



Искусственное старение

Прогноз поведения материала

Краткий обзор:

Самолеты состоят из большого количества материалов, которые подвергаются различного рода воздействиям. Например, самолет может вылететь из региона с горячим тропическим воздухом, а затем двигаться на высоте в 10 000 метров при экстремально низких температурах. В дополнение к экстремальной климатической разнице существует еще такой тип воздействия как вибрация, которая дает дополнительную нагрузку на материалы во время полета. Эти виды воздействия могут изнашивать материалы и быть причиной изменения их свойств.

По этой причине испытания на старение материалов проводятся еще на стадии их разработки, с целью предотвращения повреждения материалов во время эксплуатации. Тем не менее, для того, чтобы сэкономить время и средства, часто проводятся ускоренные испытания с увеличением нагрузки на материалы. Итоговая оценка определяет, пригоден ли этот материал для использования в намеченных целях, и эта информация может значительно уменьшить дальнейшие расходы, связанные с заменой этого (нерабочего) компонента.

Оглавление

2 Краткий обзор

4 Что такое старение материалов?

7 Краткая историческая справка: Сванте Аррениус

9 Виды старения

12 Искусственное старение

Что такое искусственное старение?

Ускоренное старение

Оценка

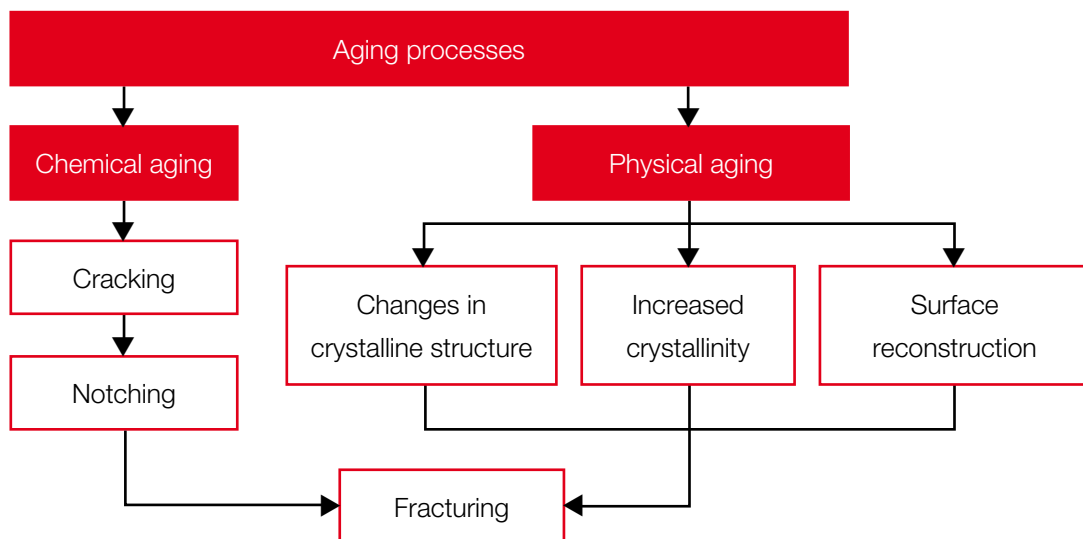
15 Выходные данные

Что такое старение?

Человечество использует большое количество материалов для различных задач. В процессе использования материалы подвергаются широкому спектру воздействий, которые могут значительно повлиять на срок их службы. Например, самолет может вылететь из региона с горячим тропическим воздухом, а затем двигаться на высоте в 10 000 метров при экстремально низких температурах. В дополнение к экстремальной климатической разнице существует еще такой тип воздействия как вибрация, которая дает дополнительную нагрузку на материалы во время полета. Различные виды воздействия могут влиять на материалы до такой степени, что их исходные свойства подвергаются необратимым изменениям. В соответствии со стандартом DIN 50035 , часть 1, старение материалов определяется следующим образом:

«все необратимые химические и физические изменения, которые происходят в материале со временем».¹

Однако невозможно разделить изменения вследствие химических или физических процессов. Обычно эти изменения происходят одновременно и, таким образом, приводят к комплексному эффекту. Схема показывает упрощенную версию того, как происходит процесс старения.



¹ DIN 500035 Part 1, Section 1 Aging, 03-1989

Что такое старение?

