

*Черных Л.Ф., доктор техн. наук, с.н.с., рук.
отдела, Лозан М.В., инженер
Отдел строительной теплофизики и
инженерного оборудования
КиевЗНИИЭП, г. Киев, Украина*

ПВХ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОКОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

1. История поливинилхлорида (ПВХ)

Поливинилхлорид относится к старейшим искусственным материалам. Впервые поливинилхлорид был получен в лабораторных условиях в 1835 году французским горным инженером и химиком Анри Виктором Реньо. Реньо, получивший раствор винилхлорида, случайно обнаружил, что по истечении некоторого времени в пробирке образовался белый порошок. Ученый провел с порошком различные опыты, но, не получив никакого удовлетворительного результата, утратил интерес к случайно открытому им веществу.

В 1878 году продукт полимеризации винилхлорида впервые был исследован более подробно, но результаты исследований так и не стали достоянием промышленности. Это произошло только в конце XX столетия. В 1913 году немецкий ученый Фриц Клатте получил первый патент на производство ПВХ. Он предполагал использовать трудно воспламеняемый поливинилхлорид вместо легко воспламеняемого целлулоида. Начавшаяся Первая мировая война помешала Фрицу Клатте заняться подробным исследованием свойств ПВХ и возможностей его применения, а производство было приостановлено. Тем не менее, Клатте по праву считается основоположником промышленного производства ПВХ.

В 1931 году на заводах концерна BASF были получены первые промышленные объемы этого материала. А первое в мире серийное производство окон из искусственных материалов под маркой было налажено в 1954 году концерном Динамит Нобель. ПВХ – это термопластичный искусственный материал, получаемый из природного сырья: поваренной соли и нефти. Он долговечен и устойчив к действию погодных условий. На сегодняшний день по разнообразию оконных профилей оконные ПВХ-системы являются наиболее гибкими и технологичными. Относительно низкая стоимость сырья и производства, наряду с хорошими физическими характеристиками (низкая теплопроводность, достаточно высокая химическая стойкость), сделали их самыми массовыми в центральной Европе.

2. Зависимость ПВХ от температуры

Вместе с тем, эксплуатация окон из ПВХ в странах с суровым континентальным климатом связана с определенными техническими ограничениями, обусловленными специфическими свойствами поливинилхлорида.

По своему химическому составу поливинилхлорид относится к группе термопластов, для которых характерно быстрое снижение механических свойств при повышении температуры, обусловленное линейным строением молекул полимера и их малой связью друг с другом, снижающейся при нагревании. Такое строение обуславливает сильную зависимость свойств поливинилхлорида от температуры.

В соответствии с законом Гука, удлинение образца при его испытаниях на растяжение до определенного предела растет по прямой пропорциональной зависимости, характеризующей упругие свойства материала. Коэффициент пропорциональности является величиной, оценивающей степень сопротивления материала упругой деформации и называется модулем продольной упругости (модулем упругости) E (Н/мм²). Чем больше E , тем меньше упругая деформация и наоборот (табл. 1).

Таблиця 1 - Модуль упругости различных материалов

Материал	E, Н/мм ²	E, МН/м ²
ПВХ твердый	2,7	0,027·10 ⁵
Дерево вдоль волокон	10,0	0,1·10 ⁵
Бетон	10,0 – 30,0	0,1 – 0,3·10 ⁵
Стеклопластик	18,0 – 40,0	0,18 – 0,4·10 ⁵
Дерево поперек волокон	50,0	0,5·10 ⁵
Алюминий	67,5	0,675·10 ⁵
Алюминиевые сплавы	71,0	0,71·10 ⁵
Сталь	210,0	2,1·10 ⁵

В пределах закона Гука растяжение образца происходит без образования необратимых остаточных деформаций.

Испытания на твердость производят по различным шкалам, путем вдавливания в материал стальных шариков, алмазных наконечников и др. Твердость определяют как отношение приложенной нагрузки к площади отпечатка.

Таким образом, для ПВХ может быть выведена группа показателей, характеризующих его поведение как конструкционного материала в процессе изготовления, установки и эксплуатации окна при сочетании различных нагрузок и воздействий.

Как видно из графика, показанного на рис. 1, при понижении температуры модуль упругости ПВХ увеличивается и растут его прочностные характеристики на растяжение, сжатие и изгиб. Однако, при этом увеличивается его хрупкость (падает ударная вязкость). Так, согласно рис. 1, при понижении температуры ПВХ с 23 до 0 °С, его ударная вязкость падает вдвое. Не случайно оконные фирмы, имеющие достаточный опыт работы, приостанавливают монтажи окон из ПВХ в зимнее время при температуре наружного воздуха ниже минус 10...15 °С, когда риск хрупкого разрушения ПВХ при механическом воздействии велик.

