуха, которую необходимо учитывать при закладке температуры дорожного покрытия.

База данных погоды Суперпейв (Superpave)

Программа Суперпейв (Superpave) содержит базу данных о погоде с 6500 станций в США и Канаде. Это позволяет проектировщикам выбирать марки битумов для климата, где расположены объекты дорожного строительства. За каждый год метеорологическая станция определяет самый жаркий семидневный период и, в этом период, рассчитывается средняя максимальная температура воздуха. За все годы наблюдений, а станции записывают информацию уже более 20 лет, имеются и используются средние значения температур каждого теплого периода года. Кроме того, рассчитываются их стандартные отклонения. Аналогичным образом рассчитывают среднегодовое значение отрицательной температуры. Так же как и у высоких температур, рассчитывают стандартные отклонения низких температур.

Надежность

Как следует пользоваться данными Суперпейв (Superpave). Для надежного предсказания того, что в течение одного года фактическая температура не будет превышать расчетную температуру, вычисляется соответствующий процент вероятности.

Выбор марки битумного вяжущего по данным Суперпейв (Superpave) может быть очень гибким. Это определяется тем, какой уровень надежности будет выбран для самой высокой и самой низкой температуры. Рассмотрим в качестве примера г. Толика, штат Канзас. Летние температуры воздуха в городе имеют средний семидневный максимум 36°C и стандартное отклонение 2°C . Диаграмма VII-6 показывает распределение частот для этих данных. В среднем, за год, семидневная максимальная температура воздуха не будет превышать температуру 36°C с вероятностью 50%. Однако существует лишь двухпроцентная вероятность того, что температура превысит значение 40°C , и поэтому температура воздуха для проектирования выбирается 40°C , с надежностью 98%.

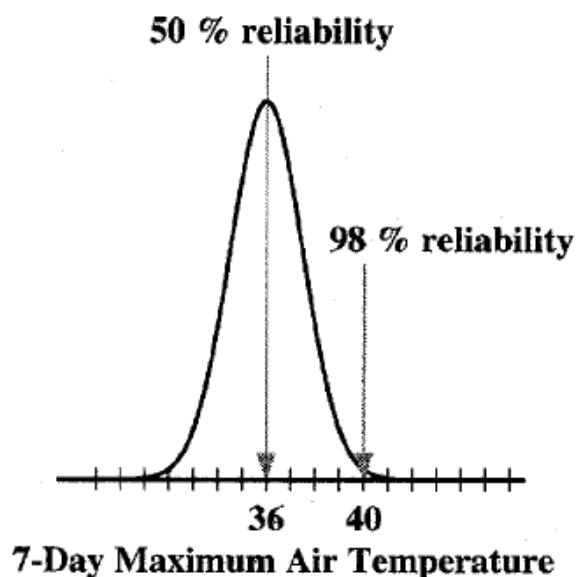


Диаграмма VII-6. Распределение годовой температуры.
Семидневная дневная Максимальная температура воздуха для г.
Толика, штат Канзас

Начнем с температуры воздуха

Для того чтобы понять, как происходит выбор вяжущего предназначенного для асфальтовой смеси, рассмотрим например г. Толика. Диаграмма VII-7 показывает распределение частот для высоких и низких температур воздуха, которые используются для проектирования.

Средняясемидневная максимальная температура воздухалетом составляет 36°C ,при стандартном отклонении 2°C . Обычной зимой средняя отрицательная температура составляет -23°C . Для очень холодной зимы значение температурысоставляет -31°C , при стандартном отклонении 4°C .

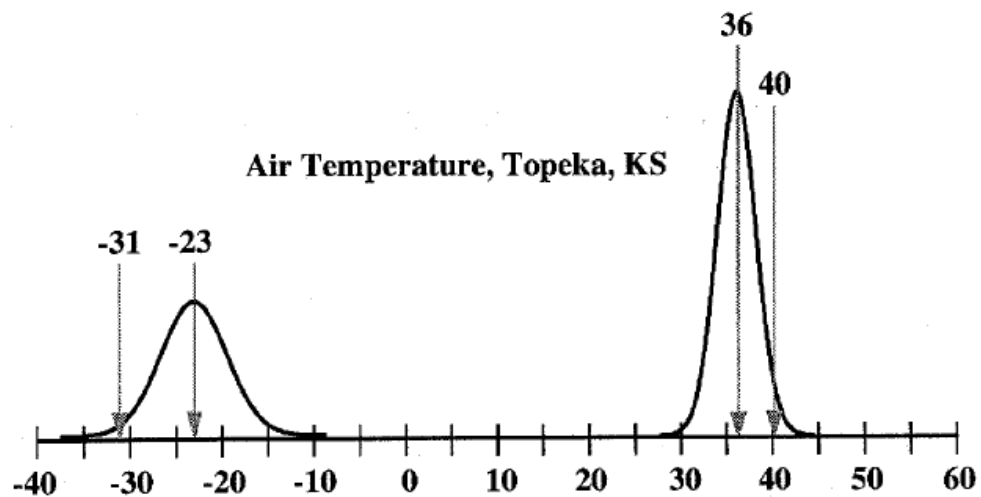


Диаграмма VII-7. Распределение высоких и низких температур приземного воздуха г. Толика, Канзас

Температура в дорожном строительстве

Программа Суперпейв (Superpave) позволяет вычислить высокую температуру дорожного покрытия на 20 мм ниже поверхностного слоя и низкую температуру на поверхности дорожного покрытия. Для соотношения конечных температур в верхней части дорожного покрытия, для проектирования в г. Толика будем иметь интервал от 56°C до -23°C - с надежностью 50%,и от 60°C до -31°C - с надежностью 98% (рис. VII-8).

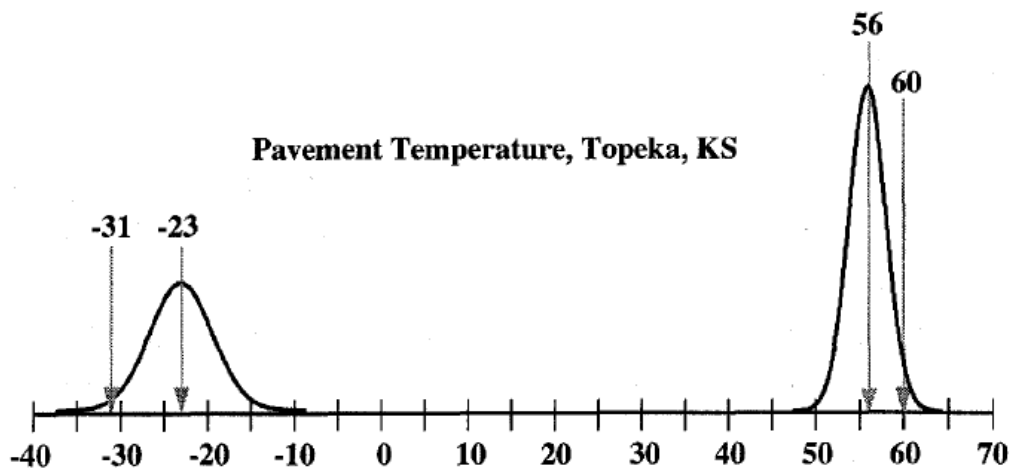


Диаграмма VII-8. Распределение высоких и низких температур для проектирования дорожного покрытия. Топпика, Канзас

Выбор класса вяжущего

Для надежности выбора класса связующего, по меньшей мере, с надежностью 50%, следует выбрать марку PG 58. Однако на самом деле выбор PG 58 приведет к тому, что уровень надежности будет более высоким, он составит значение около 85%, из-за "округления" к следующему значению эталона вяжущего. Более близким к классу с меньшим значением является марка, обеспечивающая температуру размягчения 52 °C, что удовлетворяет надежности менее чем 50%. Для более низких температур должна быть выбрана марка PG -28. Кроме того, округление до этого значения стандартных результатов низких температур приводит к надежности почти 90%. Для надежности 98% необходимо выбрать сорт с более высокими температурами PG 64; и с более низкими температурами PG -34.

