

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 66.095.26.097.3

Применение дибутилдилаурата олова (DBTDL) как катализатора для сокращения времени отверждения однокомпонентного полиуретанового герметика

Е.Н. Трофимов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Исследуется влияние металлоорганического катализатора дибутилдилаурата олова (DBTDL) на скорость отверждения полиуретанового однокомпонентного герметика, что направлено на сокращение технологического процесса на производственном предприятии. Особое внимание уделено возможности нанесения лакокрасочного покрытия на отвердевший слой герметика, смешанного с металлоорганическим катализатором. Представлено подробное описание технологии смешивания герметика с катализатором. Основная цель данного исследования заключается в модернизации технологии герметизации на машиностроительных предприятиях с целью сокращения времени, необходимого для выпуска готовой продукции.

Ключевые слова: полиуретан, герметик, катализатор, дибутилдилаурат олова, металлоорганические катализаторы, однокомпонентный полиуретановый герметик, отвердевание

Для цитирования. Трофимов Е.Н. Применение дибутилдилаурата олова (DBTDL) как катализатора для сокращения времени отверждения однокомпонентного полиуретанового герметика. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):9–14.

Use of Dibutyltindilaurate (DBTDL) as a Catalyst to Reduce the Curing Time of One-Component Polyurethane Sealant

Elisei N. Trofimov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The effect of dibutyltindilaurate (DBTDL) — an organometallic catalyst — on the curing rate of a polyurethane one-component sealant was investigated aiming to reduce the technological process at a manufacturing enterprise. Particular attention was paid to the possibility of applying a paint coating on the cured layer of a sealant mixed with an organometallic catalyst. A detailed description of the technology of mixing a sealant and a catalyst was presented. The main objective of the study was to modernise the sealing technology used at the machine-building enterprises to reduce the time required for production of the finished goods.

Keywords: polyurethane, sealant, catalyst, dibutyltindilaurate, organometallic catalysts, one-component polyurethane sealant, curing

For Citation. Trofimov EN. Use of Dibutyltindilaurate (DBTDL) as a Catalyst to Reduce the Curing Time of One-Component Polyurethane Sealant. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):9–14.

Введение. Машиностроение является одним из важнейших секторов промышленности как в России, так и в мире, и на протяжении всей его истории оно зависело от инноваций. В январе 2024 года объемы промышленного производства в России по сравнению с аналогичным периодом 2023 года увеличились на 4,6 %. Говоря о конкретных отраслях, следует отметить, что объемы производства транспортных средств, прицепов и полуприцепов возросли на 50,2 %, а прочих транспортных средств, включая авиационную технику и судостроение, на 12,9 % [1]. Более подробную статистику можно найти в официальной статье от Росстата [2]. Уровень развития машиностроительного сектора оказывается решающим для успешной работы многих смежных областей экономики.

Объемы промышленного производства зависят от времени, затрачиваемого на выполнение различных технологических процессов на предприятиях. Одним из таких процессов является герметизация. На текущий момент перед машиностроительными предприятиями России стоит проблема, связанная с медленным отверждением герметизирующего состава (герметика). Герметизационный процесс не является конечным этапом производственной цепочки, и, следовательно, такая проблема замедляет выполнение последующих этапов. Возможным решением этой ситуации является подбор герметизирующего состава, который оптимально подходит по техническим свойствам, а также использование катализатора, ускоряющего процесс отверждения. Для машиностроительной отрасли герметик должен соответствовать высоким требованиям по качеству и долговечности. Например, при сравнении силиконового и полиуретанового герметиков становится очевидным, что силиконовый герметик подвержен разрушению в виде растрескивания под повышенными механическими нагрузками. Кроме того, одной из проблем является невозможность окрашивания поверхности отвержденного силиконового герметика: образовавшаяся слишком гладкая поверхность отталкивает пигмент. Вместе с тем, нанесение лакокрасочных материалов на поверхность герметика является важнейшим процессом, осуществляемым на предприятиях для придания обработанным конструкциям товарного вида. Таким образом, можно сделать вывод о том, что полиуретановый герметик более пригоден для использования в машиностроительной отрасли.

Ожидаемый результат: сокращение времени отверждения однокомпонентного полиуретанового герметика под действием катализатора.