С повышением температуры поливинилхлорид постепенно размягчается – его относительное удлинение при разрыве увеличивается, прочность на сжатие и изгиб падает. В зоне температур 10...40 °С механические характеристики уменьшаются очень незначительно, и в большинстве случаев этими изменениями можно пренебречь.

Резкое падение прочностных свойств ПВХ начинается выше температуры 40 °С, а вблизи температуры в 80 °С находится его точка размягчения. Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение ПВХ-окон недопустимо в помещениях с повышенными тепловыделениями, а при проектировании окон, ориентированных на южную сторону, следует предусматривать мероприятия, предотвращающие аккумуляцию тепла оконным профилем.

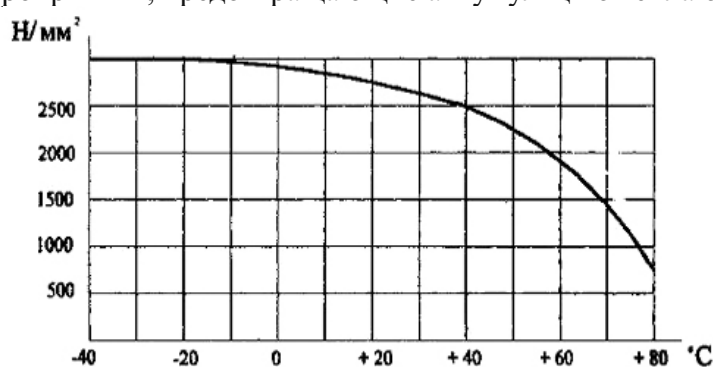


Рисунок 1 - Зависимость модуля упругости ПВХ от температуры

3. Химический состав ПВХ

По своему химическому составу поливинилхлорид состоит из элементов углерода, водорода и хлора. Устойчив к воздействию большинства химических реагентов. Ниже приведен сокращенный вариант таблицы устойчивости ПВХ к воздействию различных химических веществ (табл. 2). Полностью таблица приводится в техническом руководстве всех производителей профильных систем из ПВХ.

Таблица 2 - Таблица устойчивости ПВХ к воздействию различных химических веществ

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация	При t, °С
Группа I. Высокая сопротивляемость			
1	Азотная кислота	10 %	60
2	Аммиак, водный раствор	Конц.	40
3	Дизельное топливо		20
4	Машинное масло		60
5	Муравьиная кислота	100 %	40
		10 %	60
6	Нагровый щелок	10 %	60
		40 %	60
7	Оливковое масло		60
8	Перманганат калия	Насыщенный 20 °С	60
9	Серная кислота	10 %	60
		96 %	60
10	Скипидар		20
11	Соляная кислота	10 %	60
		35 %	60
12	Хлорид натрия	10 %	60
13	Этанол		40
Группа II. Слабая сопротивляемость			
1	Уксусная кислота	100 %	20
2	Царская водка		40
Группа III. Отсутствие сопротивляемости			
1	Анилин		20
2	Бензол		20
3	Бензино-бензоловая смесь		20
4	Диэтилэфир		20
5	Крезол – М		20
6	Ксилол		20
7	Толуол		20

ПВХ относится к той небольшой группе полимеров, которые производятся полностью на основе нефти. В качестве сырья для его производства используется добываемый из нефти этилен (43 %) и хлор (57 %), добываемый из поваренной соли.

Из каменной соли посредством электролиза хлористого натрия получается хлор. Из нефти получается этилен. Этилен и хлор вступают в реакцию с образованием дихлорэтана, из которого в результате последующей реакции образуется винилхлорид. Винилхлорид превращается посредством полимеризации в поливинилхлорид (ПВХ).

4. Горение ПВХ

ПВХ плохо воспламеняется и не поддерживает процесс горения при отсутствии источника возгорания. В этом большое преимущество пластиковых окон. Если дерево воспламеняется уже при 210...270 °С, то ПВХ – при 330...400 °С. Но даже при 400 °С без прямого контакта с огнем пластик будет только плавиться, но не гореть. При горении поливинилхлорида выделяется гораздо меньше тепла, чем при сгорании, например, древесины, что значительно уменьшает вероятность распространения пожара. При горении выделяются такие газы как монооксид и диоксид углерода, хлороводород и водяной пар. Монооксид и диоксид углерода опасны для здоровья человека. Монооксид углерода выделяется при сгорании не только пластика, а в помещении помимо пластиковых окон может оказаться много других предметов, в том числе и пластиковых. Угарный газ выделяется и при горении большинства материалов находящихся в помещении, которые при возгорании будут выделять не меньшее количество вредных веществ. Что касается выделяющегося хлороводорода, то он вступает в реакцию с водяными парами, в результате образуется соляная кислота. Соляная кислота может приводить к коррозии металлических конструкций, однако выделяется в таких небольших количествах, что серьезного вреда причинить не может.