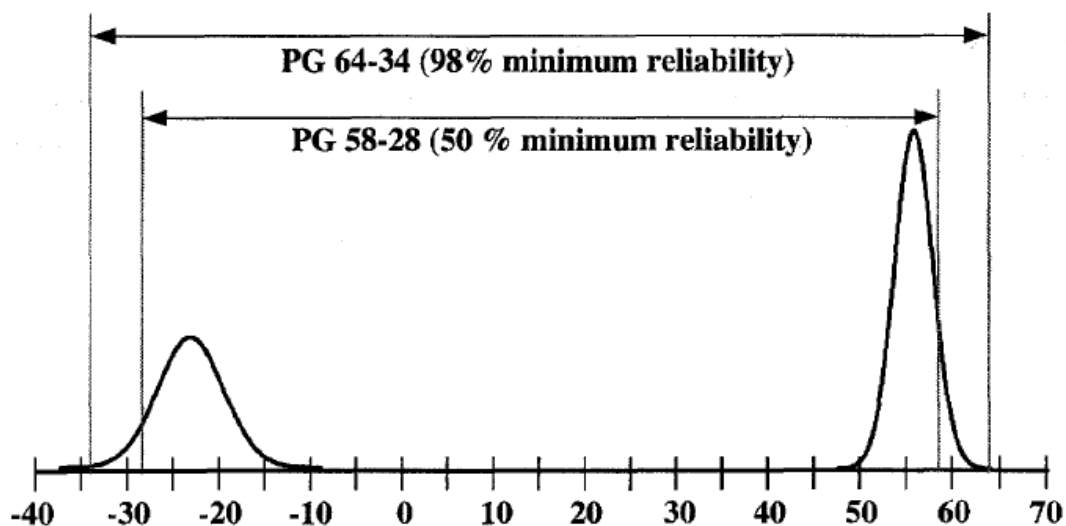


Рисунок VII-9. Различные марки вяжущего. Топика, Канзас

Влияние скорости нагрузки на выбор вяжущего

Выбор вяжущих по критериям программы Суперпейв (Superpave) для различного климата предполагает, что вяжущее будет использоваться только в смеси, которую подвергают нагрузкам быстро движущегося транспорта. Скорость нагрузки, используемой в реометре динамического сдвига, составляет 10 радиан в секунду, что соответствует скорости движения транспорта около 90 километров в час. Однако, кроме основной части дорожного полотна, существуют особые участки дорог, где возникают более серьезные нагрузки на асфальтобетон. Гораздо медленнее скорость и большие нагрузки возникают у покрытий возле перекрестков дорог, пунктов сбора дорожной пошлины и т.д. Иногда, груженный транспорт не движется, а просто стоит на стоянке. В этих случаях, вяжущее должно демонстрировать более высокую жесткость, для того чтобы преодолеть более низкую скорость нагрузки.

Для удовлетворения этих требований, границу высокой температуры вяжущего необходимо отодвинуть, по меньшей мере, на одну или две марки. Например, если климатический температурный анализ привел к выбору вяжущего марки PG 64-22, то для учета возможных медленных нагрузок транспорта проектировщик будет обязан выбрать вяжущее на один класс выше,

PG 70-22. Если ожидаются нагрузки стоячего транспорта, то проектировщику нужно выбрать более высокий класс PG 76-22. Скорость нагрузки не влияет на выбранную отрицательную (низкую) температуру. Дорожное покрытие, рассчитанное на значения температуры 76°С или 82°С, не соответствует ни одной климатической зоне в Северной Америке. Задание этого класса является просто средством обеспечения того, чтобы вяжущее вещество имело более высокую жесткость при 64°С, что соответствует фактической высокой расчетной температуре дорожного покрытия. Самая высокая возможная температура в дорожном покрытии в Северной Америке составляет примерно 70°С, две дополнительные более высокие оценки температуры марки PG 76 и PG 82 нужны для того, чтобы была возможность использовать битумное вяжущее при низких скоростях нагрузки.

VIII. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

В спецификации вяжущего Суперпейв (Superpave), есть две формы тестирования: тестирование на соответствие типу вяжущего и тестирование на определение (классификацию) типа вяжущего. В обоих случаях сначала выполняется серия испытаний, а затем, на основе результатов этих испытаний, делаются выводы. Чтобы отличить эти две формы тестирования, рассмотрим ситуацию, когда необходимо проверить асфальт с неизвестными свойствами. Это возможно, например, при создании новых материалов или разработке новых технологий получения вяжущих.

Тестирование на соответствие типу вяжущего отвечает на вопрос, "соответствует ли этот материал всем требованиям, предъявляемым вяжущему, например, марки PG 64 -16?". Другими словами, проверка на соответствие типу вяжущего является той формой тестирования, в которой следует получить ответ на вопрос, можно

липринять / отклонить данный материал. Соответствуют или нет свойства данного образца требуемым свойствам определенного типа битума.

Тест на классификацию отвечает на вопрос: к какому классу или марке, согласно спецификации, можно отнести данный материал? В этом случае необходим определенный алгоритм при проведении серии испытаний, согласно которому выполняются тесты. По результатам такого исследования неизвестный материал относят к определенному типу вяжущего согласно Суперпейв (Superpave).

Государственные структуры, отвечающие за качество шоссейных дорог, в большей степени озабочены аттестационным тестированием. Например, в ходе реализации проекта укладки асфальтобетона лаборатория Агентства будет постоянно брать и тестировать образцы асфальта для того, чтобы убедиться, что он отвечает соответствующим требованиям спецификации. Если хотя бы один из результатов тестов не покажет необходимых значений, то делается заключение о том, что образец "не соответствует требованиям". Дальнейшие испытания прекращаются, битум возвращают поставщику или используют для других целей.

Опытно-исследовательские лаборатории обычно выполняют классификационное тестирование. Например, если асфальт проходит проверку и не соответствует требованиям, предъявляемым к марке PG 64-34, то лаборатория продолжает тестирование, чтобы определить, может ли данный асфальт соответствовать другой марке.

Во время классификационных испытаний и проверки на соответствие типу вяжущего проводят типовые тесты. В зависимости от результатов, каждое последующее испытание может изменить последовательность их проведения. Ниже описан алгоритм, согласно которому будет решаться вопрос, какой тест будет следующим.

Классификационные испытания

Классификационные испытания проводятся методом проб и ошибок. При исследовании неизвестного сорта асфальта согласно Суперпейв (Superpave) техник проводит тесты и, по результатам испытаний, принимается решение, в каком направлении следует двигаться дальше. В большинстве случаев выполняется тот же тест только при другой температуре.

Существует одно важное отличие спецификации Суперпейв (Superpave) от других, которое заключается в том, что зачастую образцы вяжущего могут одновременно удовлетворять эксплуатационным качествам нескольких типов битумов. Глубокое понимание этого принципа указывает на обоснованный подход, применяемый в классификационных испытаниях битумных вяжущих.

Рассмотрим пример, показанный в таблице.

Binder Property	Binder Aging Condition	Test Result	Requirement
Flash Point	Unaged	293° C	230° C min
Viscosity at 135° C	Unaged	0.3 Pa-s	3 Pa-s max
Dynamic Shear, $G^*/\sin \delta$ at 64° C	Unaged	1.31 kPa	1.00 kPa min
Mass Loss	RTFO aged	0.32 %	1.00 % max
Dynamic Shear, $G^*/\sin \delta$ at 64° C	RTFO aged	2.63 kPa	2.20 kPa min
Dynamic Shear, $G^*\sin \delta$ at 22° C	PAV aged	4517 kPa	5000 kPa max
Creep Stiffness, S at -18° C	PAV aged	274 MPa	300 MPa max
m-value at -18° C	PAV aged	0.346	0.300 min

FlashPoint - Температура вспышки, Viscosity – вязкость, DynamicShear - Динамический сдвиг, MassLoss – потеря массы, CreepStiffness - жёсткость сдвига.