Старение всегда подразумевает негативные изменения в свойствах материала или даже их полную потерю. В этом контексте материаловедение и система контроля качества определяет его как первичные признаки усталости материала, так и дальнейшее его разрушение. Тем не менее, изменения в материале не относятся к процессам старения, если его изначальные свойства могут быть восстановлены путем нагрева компонентов.

Большое число разнообразных факторов может привести к старению, и эти факторы могут быть поделены на две основные категории. Во-первых, есть внутренние факторы, которые могут включать в себя внутренние напряжения, фазовый переход, микроструктурную трансформацию или изменения химического состава. Здесь мы не будем детально рассматривать внутренние факторы. Вторая категория факторов включает в себя внешние причины старения, такие как: изменение температуры, влажности, концентрации кислорода, видимое, ультрафиолетовое или ионизирующее излучение и химическое воздействие.



Aged material

Старение материала может проявляться в различных формах. Конкретная форма, в которой это происходит, зависит не только от свойств и состава материала, но также от типа воздействия. Внешние факторы можно поделить на шесть простейших типов старения, которые также могут проявляться в комбинации друг с другом. На примере с самолетом температурное, климатическое и механическое воздействие оказывают влияние наряду с агрессивной средой и электростатикой. Еще один тип старения, о котором стоит упомянуть, это изменения в материале, вызванные ультрафиолетовым излучением, которое можно наглядно увидеть, в частности, в виде пожелтения полимеров. Дополнительные подробности о различных типах воздействия, вызывающих старение, рассматриваются в главе 4.

Что такое старение?

Из-за большого разнообразия факторов, старение материала может проходить несколькими различными способами. Это описывается изменением свойств применительно к материалу. Тут важную роль играет устойчивость материала к определенному воздействию. В общем виде изменение свойств материала может быть выражено в следующей упрощенной формуле:

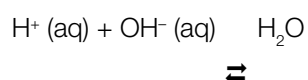
$$\text{Изменение свойства} = \text{сопротивляемость} \times \text{воздействие}$$

Тем не менее, чувствительность к воздействию может меняться в зависимости от возраста материала, что может в свою очередь ускорить или замедлить изменение свойств. На этот процесс можно повлиять, например, путем специальных добавок (например, стабилизаторов в полимеры) что меняет чувствительность материала. При этом любой органический материал нестабилен на воздухе, и проявляет признаки изменения через тот или иной промежуток времени. Даже стабилизаторы не могут полностью предотвратить это, в лучшем случае они могут только замедлить процесс.

На старение материала оказывает влияние не только его состав: должна учитываться история его получения и обработки. Это является важным критерием оценки, особенно в процессе искусственного старения (которое будет рассмотрено в главе 5), где используется техника ускоренного старения. Другим важным критерием являются условия хранения и изменение свойств, возникающие во время хранения, например, под воздействием температуры, которая может инициировать процесс старения.

Краткая историческая справка: Сванте Аррениус

Сванте Август Аррениус родился в 1859 году в Швеции. Его отец был землемером в университете Упсалы, где позднее сын будет обучаться математике, химии и физике. После Упсалы Аррениус продолжил обучение в Физическом институте Шведской академии наук в Стокгольме, где он исследовал, главным образом, проводимость электролитов. В 1887г. он опубликовал свой труд под названием «Химическая теория электролитов». Эта теория о том, что электролиты диссоциируют в воде и водных растворах. Теория дала определение кислот и оснований, которые используются до сих пор. По определению кислоты – это вещества, которые образуют H^+ ионы в водных растворах, а основания это вещества, которые образуют OH^- ионы в водных растворах, при этом в водных растворах возможна рекомбинация ионов с образованием воды.



В результате работы в этой области в 1903г. Аррениус получил Нобелевскую премию по химии.

Тем не менее, Аррениус посвящал себя не только работам по диссоциации электролитов, он также интересовался зависимостью скорости реакции от температуры. Для описания этой зависимости он разработал уравнение, которое описывает постоянную скорости реакции как функцию энергии активации и температуры.

$$k = A \times e^{-E_a / (R \times T)}$$

- k постоянная (константа) скорости химической реакции
- A фактор частоты для реакции
- E_a энергия активации
- R Универсальная газовая постоянная
- T температура

Уравнение устанавливает взаимосвязь между температурой и энергией активации. Множитель является показателем превышения энергетического барьера. Константа скорости реакции экспоненциально увеличивается с ростом температуры. Это означает, что даже небольшое увеличение температуры может привести к определенным изменениям, например, скорости реакции.

