

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Повышение эксплуатационных свойств тормозных трубок

легкового автомобиля

Студент

Д.А. Савин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук А.В. Зотов

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Содержание

Введение.....	4
1 Состояние вопроса использования тормозных трубок в легковом автомобиле.....	6
1.1 Актуальность совершенствования тормозных трубок.....	6
1.2 Классификация тормозных трубок и их номенклатура	8
1.3 Требования, предъявляемые к тормозным трубкам.....	9
1.4 Материал и покрытие тормозных трубок.....	10
1.5 Развальцовка тормозных трубок	11
1.6 Наконечники тормозных трубок	13
1.7 Технология изготовления тормозных трубок	15
1.8 Тесты и испытания тормозных трубок	22
1.8.1 Динамическое испытание на герметичность	22
1.8.2 Устойчивость к очистке под давлением	24
1.8.3 Устойчивость к разрыву.....	25
1.8.4 Устойчивость к воздействию озона	25
1.8.5 Устойчивость к температуре	25
1.8.6 Испытание на изгиб	26
1.8.7 Испытание на удар.....	26
1.8.8 Совместимость с тормозной жидкостью.....	26
1.9 Неисправности и факторы износа тормозных трубок	27
2 Анализ дефектов тормозных трубок автомобилей LADA	29
2.1 Обзор дефектов тормозных трубок автомобилей LADA	29
2.1.1 Дефекты тормозных трубок автомобиля LADA Granta.....	29
2.1.2 Дефекты тормозных трубок автомобиля LADA Vesta	31
2.1.3 Дефекты тормозных трубок автомобилей LADA Niva Legend и Niva Travel	32
2.1.4 Дефекты тормозных трубок автомобилей LADA Largus и XRay....	34

2.2 Анализ дефектов и поиск решения проблемы износа тормозных трубок	36
2.3 Анализ способа ремонтпригодности тормозных трубок	37
2.4 Анализ современных правил проектирования и компоновки узлов тормозной системы	38
3 Проектирование новой конструкции тормозных трубок.....	41
3.1 Применяемость защитных рукавов в мире	42
3.2 Номенклатура защитных рукавов	45
3.2.1 Материал защитных рукавов	47
3.2.2 Установка, размер и положение защитных рукавов	50
3.3 Тесты и испытания защитных рукавов	52
3.3.1 Стойкость к истиранию	52
3.3.2 Испытание на выносливость.....	53
3.3.3 Требования к физико-химическим характеристикам	53
4 Экспериментальные исследования эффективности применения защитных рукавов	55
4.1 Эксперимент на стойкость к истиранию	55
4.2 Эксперимент на стойкость к коррозии	63
Заключение	68
Список используемых источников.....	69

Введение

В связи с повышением требований безопасности легкового автомобиля существует проблема, связанная с отставанием показателей надёжности тормозной системы отечественных автотранспортных средств от достигнутого мирового уровня.

На сегодняшний момент существует проблема, связанная с тормозными трубками, которые являются самыми уязвимыми деталями тормозной системы автомобиля из-за прямого воздействием пескоструйной грязи и воды, летящей во время эксплуатации транспортного средства, способной на деформирование, коррозию и разрушение, которое может вызвать полный отказ тормозной системы и тем самым привести к негативным последствиям для водителя и пассажиров.

Актуальность данной проблемы связана с тем, что политика отечественных автопроизводителей заключается в производстве автомобилей бюджетного класса, тем самым экономя на некачественных материалах, антикоррозийной обработке и конструкторской компоновке тормозных трубок, которые напрямую связаны с безопасной эксплуатацией транспортных средств.

Целью магистерской диссертации является поиск и разработка новых способов повышения эксплуатационных свойств тормозных трубок в легковом автомобиле, на примере автомобилей LADA.

Целью разработки данных способов является повышение эксплуатационных качеств тормозных трубок, таких как:

- надёжность,
- долговечность,
- стойкость,
- ресурс.

Для достижения поставленной цели будет необходимо:

- провести анализ существующей конструкции тормозных трубок и выявить уязвимые места;
- провести анализ возникновения уязвимых мест и предложить новую конструкцию тормозных трубок, исключая возникновение подобных мест;
- доказать с помощью экспериментов повышение эксплуатационных свойств новой конструкции тормозных трубок.

Данная работа включает в себя обзор существующей классификации и номенклатуры тормозных трубок, описывается характеристика исследуемого объекта, проводится анализ существующих дефектов, на основании которых ведётся поиск оптимального технического решения.