Как видно из таблицы, представленное вяжущее соответствует требованиям, предъявляемым к марке PG 64-28. В таблице приведены результаты исследований при различных температурах. В следующей таблице часть данных по спецификации Суперпейв (Superpave) отмечена отличным типом штриховки. Слегка заштрихованная часть показывает температурные требования, общие для всех марок PG 64. Более темная штриховка показывает промежуточные и низкие температурные требования, которые являются уникальными для PG 64-28.

Performance Grade	PG 52							PG 58					PG 64				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C ^a	<52							<58					<64				
Minimum Pavement Design Temperature, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Original Binder																	
Flash Point Temp, T48: Minimum, °C	230																
Viscosity, ASTM D 4402; ^b Maximum, 3 Pa·s (3000 cP), Test Temp, °C	135																
Dynamic Shear, TP5: ^c G*/sin δ, Minimum, 1.00 kPa Test Temperature @ 10 rad/s, °C	52							58					64				
Rolling Thin Film Oven (T 240) or Thin Film Oven (T179) Residue																	
Mass Loss, Maximum, %	1.0																
Dynamic Shear, TP5: G*/sin δ, Min, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	52							58					64				
Pressure Aging Vessel Residue (PP1)																	
PAV Aging Temp, °C ^d	90							100					100				
Dynamic Shear, TP5: G*/sin δ, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16
Physical Hardening ^e	Report																
Creep Stiffness, TP1: ^f S, Maximum, 300 MPa m-value, Minimum, 0.300 Test Temp, @60 sec, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3 ^f Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30

Вязущее PG 64-28, по определению также классифицируется как вязущие PG 64-22 и PG 64-16. Вязущее PG 64 (а по факту, все сорта вязущих) отвечают одним и тем же требованиям по отношению к значению $G^* / \sin \delta$, как для исходного, так и вязущего после старения RTFO. То есть, они все должны иметь отношение $G^* / \sin \delta$, превышающее значение 1,00 кПа для исходного материала и больше, чем 2,20 кПа для материала после старения RTFO. Отличие этих материалов от PG 64 заключается в проявлении их низкотемпературных свойств,

которые появляются после дополнительного старения под давлением RTFO / PAV. Вяжущее PG 64-28 имеет значение жесткости сдвига 274 МПа при температуре -18°C . Если бы тест на жесткость сдвига проводился при температуре -12° или -6°C , то его значение было бы ниже, потому, что жесткость сдвига становится меньше при повышении температуры. Значением при температуре -18°C для вяжущего PG 64-28 равно 0,346. Когда испытания проводят при более высоких температурах (выше чем -12° или -6°C), значением будет возрастать. Таким образом, если вяжущее PG 64-28 было бы испытано при более высоких температурах, то жесткость сдвига и значение m стало бы сдвигаться еще дальше от указанных значений. Именно по этой причине вяжущее PG 64-28 также классифицируют как PG 64-22 и PG 64-16.

Несколько менее очевидным является тот факт, что вяжущее PG 64-28 также отвечает требованиям, предъявляемым к PG 58-22, PG 58 - 16. Поскольку оценка вяжущего PG 64 имеет значение $G^* / \sin\delta$ равное 1,31 кПа при температуре 64°C , то ясно, что оно будет иметь еще большее значение при более низких температурах, таких как 58°C . То же самое справедливо и для материалов после старения RTFO. Кроме того, вяжущее PG 64-28 отвечает низкотемпературным требованиям некоторых сортов PG-58, но только при более низких температурах, -22°C . Ключевым положением спецификации является то, что когда значение $G^* / \sin\delta$ определяется при промежуточных температурах, следует применять низкотемпературную классификацию вяжущего.

В этом примере, вяжущее имеет значение $G^* \sin\delta$ равное 4517 кПа при температуре 22°C и для того, чтобы этот материал мог быть отнесен к классу PG 58-28, он должен иметь значение $G^* \sin\delta$ не более чем 5000 кПа при 19°C . На самом деле, это невозможно сделать, поскольку значение $G^* \sin\delta$ имеет значение меньшее, чем 5000 кПа при температуре 19°C . В противном случае материал должен был быть классифицирован как PG 64-34. Однако это не

произошло. Другими словами, PG 64-28 не может соответствовать PG 58-28, потому что они имеют различные температурные требования по значению $G * \sin \delta$.

Очевидно, что требования PG 64-28, соответствует некоторым требованиям марок PG 52, это PG 52-16 и PG 52-10. Как всегда, значение $G * \sin \delta$, определяют как для исходного вяжущего, так и после старения RTFO. Требования к маркам PG 52 такие же, как для вяжущих PG 64. Таким образом, PG 64-28 отвечает всем высоким температурным свойствам марок PG 52. Однако, в отличие от ранее описанного варианта, в данном случае низкотемпературная составляющая вяжущего PG 52 не может быть определена простым вычетом, как это делалось раньше в спецификации Суперпейв (Superpave). Вместо этого низкотемпературная составляющая PG 64-28 должна быть определена путем изучения части вяжущего вещества, которое подвергается менее жестким условиям старения под давлением, в соответствии с требованиями PG 52. Вяжущие PG 52 подвергают воздействию старения под давлением при менее жестких условиях (20 часов, 2070 кПа, 90 ° C), по сравнению с условиями для вяжущих PG 58 и PG 64 (20 часов, 2070 кПа, 100 ° C). Вместе с тем фактором, который влияет на оценку низкотемпературных качеств вяжущего, является значение $G * \sin \delta$ и оно измеряется при промежуточных температурах.

Возможно также, что вяжущее PG 64-28 может удовлетворять необходимым требованиям для классификации его как вяжущее PG 70. В этом примере маловероятно, что вяжущее будет отнесено к классу PG 70, так как свойства исходного вяжущего и после теста RTFO при высокой температуре очень близки к их минимально допустимым значениям. Величина $G * \sin \delta$ исходного материала при испытании будет, с высокой степенью вероятности, ниже минимально допустимого значения 1,00 кПа при 70° C. Опытный техник сразу определит это и тем самым исключит необходимость лишних испытаний.

Этот пример иллюстрирует обоснованность подхода при классификации вяжущих неизвестной природы с помощью тестов Суперпейв (Superpave). Ниже приводится общая схема, которую следует использовать при классификации вяжущих. Этот процесс показан в виде блок-схем на рисунках от VIII-1 по VIII-5.

Процесс классификации

Наиболее эффективным подходом при классификации вяжущего является, в первую очередь, предположение о том, что этот материал соответствует некоторым усреднённым значениям известных классов в спецификации вяжущих, таким как PG 64-22, PG 58-28 или PG 52-28. Далее измеряется значение $G^* / \sin \delta$ для исходного вяжущего (рис. VIII-1).

На первом этапе проводят сравнение результатов испытаний исходного вяжущего со спецификацией. После этого, один или два из возможных марок битума можно отбросить, и дальше анализ может быть сведен к меньшему количеству марок. Заметим, что это можно сделать достаточно легко, поскольку один и тот же образец может быть проверен при нескольких температурах. Опытный оператор будет измерять значение $G^* / \sin \delta$ при следующей температуре и, в зависимости от результата теста, повышать или понижать температуру испытания для достижения подходящего значения или провести выбраковку. В классификационных испытаниях желательно оставить для испытаний один образец, а лишние образцы отбраковать.