5. Экструзия ПВХ

Качество готового продукта (окна) определяется, прежде всего, качеством профиля, из которого это окно изготовлено. А качество профиля, в свою очередь, зависит от: стабильности показателей качества материала (ПВХ) на химическом и физико-механическом уровнях; стабильности показателей качества всего производственного процесса производства профиля. Стоимость профиля, конечно же, зависит от стоимости сырья для его производства. В состав смеси, из которой производится оконный профиль, входят различные компоненты большинство которых являются продуктами высоких технологий и стоят достаточно дорого. К таким добавкам относятся стабилизаторы, модификаторы ударной вязкости, полимерные вспомогательные реагенты, например, смазки, наполнители, пигменты и т.д. Их наличие в достаточном количестве невозможно определить визуально, поэтому сэкономить на них – большой соблазн для недобросовестных производителей. Например, в состав профилей входит оксид титана – порошок яркого белого цвета, обеспечивающий белизну профиля и, совместно со стабилизаторами, отвечающий за сохранение цвета во время эксплуатации окна. Высокая чистота оксида титана требует существенных затрат, а если сэкономить на его качестве, то потребитель этого сразу не заметит, но в ходе эксплуатации – через год, два или три – окна начнут желтеть.

При подготовке сырья очень важно, чтобы все компоненты, входящие в состав смеси, равномерно распределялись в ее массе. Любые неравномерности в распределении компонентов снижают механическую прочность профиля. Поэтому тщательность подготовки сырья и контроль этого процесса существенно влияют на качество конечного продукта.

Для изготовления окон используются ПВХ-профили – многокамерные пустотелые погонажные изделия, производимые методом экструзии. Внутреннее пространство профиля заполнено поперечными перемычками, выполняющими функцию ребер жесткости. Эти перемычки образуют изолированные отсеки (камеры), заполненные воздухом. Такие воздушные камеры обеспечивают высокую теплозащиту и звукоизоляцию окон. ПВХ-профили получают методом экструзии – непрерывного выдавливания размягченного материала через отверстие определенного сечения, определяемого типом фильеры (детали машины для формования химических волокон в виде колпачка или пластины) при температуре 80...120 °С.

Экструдер (рис. 2) состоит из привода с двигателем и редуктором, а также цилиндра и находящимися внутри него шнеками и входной воронкой. Загружаемый через входную воронку материал перемешивается в зоне разогрева цилиндра при помощи двух шнеков до гомогенного расплава, который поступает на фильеру.



Рисунок 2 - Экструдер для производства ПВХ профилей

Расплавленная экструдруемая масса приобретает необходимую форму и размеры в фильере и вакуумном калибре, в котором происходит первоначальное охлаждение профиля. Здесь профиль охлаждается после формирования в фильере экструдера. При этом важно выдержать геометрию профиля, не допустить его искривления. Этот процесс требует большого навыка, опыта и технологической дисциплины. Часто в офисах в качестве образца можно увидеть отрезок профиля. Он выглядит, казалось бы, нормально, но на готовом изделии все может оказаться совсем иначе: то плохо закрываются створки, то дует через окно, то просто профиль где-то имеет волнистую поверхность. Геометрические дефекты экструзии гораздо сильнее заметны на готовом изделии, чем на образце. И их наличие потребитель часто с удивлением обнаруживает на уже установленном окне, когда он радостно потирал руки, сэкономив пару долларов на более дешевом профиле.

На следующей стадии профиль поступает на участок вторичного охлаждения, где на него подается холодная вода. Далее расположен узел, который равномерно вытягивает профиль из участка охлаждения и подает его на участок маркировки, где также наклеивается защитная пленка. В конце линии установлена пила, отрезающая профиль необходимого размера, после чего он упаковывается в палеты.

При экструзии необходимо строго выдерживать режимы разогрева смеси и охлаждения профиля. Поскольку ПВХ-профиль имеет сложную пространственную структуру с горизонтальными и вертикальными стенками различной толщины, неравномерный температурный режим приводит к искривлению профиля уже непосредственно на стадии экструзии.

Крупные производители ПВХ-профилей осуществляют выходной контроль геометрических размеров и массы погонного метра через каждый час. Профиль, имеющий отклонения выше допустимых технологическим регламентом, отправляется во вторичную переработку.

Поскольку при экструзии оконных профилей происходит тщательное гомогенное перемешивание всех составных частей рецептуры, то может быть получен материал, спектр свойств которого варьируется в самом широком диапазоне. Вместе с тем применение добавок не изменяет основополагающих свойств ПВХ как термопласта, являющихся определяющими при проектировании оконных конструкций.