Краткая историческая справка: Сванте Аррениус

Таким образом, проясняется связь со старением материалов. Уравнение Аррениуса объясняет и причины термического старения, и то, как оно может быть ускорено. Тем не менее, существуют и другие механизмы старения, которые нельзя объяснить только уравнением Аррениуса. Благодаря этому уравнению Аррениус создал подход, который может быть применен во многих областях. Он служит основой, в т.ч. и для разработки различных моделей старения, которые используются сегодня для его прогнозирования.

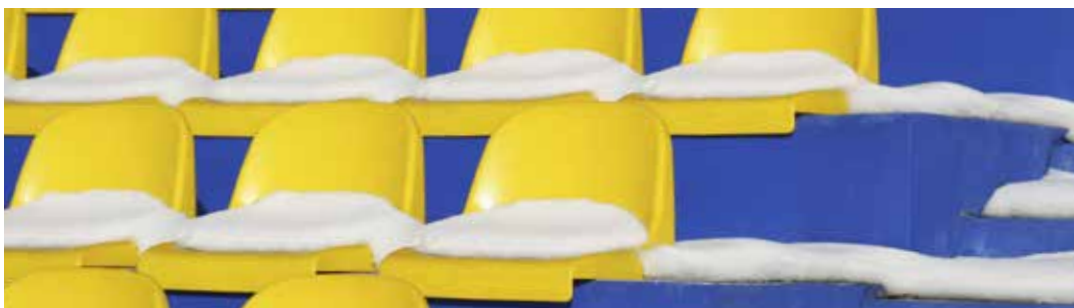
Виды старения

Термическое старение

Материал подвергается термическому воздействию, когда он находится под воздействием разных температур. Температура может оставаться постоянной или меняться непрерывно в течение длительного периода. В зависимости от свойств и состава материала воздействие температуры может вызывать совершенно разный эффект. По этой причине различные материалы, используемые в комбинации друг с другом, могут стареть с разной скоростью. В любом случае, высокие температуры являются наиболее частой причиной старения материалов, поскольку повышение температуры обычно приводит к ускорению химических реакций. Химические реакции между материалом и кислородом в воздухе происходят всегда, и их практически невозможно предотвратить.

Климатическое старение

Под климатическим воздействием имеется в виду совокупность воздействия температуры и влажности. Важно помнить, что влажность зависит от температуры. Чем выше температура, тем большее количество водяного пара может находиться в воздушной газовой смеси.



Climatic stresses

Относительная влажность это отношение парциального давления водяного пара к равновесному давлению пара при заданной температуре. И если температура падает без выпадения конденсата, то относительная влажность будет возрастать.

Такая взаимосвязь температуры и влажности, должна быть, принята во внимание при рассмотрении старения материалов. Как и температура, влажность является фактором, ускоряющим химические реакции. Таким образом, влажность ускоряет старение материала, так же как и температура.

Виды старения

Коррозионное воздействие и химическое старение

Коррозия всегда возникает только на поверхности материала при наличии химического реагента. Тем не менее, химическая реакция, приводящая к коррозии, не может возникнуть до тех пор, пока не будет достигнуто достаточное количество энергии активации.

Под воздействием коррозии, независимо от ее типа, происходит увеличение поверхности, которая подвергается изменениям. Если изобразить процесс коррозии как графическую функцию, то ближе всего он будет к графику логарифмической функции.

Механическое старение

Еще один вид воздействия, приводящий к старению, это механическое воздействие, которое характеризуется количеством циклов деформации, которое сможет вынести материал. В зависимости от радиуса изгиба или растяжения материала, количество циклов может значительно меняться.

Одним из результатов механического воздействия является ползучесть материала, «пластическая деформация, происходящая со временем у материала, находящегося под воздействием»². Тем не менее, результаты механического воздействия зависят не только от типа материала, но и также от его состава.

Электрическое старение

Нагрузки, приводящие к электрическому старению, происходят под действием электромагнитного поля. Старение такого типа зависит от потенциала электрического поля, напряженности и продолжительности воздействия на материал.