После этого этапа образец неизвестного вяжущего подвергают тесту на старение RTFO, после чего у полученного образца измеряют значение $G^* / \sin \delta$. Результаты испытаний сравнивают с требованиями спецификации. Это помогает исключить еще один тип битумного вяжущего из исходных предполагаемых классов и позволяет сосредоточиться на исследовании конкретных типов битума. Диаграмма VIII-2 суммирует этот шаг.

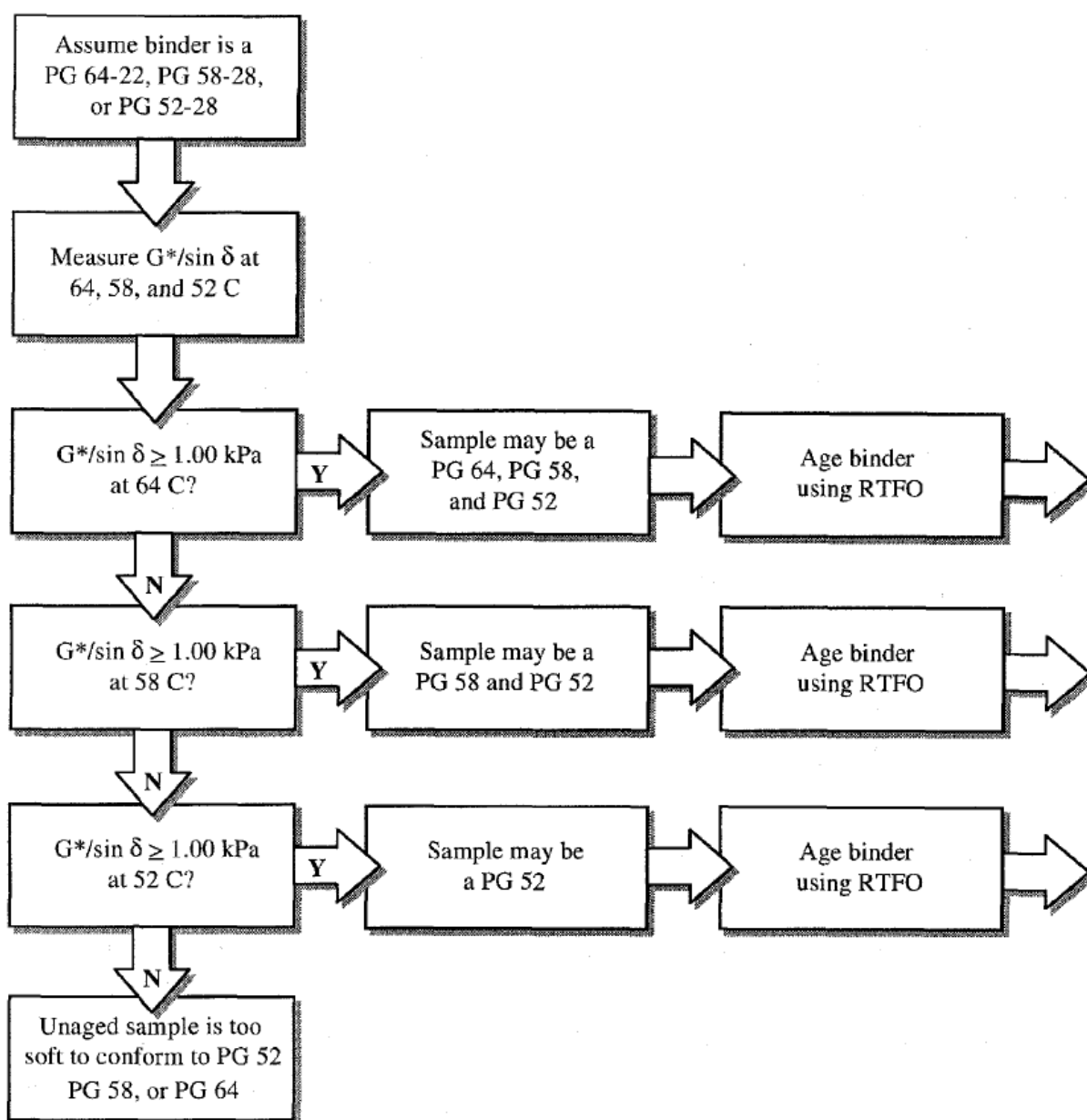


Рисунок VIII-1. Классификационные испытания—
исходных вяжущих

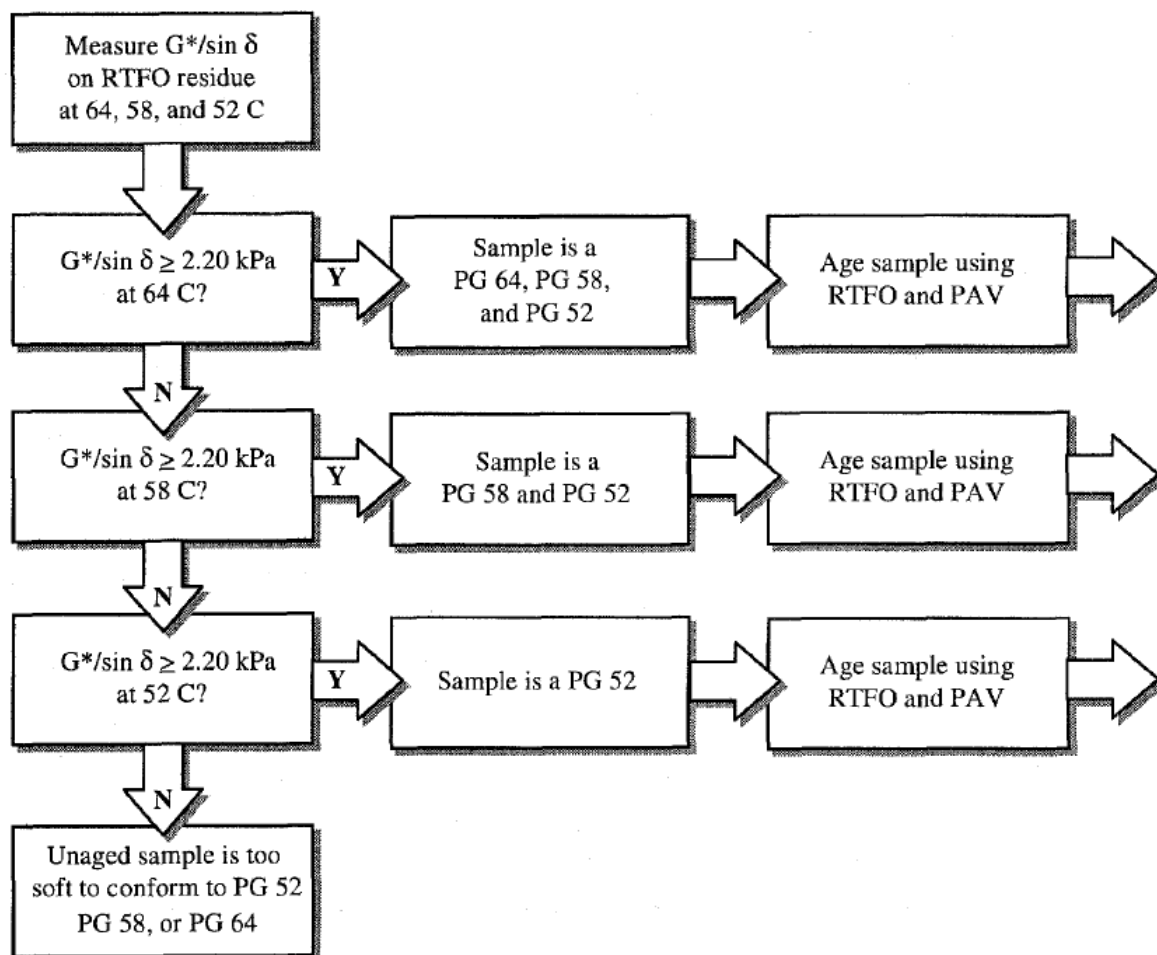


Рисунок VIII-2. Классификационные испытания после старения вяжущего RTFO

После этого берут исходный образец битума и подвергают его сначала старению RTFO, а затем подвергают старению под давлением, согласно условиям теста PAV. Воздействие температуры и давления изменяет свойства битума ($G^* \sin \delta$, жесткость сдвига и т.п.). В соответствии с описанными ранее способами проводят измерения и определяют необходимые параметры. Заметим, что исследования необходимо проводить при температурах, соответствующих средним значениям марок битумов, таких как -22 или -28. Следует также обратить внимание на то, что значения оценок может и не соответствовать реальным температурам, при которых проводят испытания. Значение $G^* \sin \delta$, для марки PG 58 будут измеряться для двух температур при 19° и 22° соответственно. Жесткость сдвига, значение M и

растяжение до разрыва определяют как для битумов с параметрами -28 и -22, и они соответствуют классу -18 и -12, соответственно.