Поливинилхлорид имеет очень высокий коэффициент температурного расширения, равный $80 \cdot 10^{-6}$ [1/°C]. Для сравнения эта величина для стали и бетона составляет порядка $10 \cdot 10^{-6}$ [1/°C], а для стекла $8,5 \cdot 10^{-6}$ [1/°C]. Таким образом, ПВХ имеет коэффициент в 10 раз больший по сравнению со стеклом и материалом примыкающих к окну наружных стен. Такое

соотношение величин приводит к тому, что температурные деформации, а соответственно, и напряжения в профиле, остеклении и примыкающих к окну конструкциях, резко отличаются по величине. Эта особенность, в сочетании с низким модулем упругости ПВХ практически полностью определяет специфику монтажа и системы уплотнений металлопластиковых окон по сравнению с окнами из других материалов – дерева, алюминия и стеклопластика.

Качество экструдированного оконного ПВХ-профиля зависит от ряда взаимосвязанных факторов, в их числе: качество исходного сырья (ПВХ-смола); рецептура смеси (соотношение компонентов: смола и применяемые добавки); конструктивные особенности экструдера; технологическая дисциплина и др.

Одним из наиболее тонких технологических вопросов экструзии ПВХ-профиля являются колебания качества исходного сырья в различных партиях поставок, а тем более переход на исходное сырье другого поставщика.

Можно выделить 2 основных способа подготовки производителями смеси для производства оконного ПВХ-профиля:

- ПВХ-смола смешивается с так называемым компаундом “все в одном”, в состав которого входят все необходимые аддитивы для стабилизации и переработки ПВХ.

- производят смешение всех компонентов смеси самостоятельно.

При 1-м способе качество готовой продукции можно изменять в достаточно ограниченном диапазоне, так как рецептура смеси определяется соотношением только 2-х компонентов: ПВХ-смолы и компаунда.

При 2-м способе качество готовой продукции можно изменять в более широком диапазоне, так как рецептура смеси определяется соотношением всех компонентов. В этом случае качество смеси в значительной степени определяется квалификацией и опытом химиков-технологов, которые в зависимости от качества исходного сырья принимают решение по рецептуре смеси.

Для повышения эффективности этого процесса на подготовительном этапе отрабатываются типовые рекомендации: для исходного сырья различного качества экспериментально для конкретной экструзионной линии определяют оптимальную рецептуру смеси (оценка производится по характеристикам экструдированного ПВХ-профиля). В результате имеют набор стандартных решений для конкретных условий.

Эффективность ПВХ как конструкционного материала может быть реализована только в результате использования комбинации соответствующих добавок, что приводит к созданию таких свойств материала, которые могут отвечать требованиям потребителя.

6. Стабилизаторы и модифицирующие добавки

Немодифицированные ПВХ-смолы не находят практического применения. При производстве и эксплуатации изделий из поливинилхлорида необходимо решить как минимум две задачи: 1) устранить, либо свести к минимуму, влияние неблагоприятных факторов на ПВХ (деструкция при экструзии, температурные колебания, световая экспозиция, УФ-облучение, окисление на воздухе и т.д.); 2) повысить прочностные свойства, ударопрочность и эластичность.

Первую задачу решают, используя стабилизаторы, вторую – применяя модифицирующие добавки.

В подавляющем большинстве ПВХ-профилей, производимых в настоящее время, в качестве термостабилизатора используются соединения свинца (Pb, свинцовые стабилизаторы). Свинцовые стабилизаторы являются старейшей и крупнейшей группой соединений, которые применяются в качестве стабилизаторов ПВХ.

Однокомпонентные свинцовые стабилизаторы: трехосновной сульфат свинца; двухосновной фосфит свинца; двухосновной фталат свинца; двухосновной стеарат свинца; нейтральный стеарат свинца. Эти свинцовые стабилизаторы в состоянии реагировать с соляной кислотой с образованием хлорида свинца. В отличие от хлоридов некоторых других металлов, хлорид свинца не оказывает дестабилизирующего действия на ПВХ. Хлорид свинца

инертен. Другим преимуществом основных солей свинца является способность к образованию комплексов, которые необходимы для стабилизации свободных атомов хлора. Нейтральный стеарат свинца имеет сильное смазывающее действие и его совместимость с ПВХ высока. Двухосновной фосфит свинца имеет исключительное светостабилизирующее действие.

Свинцосодержащие (одно-пакетные) стабилизаторы компаунды. Использование в процессе переработки ПВХ одно-пакетных свинцосодержащих систем сделало возможным модифицировать важнейшие параметры процесса. Одно-пакетные стабилизаторы в мало- или не пылящей форме объединяют в одном продукте стабилизирующее и смазывающее действие. Они обеспечивают оптимальные потребительские свойства на основе хорошо сбалансированной системы стабилизатор-смазка.