Научная новизна магистерской диссертации заключается в проведении экспериментов, доказывающих эффективное использование новой конструкции тормозных трубок с защитными рукавами.

Магистерская диссертация состоит из 71 страницы пояснительной записки и включает в себя: введение, четыре раздела, заключение, список используемых источников, а также 8 таблиц, 55 рисунков и 31 источник.

1 Состояние вопроса использования тормозных трубок в легковом автомобиле

1.1 Актуальность совершенствования тормозных трубок

Динамика роста российского автомобильного парка одна из самых высоких в мире. Тем не менее, этот процесс происходит в условиях существенного отставания потребительских показателей и показателей активной и пассивной безопасности отечественных автотранспортных средств от достигнутого мирового уровня.

Тормозная система служит для снижения скорости и быстрой остановки автомобиля, а также для удержания его на месте при стоянке [1]. Наличие надежных тормозов позволяет увеличить среднюю скорость движения, а, следовательно, эффективность при эксплуатации автомобиля, которая определяется, по расчетной оценке тормозного пути или временем движения автомобиля до полной остановки. Чем эффективнее действие тормозов, тем выше безопасная скорость, которую может допустить водитель, и тем выше скорость движения автомобиля на всем маршруте [9]. Торможение необходимо не только для быстрой остановки автомобиля при внезапном появлении препятствий, но и как средство управления скоростью его движения.

В связи с невероятной скоростью развития технологии машиностроения в мире, а именно появление современных турбированных двигателей, мощность которых достигает до 500 л.с. и выше, требуется, подходящая под данные запросы и требования, надёжная тормозная система, ведь, именно благодаря ей, определяется безопасность движения автомобилей с высокими скоростями. В обстановке, характеризующейся высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта, в которое вовлечены десятки миллионов людей и большое число транспортных средств, ДТП из-за отказа тормозной системы становится одной из серьезнейших социально-

экономических проблем [5]. От ее успешного решения в значительной степени зависят не только жизнь и здоровье людей, но и развитие экономики страны.

Для того чтобы разобраться в данной проблеме, изначально нужно изучить из чего состоит тормозная система и выявить её «слабые» места для дальнейшего анализа и проработки технического решения. В качестве примера рассмотрим стандартную тормозную систему (рисунок 1) отечественных легковых автомобилей марки LADA с применением гидроагрегата (блока) ABS, которая отвечает последним требованиям безопасности и используется во всём модельном ряде компании.