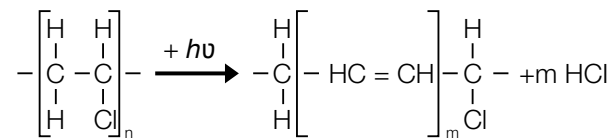
Старение под воздействием УФ излучения

Старение под воздействием ультрафиолета проявляется признаками, причиной которых главным образом является солнечная радиация, и в более редких случаях – искусственное ультрафиолетовое излучение. Например, солнце может стать причиной потери цвета полимерами или даже вызвать старение на молекулярном уровне.

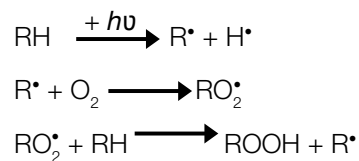
² Rösler, Joachim, Harald Harders, and Martin Bäker. *Mechanisches Verhalten von Werkstoffen [Mechanical Properties of Materials]*. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2006

Виды старения

В ходе старения под воздействием солнечной радиации может возникнуть несколько реакций. Эти реакции можно поделить на три типа: фотолиз, фотоокисление и фотокатализ.

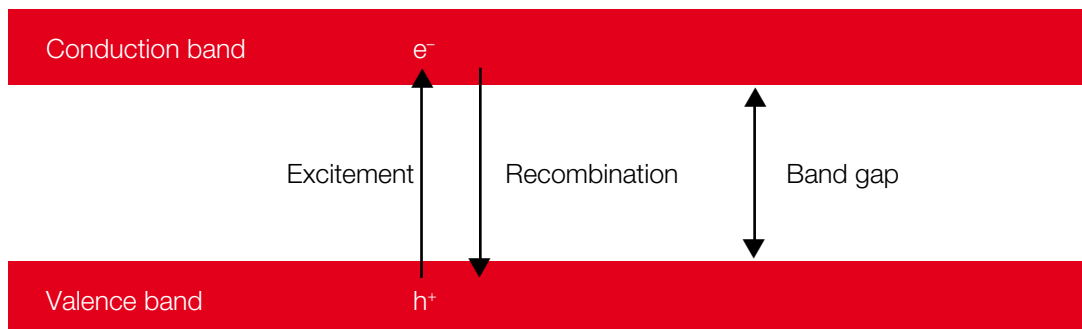


При фотолизе поглощается фотон, и его энергия запускает не зависящую от кислорода химическую реакцию.



При фотоокислении, наоборот, требуются и кислород из воздуха и энергия фотона, чтобы запустить процесс старения. Фотокатализ может возникнуть, только если поверхность материала обладает полупроводниковыми свойствами. Энергия фотона солнечного излучения формирует свободные радикалы, тем самым делая возможным окисление материала.

Ина Каннгиссер – менеджер по продукции в области моделирования условий окружающей



Искусственное старение

Что такое искусственное старение?

Искусственное старение это процесс искусственного моделирования воздействий на материал с целью воспроизведения процесса старения материала. Для этого процесса могут использоваться климатические камеры, другое оборудование, моделирующее условия окружающей среды и системы испытаний на вибрационную стойкость.

Искусственное старение главным образом применяется при разработке новой продукции и при научных исследованиях. В частности, очень важно во время разработки наблюдать и документировать изменения в свойствах материала. Разумеется, все результаты должны быть воспроизводимы. Это позволяет инженерам изучать вероятность разрушения материала. Термин «разрушение» включает в себя, в т.ч. и потерю цвета или пожелтение компонентов; например, в интерьере машины под воздействием солнечного излучения.

Вследствие увеличения количества материалов, которые подвергаются искусственному старению, в последние годы были разработаны стандарты и нормы. Эти нормативы регулируют параметры и используемое для испытаний оборудование для того, чтобы обеспечить воспроизводимость результатов. Для электроизоляционных материалов используются стандарты IEC 60216, ASTM D5423 и ASTM D5374, фиксирующие требования к испытаниям при термическом воздействии. В соответствии с требованиями вышеупомянутых стандартов, определяющих долгосрочные термические свойства материала, испытания проводятся в специальных лабораторных нагревательных камерах, таких как BINDER FP 115-S.