Самый простой способ определения свойств вяжущего заключается в том, что необходимо начать с измерения $G^* \sin \delta$ при средних значениях температуры для предполагаемого типа битума. Средние температуры каждого типа битума зависят от показателя высокой температуры. Например, средняя температура для битума PG 58 составляет 22 °, 19 ° и 16 ° С. Для PG 64 средняя температура битума составляет 19 °, 22 ° и 25 ° С. Заметим также, что все это можно легко установить при проверке лишь одного образца. Во время этого теста исследователи могут получать результаты испытаний и данные о значении $G^* \sin \delta$ при более низкой температуре, если это необходимо. В процессе исследований необходимо найти нижнюю границу температур, при которой получается максимальное значение $G^* \sin \delta$ при 5000 кПа. Эта температура используется как отправная точка для измерения жесткости сдвига и деформации на растяжение. На рисунках VIII-3 и VIII-4 показаны шаги, необходимые для получения нижней границы температур для испытаний по определению жесткости сдвига для марок PG 58 и PG 64. Подобные блок-схемы существуют для марок битума PG 70 и PG 52.

Далее жесткость сдвига и значение M измеряют на основе полученного после теста PAV вяжущего. Установленная при этом температура является отправной точкой (нижней границей). После этого результаты испытаний позволяют перейти к выбору одного из трех вариантов. Диаграмма VIII-5 показывает, как значение жесткости сдвига и значение M используются для установления типа вяжущего.

Во-первых, если и жесткость сдвига и значение M удовлетворяют значениям (300 МПа и 0,300) при первой пробной температуре, то в дополнительных тестах нет необходимости. Считается, что нижняя граница температур установлена. Хотя вполне возможно, что приемлемые значения жесткости сдвига и значения M могли быть

получены и при более низких температурах, и эти температуры уже установлены по значениям $G \cdot \sin \delta$.

Во-вторых, если жесткость сдвига при этой температуре превышает максимально допустимое значение, 300 МПа, но меньше 600 МПа, а значение M соответствует указанному значению 0,300, то следует продолжить измерение деформации при растяжении на разрыв. Если относительное удлинение при разрыве превышает минимальное значение 1,0% до предела указанного в спецификации, то значение жесткости сдвига в диапазоне от 300 до 600 МПа считается приемлемым. Таким образом, нижняя граница температур считается установленной. Если напряжение при растяжении на разрыв составляет менее 1,0%, то следует приготовить еще один набор брусков и провести измерение жесткости сдвига и значения M при более высокой температуре следующего типа битума.

В третьем случае, если при нижней границе температуры жесткость сдвига превышает 600 МПа или значение M меньше 0,300, вновь следует изготовить дополнительные образцы брусков для анализа и измерить жесткость сдвига и значение M на одну ступень более высокой температуры. Следует обратить внимание на то, что относительное удлинение при разрыве в этом случае уже не имеет никакого отношения к предельному значению M .

PG 58

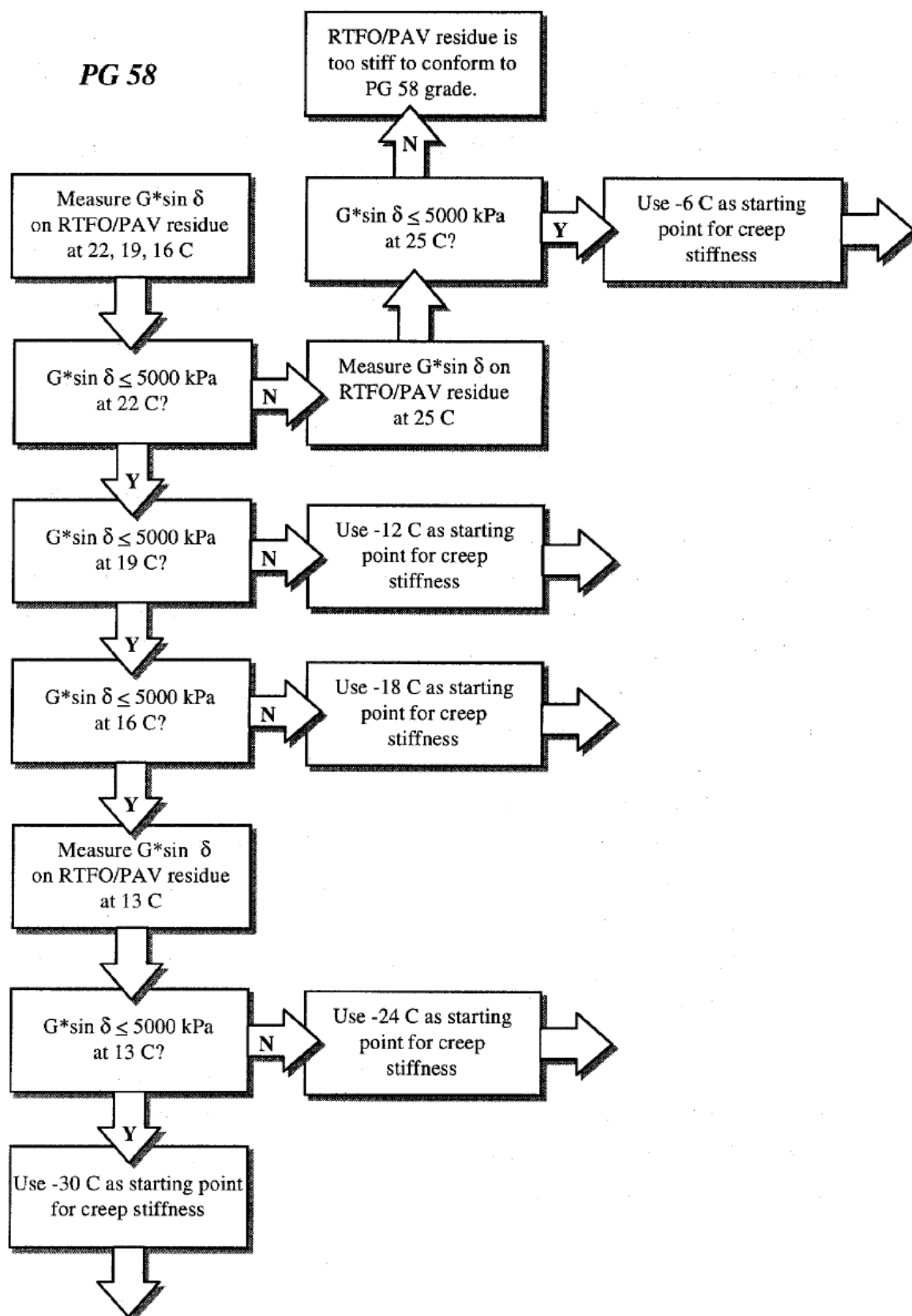


Диаграмма VIII-3. Классификационное определение—нижней границы температур (PG 58)