Основная часть

1. Теоретические представления

Однокомпонентные полиуретановые герметики могут отверждаться быстрее с применением дибутилдилаурата олова (DBTDL). Эта гипотеза была получена в результате анализа различных информационных источников, связанных с такими научными терминами, как «полиуретаны», «полиолы», «изоцианаты», «отверждение», «оловоорганические катализаторы» и многими другими.

1.1 Полиуретаны

Полиуретаны представляют собой высокомолекулярные соединения, содержащие в основной цепи макромолекулы уретановой группы. Отверждение полиуретанов может происходить физическим и химическим путем [3]. В рамках моей работы меня интересовало именно химическое отверждение, которое зависит от ряда параметров: температуры, толщины слоя, гидрофильности материала покрытия, степени разветвленности (морфологии) полимера, а также типа и количества используемых катализаторов.

Повышение температуры действительно ускоряет процесс отверждения [4]. Однако, если повышение температуры происходит неравномерно по всей площади нанесенного слоя, могут возникнуть как внутренние, так и поверхностные дефекты. Поэтому рассматривать применение нагревательных приборов в данном контексте нецелесообразно. Толщина слоя должна оставаться неизменной, так как она рассчитывается в соответствии с определенными характеристиками материала конструкции и целями его использования. Гидрофильность материала покрытия не была принята во внимание, поскольку изменение этого параметра или материала стало бы слишком экономически невыгодным для предприятий. Решение проблемы медленного отверждения должно касаться самого герметика, а не конструкции, которую он герметизирует. Степень разветвленности (морфологии) полимера также является значимым параметром, который повлияет на состав герметика. Цель состоит в том, чтобы найти универсальный способ, который не изменяет ни конструкцию, ни герметизирующий состав, поэтому соображения о модификации морфологии полимера в этой работе неуместны. В таком случае катализатор становится оправданным выбором.

Проблема выбора подходящего катализатора заключается в возможной несовместимости с другими компонентами. Чтобы найти необходимый катализатор, следует рассмотреть, из каких веществ состоит полиуретан, в частности, технологию его получения. Проанализировав научные статьи и патенты, можно сделать вывод, что основной составляющей полиуретанов являются такие вещества, как диизоцианаты, полиизоцианаты и изоцианаты [5–7].

1.2 Изоцианатные компоненты

Основными изоцианатами, используемыми для производства полиуретановых изделий и герметиков, являются: толуилендиизоцианат (2,4- и 2,6-изомеры), 4,4'-дифенилметандиизоцианат, димер 2,4-толуилендиизоцианата и блокированные изоцианаты. Полиуретаны получают в результате реакций полифункциональных полиолов и полифункциональных изоцианатов. При этом изоцианаты синтезируются олигомеризацией мономерных диизоцианатов. Основные доводы в пользу превращения диизоцианатов в полифункциональные изоцианаты включают вопросы гигиены труда и увеличение изоцианатной функции на молекулу, что способствует образованию трехмерной сети [3]. Это служит важным для высокой плотности связей в отвержденной пленке и тем самым обеспечивает долговечность готового продукта. На реакционную способность влияют различные факторы, среди которых присутствие катализатора.

1.3 Подбор катализатора

Исходя из информации о компонентах полиуретана, логично предположить, что необходим катализатор, способный ускорять реакции, происходящие между изоцианатсодержащими компонентами и полиолами. Известны несколько типов таких катализаторов [8]: третичные амины и металлоорганические соединения. Металлоорганические соединения были выбраны из-за своей доступности для приобретения. Так, дибутилдилаурат олова является таким соединением. Некоторые источники сообщают о возможности применения данного вещества в качестве катализатора для ускорения отверждения полиуретана, однако отсутствуют точные данные о его практическом применении на предприятиях, а также экспериментальные и теоретические результаты относительно времени отверждения с добавлением данного катализатора в полиуретановый герметик [9].

Из вышеизложенного следует, что была предложена гипотеза о возможности использования дибутилдилаурата олова в качестве катализатора для сокращения времени отверждения однокомпонентных полиуретановых герметиков. Первой задачей данной работы стало подтверждение способности данного катализатора ускорять отверждение с помощью экспериментальной деятельности. Второй задачей было предоставление научному сообществу, машиностроительным предприятиям и заинтересованным читателям результатов экспериментов, связанных с расчетом среднего времени полного застывания герметика на основании серии проведенных опытов.