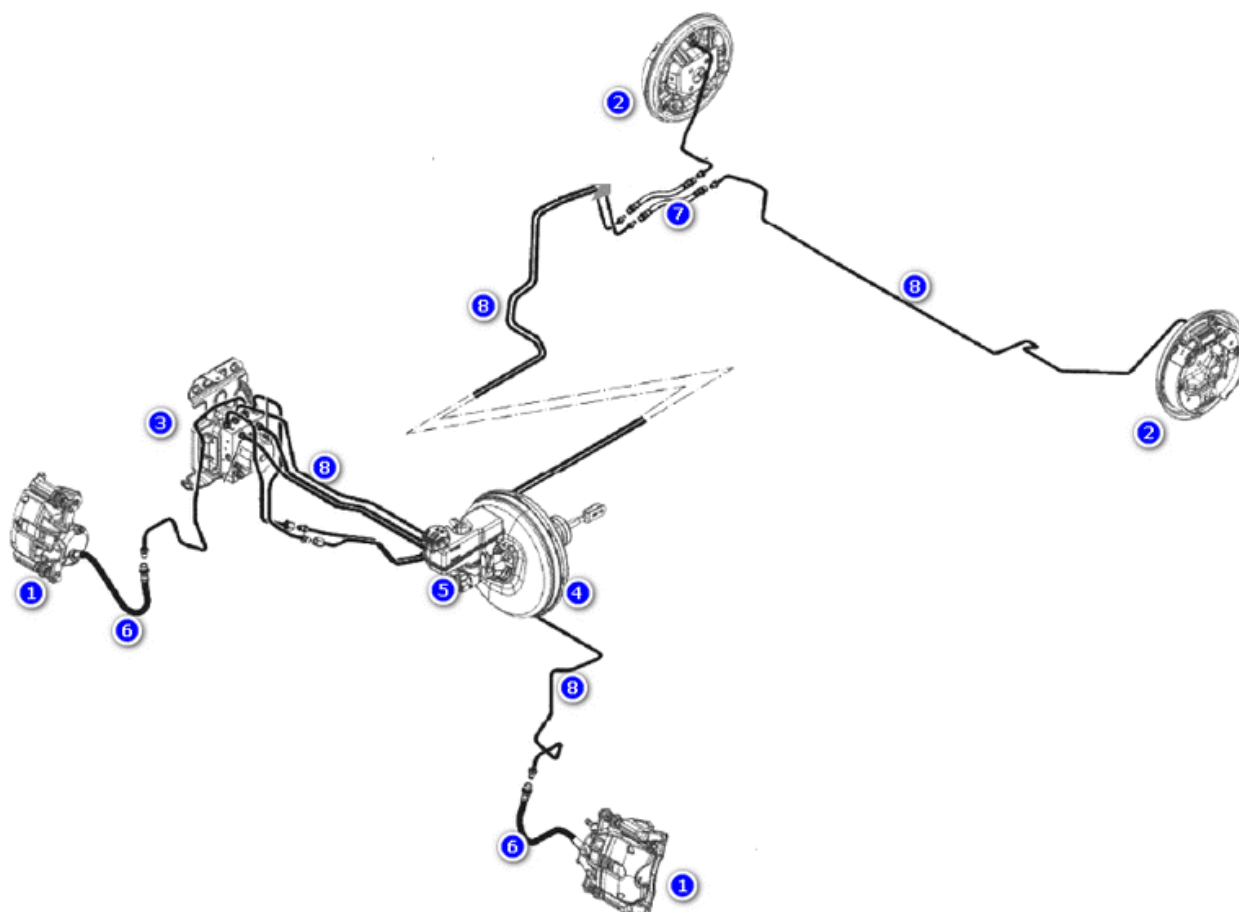


Рисунок 1 – Тормозная система автомобилей LADA

Тормозная система (рисунок 1) состоит из передних 1 и задних 2 тормозных механизмов, гидроагрегата (блока) ABS 3, вакуумного усилителя 4, главного тормозного цилиндра с бачком 5, передних 6 и задних 7 тормозных шлангов и тормозных трубок 8.

Нормальное функционирование системы тормозов невозможно без качественных каналов [15]. Зачастую многие автовладельцы считают, что тормозные трубки – это «вечные детали» и безответственно относятся к контролю их технического состояния. Но существует проблема, связанная с их дефектами или деформированием с последующим разрушением, которое приводит к выходу из системы тормозной жидкости, а, следовательно, к невозможности быстрой остановки транспортного средства. Причиной снижения эффекта торможения является утечка в трубопроводе, что в итоге может привести к несчастному случаю на дороге. Именно поэтому тормозные трубки выступают гарантией безопасности водителя и ряда пассажиров.

Исходя из вышеперечисленного, для поиска решения проблемы с дефектами тормозных трубок нужно изучить их классификацию и номенклатуру, материал, покрытие, технологию изготовления, а также причины разного типа износа.

1.2 Классификация тормозных трубок и их номенклатура

Чтобы понять предназначение тормозных трубок, необходимо изучить полный процесс торможения легкового автомобиля. Когда водитель желает остановить автомобиль, он нажимает на педаль тормоза. Под действием главного тормозного цилиндра по каналам движется специальная тормозная жидкость, которая с помощью специальных каналов (тормозных трубок) доставляет её под давлением в тормозной механизм, после чего автомобиль начинает торможение [27]. Тормозная трубка представляет собой инфраструктуру целостной системы. Ее главная роль – обеспечение доставки усилия к тормозным колодкам колес [28]. Соединение трубок производится с

помощью резьбы, при этом достигается максимальная надежность даже при высоком давлении в системе [17]. На рисунке 2 представлена стандартная конструкция тормозной трубки.