PG 64

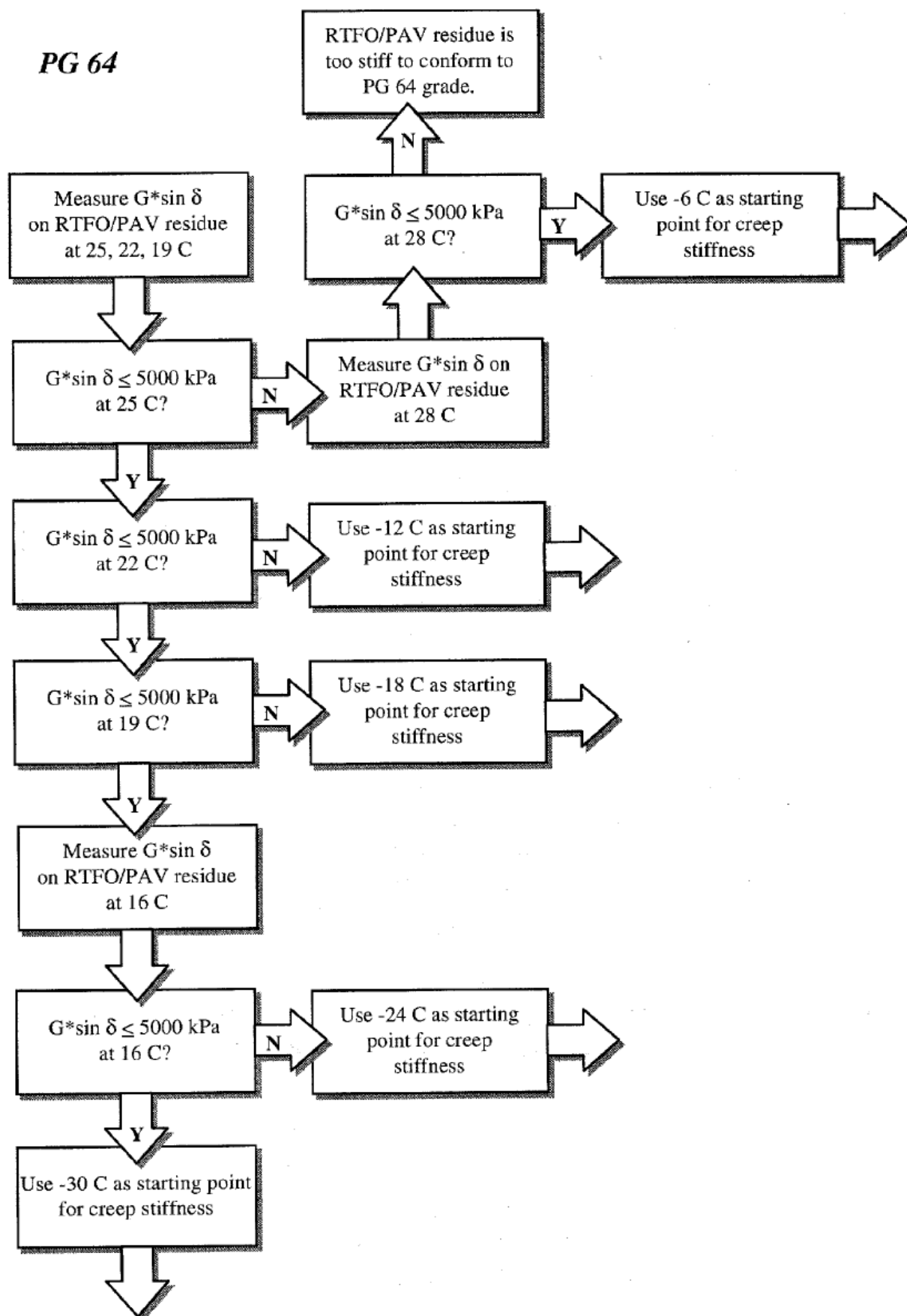


Диаграмма VIII-4. Классификационное определение - нижней границы температур (PG 64)

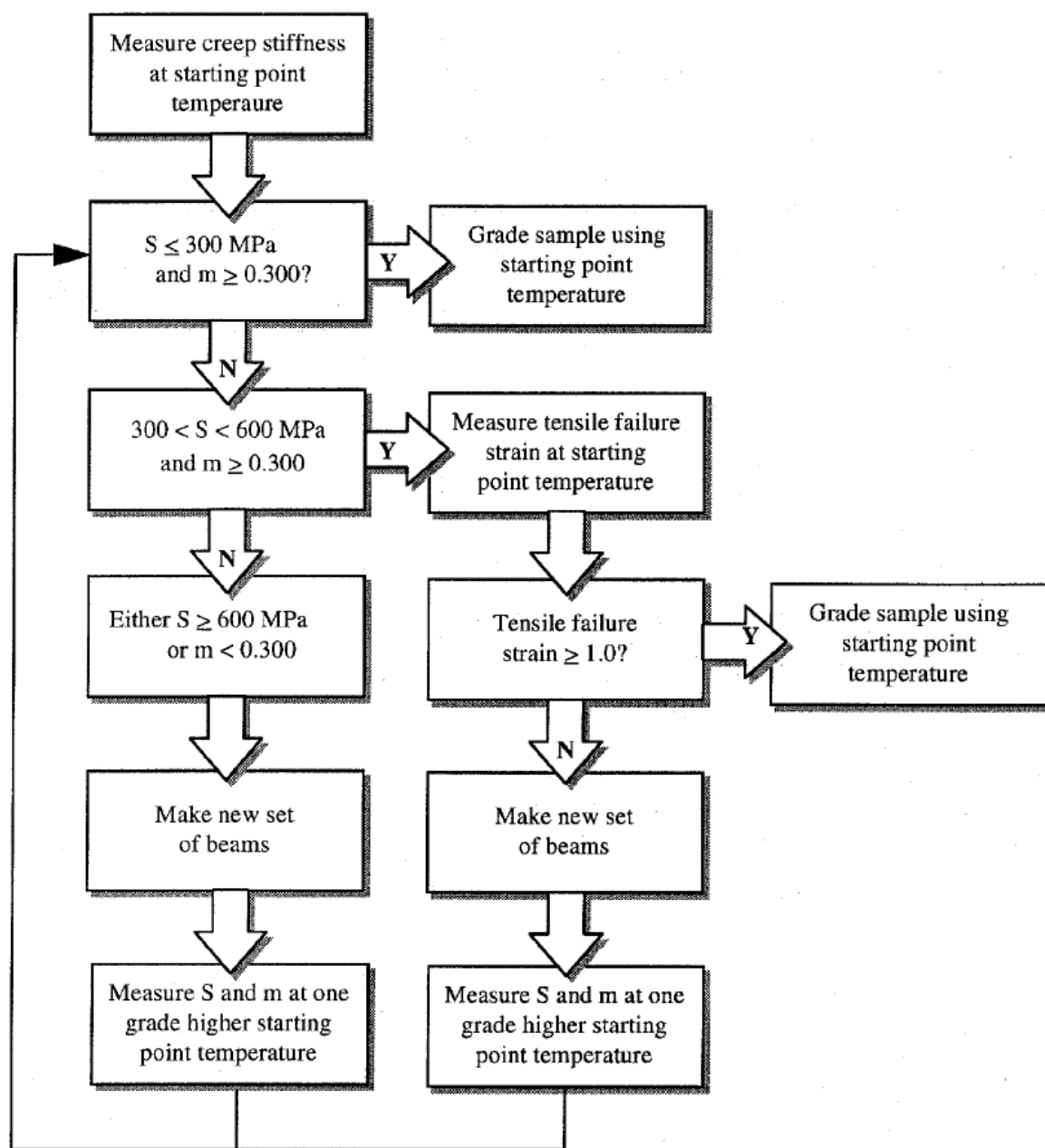


Рисунок VIII-5. Классификационное определение -
Установление нижней границы температуры для битума по данным жесткости сдвига, значению M и величине деформации растяжения до разрыва

Несмотря на то, что значение $G^*/\sin\delta$ получено, для определения нижней границы температуры необходимо измерить еще жесткость сдвига и значение M . Возможно потребуется постепенный перебор тестов при более высоких температурах до получения приемлемых значений. В этих случаях нет необходимости измерения G

*/ $\sin \delta$ при высоких температурах, поскольку приемлемое значение уже будет получено при более низкой температуре.

