

НОВОЛАЧНЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ DOW

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ
ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ.....	3
ТИПИЧНЫЕ СВОЙСТВА	4
Вязкость	4
Удельный вес.....	6
НАПОЛНИТЕЛИ И МОДИФИКАТОРЫ	7
ОТВЕРДИТЕЛИ И РЕЖИМЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ.....	8
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТВЕРЖДЕННЫХ СМОЛ.....	11
Методы испытаний	11
Тепловые свойства.....	12
Физические свойства	14
Электрические свойства	18
Химическая стойкость.....	18
Механические свойства при повышенных температурах и в мокром состоянии	20
Ускоренные испытания на влагостойкость	22
ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ГИГИЕНЫ ТРУДА И БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ	23
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	24
УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИЕЙ	внутренняя сторона задней обложки

НОВОЛАЧНЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ DOW

ВВЕДЕНИЕ

Новолачные эпоксидные смолы представляют собой термореактивные пластические материалы, обеспечивающие хорошую прочность и химическую стойкость при высоких температурах. Вследствие этого, данные продукты представляют большую ценность для составителей рецептур и производителей в качестве альтернативы эпоксидным смолам на основе бисфенола А и фенольным смолам.

Рис. 1 иллюстрирует, каким образом эпоксидная смола D.E.R.* 354, а также смолы D.E.N. 431, D.E.N. 438* и D.E.N. 439 сочетают реакционную способность и универсальность эпоксидной смолы с термостойкостью, обеспечиваемой фенолформальдегидной основной цепью. Эта уникальная структура дает в результате несколько эпоксидных функциональных групп и дополнительных реакционноспособных участков, что приводит к созданию плотно "сшитых" систем, обеспечивающих следующие преимущества по сравнению со смолами типа "бисфенол А":

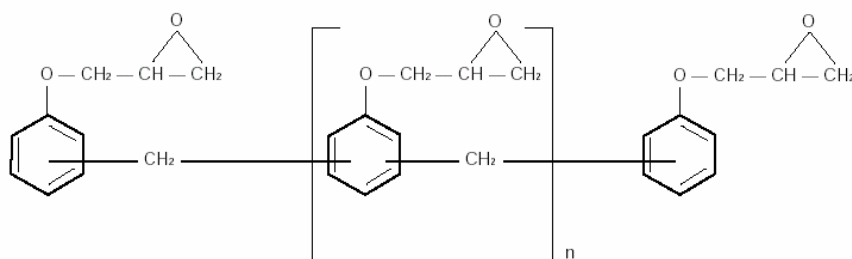
- Улучшенная стойкость к кислотам, щелочам и растворителям
- Сохранение механических свойств при высоких температурах и в мокрых условиях

* Торговая марка компании The Dow Chemical Company

- Минимальная усадка
- Приемлемость широкой номенклатуры модификаторов, наполнителей и пигментов
- Улучшенные высокотемпературные клеящие свойства

Примечание: Хотя D.E.R. 354 является смолой на основе бисфенола F, она обычно включается в одну группу со смолами D.E.N. из-за большого сходства молекулярной структуры и эксплуатационных характеристик в отвержденных системах.

Рис. 1 Молекулярная структура смол D.E.R. 354, D.E.N. 431, D.E.N. 438 и D.E.N. 439



n = число повторяющихся блоков

Среднее значение n:

D.E.R. 354 = 0,2

D.E.N. 431 = 0,7

D.E.N. 438 = 1,6

D.E.N. 439 = 1,8

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Термостойкость новолачных эпоксидных смол компании DOW позволяет применять их в составе клеев, слоистых материалов для электротехники и строительства, покрытий и отливок, эксплуатирующихся при повышенных температурах. Например, удобство обработки в сочетании с фрикционной термостойкостью делает клеящие составы на основе новолачных эпоксидных смол идеальными для использования в качестве связующих в абразивах для продуктов, предназначенных для шлифовки и полировки. Жидкие формы смол D.E.R. 354 и D.E.N. 431, а также полужидкая форма смолы D.E.N. 438 облегчают приготовление пластичных препрегов для вакуумного ламинирования пакетов. Использование эпоксидных новолаков в электротехнических слоистых материалах улучшает их стойкость к горячему припою, а также обеспечивает их использование при повышенных температурах (электротехнические слоистые материалы изготавливались с использованием в качестве армирующих материалов слюды, а также крошки и волокон из стекла). Кроме того, при использовании рецептур покрытий, растворенных в воде или растворителе, покрытия, в рецептуру которых входят новолачные эпоксидные смолы, обеспечивают превосходную химическую стойкость в сочетании с увеличенной плотностью сшивания.

В дополнение к этому, высокая вязкость смолы D.E.N. 439 (которая находится в полужидком состоянии при комнатной температуре) обеспечивает хорошее вакуумное формование и ограниченную липкость после удаления растворителя из предварительно пропитанной ткани. Препреги, изготовленные с использованием смолы, почти не переходящей в стадию "В", обеспечивают хорошие реологические свойства для изготовления слоистых материалов прессованием. Термостойкие по своей природе новолачные эпоксидные смолы также могут быть использованы для улучшения галогенированных смол или отвердителей в таких областях применения, как конструкционные слоистые материалы для аэрокосмической промышленности и промышленности по производству печатных плат. И эпоксидные новолаки могут комбинироваться с волокнами из кевлара¹, углерода и стекла для создания многих типов конструкционных композитных материалов. Электротехнические лаки, герметики, полупроводники и универсальные пресс-порошки являются примерами других областей применения, где обычно используемые рабочие температуры наводят на мысль о применении новолачных эпоксидных смол. Трубы и резервуары из намоточных композитов, втулки насосов и другое химическое технологическое оборудование и противокоррозионные покрытия являются типичными областями применения, в которых можно воспользоваться преимуществами химической стойкости новолачных эпоксидных смол компании DOW.

¹ Торговая марка компании E.I. du Pont de Nemours & Company.

ТИПИЧНЫЕ СВОЙСТВА

В Табл. 1 приведены типичные свойства нескольких новолачных эпоксидных смол компании DOW.

ВЯЗКОСТЬ

Высокую вязкость смол D.E.N. 438 и D.E.N. 439 при комнатной температуре в некоторых областях применения требуется уменьшать. Этого можно добиться несколькими способами. В случае применения для изготовления препрегов эти смолы предлагаются растворенными в метилэтилкетоне (МЭК).

Таблица 1 Типичные свойства некоторых смол D.E.N.¹

Свойство	D.E.R. 354LV ²	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 438- MK75	D.E.N. 438- EK85	D.E.N. 438-A85	D.E.N. 439	D.E.N. 439- EK85
Эквивалентный вес эпоксида (ЭВЭ) ³	160-170	158-175	172-179	176-181	176-181	176-181	176-181	191-210	191-210
Вязкость при 25°C, сП	2000-3000	3000-5500	—	—	200-600	600-1600	500-1200	—	4000-10000
Вязкость при 52°C, сП	—	—	1100-1700	22500-50000	—	—	—	15000-35000 ⁴	—
Удельный вес при 4°C	1,19	1,19	1,21	1,22	1,09	1,14	1,14	1,22	1,15
Точка размягчения по Меттлеру, °C	—	—	—	—	—	—	—	48-58	—
Температура вспышки (в закрытом тигле по Пенски-Мартену), °C	257	257	218	218	13	-9	-20	218	-9
Цвет по Гарднеру, макс.	3	4	3	2	2	2	2	3	3
Растворитель, масс. %	—	—	—	—	Метил-изобутил-кетон, 25±1	Метил-этил-кетон, 15±1	Ацетон	—	Метил-этил-кетон, 15±1
кг/литр	1,19	1,19	1,21	1,22	1,10	1,14	1,14	1,22	1,15

¹ Типичные значения характеристик, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