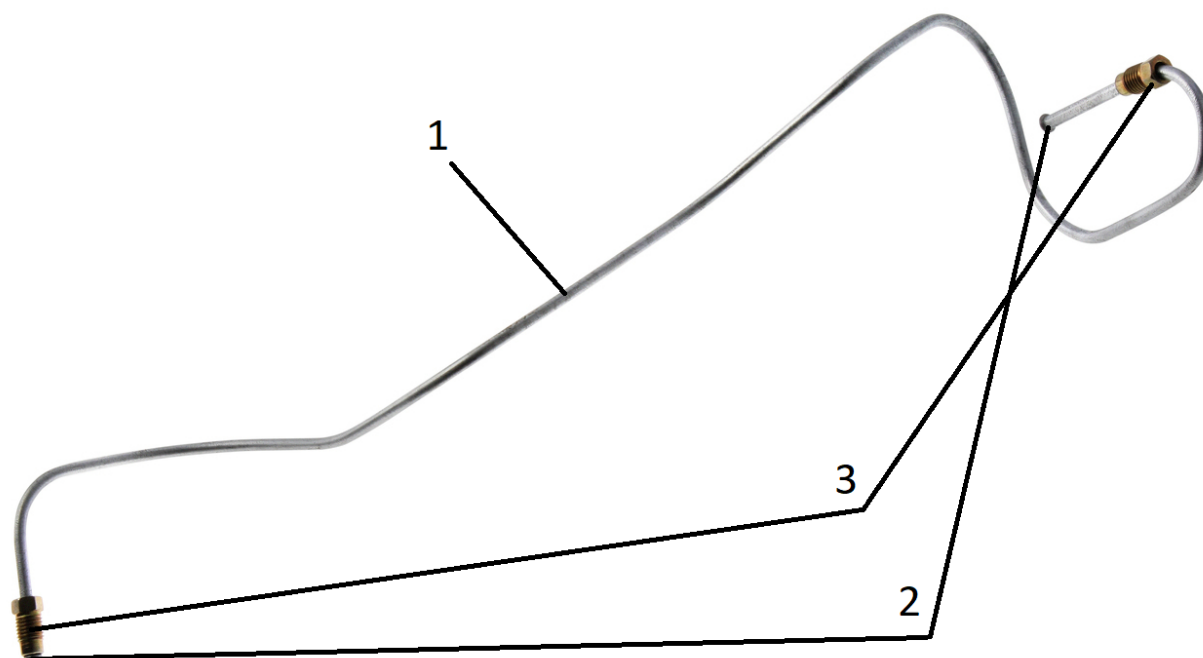


Рисунок 2 – Тормозная трубка

Стандартная тормозная трубка состоит из трубки 1, развальцовки 2 и наконечников (штуцеров) 3.

1.3 Требования, предъявляемые к тормозным трубкам

Трубки и шланги должны соответствовать требованиям настоящего стандарта, ГОСТ 4364, ГОСТ 23181 и технической документации (ТД), утвержденной в установленном порядке [7].

Металлические и пластиковые трубки и резиновые рукава без наконечников, предназначенные для использования в гидравлических и пневматических тормозных приводах, должны иметь соответствующие сертификаты.

Трубки и шланги должны обладать герметичностью и прочностью при давлении: для гидравлического тормозного привода – по ГОСТ 23181 (пункт 1.4), но не менее 20 МПа (200 кгс/см²) в течение 2 мин ±5 с.

Также тормозная трубка должна характеризоваться отсутствием изменений поперечного сечения. В противном случае часть рабочей силы давления будет направлено на расширение трубки, вместо того чтобы сжимать тормозной суппорт (или его расширять) [24].

Внутренняя структура материала должна быть мелкозернистой, чтобы после деформации (например, путем профилирования) трубка не ломалась и не растягивалась.

Производство трубок должно следовать строгим нормам и трубки должны проходить ряд тестов герметичности для того, чтобы убедиться, что они выдержат высокое давление тормозных систем.

Трубки и шланги испытывают по следующим параметрам:

- герметичность,
- прочность,
- совместимость с тормозной жидкостью,
- долговечность в условиях циклического нагружения,
- стойкость к коррозии.

1.4 Материал и покрытие тормозных трубок

На сегодняшний момент тормозные трубки изготавливают из:

- меди (Cu),
- сплава меди и никеля (CuNi),
- стали в ПВХ оболочке.

Покрытие тормозных трубок может быть:

- цинковым,
- цинк-полимерным.

На рисунке 3 представлена модель тормозной трубки с входящими в неё компонентами и материалами, а также покрытиями, которые используются на всех действующих на сегодня моделях автомобилей LADA.



Рисунок 3 – Тормозная трубка

Стоит отметить, полимерные покрытия PVF, часто используются в качестве покрытий металлов для улучшения их устойчивости к погодным явлениям, к воздействию химических веществ и загрязнений, и все это в сочетании с высокими механическими свойствами и электрическим сопротивлением [31]. Но самое главное преимущество PVF-покрытия заключается в отличной устойчивости к истиранию [25].

1.5 Развальцовка тормозных трубок

Следующим очень важным элементом тормозной трубки является её развальцовка – это увеличение трубки на обоих её концах, которые используются для постоянного уплотнения тормозных трубок с другими частями тормозной системы и формирования герметичных стыков. Процесс развальцовки тормозных трубок представляет собой специальную деформацию краев изделия [14]. Существует три типа развальцовки:

- «грибок»,
- «воронка»,

– развальцовка, применяемая в тормозных трубках автомобилей Citroen.
«Грибок» – это тип развальцовки, применяемый в тормозных трубках большинства европейских автомобилей (рисунок 4).