Вследствие токсичности применения свинца как такового, он строго регулируется особыми промышленными правилами Европейского Сообщества (ЕС). Работы по приготовлению ПВХ с различными типами термостабилизаторов строго регламентируются правительственными нормами безопасности по ПДК (предельно допустимой концентрации) на производстве. Однако, внедренный в состав порошка из суспензированных частиц ПВХ-компаунда свинцовый термостабилизатор не может мигрировать в его состав, и свинец никак не выделяется из стабилизатора.

В настоящее время в Европе наблюдается тенденция перехода к использованию при производстве ПВХ стабилизаторов на основе более чистых и безопасных для человека кальция и цинка. *Кальциево-цинковые (Ca/Zn) термостабилизаторы и их соли большинства кислот признаны нетоксичными, не генерирующими токсичных веществ в соединении с другими добавками в компаунде.* Такая технология является более дорогой, однако ее применение делает процесс производства ПВХ более экологически чистым.

Твердые кальций/цинксодержащие стабилизаторы. Рекомендуются при экструзии оконных профилей, нетоксичных изделий, требующих отсутствие кадмия и свинца.

Пастообразные кальций/цинксодержащие стабилизаторы. Нетоксичные кальций/цинковые стабилизаторы успешно используются в течение длительного времени для изготовления большого разнообразия пластифицированных изделий, разрешенных для пищевых целей, таких, как детские игрушки, кровеносные сосуды, мешки, перчатки и упаковочная пленка.

Жидкие кальций/цинксодержащие стабилизаторы приобретают наиболее широкое распространение для применения в таких областях, как каландрирование или экструзия вместо барий/кадмийсодержащих стабилизаторов.

Итак, как видно из выше изложенного, физико-механические и химические свойства ПВХ, стабилизированного свинцом и кальцием-цинком, практически не отличаются друг от друга. Ниже приведена сравнительная таблица (табл. 3) технических характеристик материала профилей с различной стабилизацией.

Таблица 3 - Физические характеристики поливинилхлорида с различной стабилизацией

Характеристика	Единица измерения	Методика испытаний	Стабилизация свинец	Стабилизация кальций-цинк
Объемный вес	кг/м ³	DIN 53479	1500	1460
Модуль упругости	Н/мм ²	DIN 53457	2,98	2,46
Коэффициент температурного расширения	1/°C		80 x 10 ⁻⁶	
Температура размягчения	°C	DIN 534460/ B	82,5	79,5
Предел прочности при растяжении	Н/мм ²	DIN 53455	43	41

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

Относительное удлинение при разрыве	%	DIN 53455	101	94
Ударная вязкость образца при + 23 °С	кДж/м ²	DIN 53753	56	63
Ударная вязкость образца при 0 °С	кДж/м ²	DIN 53753	27	32
Твердь D по Шору	Единица твердости	DIN 53505	74	71

Кроме стабилизаторов в состав ПВХ-компаунда входят различные добавки, позволяющие регулировать как его эксплуатационные, так и технологические свойства. К ним относятся:

1. Красящие вещества (пигменты), в качестве которых при производстве ПВХ-профиля используются обычно оксид титана (белый) и оксид железа (коричневый). Не используются пигменты содержащие кадмий.

2. Для нормального протекания процесса производства жестких и пластифицированных ПВХ необходимо тщательно подобрать и рассчитать количество смазки. **Смазочные вещества**, например воск или мыло, являющиеся вспомогательными материалами, облегчающими текучесть расплава ПВХ-смеси за счет того, что они смазывают поверхность между расплавом и металлическими стенками экструдера. Внутренние смазывающие вещества улучшают качества текучести при плавке ПВХ, внешние – предохраняют смесь от прилипания к горячим металлическим частям оборудования.

3. Наполнители, служащие для улучшения физико-химических характеристик ПВХ-профиля и расширения возможностей его обработки. Основной объем среди наполнителей занимает мел, не представляющий никакой опасности для здоровья и окружающей среды.

4. Пластификаторы, предназначены для повышения эластичности ПВХ при отрицательных температурах. Относительно хрупкий с низкой ударной вязкостью твердый ПВХ, используемый в оконном производстве, перемешивается, как правило, с акрилкаучуком. Такой ПВХ называется модифицированным и имеет относительно равномерную хрупкость в диапазоне температур от плюс 30 °С до минус 30 °С. Пластификаторы для переработки ПВХ можно разделить на две группы: мономерные и полимерные пластификаторы. Пластификаторы облегчают диспергирование ингредиентов, снижают температуру технологической обработки композиций, улучшают морозостойкость полимеров. Также могут повышать огне-, света- и термостойкость полимеров. Выбор пластификатора зависит от требований, предъявляемых к качественным характеристикам готовых изделий.