² Низкая вязкость

³ Определен с использованием основной смолы

⁴ Измерена при 71°C

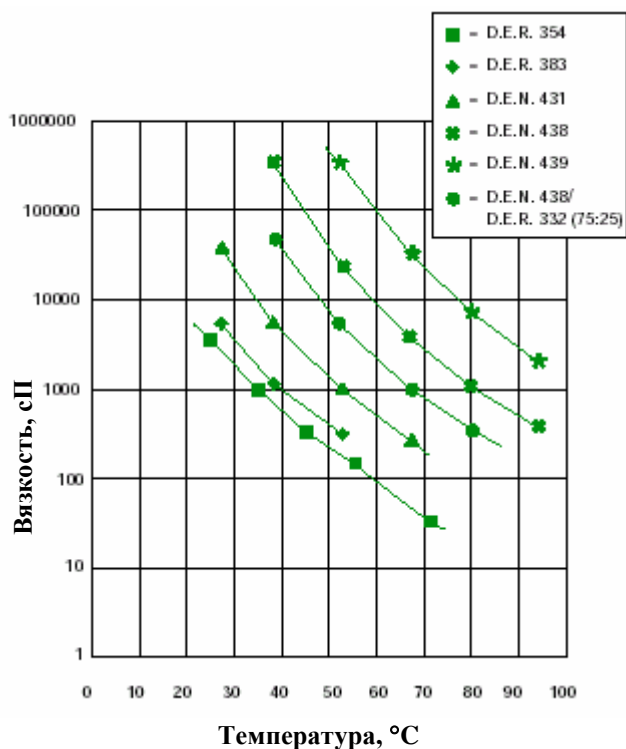
Смола D.E.N. 438 также предлагается растворенной в ацетоне (А) или метилизобутилкетоне (МИБК). По специальным требованиям заказчика могут быть приготовлены другие специальные растворы, если заказываемое количество оправдывает целесообразность их приготовления.

В случаях, когда использование растворителей недопустимо, вязкость можно уменьшить при помощи нагревания, использования разбавителей или смешивания с другими маловязкими смолами – включая новолачные эпоксидные смолы, смолы на основе диглицидилового эфира бисфенола А

(например, D.E.R. 331*, D.E.R. 383 или D.E.R. 332), либо смолы на основе диглицидилового эфира бисфенола F (например, D.E.R. 354). Использование разогрева для уменьшения вязкости дает очень неплохие результаты. При температурах 80-90°C смолы являются достаточно текучими для легкого смешивания с большинством отвердителей эпоксидных смол. Рис. 2 иллюстрирует типичные зависимости вязкость/ температура для некоторых неразбавленных смол.

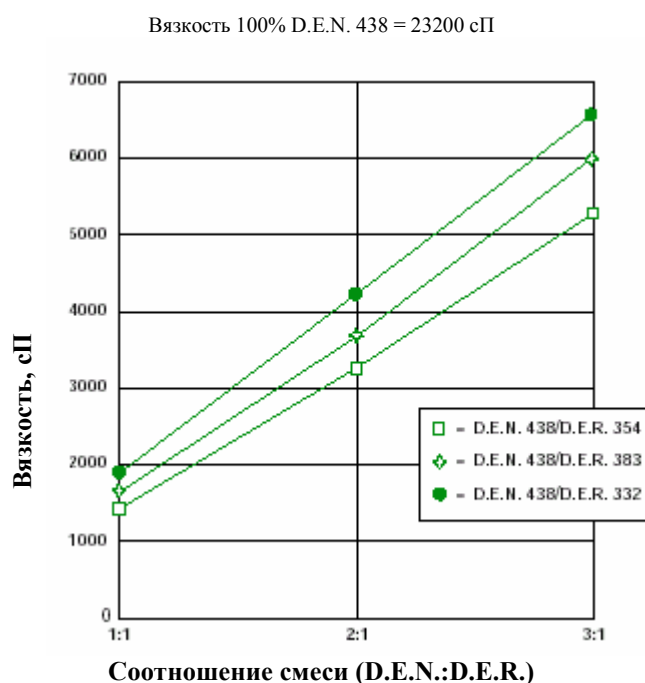
Рис. 3 показывает существенное уменьшение вязкости, которого можно добиться при помощи смешивания смолы D.E.N. 438 с обладающими меньшей вязкостью смолами, а также почти пропорциональное увеличение вязкости, наблюдающееся при возрастании содержания новолачной эпоксидной смолы. Однако необходимо отметить, что смешивание с менее вязкими смолами или разбавителями приводит к некоторому ухудшению эксплуатационных характеристик при повышенных температурах, а также к ухудшению химической стойкости.

Рисунок 2 – Зависимость вязкости от температуры для неразбавленных смол 1



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

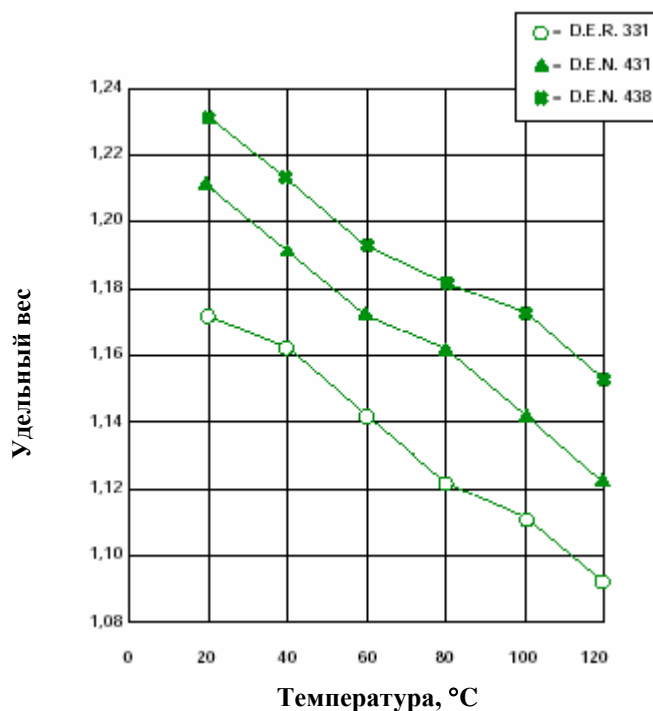
Рисунок 3 – Вязкость смесей неразбавленных смол при температуре 52°C



УДЕЛЬНЫЙ ВЕС

Объем используемого продукта возрастает при повышении температуры из-за увеличения удельного веса. Вне зависимости от температуры, удельный вес эпоксидной смолы на основе бисфенола А всегда меньше удельного веса новолачной эпоксидной смолы. Рис. 4 демонстрирует взаимосвязь между удельным весом и температурой, причем для сравнения включены данные для смолы на основе бисфенола А (D.E.R. 331).

Рисунок 4 – Зависимость удельного веса от температуры¹



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

НАПОЛНИТЕЛИ И МОДИФИКАТОРЫ

Наполнители и модификаторы, обычно используемые с жидкими эпоксидными смолами, также могут использоваться и с новолачными эпоксидными смолами. Например, полисульфидные смолы использовались в рецептуре клеящих составов, отверждаемых при помощи аминов, а кремнийорганические смолы часто используются для улучшения растекаемости и смачиваемости. Наряду с другими смолами, в качестве модификаторов можно использовать полиолы, полиэфир и фенольные смолы. Для изменения характеристик конкретных композиций могут также использоваться наполнители. В случаях, когда требуется обеспечить защиту хрупких герметизированных деталей, введение наполнителей может обеспечить дополнительное уменьшение усадки вместе с улучшением адгезии. Аналогичным образом, металлические наполнители могут использоваться для улучшения теплопередачи, а наполнители

из мягкого металла, такие, как алюминиевый порошок, добавляются для улучшения обрабатываемости изделий. Волокнистые наполнители улучшают механическую прочность, в то время как графит или дисульфид молибдена могут уменьшить трение в подшипниках или сальниках. Абразивные пигменты могут использоваться для улучшения износостойчивости поверхности. Из-за высокой вязкости смол D.E.N. 438 и D.E.N. 439 их требуется нагревать до 75-100°C перед добавлением наполнителя. Однако если в рецептуре также используются уменьшающие вязкость модификаторы, наполнители можно добавлять в смесь при более низких температурах смолы. В любом случае, наполнители обычно подвергают предварительному нагреву до 150-200°C для удаления влаги.