Искусственное старение

Ускоренное старение

Важность ускоренного старения возрастает благодаря тому факту, что оно приносит результаты очень быстро, что позволяет сохранить и время, и ресурсы. Базовой концепцией ускоренного старения является то, что свойства материала изменяются намного быстрее при применении сразу нескольких методов воздействия, с исключением периодов простоя, без учета менее подверженных воздействию участков и усилением степени воздействия. Например, клеевые соединения, которые используются в быту каждодневно, тоже подвергаются ускоренному старению. Чипы в кредитных картах являются наиболее известным примером такого рода. Эти чипы закрепляются при помощи клея, который должен сохранять прочность в процессе эксплуатации независимо от климатического и механического воздействия. Испытания включают не только хранение при высоких температурах, но и климатические испытания. Для подобных испытаний используются камеры моделирования условий окружающей среды, имеющиеся в линейке продуктов BINDER.

Основной проблемой при искусственном старении является то, что во время испытаний есть вероятность выхода из строя отдельных компонентов, хотя в ходе эксплуатации они будут работать исправно. Причиной этого является уровень энергии активации, требующейся для химической реакции. При температурном старении результат достигается за счет повышения температуры. Этот процесс высвобождает достаточное количество энергии активации для реакций, которые незначительны в обычных условиях эксплуатации. Таким образом, крайне важным является верификация испытательных процессов, как, например, в случае с изменением свойств под воздействием атмосферных условий. Процесс испытаний в климатических установках часто проверяется результатами испытаний в естественных условиях. Группы тестируемых образцов одновременно подвергаются различным атмосферным воздействиям и сравниваются с тестируемыми образцами из климатических установок. Для проведения атмосферных испытаний, можно использовать крышу лаборатории или офисного здания.

Несмотря на все имеющиеся преимущества ускоренного старения, специалисты стремятся еще увеличить скорость испытаний для скорейшего получения результатов. При этом повышается и интенсивность воздействия, главным образом, для экономии времени при проведении испытаний, что приводит к экономии средств на этапе разработки.

Искусственное старение

Оценка

После того, как испытания на старение проведены, их необходимо оценить. Для этого должна быть возможность измерить старение материала.

Одной из таких возможностей является выявление вероятности выхода из строя на основании наблюдения за несколькими образцами. Здесь решающим фактором является время, в течение которого разрушается определенное количество образцов. Другой возможностью является наблюдение за изменениями в свойствах материала за определенный промежуток времени. Здесь нужно помнить, что разные свойства материала могут изменяться с разной скоростью.

Последующее подтверждение и оценка показывают, годен ли данный материал или компонент для предполагаемых целей. В некоторых случаях становится необходимым выбрать новый состав для материала или его отдельного компонента, и потом заново произвести испытания. Это приводит к дополнительным тратам времени и средств на разработку. Тем не менее, эти затраты являются разумными по сравнению с затратами, которые потенциально придется понести, если испытания не проводить.

Выходные данные

Автор

среды в компании BINDER GmbH, где она отвечает за климатические камеры, применяемыми в науке и технике.

Компания BINDER является крупнейшим специалистом в области моделирования условий окружающей среды для научных и промышленных лабораторий. Своими техническими решениями компания вносит значительный вклад в улучшение здоровья и безопасности. Широкий спектр нашего оборудования хорошо подходит как для рутинных операций, так и для специальных задач в области исследований и разработок, производства и контроля качества продукции. В 2014 году оборот компании BINDER, в которой по всему миру работает 400 сотрудников и 80% производимого оборудования которой идет на экспорт, составил 60 миллионов евро.

Контакты

BINDER GmbH
Im Mittleren Ösch 5
78532 Tuttlingen
Tel: +49(0)74 62-20 05-0
info@binder-world.com
www.binder-world.com

Представительство в России и странах СНГ
123060 г.Москва
1й Волоколамский проезд 10,стр.1
east@binder-world.com

Выходные данные

Источники

<http://kunststoffreport.de/materialalterung>

http://www.bam.de/de/kompetenzen/fachabteilungen/abteilung_5/fg51/fg51_ag3a.htm

<http://www.chemie.de>

www.binder-world.com

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1903/arrhenius-bio.html

<http://www.seilnacht.com/chemiker/chearr.html>

Mortimer, Charles E. and Ulrich Müller. Chemie – Das Basiswissen der Chemie [Chemistry – A Basic Knowledge of Chemistry], 8th completely revised edition. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2003

Rösler, Joachim, Harald Harders, and Martin Bäker. Mechanisches Verhalten von Werkstoffen [Mechanical Properties of Materials]. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2006

Ehrenstein, Gottfried W. and Sonja Pongratz. Beständigkeit von Kunststoffen [Durability of Plastics], Vol. 1, first edition. Munich: Carl Hanser Verlag, 2007