5. Добавки служат для повышения погодоустойчивости и стабильности при хранении изделий из ПВХ. *Поглотители ультрафиолетовых лучей* необходимы для повышения светостойкости и погодоустойчивости жесткого и пластифицированного ПВХ. *Оптические отбеливатели* используют для улучшения внешнего вида готовых изделий. Они позволяют производить белые блестящие изделия, улучшать часто слегка желтый цвет изделий из пластиков и повышать блеск окрашенных изделий. *Антистатиками* предупреждают образование такого статического электричества и снижают его за счет понижения поверхностного сопротивления. Поверхностное статическое электричество изделий из пластиков часто вызывает трудности при последующей обработке и использовании. *Антиоксиданты* используются в модифицированном жестком ПВХ для улучшения свойств при хранении. В пластифицированном ПВХ они обуславливают в первую очередь защиту пластификаторов. Диоксид титана – это экономичный и универсальный пигмент, как для пластмасс, так и для лакокрасочной промышленности, пластифицированного и не пластифицированного ПВХ, полиолефинов, полистиролов и сополимеров с очень хорошими оптическими свойствами. Он обладает высокой разбеливающей способностью, придает белым окрасам очень высокую яркость, способствует максимальной атмосферостойкости пластмасс при наружном применении.

7. Свето-стабилизаторы ПВХ-окна

Долговечность вызвана тем, что в состав экструзионного ПВХ-компаунда были введены специальные светостабилизаторы – антиоксиданты, препятствующие фотоокислительной деструкции полимера и увеличивающие его светостойкость.

В процессе фотодеструкции макромолекулы ПВХ разрушаются под действием ультрафиолета. Этот процесс ускоряется в присутствии атмосферного кислорода. В результате происходит старение полимера: изменяются его механические, электрические свойства, окраска, материал растрескивается, исчезает блеск и пр.

Светостойкостью полимерных материалов называют их способность выдерживать действие света, сохраняя неизменными внешний вид, физико-механические, диэлектрические и другие свойства. Для её повышения в полимерные материалы вводят специальные добавки: светостабилизаторы-антиоксиданты. Светостойкость зависит: от состава и структуры полимера, определяющих его способность поглощать свет и вероятность протекания при этом химических реакций; толщины облучаемого образца; количества и природы ингредиентов (например, пластификатора, наполнителя, красителя); примесей и растворителя, а также от условий облучения (спектральное распределение действующего излучения, интенсивность света, температура, влажность и состав атмосферы).

Для увеличения светостойкости строительных экструдированных профилей в ПВХ-компаунд вводят специальные дорогостоящие аддитивы – *светостабилизаторы* (обычно производные бензофенона и бензотриазола). В основном их действие сводится к поглощению активной части излучения и экранированию полимера. Благодаря использованию светостабилизаторов скорость светового старения полимеров снижается в несколько раз (в некоторых системах – на порядок и более).

В качестве светостабилизаторов используют неорганические пигменты, органические соединения различной структуры, содержащие хромофорные группы, металлоорганические соединения, стабильные радикалы и др. Механизм действия светостабилизаторов может быть *физическим или химическим* (при действии некоторых светостабилизаторов могут одновременно протекать процессы обоих типов).

Физический механизм связан со способностью светостабилизаторов поглощать ультрафиолет (так называемое экранирование) и тушить возбужденные состояния ПВХ, фотосенсибилизаторов, которые могут содержаться в ПВХ, и других ингредиентов. Максимальной эффективностью характеризуются светостабилизаторы, которые поглощают свет в той же области, что и полимер, и всю поглощенную энергию преобразуют в тепловую.

Светостабилизаторы, действующие по химическому механизму, могут замедлять вторичные (темновые) реакции, в которых участвуют, например, свободные радикалы, образующиеся в результате действия света, реагировать с некоторыми продуктами превращения полимеров, например – гидроперекисями и фотосенсибилизаторами с образованием более светостойких соединений, взаимодействовать с макромолекулами по их реакционно-способным связям и концевым группам. Возможность практического использования эффективных светостабилизаторов определяется их совместимостью с ПВХ, летучестью, склонностью к миграции и экстракции из полимера, стабильностью в условиях переработки и эксплуатации экструзионного ПВХ компаунда, влиянием на окраску последнего, а также токсичностью и, наконец, стоимостью.

Эффективный светостабилизатор для большинства полимеров – газовая канальная сажа, применяемая в количестве 2...5 % (в расчете на массу полимера). Действуя одновременно по физическому и химическому механизмам, сажа не пропускает свет в глубину слоя полимера и защищает его поверхность. Наибольший стабилизирующий эффект дает совместное применение сажи и антиоксидантов, особенно таких, при взаимодействии которых в темновой реакции с гидроперекисями не образуются свободные радикалы. Применение сажи ограничивается тем, что она придает полимерам темную окраску (часто нежелательную). Белые пигменты, например TiO_2 , ZnS , которые, как и сажа, не пропускают свет в глубину слоя полимера, не

всегда предотвращают растрескивание и пожелтение его поверхности, что для ПВХ-окон и сайдинга неприемлемо.