ОТВЕРДИТЕЛИ И РЕЖИМЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ

При выборе отвердителя для использования с новолачными эпоксидными смолами необходимо учитывать его воздействие на характеристики отвержденной смолы. Модифицированные амины, каталитические отвердители и некоторые ангидриды обеспечивают оптимальные характеристики при повышенной температуре. Кроме того, эпоксидные новолачи, отвержденные полиамидными отвердителями, или алифатическими полиаминами и их продуктами присоединения показывают улучшенные характеристики по сравнению с аналогичными системами, в которых используются эпоксидные смолы на основе бисфенола А. Однако эксплуатационные характеристики при повышенной температуре все равно ограничиваются характеристиками самого отвердителя.

Таблица 2 – Режимы отверждения для обычно применяемых отвердителей (используемых с неразбавленными смолами)

Отвердитель	Время первонач. застывания	Темп., °С	Время последующ. отверждения	Темп., °С	Комментарии
Метилтетрагидрофталевый ангидрид (МТГФА)	2	85	2 +2	150 200	Катализируется 1,0 частью 1-(2-гидроксипропил) имидазола на 100 частей смолы. Перед добавлением отвердителя новолачные эпоксидные смолы нагреваются до 60°C. Формы предварительно прогреваются до 50°C.
Дициандиаמיד (ДЦДА)	2	180	2	200	Испытание только на тепловые свойства. Образцы для испытаний изготавливаются в небольших алюминиевых корытцах. Отвердитель растворяется при помощи нагрева смеси смола/отвердитель до 210°C на электрической плитке. 5,0 частей ДЦДА на 100 частей смолы.
Ангидрид метилэндиковой кислоты (АМК)	2	85	2 +2	150 230	Катализируется 1,0 частью 1-(2-гидроксипропил) имидазола или 1,5 частями бензилдиметиламина на 100 частей смолы в качестве ускорителя.
Диэтилтолуол-Диамин (ДЭТДА)	2	120	2 +2	175 225	Перед добавлением отвердителя новолачные эпоксидные смолы нагреваются до 80°C. Формы предварительно прогреваются до 50°C.
Диаминодифенилсульфон (ДДС)	3	177	2	250	Перед смешиванием смола, отвердитель и формы нагреваются до 150°C.
Трифлюорид бора моноэтиламин (BF ₃ •МЭА)	4	100	16	150	Для растворения катализатора смола нагревается до 80-100°C. Формы предварительно прогреваются до 100°C.
Диаминоциклогексан (ДАЦГ)	1	80	2	177	Формы предварительно прогреваются до 50°C.

Другие факторы, которые требуется рассмотреть при выборе отвердителя, включают жизнеспособность и вязкость, которые желательны иметь для конкретной области применения. Если для уменьшения вязкости используется нагревание, то полиамаиды и алифатические полиамины и аддукты будут реагировать чрезвычайно быстро, в результате чего их жизнеспособность окажется слишком коротка для того, чтобы можно было смешать партию продукта. Однако такие системы бывает можно адаптировать к технологическим операциям посредством использования оборудования для автоматического взвешивания и дозирования.

Модифицированные амины, латентные каталитические отвердители и большинство ангидридов обеспечивают при умеренно повышенных температурах жизнеспособность, достаточную для смешивания партии смолы. Жидкие ангидриды, такие, как ангидрид метилэндиковой кислоты (АМК) и метилтетрагидрофталеый ангидрид (МТГФА) особенно полезны, потому что они уменьшают вязкость раствора, а также обеспечивают прекрасные эксплуатационные характеристики отвержденной системы при повышенных температурах.

В Табл. 2 приведены режимы отверждения для некоторых из обычно применяемых отвердителей, а также даны комментарии по процедурам составления рецептур продуктов. Отвердители и режимы отверждения были выбраны для того, чтобы можно было сравнить их с информацией по другим эпоксидным смолам компании Dow, а не потому, что они являются оптимальными для использования с новолачными эпоксидными смолами. На Рис.5 – Рис. 10 показаны взаимосвязи между вязкостью и временем отверждения для некоторых эпоксидных смол, отверждаемых с использованием метилтетрагидрофталевого ангидрида (МТГФА), дициандиамида (ДЦДА), диэтилтолуол-диамина (ДЭТДА) и диаминодифенилсульфона (ДДС).

Рисунок 5 – Зависимость вязкости от времени при 85°C для смол, отверждаемых с использованием МТГФА¹

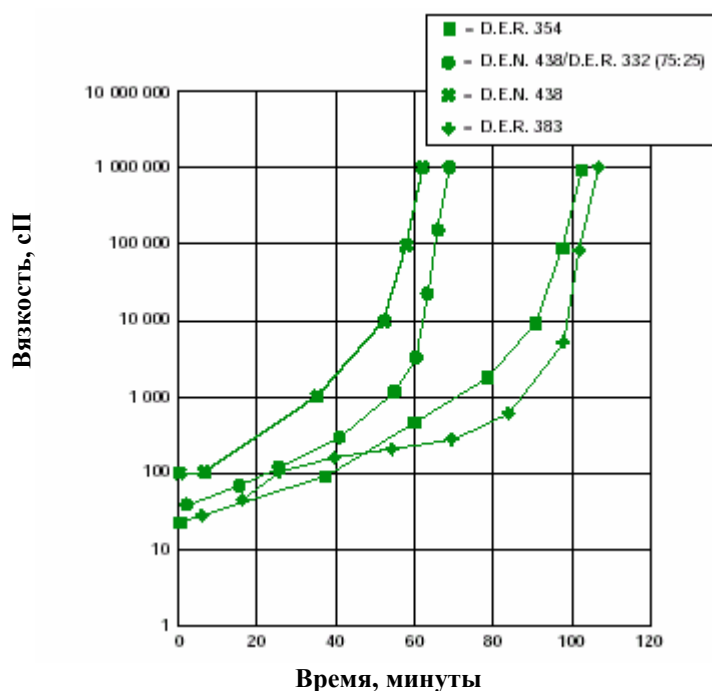
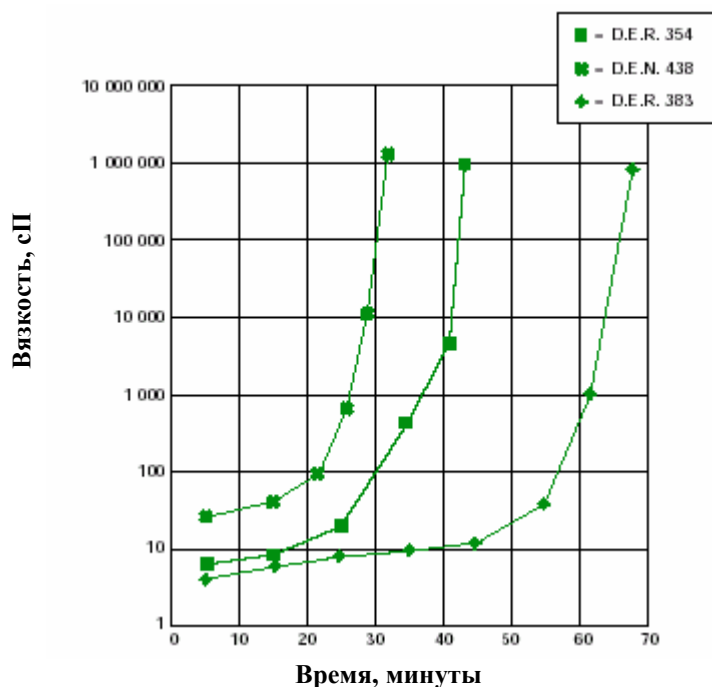


Рисунок 6 – Зависимость вязкости от времени при 160°C для смол, отверждаемых с использованием ДЦДА¹



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

Общее рассмотрение механизмов отверждения и образования полимеров при использовании различных отвердителей можно найти в публикации компании Dow “Formulating with DOW Epoxy Resin” (Создание рецептур продуктов, содержащих эпоксидные смолы компании DOW) (Форма № 296-00346). Кроме того, данная публикация включает руководящие указания по составлению рецептур; методики определения эквивалентных весов и расчета стехиометрических отношений и информацию по типам имеющихся в компании эпоксидных продуктов вместе с информацией о подходящих областях применения и мотивировках получения успешных эксплуатационных характеристик систем.