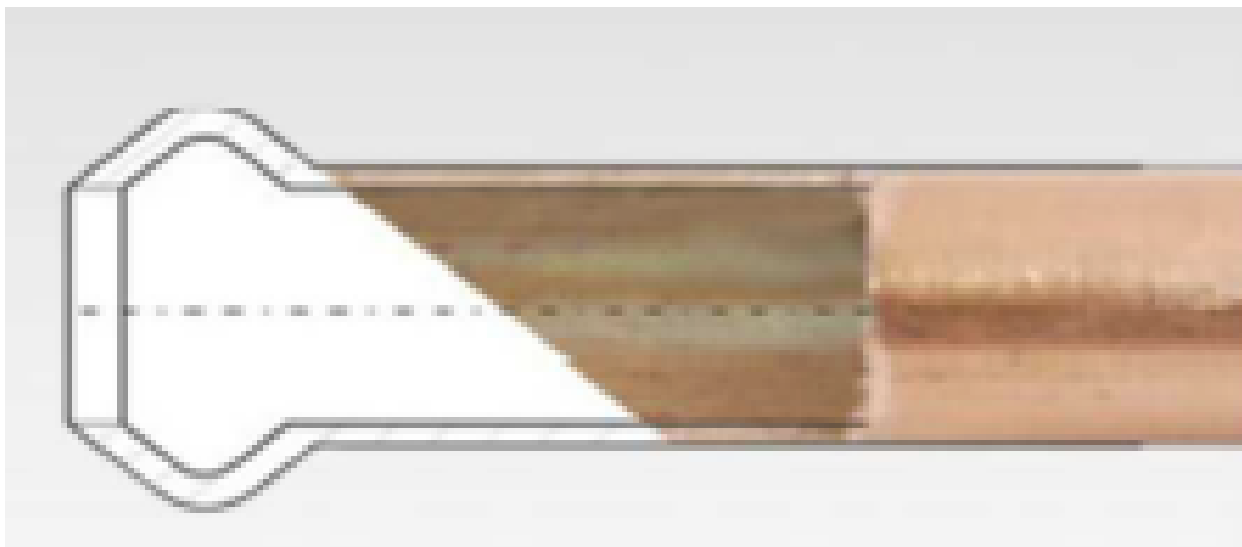


Рисунок 4 – Развальцовка «Грибок»

«Воронка» – это развальцовка, направленная во внутрь трубки, встречается в основном в автомобилях корейского и японского производства (рисунок 5).

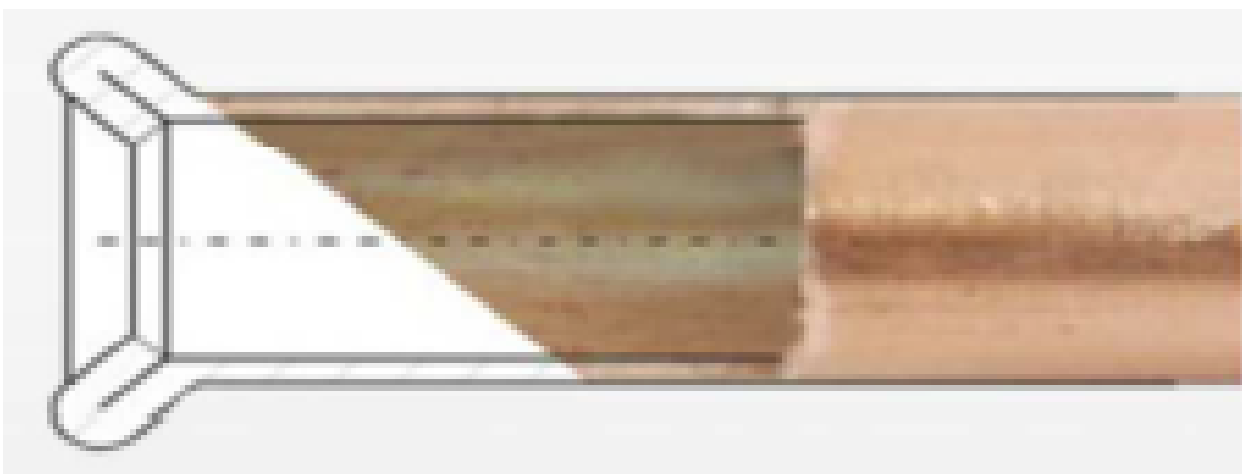


Рисунок 5 – Развальцовка «Воронка»

Развальцовка, применяемая в тормозных трубках автомобилей марки Citroen (BX, CX, 2CV, Xantia) (рисунок 6).