Помимо стабилизаторов, применяемых для защиты полимера, в ПВХ вводят антиоксиданты, основная роль которых – защита пластификаторов и модификаторов от окисления при высоких температурах. Количество стабилизатора зависит от его эффективности и от его побочных воздействий на свойства ПВХ. Основные стабилизаторы вводят в количестве 1...3 %. Иногда вводят большие количества стабилизаторов, в этих случаях они выполняют и роль наполнителей. Для придания ПВХ-профилям определенного комплекса свойств используют смеси стабилизаторов. Вторичные стабилизаторы, светостабилизаторы и антиоксиданты добавляют в значительно меньших количествах, чем основные стабилизаторы.

Введение наполнителей в ПВХ позволяет придать полимеру различные свойства: непрозрачность, светостойкость, увеличение электросопротивления, повышение твердости и др.

Выбор наполнителя зависит от требований, предъявляемых к свойствам материала, и от его стоимости. При этом необходимо учитывать, что зависимость некоторых свойств ПВХ (например, прочности, электропроводности) от содержания наполнителя проходит через максимум (т.е. достигает максимального значения при определенной концентрации, а затем не меняется с добавлением наполнителя), а изменение других происходит равномерно.

В качестве наполнителей применяют каолин, тальк, асбест, слюду, мел, диатомовую землю, сульфат бария и др. В ряде случаев поверхность наполнителей предварительно обрабатывают веществами, улучшающими их взаимодействие с полимером. Количество наполнителя может колебаться от 2...3 до 100 % и более (от массы ПВХ) в зависимости от природы наполнителя и назначения ПВХ-профиля.

Часто ухудшение внешнего вида фасадной облицовки из ПВХ или ПВХ-окон (дисколорация, пожелтение и т.п.) связано с применением некоторыми недобросовестными производителями некачественных пигментов. Особенно это важно для строительных ПВХ-профилей белого цвета – наиболее распространённого для этого вида стройматериалов.

Белые пигменты применяют при экструзии ПВХ-профилей белого цвета или светлых (пастельных) тонов. Наиболее распространенные белые пигменты – двуокись титана, литопон и окись цинка.

Двуокись титана – важнейший белый пигмент, обладающий исключительной термостойкостью. Пигмент существует в двух структурных модификациях – анатаз и рутил. Эти две формы отличаются плотностью кристаллической структуры и взаимным расположением атомов. При этом расстояние между атомами титана и кислорода в рутильной форме гораздо меньше, чем в анатазной. Рутильный диоксид титана обладает более высокой укрывистостью по сравнению с анатазным, вследствие чего используется гораздо чаще.

Напомним, что укрывистостью называют способность пигмента при равномерном распределении в объеме пластмассы делать невидимым цвет последней.

Укрывистость выражается в граммах пигмента, необходимого для того, чтобы сделать невидимым цвет поверхности площадью 1 м². Белые пигменты обеспечивают укрывистость вследствие рассеивания световой волны любой длины видимой части спектра. Чем меньше этот показатель, тем ниже расходная норма диоксида титана в композиции.

Для полимеров рекомендуется применять преимущественно рутильную форму TiO₂ (полная укрывистость может быть достигнута при введении в полимер 0,5...1,0 % TiO₂). Рутильную форму TiO₂ можно смешивать с более дешевыми белыми пигментами. Анатаз может ускорять фотохимическое разрушение полимеров. В его присутствии ухудшается светостойкость введенных в полимер цветных пигментов.

Литопон-смесь ZnS (30 %) и BaSO₄ (70 %). Этот пигмент обладает меньшей укрывающей способностью, чем TiO₂, устойчив к щелочам, но недостаточно светостоек.

Окись цинка (ZnO) – очень яркий белый пигмент, обладающий хорошей кроющей способностью, термо- и светостойкостью.

8. Способы окраски профилей из ПВХ

В настоящее время производители профилей ПВХ предлагают потребителю достаточно широкий выбор расцветок поверхности пластиковых профилей. От однотонных цветов (красного, зеленого, синего, голубого и других) до различных декоров под дерево. На складе у переработчиков профилей всегда есть определенный набор расцветок профилей ПВХ, которые пользуются наибольшим спросом у потребителей. Также дополнительную расцветку профиля покупатель может выбрать по каталогу. Профили этих расцветок имеются на складах фирм-производителей и привозятся под заказ. Начиная с определенных количеств, по желанию клиента, могут быть изготовлены также профили любых нестандартных цветов. Цветные профили стоят в среднем на 10...15 % дороже, чем белые.