2. Обоснование процесса экспериментальной части

Для работы с реальными материалами я обратился в одну из машиностроительных компаний с целью получения прототипа конструкции для исследования. Описывая этап герметизации на производствах во введении, я упоминал, что этот этап подразумевает не только нанесение слоя герметизирующей массы, но и дополнительные процессы. Поэтому желательным результатом было получение конструкции, уже пригодной для нанесения герметика. Основная задача на первом этапе заключалась в нанесении герметика без использования катализатора на конструкцию для замеров времени полного отверждения. Время полного застывания герметика составило 4 часа. Эксперимент проводился в обычной комнате с температурой 24 °C, где наблюдались небольшие колебания в течение всего времени эксперимента. Температура менялась не более чем на 1 °C, что не влияло на ход эксперимента.

Метод оценки был эмпирическим. Для данной работы не требуются строгие расчетные данные, так как основная задача состоит в том, чтобы доказать ускорение отверждения с помощью катализатора с целью возможности нанесения ЛКМ. Таким образом, главными параметрами измерения, которые могли бы служить доказательством гипотезы, стали часы и минуты. Полное отверждение полиуретанового герметика без использования специализированного оборудования можно наблюдать по следующим критериям: цвет и текстура — герметик должен приобретать более матовый и твердый вид; прочность и липкость — при механической деформации герметика отсутствует эффект деформации, несвойственный отвержденному герметику, и не происходит прилипание к объекту, воздействию на него.

Таким образом, необходимо было определить материал (субъект), удобный для физического воздействия на герметизирующий слой. Были выбраны два материала: стальной цилиндрический стержень диаметром 7 мм и длиной 150 мм с массой в 200 грамм и деревянный цилиндрический стержень с заточенным концом массой менее 10 грамм, длиной 150 мм и диаметром чуть менее 4 мм. Эти материалы были выбраны исходя из двух причин: необходима высокая адгезия полиуретанового герметика и применение в рамках эмпирического метода простых и доступных для предприятий материалов. То есть, любой желающий может самостоятельно выполнить эксперимент. Оба стержня использовались для различных видов воздействия: свободное падение стержня с высоты 10 см на поверхность герметика и пробивание конструкции для проверки липкости герметизирующего слоя. Различия масс стержней обусловлено не только разницей составов материалов, но и необходимостью применять различные воздействия на определенных этапах эксперимента. Деревянный стержень, благодаря меньшей массе, вызывает менее выраженную деформацию на герметике в сравнении со стальным, что позволяет точнее оценить степень отверждения на первых минутах.

Эксперимент проводился 10 раз с тщательным наблюдением; замеры проводились каждые 15 минут. Более частые проверки не были необходимы, так как опыт не базировался на строгих расчетных данных. Процесс герметизации с дибутилдилаурата олова осуществлялся следующим образом: рассчитывалась масса герметика, используемая для герметизации; определялось количество катализатора в миллилитрах на массу герметика; производилось смешивание катализатора с герметиком; сбор герметика с катализатором либо в тару, либо с помощью специального шприца; наносился герметик. Как позже выяснилось, время перемешивания герметика с катализатором не превышало 2 минут в зависимости от массы герметика (в данном случае это время указано для стандартной массы в 310 грамм).

Дибутилдилаурат олова высчитывается в миллилитрах, так как он является жидкостью, тогда как герметик указывается в граммах. Поскольку плотность катализатора близка к плотности воды (1,066 г/см³), различия между миллилитрами и граммами, учитывая плотность вещества, можно не учитывать. Также была использована

различная концентрация катализатора, которая менялась в процессе опытов. Так, от первого эксперимента к десятому концентрация снизилась с 5 % до 1 %, но при этом заметной разницы в результате не наблюдалось, что может предполагать, что изменения могут произойти при более низких процентных соотношениях.

Исходя из вышесказанного, для упрощения текста и краткости было решено не описывать каждый эксперимент отдельно, а представлять только один эксперимент со всеми его этапами, при этом опираясь на усредненные параметры, делая вывод о том, что концентрация катализатора выше 1 % и время смешивания катализатора с герметиком, если оно составляет более 2 минут, не оказывают влияния на отверждение.