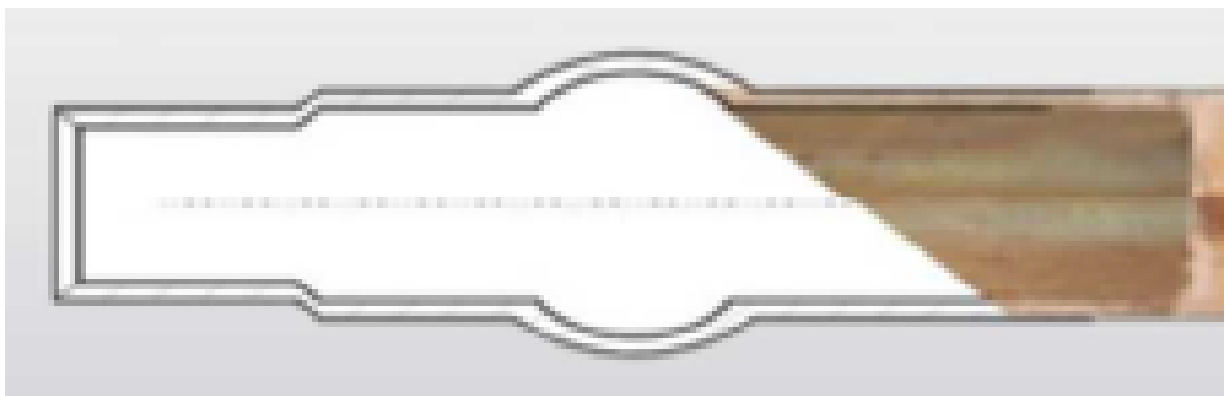


Рисунок 6 – Развальцовка для автомобилей Ситроен

Поверхность развальцованных концов должна быть гладкой и не иметь дефектов, способных нарушить герметичность соединения после сборки.

1.6 Наконечники тормозных трубок

Наконечники – это стальные болты (штуцеры), либо переходники с внутренним отверстием (накидные гайки), которые зажимаются на обоих концах тормозной трубки, образуя посадку с натягом.

Наконечники вместе с развальцовкой играют важную роль в тормозной системе, т.к. через надлежащее завинчивание их в тормозной суппорт или в другие элементы тормозной системы, они создают постоянное уплотнение для предотвращения утечки тормозной жидкости из системы [30]. В зависимости от применения штуцеры/наконечники могут иметь много типов резьбы (наружную или внутреннюю), но наиболее распространенные – это M10×1 и M12×1, которые встречаются примерно в 70 % автомобилей [18].

На рисунке 7 представлены классические виды наконечников, которые используются во всем мире.



Рисунок 7 – Наконечники тормозных трубок

На рисунке 8 представлены наконечники, которые применяются на всех, действующих на сегодня, моделях автомобилей LADA.



Рисунок 8 – Наконечники для тормозных трубок автомобилей LADA

Резьба штуцеров и накидных гаек не должна иметь сорванных ниток, забоин и других повреждений, препятствующих её свободному соединению с ответными частями. Для тормозных трубок резьбовые соединения при установке на автомобиль должны соединяться с моментом затяжки от 14,7 до 18,6 Н·м, а момент страгивания соединения от 16,5 до 21,7 Н·м.

1.7 Технология изготовления тормозных трубок

На сегодняшний день все мировые производители тормозных трубок работают по следующему технологическому маршруту:

- резка сырья,
- шлифование торцов,
- лазерное нанесение PVF-покрытия,
- снятие фасок,
- установка наконечников и формирование торцов,
- установка защитных колпачков,
- гибка трубки,
- контроль,
- маркировка,
- упаковка.

Рассмотрим элементы технологического маршрута подробнее.

Резка сырья (двустенная стальная трубка с Zn-покрытием) на определенные участки различной длины (в зависимости от геометрии готового изделия) осуществляется на специальных отрезных станках (рисунок 9).



Рисунок 9 – Резка тормозных трубок: а – тормозная трубка; б – отрезной станок

Шлифование торцов от заусенцев с двух сторон происходит на специальном шлифовальном станке (рисунок 10).