Рисунок 7 – Зависимость вязкости от времени при 121°C для смол, отверждаемых с использованием ДЭТДА¹

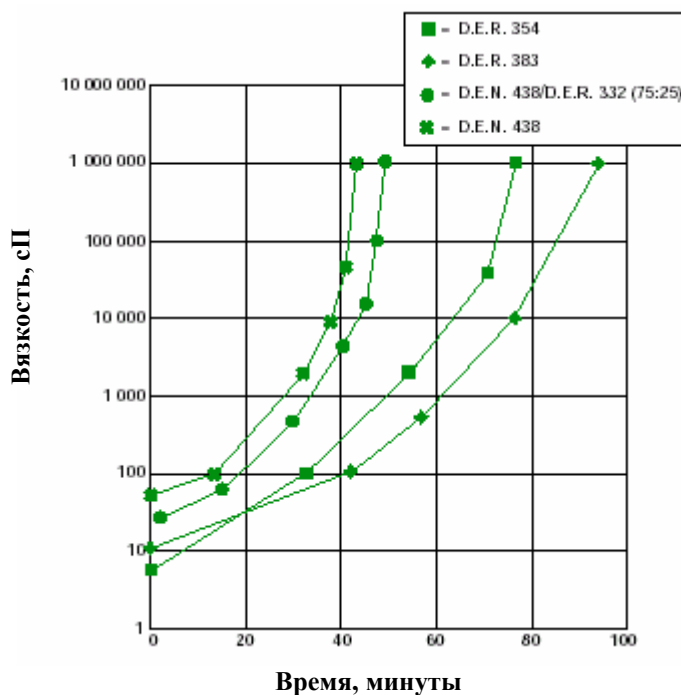
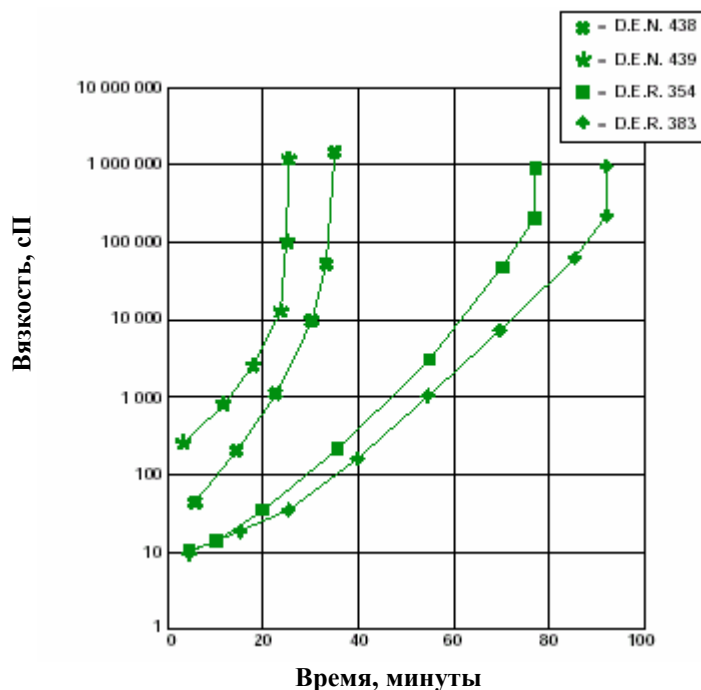


Рисунок 8 – Зависимость вязкости от времени при 150°C для смол, отверждаемых с использованием ДЭС¹



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТВЕРЖДЕННЫХ СМОЛ

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

В данном разделе приводятся данные для широкого диапазона свойств отвержденных систем, содержащих новолачные эпоксидные смолы компании DOW. Из-за большого количества данных, все используемые методы испытаний сведены в Табл. 3. Если не указано иначе, все испытания проводились в соответствии со стандартными методами испытаний ASTM (Американского общества по испытанию материалов). В случаях, когда метод ASTM не был использован, дается краткое описание использовавшейся методики. Образцы отверждались в соответствии с режимами отверждения, приведенными в Табл. 2 (стр. 8)

Таблица 3 – Методы испытаний

Свойство	Метод испытаний	Комментарии
Реология неразбавленных смол и композиций	—	Чашечный вискозиметр, образцы массой 12 г.
Кинетика отверждения (ΔH , температура начала затвердевания, температура максимальной экзотермы)	ASTM D 3418	Дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК)
Температура стеклования (T_g)	ASTM D 3418	Дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК). Испытание мокрых образцов производится после двух недель кипячения в воде.
Термическая деструкция	—	Образцы диаметром 2" (51 мм) x 0.125" (3,2 мм), выдерживаемые в воздушной конвекционной печи при заданной температуре
Коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР)	ASTM E 831	Термомеханический анализатор (ТМА). Образцы толщиной 0,125" (3,2 мм)
Модуль хранения (E') и модуль потери (E''), $\tan \delta$	ASTM D 4065	Динамический механический анализатор (ДМА). Образцы толщиной 0,125" (3,2 мм). Испытание мокрых образцов производится после двух недель кипячения в воде.
Прочность на изгиб, модуль изгиба, деформация изгиба	ASTM D 790	Образцы шириной 1/2" (12,7 мм), толщиной 1/8" (3,2 мм) и длиной 3" (76,2 мм), расстояние между опорами 2" (50,8 мм)
Прочность на разрыв, модуль упругости при растяжении, % удлинения	ASTM D 638	Образцы шириной 3/4" (19 мм), толщиной 1/8" (3,2 мм) и длиной 8 1/2" (216 мм), выфрезерованные до горловины 1/2" (12,7 мм)
Плотность в жидком состоянии	ASTM D 1475	Чашка для измерения плотности
Плотность в твердом состоянии	ASTM D 792	Отвержденные отливки – способ вытеснения жидкости
Поглощение воды	—	Образцы шириной 1" (25,4 мм), толщиной 1/8" (3,2 мм) и длиной 3" (76,2 мм), двухнедельное кипячение в воде
Термогравиметрический анализ	ASTM D 3850	Термогравиметрический анализатор (ТГА)
Диэлектрическая постоянная и тангенс угла потерь	ASTM D 150	Образцы размером 3"x3" (76,2 мм x 76,2 мм)

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА

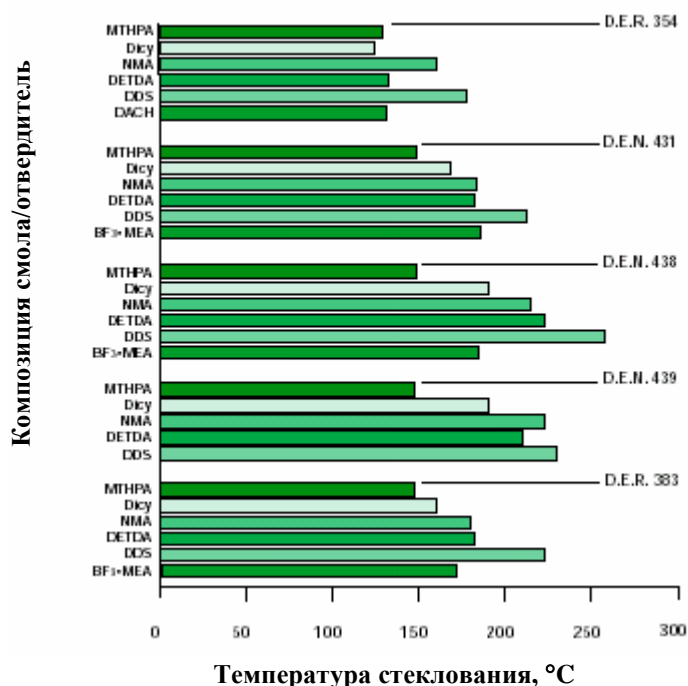
Имея температуру стеклования (T_с) в диапазоне 126-255°C, новолачные эпоксидные смолы компании DOW обеспечивают прекрасную термостойкость в отвержденных композициях. В Табл. 4 приведены репрезентативные температуры стеклования для различных композиций смола/отвердитель, причем данные по смоле D.E.R. 383 (жидкой эпоксидной смоле на основе бисфенола А) даются для сравнения. Кроме того, Рис. 9 в графическом виде иллюстрирует широкий диапазон имеющихся температур стеклования. Вообще говоря, чем больше количество функциональных групп в композиции на основе эпоксидной смолы, тем выше получится плотность сшивания отвержденного продукта. В свою очередь, плотность сшивания и несколько других факторов (а именно, режим отверждения, концентрация и тип катализатора, тип отвердителя и стехиометрическое отношение отвердителя и смолы) помогают определить температуру стеклования конкретной композиции. Более высокие температуры стеклования, полученные при использовании эпоксидных новолаков, позволяют предполагать, что отвержденный продукт будет сохранять целостность при повышенных температурах. Долговременные тепловые эксплуатационные характеристики также диктуются воздействием окружающей среды. Следовательно, для определения долговременных тепловых эксплуатационных характеристик необходимо использовать кондиционирование при соответствующих условиях окружающей среды.