Существует несколько способов окраски профилей из ПВХ:

1. *Профили, окрашенные в массу* (белые и коричневые).
2. *Кожэкструзионный способ окраски*, позволяющий получить акриловое покрытие на лицевой стороне профилей в различных цветовых тонах (моно-цвета).
3. *Профили, ламинированные акриловой пленкой*, как однотонной, так и с рисунками, например, "под дерево".
4. *Лакирование или отделка поверхности акриловым лаком.*
5. *Напыление.*

Оконные профили, изготавливаемые из однородно окрашенного цветного ПВХ, в основном, имеют белый и коричневый цвета, и называются они профилями с окрашенной массой. У профилей темных цветов есть некоторые особенности по сравнению с белыми профилями.

Во-первых, поверхность темных профилей обязательно должна быть покрыта акриловыми пленками, что связано с неустойчивостью цветных красителей к воздействию окружающей среды (при окрашивании ПВХ в массу).

Во-вторых, темная окраска приводит к гораздо большему поглощению тепла, и такие профили обнаруживают некоторые функциональные нарушения, что нивелируется применением усилительных вкладышей. Исходя из этого, следует еще раз отметить, что применение усилительных вкладышей обязательно для всех профилей, которые окрашены в массу в темные цвета, так как это позволяет избежать возникновения деформаций/прогибов этих профилей под воздействием повышенных температур.

Самым надежным и долговечным способом окраски профилей является кожэкструзионный способ, являющийся результатом совместной экструзии плексигласа (акрила) и ПВХ. Экструзия полимеров (от позднелатинского *extrusio* – выталкивание) – способ изготовления профилированных изделий большой длины из пластмасс и резин, который заключается в непрерывном выдавливании размягченного материала через отверстия определенного сечения. Этот способ позволяет получить акриловое покрытие на лицевой стороне профилей в различных цветовых тонах (с внутренней стороны профили имеют белый цвет).

Такой слой имеет толщину 0,5 мм, устойчив к царапанью, так как специфические свойства акрила придают поверхности профиля необычайную твердость, и образует единое целое с основой. Также слой акрила обладает большой стойкостью к атмосферным воздействиям. Если на такой поверхности все же возникнут царапины, то их можно легко устранить шлифованием. Такой поверхности не грозят локальный нагрев, в том числе под интенсивным солнечным излучением, отслоение или растрескивание. Незначительная чувствительность к теплу практически сводит на нет проблемы, связанные с температурным расширением конструкций.

Для декоративной отделки профилей ПВХ, например, имитации под дерево, используется способ ламинирования поверхности профилей ПВХ прочной пленкой, наружная сторона которой отличается высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, а также к ультрафиолетовым лучам и надолго сохраняет яркость расцветки. Ламинат, в основном, воспроизводит структуру дерева: имитация текстуры дуба натурального, светлого и темного,

а также красного дерева, однако используются и другие самые разнообразные расцветки акриловых пленок. Профили ПВХ могут быть ламинированы акриловыми пленками как с одной, так и с двух сторон. Технология изготовления: профили нагревают до нужной температуры и покрывают слоем клея, затем путем термической активации наклеивают пленку на профиль с помощью нажимных роликов. Разумеется, в ходе производственного процесса адгезия подвергается постоянному и строгому контролю. Обычно коричневые профили ПВХ ламинируются пленками с декорами под дерево с двух сторон.

Отделка акриловым лаком или лакирование – это еще один способ отделки поверхности профилей ПВХ. В результате лакирования поверхность профиля становится матовой, бархатистой на вид. Выполняется лакирование способом нанесения на поверхность профиля лака печной сушки. Специфичная текстура покрытия, некоторая его шероховатость приятны на ощупь и на вид. Предлагаемая цветовая гамма достаточно широка, и именно этот способ отделки позволяет получить нестандартные расцветки поверхности профилей ПВХ – белый шероховатый или структурированный.

При помощи напыления можно окрашивать профили ПВХ в различные цвета. Для напыления используются двухкомпонентные акриловые лаки.

В данной статье изложена всевозможная информация о ПВХ профилях от истории создания самого ПВХ до сегодняшнего дня. В наше время оконные ПВХ профили изготавливаются при меньшей затрате энергии, более экологически чистые, более долговечные и дешевые, имеют разную окраску, разный химический состав. Наличие стабилизаторов для придания большей прочности, гибкости, устойчивости разным видам коррозии, покраски или стойкости к желтизне профиля, теплоустойчивости в зависимости от того в каких зданиях или сооружениях они будут эксплуатироваться.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Борискина И.В., Плотников А.А, Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий // - К.: Изд. Домашевская О.А., 2005. – 320 с.: ил. 176, библиогр.: с. 29.