Рисунок 10 – Шлифование торцов трубки: а – торец тормозной трубки; б – шлифовальный станок

Лазерное нанесение PVF-покрытия выполняют на специальном станке (рисунок 11). Слой покрытия должен составлять минимум 15 мкм. На наружной поверхности трубки с полимерным покрытием не должно быть трещин, пор, натёков полимерного покрытия, царапин, видимых невооруженным глазом.

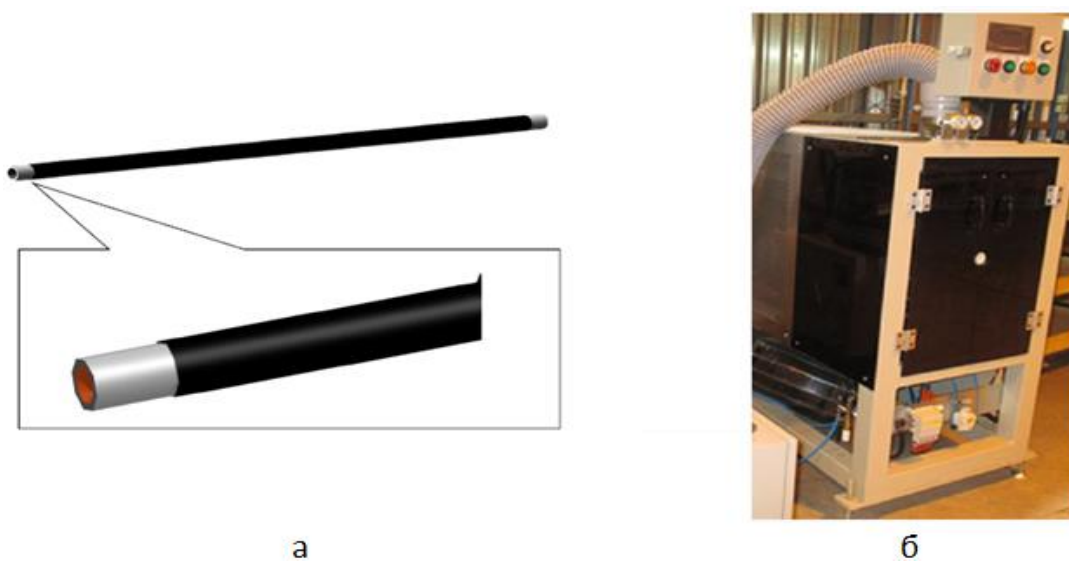


Рисунок 11 – Лазерное нанесение PVF-покрытия: а – тормозная трубка с покрытием; б – специальный станок

Снятие фасок с двух сторон также выполняют на специальном станке (рисунок 12).

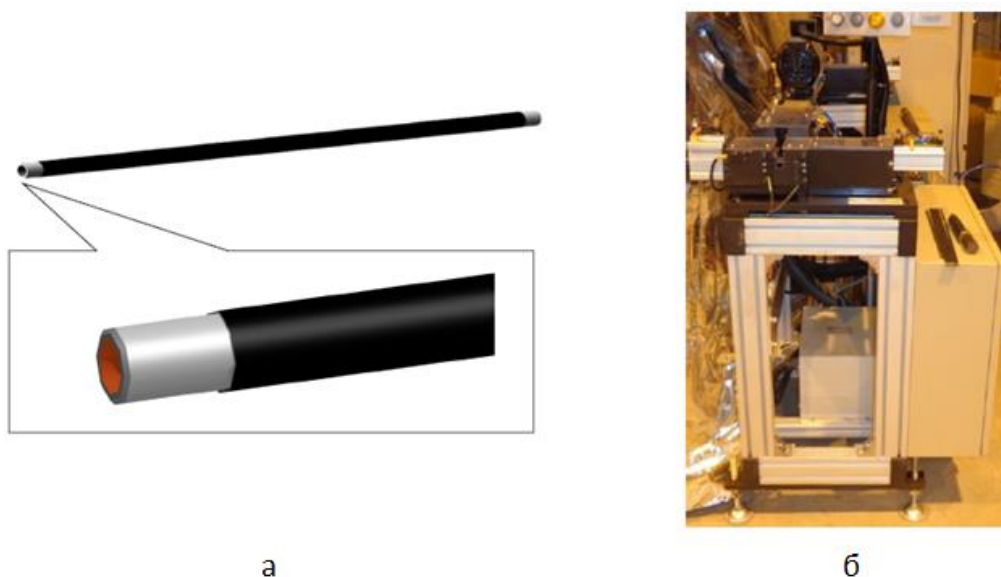


Рисунок 12 – Снятие фасок: а – тормозная трубка с фаской; б – специальный станок

Установка наконечников и формирование торцов (развальцовка) с двух сторон происходит на специальном станке (рисунок 13).