3. Эксперимент

3.1 Начало эксперимента

Было нанесено два слоя герметизирующего вещества: один без катализатора (в дальнейшем именуемый «образец 1») и другой с катализатором (в дальнейшем именуемый «образец 2»). Поскольку образец 1 можно нанести сразу, его время отверждения было зафиксировано раньше. В течение двух минут производился процесс подготовки образца 2 к использованию, после чего он был нанесен на идентичную поверхность.

Свойства обоих слоев в первые минуты: липкость, отсутствие целостной отвержденной пленки, а также отсутствие сопротивления к деформациям, что заключалось в возможности полного разрушения слоя.

3.2 15 минут эксперимента

В течение первых 15 минут эксперимента видимых отличий между двумя слоями герметика не обнаружено. В помещении, где проводился эксперимент, температура в среднем составляла 24,1°C. С образцами не производились дополнительные манипуляции. После 15 минут были проведены два опыта с образцами герметика. Первый опыт заключался в падении деревянного стержня с высоты 10 см на образцы 1 и 2. Итог: оба образца продемонстрировали почти идентичную реакцию на падение стержня. Оба стержня прилипли к поверхности слоев. Разница заключалась только в количестве герметика, оставшемся на стержне. Количество герметика на деревянном стержне, упавшем на образец 2, было меньшим.

Второй опыт заключался в прокалывании образцов 1 и 2 с целью проверки сопротивления и липкости. Результаты второго опыта аналогичны первому. Опять же, меньшее количество герметика оставалось на деревянном стержне, прокалывавшем образец 2. Эластичности не наблюдалось, так как на месте прокалывания оставались отверстия от стержня, прочность оценивалась как низкая, в силу чего при прикладывании деформирующих сил возможно полное разрушение целостности герметизирующего слоя.

Краткие данные будут представлены в таблице 1.

Таблица 1

15 минут эксперимента

Номера образцов	Свойства образцов		
	Прочность	Липкость	Эластичность
Образец 1	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
Образец 2	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует

3.3 30 минут эксперимента

Проводятся аналогичные эксперименты, как и в случае с 15-минутными испытаниями. Первое характерное изменение наблюдается именно на 30-й минуте. Образец 1 по-прежнему остается липким, непрочным и неэластичным. В то же время образец 2 демонстрирует иное поведение. Это выражается в минимальной остаточной липкости, которая характеризуется малым количеством герметика, оставшимся на стержне после надавливания на герметизирующий слой. Кроме того, образец 2 обладает хорошей эластичностью, что позволяет мгновенно заделать отверстие, образованное при прокалывании. Более того, прочность герметика предотвращает нарушение целостности слоя. Краткие данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

30 минут эксперимента

Номера образцов	Свойства образцов		
	Прочность	Липкость	Эластичность
Образец 1	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
Образец 2	Присутствует	Присутствует остаточная	Присутствует

3.4 45 минут эксперимента

Образец 2 окончательно был отвергнут. При использовании стального стержня образец не проявляет липкости ни при падении, ни при прокалывании. Места, на которые воздействуют деформирующие усилия, возвращаются в исходное состояние. В свою очередь, прочность герметизирующего слоя позволяет прикладывать усилия различных типов для изменения целостности этого слоя. Основной задачей было добиться достаточной прочности для нанесения лакокрасочного материала (ЛКМ) на герметик.

Образец 1 по-прежнему остается липким, неэластичным и легко поддающимся деформации при воздействии деревянного стержня. Учитывая это, испытания стальным стержнем на данном образце не проводились. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

45 минут эксперимента

Номера образцов	Свойства образцов		
	Прочность	Липкость	Эластичность
Образец 1	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
Образец 2	Присутствует	Отсутствует	Присутствует

Итак, время, за которое полностью отвердевает слой полиуретанового однокомпонентного герметика с катализатором, составляет от 30 до 45 минут. Сравнивая результаты образца 1 и образца 2, можно сделать вывод о том, что гипотеза, сформулированная в начале работы, подтвердилось. Кроме того, было подсчитано время, необходимое для полного отверждения. Оставшаяся часть эксперимента была посвящена проверке свойств слоев и анализу соотношения времени отверждения образца 2 и образца 1.