Таблица 4 – Типичные температуры стеклования (T_с) композиций с эпоксидными смолами¹

Смола	Отвердитель	T гр С
	МТГФА	129
D.E.R. 354	ДЦДА	126
	АМК	157
	ДЭТДА	134
	ДДС	177
	ДАЦГ	132
	МТГФА	149
	ДЦДА	164
D.E.N. 431	АМК	183
	ДЭТДА	182
	ДДС	212
	ВФЗ•МЭА	183
	МТГФА	149
	ДЦДА	190
D.E.N. 438	АМК	214
	ДЭТДА	220
	ДДС	255
	ВФЗ•МЭА	185
	МТГФА	148
	ДЦДА	195
D.E.N. 439	АМК	222
	ДЭТДА	210
	ДДС	232
	МТГФА	148
	ДЦДА	158
D.E.R. 383	АМК	179
	ДЭТДА	182
	ДДС	220
	ВФЗ•МЭА	172

¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

Рисунок 9 – Сравнение температур стеклования (T_g) для композиций на основе смолы¹



В Табл. 5 приведены данные о потере массы в процентах при изотермических условиях и температуре начала термической деформации для различных новолачных эпоксидных смол компании DOW и смолы D.E.R. 331 на основе бисфенола А после стандартного отверждения. Данные говорят о том, что новолачные смолы D.E.N. лучше подходят для того, чтобы выдерживать эксплуатацию при повышенных температурах в течение длительных промежутков времени.

Таблица 5 – Типичные температуры термической деструкции (процентная потеря массы) и температуры начала термической деформации

Смола	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 439	D.E.R. 331	D.E.N. 438	D.E.R. 331	D.E.N. 438	D.E.N. 439	D.E.R. 331
Отвердитель	AMK ²	AMK ²	AMK ²	AMK ²	ДДС	ДДС	BF ₃ •МЭА	BF ₃ •МЭА	BF ₃ •МЭА
Потеря массы, %									
Температура									
160°C									
100 часов	0,21	0,05	0,32	0,12	—	—	0,11	0,42	0,36
200 часов	0,00	0,00	0,34	0,07	—	—	0,08	0,26	0,48
300 часов	0,00	0,01	0,61	0,10	—	—	0,10	0,26	0,71
500 часов	0,00	0,00	1,04	0,10	—	—	0,05	0,26	0,86
210°C									
100 часов	0,67	0,63	0,35	0,66	—	—	1,73	1,23	2,60
200 часов	1,04	1,07	0,39	1,10	—	—	2,97	2,55	4,00
300 часов	1,30	1,46	0,60	1,50	—	—	3,82	3,25	4,90
500 часов	1,55	2,07	1,20	1,80	—	—	5,02	3,95	5,50
260°C									
100 часов	—	5,20	4,80	5,60	—	—	11,30	10,50	19,60
200 часов	—	9,20	9,00	10,20	—	—	13,15	12,40	P
Темп. начала термической деформации, °C	162	192	180	156	258	197	245	256	168

¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

² Плюс 1,5 части бензилдиметиламина (БДМА)

P = Разложился

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В Табл. 6-10 указаны типичные физические свойства отвержденных новолачных эпоксидных композиций, в состав которых входят новолачные эпоксидные смолы компании DOW и некоторые отвердители. Для сравнения также приведены данные, полученные при испытании образцов композиций с эпоксидной смолой D.E.R. 383, отвержденной с использованием тех же отвердителей.

Таблица 6 – Типичные физические свойства композиций из смол, отвержденных с использованием МТГФА/Имидазола¹

Смола	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 438/ D.E.R. 332 (75:25)	D.E.N. 439	D.E.R. 383
Диапазон эквивалентного веса эпоксида	158-175	172-179	176-181	175-180	191-210	176-185
Отвердитель/ катализатор	МТГФА/ Имидазол	МТГФА/ Имидазол	МТГФА/ Имидазол	МТГФА/ Имидазол	МТГФА/ Имидазол	МТГФА/ Имидазол
Отношение смешивания Отвердитель : катализатор, частей на 100 частей смолы	85:1	85:1	85:1	85:1	85:1	85:1
Режим отверждения, часов при °С	2/85	2/85	2/85	2/85	2/85	2/85
	2/150	2/150	2/150	2/150	2/150	2/150
	2/200	2/200	2/200	2/200	2/200	—
Температура стеклования (T _g), °С	140	149	149	149	148	148
Коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР), млн ⁻¹ /°С	70	69	66	73	70	70
Динамический механический анализ (ДМА)						
Начало E', °С	126	145	160	—	139	149
Начало E'', °С	132	150	171	—	148	155
Tan delta, °С	139	156	177	164	158	159
Поглощение воды, после двухнедельного кипячения в воде, %	1,63	1,43	1,49	1,40	2,37	1,45
Прочность на изгиб, МПа	128	145	138	139	145	128
Модуль изгиба, МПа	3316	3461	3509	3585	3896	3268
Деформация изгиба при пределе текучести, %	6,0	6,6	6,7	6,1	6,3	6,7
Плотность в отвержденном виде, г/мл	1,225	1,225	1,224	—	1,225	1,190

¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

Таблица 7 – Типичные физические свойства композиций из смол, отвержденных с использованием АМК/Имидазола¹

Смола	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 439	D.E.R. 383
Диапазон эквивалентного веса эпоксида	158-175	172-179	176-181	191-210	176-185
Отвердитель/ катализатор	АМК/ Имидазол	АМК/ Имидазол	АМК/ Имидазол	АМК/ Имидазол	АМК/ Имидазол
Отношение смешивания Отвердитель : катализатор, частей на 100 частей смолы	85:1	85:1	85:1	85:1	85:1
Режим отверждения, часов при °С	2/85	2/85	2/85	2/85	2/85
	2/150	2/150	2/150	2/150	2/150
	2/230	2/230	2/230	2/230	2/230
Температура стеклования (T _c), °С	157	183	214	222	179

Таблица 8 – Типичные физические свойства композиций из смол, отвержденных с использованием ДЭТДА¹

Смола	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 438/ D.E.R. 332 (75:25)	D.E.N. 439	D.E.R. 383
Диапазон эквивалентного веса эпоксида	158-175	172-179	176-181	175-180	191-210	176-185
Отвердитель	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА
Отношение смешивания с отвердителем, частей на 100 частей смолы	27,4	26,6	26,3	25,3	23,3	26,0
Режим отверждения, часов при °С	2/120	2/120	2/120	2/120	2/120	2/120
	2/177	2/177	2/177	2/177	2/177	2/177
	—	2/225	2/225	2/225	2/225	—
Температура стеклования (T _c), °С	134	182	220	216	210	182
Коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР), млн ⁻¹ /°С	76	73	69	83	73	74
Динамический механический анализ (ДМА)						
Начало E', °С	138	177	214	—	208	182
Начало E'', °С	147	185	233	—	223	190
Tan delta, °С	155	193	247	251	239	197
Поглощение воды, после двухнедельного кипячения в воде, %	2,40	2,24	2,47	2,10	2,44	2,35
Прочность на изгиб, МПа	110	108	110	90	114	108
Модуль изгиба, Мпа	3020	2972	3061	2896	3110	2641
Деформация изгиба при пределе текучести, %	6,8	7,1	6,1	4,1	6,9	6,9
Плотность в отвержденном виде, г/мл	1,172	1,199	1,210	—	1,198	1,140

¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

Таблица 9 – Типичные физические свойства композиций из смол, отвержденных с использованием ДДС¹		2/250			
Смола D.E.R. 354 D.E.N. 431 D.E.N. 438		Температура стеклования (T _g), °C	212 255 232		
	Диапазон эквивалентного веса эпоксида 172-179 176-181 191-210		Коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР), млн ⁻¹ /°C	— 69 78	
		Отвердитель ДДС ДДС ДДС		Динамический механический анализ (ДМА)	Начало E', °C 183 223 —
			Отношение смешивания с отвердителем, частей на 100 частей смолы 35,5 35,5 31,5		Начало E'', °C
Режим отверждения, часов при °C 3/177 3/177 3/177 2/250 2/250				Tan delta, °C	222 273 275
				Поглощение воды, после двухнедельного кипячения в воде, %	3,40 4,10 —
				Прочность на изгиб, МПа	142 135 123
				Модуль изгиба, МПа	3241 3310 3378
				Деформация изгиба при пределе текучести, %	7,1 7,0 7,0
					¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

T C D.35 D.D. (7 D.3)

	122	2/250	
Модуль изгиба, МПа	3406	Температура стеклования (T _c), °C	212
	3006		255
	2896		232
Деформация изгиба при пределе текучести, %	7,1	Коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР), млн ⁻¹ /°C	—
	7,1		69
	7,7		78
Плотность в отвержденном виде, г/мл	1,193	Динамический механический анализ (ДМА)	
	1,142	Начало E', °C	183
	1,172		223
			—
¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий		Начало E'', °C	199
			235
			—
		Tan delta, °C	222
			273
			275
		Поглощение воды, после двухнедельного кипячения в воде, %	3,40
			4,10
			—
		Прочность на изгиб, МПа	142
			135
			123
		Модуль изгиба, МПа	3241
			3310
			3378
		Деформация изгиба при пределе текучести, %	7,1
			7,0
			7,0
		¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий	

<p>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</p> <p>В Табл. 11 указаны типичные электрические свойства отвержденных новолачных эпоксидных композиций, в состав которых входят новолачные эпоксидные смолы компании DOW и соответствующие отвердители.</p>	<p>ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ</p> <p>В Табл. 12 и 13 показаны результаты испытаний на химическую стойкость, проводившихся для различных отвержденных композиций, содержащих как новолачные эпоксидные смолы компании DOW, так и жидкие эпоксидные смолы D.E.R. 331 на основе бисфенола А. Испытывавшиеся образцы (размером 3" x 1" x 0,125" (76,2 мм x 25,4 мм x 3,2 мм)) погружались в кислоты, щелочи и органические растворители на 120 суток при температуре 23°C±2°C. Образцы взвешивались по истечении 7, 28 и 120 суток с регистрацией изменений массы, если таковые имелись.</p> <p>Большое количество функциональных групп у смолы D.E.N. 438 приводит к образованию плотно сшитой</p>	<p>трехмерной структуры, стойкой к агрессивному воздействию химикатов и растворителей. С некоторыми исключениями, эпоксидные новолачи показывают при испытании химической стойкости в водных растворах результаты, аналогичные показываемым смолами на основе бисфенола А. Кроме того, эпоксидные новолачи обычно показывают более высокую стойкость к воздействию органических растворителей.</p> <p>Каталитические отвердители, способствующие реакциям "эпоксид-эпоксид", в результате которых создаются стабильные эфирные связи, обычно обеспечивают самую высокую общую стойкость к воздействию химикатов и растворителей. Если условия отверждения, составления рецептуры или требующиеся эксплуатационные характеристики диктуют применение других отвердителей, предпочтительными альтернативами будут ангидриды при воздействии кислот и амины при воздействии щелочей.</p>
---	--	---

Таблица 11 – Типичные электрические свойства отвержденных эпоксидных композиций¹

Смола	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 439	D.E.R. 354	D.E.N. 431	D.E.N. 438	D.E.N. 439	D.E.N. 431	D.E.N. 438
Отвердитель	МТГФА	МТГФА	МТГФА	МТГФА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДЭТДА	ДДС	ДДС
Диэлектрическая постоянная										
Частота, Гц										
1,00E+03	3,37	3,40	3,45	3,46	4,38	4,38	4,50	4,50	4,50	4,86
1,00E+04	3,34	3,36	3,40	3,42	4,29	4,27	4,38	4,40	4,36	4,68
5,00E+04	3,30	3,32	3,35	3,36	4,17	4,13	4,23	4,25	4,23	4,51
1,00E+05	3,29	3,30	3,34	3,35	4,12	4,08	4,17	4,20	4,18	4,44
Тангенс угла потерь										
Частота, Гц										
1,00E+03	0,0052	0,0064	0,0076	0,0076	0,0093	0,0120	0,0128	0,0114	0,0167	0,0207
1,00E+04	0,0092	0,0109	0,0125	0,0129	0,0221	0,0261	0,0272	0,0254	0,0259	0,0310
5,00E+04	0,0135	0,0155	0,0172	0,0176	0,0323	0,0350	0,0361	0,0348	0,0289	0,0365
1,00E+05	0,0154	0,0171	0,0189	0,0193	0,0349	0,0369	0,0380	0,0369	0,0289	0,0370

¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

Таблица 12 – Типичная химическая стойкость и стойкость к растворителям композиций на основе смол, отвержденных АМК¹

Смола	D.E.N. 431			D.E.N. 438			D.E.N. 439			D.E.R. 331		
	АМК			АМК			АМК			АМК		
Отвердитель	Изменение массы, %			Изменение массы, %			Изменение массы, %			Изменение массы, %		
	7	28	120	7	28	120	7	28	120	7	28	120
Сутки	7	28	120	7	28	120	7	28	120	7	28	120
Серная кислота, 30%	0,32	0,52	0,80	0,44	0,68	0,77	0,33	0,62	0,80	0,33	0,83	0,55
Соляная кислота, 36%	—	—	—	0,24	0,60	1,50	0,26	0,49	1,09	0,32	0,56	1,36
Азотная кислота, 40%	—	—	—	0,59	1,37	3,11	0,38	1,00	2,05	0,40	1,10	1,70
Гидроксид аммония, 28%	—	—	—	0,77	1,31	1,92	0,72	1,46	2,40	0,67	1,24	1,84
Уксусная кислота, 25%	—	—	—	0,57	0,93	1,12	0,58	0,91	1,28	0,46	0,73	0,90
Ацетон	1,10	3,77	9,00	0,24	1,15	5,07	0,17	0,66	3,43	4,80	13,00	22,30
Толуол	—	—	—	0,07	0,14	0,32	0,00	0,02	0,28	0,06	0,09	0,28
Гидроксид натрия, 10%	—	—	—	0,42	0,64	0,64	0,45	0,82	1,13	0,37	0,51	0,50
Топливо JP4	0,02	0,04	0,14	0,00	0,01	0,12	0,01	0,04	0,15	0,02	0,02	0,16
Дистиллированная вода	0,44	0,79	1,15	0,55	0,97	1,13	0,52	0,96	1,38	0,52	0,82	0,87

Таблица 13 – Типичная химическая стойкость и стойкость к растворителям композиций на основе смол, отвержденных ВФЗ•МЭА¹