Проверка на соответствие

Как уже говорилось ранее, проверка на соответствие определяет, удовлетворяет ли образец вяжущего требованиям, которые предъявляются конкретному классу эксплуатационных качеств битума. Этот процесс несколько проще, но в целом он похож на ранее описанный. Процесс исследований включает в себя проведение испытаний вяжущих только при температурах, необходимых для конкретного типа битумного вяжущего. Каждый шаг в процессе определения на соответствие битумных вяжущих сводится к решению «принять» или «отклонить». Если после любого шага указанное требование не будет достигнуто, то дальнейшую проверку прекращают. На диаграмме VIII-6 показаны некоторые из шагов в процессе тестирования на соответствие для PG 58-22. Та же схема будет использоваться для исследования на соответствие и для любой другой марки битума, просто будут изменяться температуры, при которых эти критерии должны быть достигнуты.

В некоторых случаях необходимо в процессе принятия решений включать результаты испытаний жесткости сдвига. Это показано на рисунке VIII-7, который представляет собой продолжение процесса тестирования на соответствие битума марки PG 58-22 и заканчивается на рисунке VIII-6.

Если измеренное значение жесткости сдвига меньше или равно 300 МПа и значение M больше или равно заданному значению 0,300, то процесс тестирования на соответствие завершается и принимается решение, что данное вяжущее соответствует указанному классу. Если полученное значение жесткости сдвига находится между 300 и 600 МПа и значение M соответствует минимальному указанному значению 0,300, то должно быть измерено относительное удлинение при разрыве. Это необходимо для того, чтобы проверить, укладывается или нет относительное удлинение при разрыве в

заданные границы. Оно должно быть больше или равно 1,0%. В случае выполнения этого условия принимается, что это вяжущее соответствует указанному классу. Если в этой ситуации, деформацияразрушения при растяжении составляет менее 1,0%, то считается, что это вяжущее не соответствует указанной марке. Если же значение жесткости сдвига превышает 600 Мпа, и/или значение М меньше 0,300, то вяжущее не соответствует марке, для которойпроводят испытания, и,нет необходимости измерения величины деформациина растяжение.

ОБЩИЕ ТЕСТЫ

Для полной характеристики битумных вяжущих, в соответствии со спецификацией Суперпейв (Superpave),необходимо провести некоторые дополнительные тесты. Результаты этих тестов представляют собой тип решения - принять / отклонить, причем их выполнение необходимо для всех видов битумов. При этом они играют не менее важную роль в классификации вяжущихпри проверкеих на соответствие.