В дальнейшем образец 2 продемонстрировал те же свойства, что и в 45-ю минуту эксперимента, поэтому наблюдение было завершено на 120-й минуте. В свою очередь, образец 1 подвергался осмотру и манипуляциям каждые 15 минут и лишь к 210-й минуте эксперимента стал демонстрировать сравнительно схожие свойства с образцом 2, хотя на тот момент все еще сохранялась липкость при прокалывании стальным стержнем. К 240-й минуте (4 часа) образец 1 окончательно отвердел. Таким образом, время отверждения с использованием катализатора дибутилдилаурата олова сократилось более чем в 5 раз. Результаты эксперимента подтвердили гипотезу, выдвинутую в начале работы.

Заключение. В рамках данной работы были проведены эксперименты, направленные на подтверждение гипотезы о возможном применении дибутилдилаурата олова в качестве катализатора для сокращения времени отверждения однокомпонентного полиуретанового герметика. В ходе эксперимента было установлено, что среднее время отверждения полиуретанового герметика с катализатором составило 45 минут, что в 5 раз меньше по сравнению с отверждением герметика без катализатора. Исследование проводилось с использованием эмпирического метода, не требующего сложных расчетов и специализированных приборов. Проверки осуществлялись при помощи подручных средств, а результаты сопоставлялись на основе простых выводов, сделанных из наблюдений и ранее полученной теоретической информации. Гипотеза была подтверждена экспериментально.

Данное исследование может оказаться полезным для машиностроительных компаний, поскольку оно поможет увеличить объемы выпускаемой продукции. Целостность герметизирующего слоя будет достигнута за более короткое время, что позволит ускорить последующие производственные процессы. Следует отметить, что некоторые клиенты машиностроительных компаний выражали недовольство по поводу быстрого выхода герметизации из строя. Эта проблема могла возникать из-за преждевременного нанесения лакокрасочных материалов на еще не полностью отвержденный слой герметика. Применение данного метода может способствовать увеличению производственных мощностей и улучшению процесса герметизации. Также этот метод подходит для других пользователей, использующих средства герметизации. В моей работе описано точное время отверждения, что может быть актуально при выполнении срочных работ.

Список литературы

1. Динамика промышленного производства в январе 2024 года. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/229429> (дата обращения: 12.07.2025).
2. О промышленном производстве в январе 2024 года. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/26_28-02-2024.html (дата обращения: 12.07.2025).
3. Meier-Westhues U, Danielmeier K, Kruppa P. *Polyurethanes: Coatings, Adhesives and Sealants*. 2nd Revised Edition. Hannover: Vincentz Network 2007. 344 p.
4. Кононенко А.С. Оценка времени отверждения анаэробных и силиконовых герметиков по деформационным свойствам. *Агроинженерия*. 2010;(2):112–114.

5. Рене Б., Франс П., Бруно М. *Способ получения полиуретана и композиция для его получения*. Патент РФ № 2073027 С1. 1992. 15 с.
6. Беляков К.В., Косицкая Л.Г., Тарасов А.В. *Способ получения полиуретанов*. Авторское свидетельство СССР № 654632 А1. 1979. 4 с.
7. Тиме Т.А., Мухина К.М., Белов И.Б., Антипова В.Ф., Гвоздовский Н.Г., Козлов С.К. *Способ получения полиуретанов*. Авторское свидетельство № 1085989 А1 СССР. 1982. 6 с.
8. *Изоцианаты: основные виды, химические свойства, реакции*. URL: <https://ecotermix.ru/blog/izocianaty-osnovnye-vidy-himicheskie-svojstva-reak> (дата обращения 12.07.2025).
9. *Бутинорат*. URL: <https://www.ataman-chemicals.com/ru/products/butinorat-5515.html> (дата обращения 15.07.2025).

Об авторе:

Елисей Николаевич Трофимов, бакалавр кафедры материаловедения и технологий металлов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), elisey339@gmail.com

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Elisei N. Trofimov, Bachelor's Degree Student of the Materials Science and Technology of Metals Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), elisey339@gmail.com

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

All author has read and approved the final manuscript.