Смола	D.E.N. 438			D.E.N. 439			D.E.R. 331		
	ВФЗ•МЭА			ВФЗ•МЭА			ВФЗ•МЭА		
Отвердитель	Изменение массы, %			Изменение массы, %			Изменение массы, %		
	7	28	120	7	28	120	7	28	120
Сутки	7	28	120	7	28	120	7	28	120
Серная кислота, 30%	0,40	0,91	1,58	0,40	0,82	1,53	0,40	1,10	1,20
Соляная кислота, 36%	0,15	0,45	1,07	—	—	—	0,26	0,49	1,17
Азотная кислота, 40%	0,12	1,01	2,22	—	—	—	0,45	1,20	1,50
Гидроксид аммония, 28%	0,64	1,35	2,57	—	—	—	0,57	1,22	2,17
Уксусная кислота, 25%	0,63	1,32	2,10	—	—	—	0,53	1,03	1,65
Ацетон	-0,04	0,00	0,20	0,05	0,14	0,64	0,43	1,20	3,20
Толуол	0,10	0,20	0,62	—	—	—	0,09	0,17	0,26
Гидроксид натрия, 10%	0,53	1,13	1,93	—	—	—	0,50	0,94	1,46
Топливо JP4	0,02	0,05	0,26	0,03	0,08	0,31	0,02	0,06	0,23
Дистиллированная вода	0,60	1,43	2,24	0,57	1,18	2,25	0,62	1,20	1,80

¹ Типичные значения параметров, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И В МОКРОМ СОСТОЯНИИ

Новолачные эпоксидные смолы сохраняют хорошие общие механические свойства при повышенных температурах и в мокром состоянии. На Рис. 10 показаны значения прочности на изгиб для некоторых композиций на основе смол в диапазоне от комнатной температуры до температуры стеклования. Рис. 11 – 13 иллюстрируют значения модуля изгиба, прочности на разрыв и модуля упругости при растяжении для композиций как в мокром, так и в сухом состоянии при комнатной температуре и при повышенных температурах.

Рисунок 10 – Прочность на изгиб при повышенных температурах¹

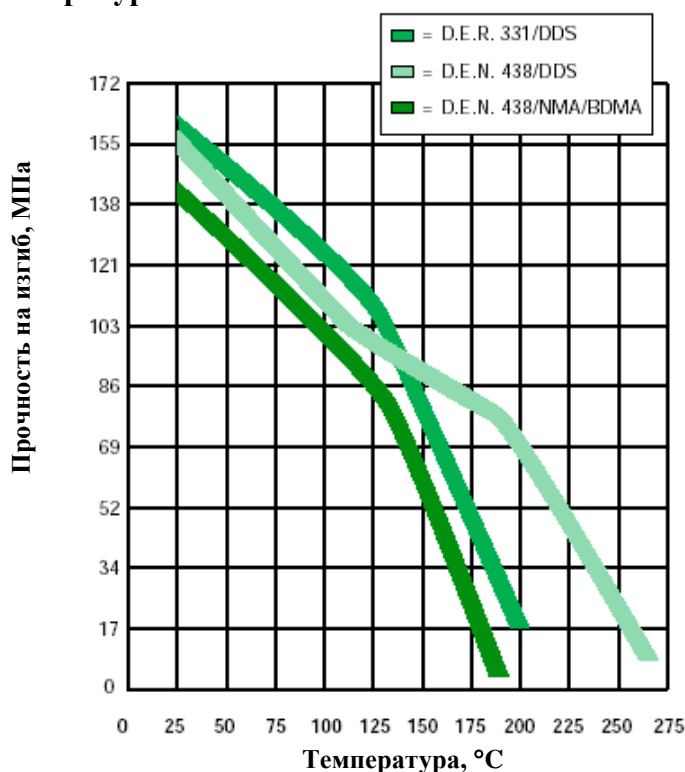
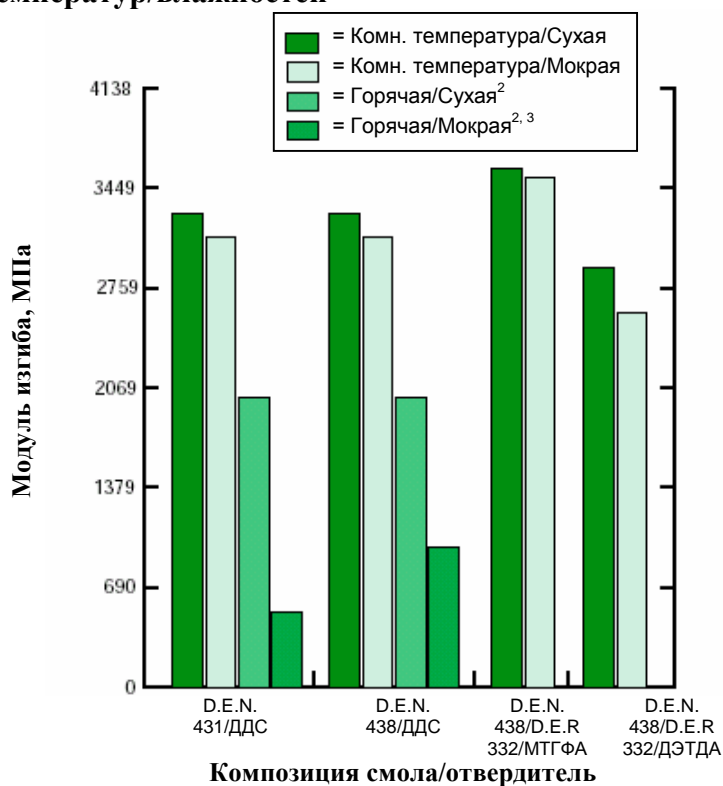


Рисунок 11 – Модуль изгиба в условиях различных температур/влажностей¹



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

² Мокрая = две недели кипячения в воде

³ Горячая = 149°C

Рисунок 12 – Прочность на разрыв в условиях различных температур/влажностей¹

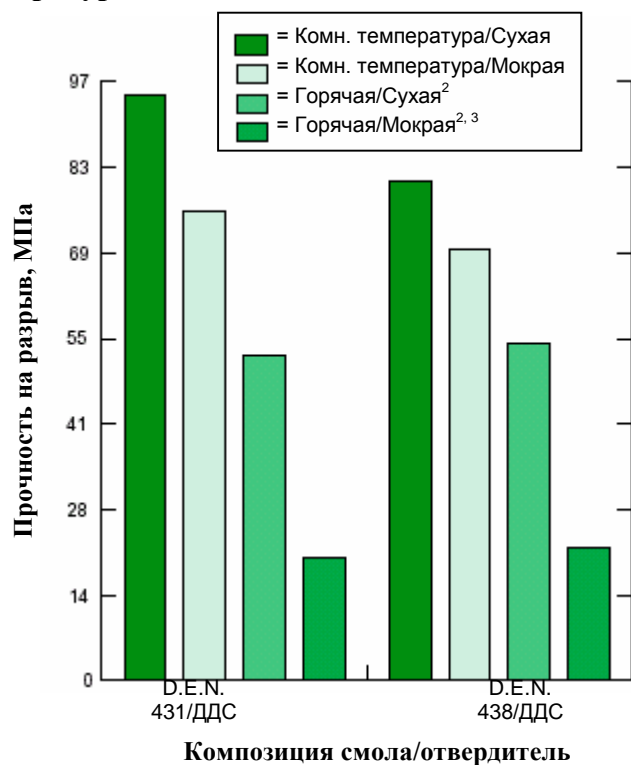
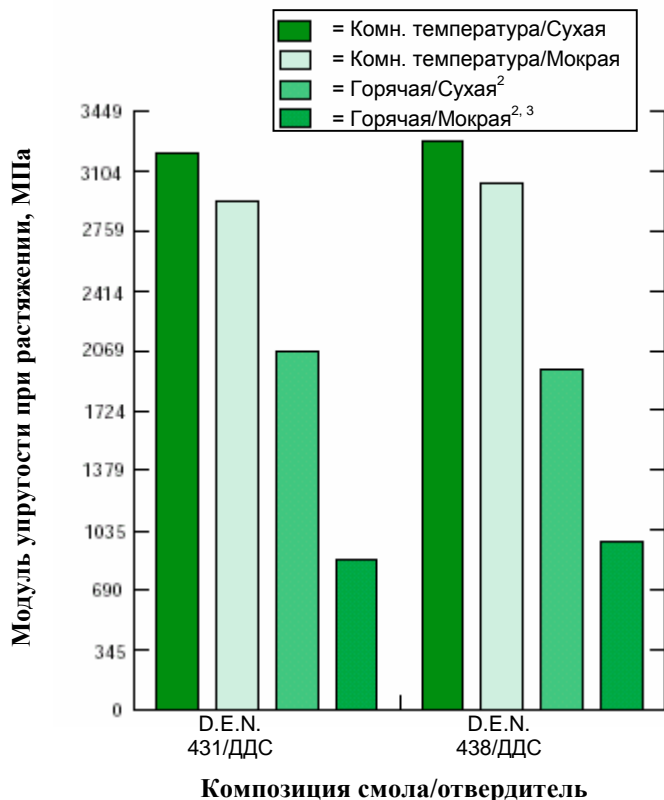