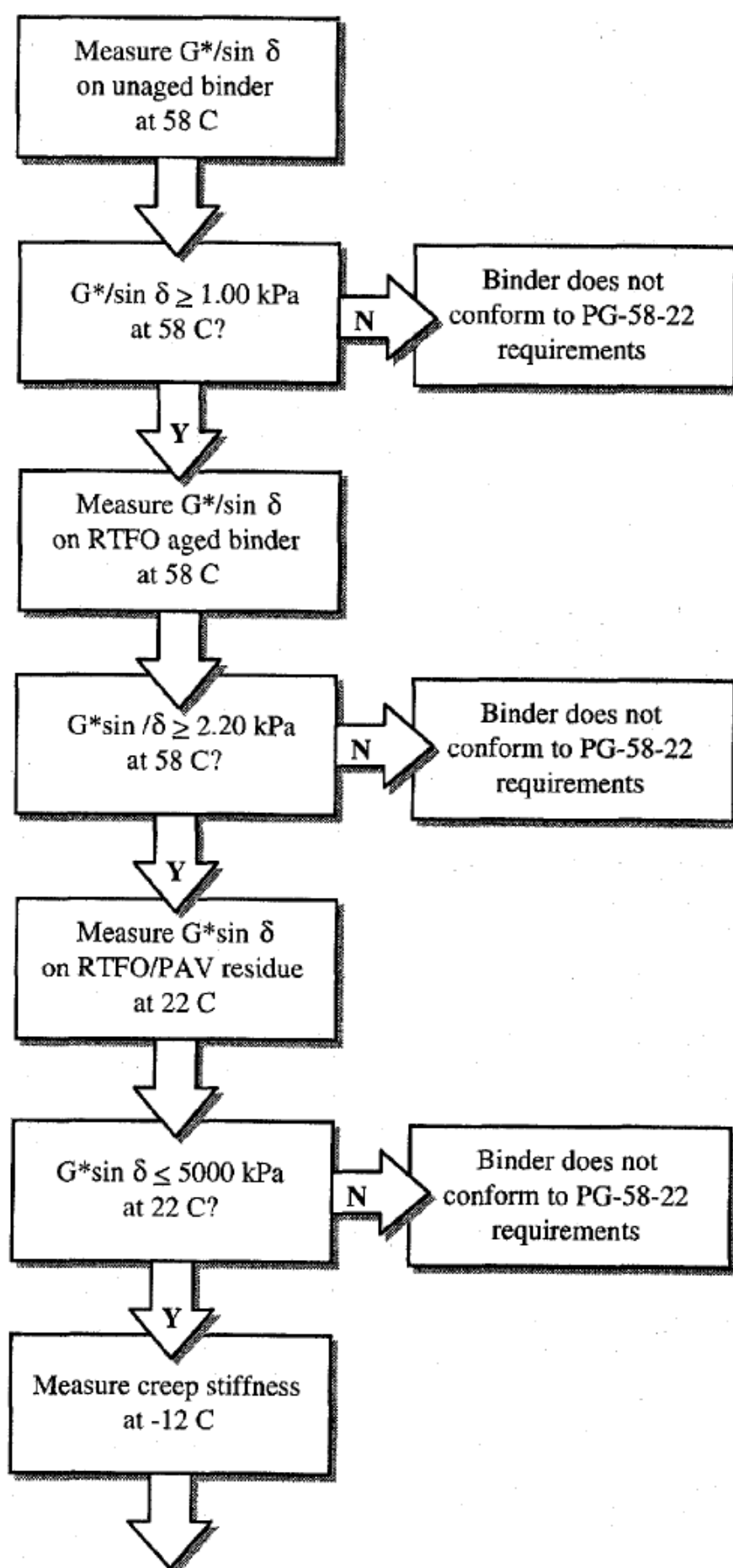


Диаграмма VIII-6. Процесс испытания на соответствие PG 58-22

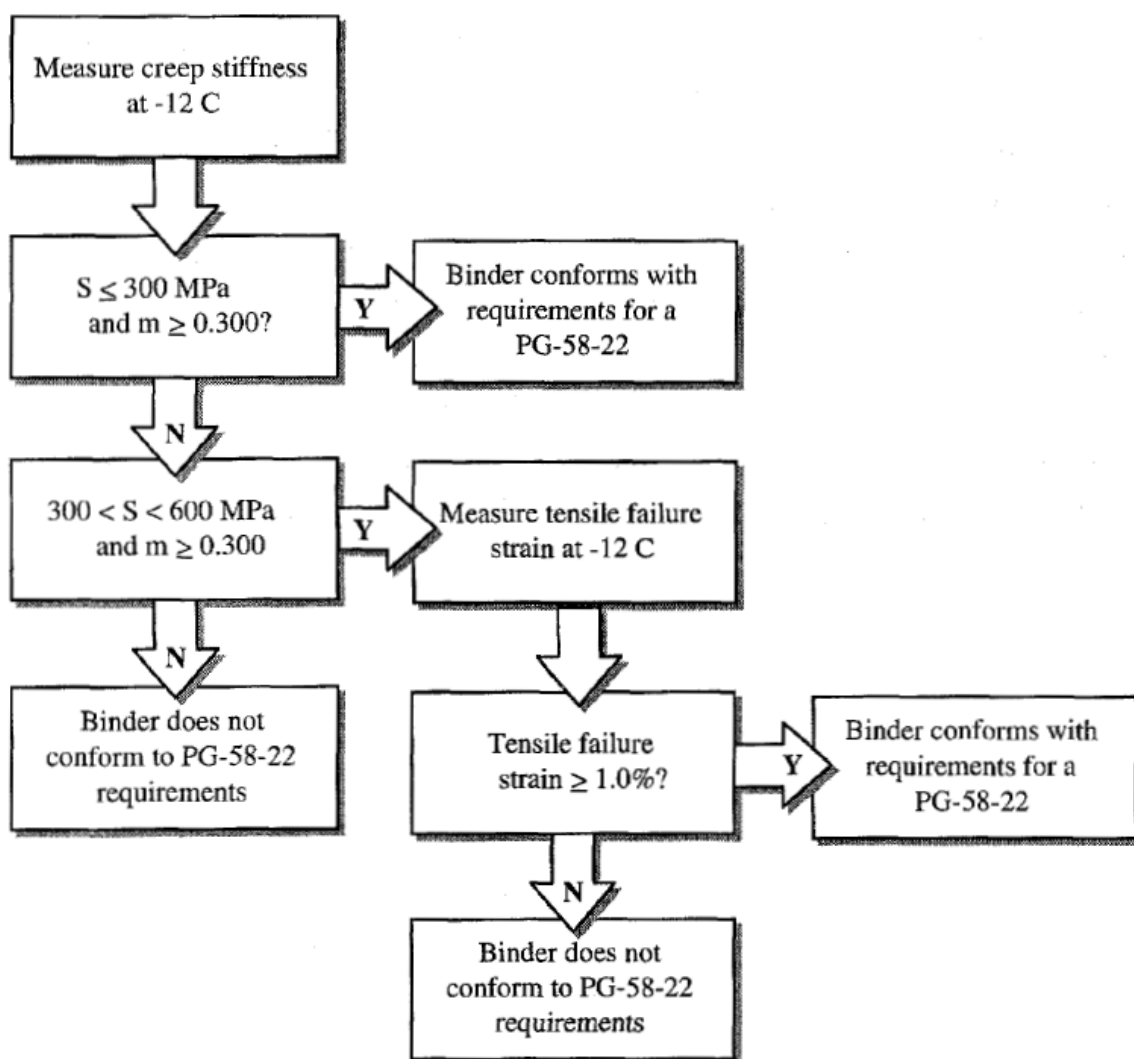


Диаграмма VIII-6. Процесс испытания на соответствие PG 58-22(продолжение)

Вязкость вращения исходного битума измеряют при температуре 135°C и скорости вращения шпинделя вискозиметра 20 оборотов в минуту. Этот тест необходим для гарантий того, что битумное вяжущее может быть адекватно перекачено в горячий асфальтовый смеситель. Допустимым является значение вязкости 3 Pa•s. Замечание. В спецификации допускается указание и более высоких значений, если поставщик "гарантирует, что битумное вяжущее может адекватно перекачиваться и перемешиваться при температурах, которые отвечают всем действующим стандартам безопасности."

Спецификация битумных вяжущих Суперпейв (Superpave) требует, чтобы температура вспышки вяжущего измерялась в открытом тигле согласно AASHTO T48. Вне зависимости от сорта битума, минимальное значение температуры вспышки должно быть не ниже 230°C.

В отчете, по результатам тестов, также приводятся данные по физической закалке битумов и старению под давлением. Однако нет ни каких указаний, каких предельных значений они могут достигать. В отчет также входят данные по измерениям жесткости сдвига и значению M , в процессе старения вяжущего при той же температуре, которая использовалась для классификации образца. Для получения этих данных необходимо значительное количество образцов, изготовленных для проведения тестов на старение под давлением. Эти образцы выдерживают в течение 24 часов и также испытывают на жесткость сдвига, затем определяют значение M . Полученные показания этих тестов отражаются в отчете, хотя так же нет указаний, какие значения они могут принимать.

Поскольку в процессе старения RTFO происходит потеря массы, то эти данные также включаются в отчет. Максимально допустимое значение потери массы составляет 1,00%. Это значение является постоянным для всех марок битумных вяжущих.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Типы битумных вяжущих (PG).

Спецификация эксплуатационных свойств Суперпейв (Superpave)

[Тут можно попробовать взять таблицу](#)

http://www.utexas.edu/research/superpave/mix/AASHTO_PGB_Spec.pdf

Performance Grade	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C ^a	<52							<58					<64					<70			
Minimum Pavement Design Temperature, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28
Original Binder																					
Flash Point Temp, T48: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D 4402: ^b Maximum, 3 Pa·s (3000 cP), Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: ^c G*/sin δ, Minimum, 1.00 kPa Test Temperature @ 10 rad/s, °C	52							58					64					70			
Rolling Thin Film Oven (T240) or Thin Film Oven (T179) Residue																					
Mass Loss, Maximum, %	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: G*/sin δ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	52							58					64					70			
Pressure Aging Vessel Residue (PP1)																					
PAV Aging Temperature, °C ^d	90							100					100					100(110)			
Dynamic Shear, TP5: G* $\sin \delta$, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/sec, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Physical Hardening ^e	Report																				
Creep Stiffness, TP1: ^f S, Maximum, 300 MPa m-value, Minimum, 0.300 Test Temp, @ 60 sec, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Direct Tension, TP3: ^f Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

Замечания

а - Температуру дорожного покрытия можно оценить по температуре воздуха с помощью алгоритма, содержащегося в программном обеспечении Суперпейв (Superpave), или она может быть предоставлена по указанию Агентства.

в - Это требование может быть снято по усмотрению Агентства, или, если имеется ордер от поставщиков, где указывается, что битумное вяжущее может адекватно перекачиваться и смешиваться при температурах, которые отвечают всем действующим стандартам безопасности.

с - Для контроля качества производства асфальтобетона измерение вязкости исходного битума, может быть заменено на измерение значения величины динамического сдвига $G^* / \sin \delta$, при температурах, когда битум

становится ньютоновской жидкостью. Для измерения вязкости, в этом случае, могут использоваться любые подходящие для этого стандартные средства, в том числе капиллярный или ротационный вискозиметры (AASHTO T 201 или T 202).

d - Температура старения PAV основана на моделировании климатических условий и проводится при одной из трех температур 90°C, 100°C или 110°C. Тест на старение PAV при температуре 100°C проводится также как и для марок PG 58 - и выше, за исключением пустынного климата, где используют температуру 110°C.

e - Физическая закалка - TP 1 выполняется на большом количестве брусков асфальта в соответствии с разделом 13.1, за исключением того, когда термообработка продолжается 24 часа $\pm$ 10 минут, а испытания проводятся выше минимальной температуры 10° C. Жесткость сдвига и значение m , при 24-часовой закалке используются исключительно в информационных целях.

f - Если жесткость сдвига меньше 300 МПа, то испытание на прямоерастяжение не проводится. Если жесткость сдвига находится непосредственно между значениями 300 и 600 Мпа, то вместо теста на жесткость сдвига может использоваться тест на прямое растяжение. Однако требование по значению m , в любом случае должно выполняться.

Федеральное управление шоссейных дорог

Министерство транспорта США