Рисунок 13 – Модуль упругости при растяжении в условиях различных температур/влажностей¹



¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

² Мокрая = две недели кипячения в воде

³ Горячая = 149°C

<p>УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ВЛАГОСТОЙКОСТЬ В Табл. 14 показан эффект воздействия высокой температуры и давления на образцы, в рецептуру которых входят смолы D.E.N. 438 и D.E.R. 331, отвержденные с использованием различных отвердителей. Опытные образцы</p>	<p>были подвергнуты воздействию температуры 121°C и давления 0,103 МПа в течение 500 часов в парогенерирующем автоклаве. Практически во всех случаях новолачная эпоксидная смола D.E.N. 438 сохраняла после испытаний более высокие значения прочности на изгиб, модуля изгиба и температуры стеклования. Например, в образцах, отвержденных с использованием</p>	<p>отвердителя BF₃•МЭА, смола D.E.N. 438 сохранила почти 90% прочности на изгиб, которую она имела до испытаний, в то время как смола D.E.R. 331 на основе бисфенола А сохранила только 18% из-за некоторого растрескивания образцов под действием напряжений. Единственным исключением оказалась прочность на изгиб образцов, отвержденных с использованием ДДС.</p>
--	---	--

Таблица 14 – Влагостойкость при воздействии температуры 121°C и давления 0,103 МПа в течение 500 часов¹

Смола	D.E.N. 438	D.E.R. 331	D.E.N. 438	D.E.R. 331	D.E.N. 438	D.E.R. 331
Отвердитель	АМК ²	АМК ²	ДДС	ДДС	BF ₃ •МЭА	BF ₃ •МЭА
% увеличения массы после 500 часов	2,21	3,68	4,19	4,34	3,37	2,70
Прочность на изгиб, МПа						
До испытания	143	159	146	161	113	125
После испытания	95	48 ³	93	113	100	23 ³
% сохранения	66	30	64	70	88	18
Модуль изгиба, МПа						
До испытания	3738	3476	3786	3400	3855	3380
После испытания	3386	3290 ³	3179	3014	3490	2793 ³
% сохранения	91	95	84	89	90	83
Температура стеклования (T _с), измерение при помощи ДСК						
До испытания	195	158	214	171	213	164
После испытания	161	108	159	136	159	127
% сохранения	82	68	74	80	75	77

¹ Данные лабораторных испытаний, не должны интерпретироваться в качестве технических условий

² Плюс 1,5 части бензилдиметиламина (БДМА)

³ Наблюдалось некоторое растрескивание образца

ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ГИГИЕНЫ ТРУДА И БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ

По вопросам защиты окружающей среды, техники безопасности, гигиены труда и безопасного обращения с продуктами компании Dow, обращайтесь к брошюрам “Storage and Handling of DOW Epoxy Resins” (Хранение эпоксидных смол компании DOW и обращение с ними) (Форма №296-00312) и “Storage and Handling of DOW Epoxy Curing Agents” (Хранение отвердителей компании DOW для эпоксидных смол и обращение с ними) (Форма №296-01331), а также к справочным данным по безопасному применению материала. Для продуктов как компании Dow, так и других компаний всегда запросите, прочтите и

уясните информацию по вопросам защиты окружающей среды, техники безопасности, гигиены труда и безопасного обращения с продуктами, прежде чем начинать обращаться с любыми из этих материалов. Столь же важна информация по технике безопасности при работе с растворителями, разбавителями, модификаторами, отвердителями и другими добавками в композиции на основе эпоксидных смол. За информацией по этим материалам, а также за конкретными рекомендациями по обращению с ними обращайтесь к вашим поставщикам.

За дополнительной информацией по новолачным эпоксидным смолам компании Dow обращайтесь в ваше представительство компании Dow или звоните по телефону 1-800-441-4369 или 1-517-832-1426 (в США и Канаде). В Мексике звоните по телефону 95-800-441-4369.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

А – Ацетон
БДМА (BDMA) – Бензилдиметиламин
BF₃•МЭА (BF₃•MEA) – Трифлюорид бора моноэтиламин
ДАЦГ (DACH) – Диаминоциклогексан
ДДС (DDS) – Диаминодифенилсульфон
ДЭТДА (DETDA) – Диэтилтолуол-Диамин
ДСК (DSC) – Дифференциальный сканирующий калориметр
ЭВЭ ЕEW – Эквивалентный вес эпоксида
МЭК (EK) – Метилэтилкетон
ТТД (HDT) – Температура начала термической деформации
МИБК (МК) – Метилизобутилкетон
МТГФА (МТНРА) – Метилтетрагидрофталевый ангидрид
АМК (NMA) – Ангидрид метилэндиковой кислоты
phr – частей на сто частей смолы
PMCC – Температура вспышки в закрытом тигле по Пенски-Мартену
ТГА (TGA) – Термогравиметрический анализатор
ТМА (TMA) – Термомеханический анализатор
Tc (Tg) – Температура стеклования

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИЕЙ

Компания Dow поддерживает усилия своих заказчиков по проверке применения продукции компании Dow с точки зрения их воздействия на здоровье человека и качество окружающей среды. Чтобы гарантировать, что продукты компании Dow не будут использоваться способами, для которых они не предназначены и не испытаны, персонал компании Dow будет помогать заказчикам в решении вопросов, связанных с соображениями экологии и безопасности продукции.

Ваше представительство компании Dow поможет вам вступить в контакт с надлежащими специалистами. Перед применением продуктов компании Dow необходимо обратиться к литературе по продуктам компании Dow, включая справочные данные по безопасному применению материала. Они могут быть получены через ваше торговое представительство компании Dow или их можно заказать по телефону 1-800-441-4369 или 1-517-832-1426 (в США и Канаде). В Мексике звоните по телефону 95-800-441-4369.

Если вам требуется дополнительная информация, звоните по
телефону 7-095-2585690 в Москве, РФ

1-800-441-4369 или 517-832-1426 (в США и Канаде)

В Мексике звоните по телефону 95-800-441-4369

ЗАЯВЛЕНИЕ: Данный документ не подразумевает освобождения ни от каких прав, защищенных патентами, владельцами которых является компания Dow и другие компании. Так как условия применения и применимое законодательство могут быть различными в разных местах и могут изменяться с течением времени, определение того, подходят ли продукты компании и содержащаяся в данном документе информация для конкретного случая применения, является обязанностью их покупателя, также как и обеспечение соответствия методов организации работы с продуктами и их утилизации требованиям законов и других правительственных актов. Продавец не берет на себя никаких обязательств и не несет никакой ответственности за содержащуюся в этом документе информацию. **ЭТИМ ДОКУМЕНТОМ НЕ ДАЕТСЯ НИКАКИХ ГАРАНТИЙ; ПРЯМО ИСКЛЮЧАЮТСЯ ВСЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ПРОДАЖИ ИЛИ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ.**

Опубликовано в октябре 1998 г.

The Dow Chemical Company, 2040 Dow Center, Midland, MI 48674
Dow Chemical Canada Inc., 1086 Modeland Rd., P.O. Box 1012, Sarnia, Ontario, N7T 7K7, Canada
Dow Quimica Mexicana, S.A. de C.V., Torre Optima - Mezzanine, Av. Paseo de Las Palmas No. 405, Col. Lomas de Chapultepec, 11000 Mexico, D.F., Mexico