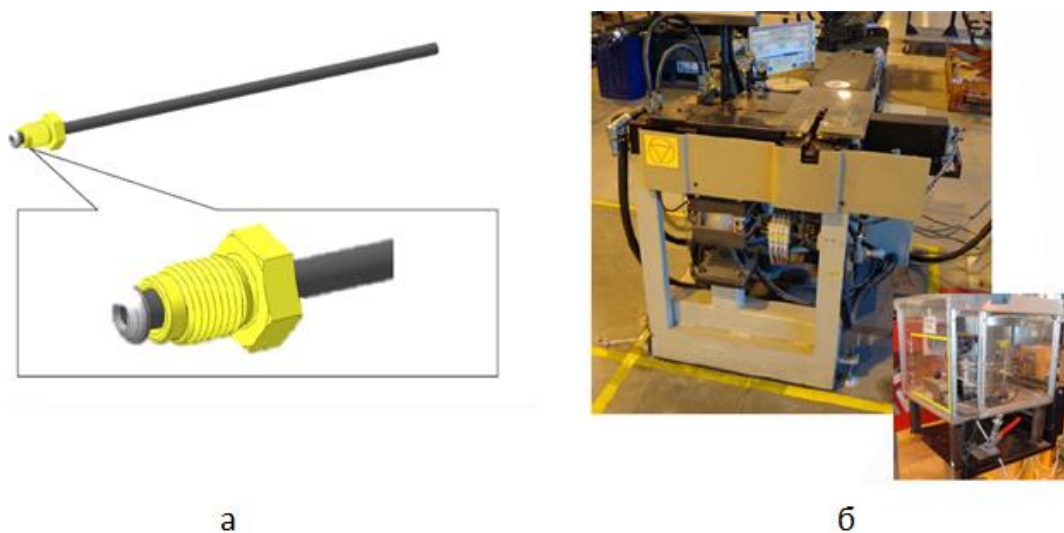


Рисунок 13 – Установка наконечников и развальцовка торцов: а – тормозная трубка с установленным наконечником; б – специальный станок

Далее идет установка защитных колпачков на концы трубок (рисунок 14). Каждый конец должен быть снабжен пластмассовым закрывающим колпачком для защиты внутренней части трубы от загрязнений, влаги и для поддержания накидной гайки на конце трубы. Закрывающие колпачки должны быть способны сниматься вручную (с усилием менее 30 Н), не оставляя частиц, способных загрязнить контуры.



Рисунок 14 – Установка защитных колпачков

Гибка трубки по заданной программе (в зависимости от геометрии готового изделия) происходит на специальном гибочном оборудовании, где также выполняют дополнительные гибы трубки с помощью ручного устройства (рисунок 15).

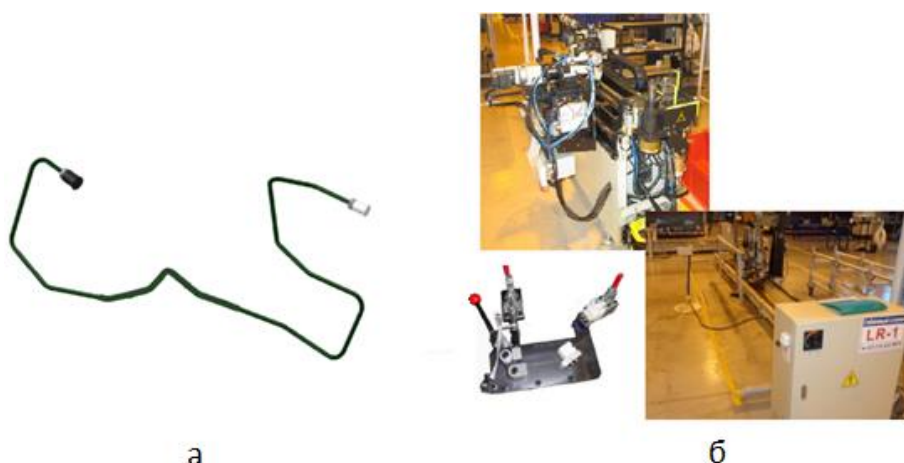


Рисунок 15 – Гибка тормозной трубки: а – тормозная трубка нужной формы; б – гибочное оборудование

Контроль крайних и промежуточных точек изгибов выполняют на специальном контрольном стенде (рисунок 16).

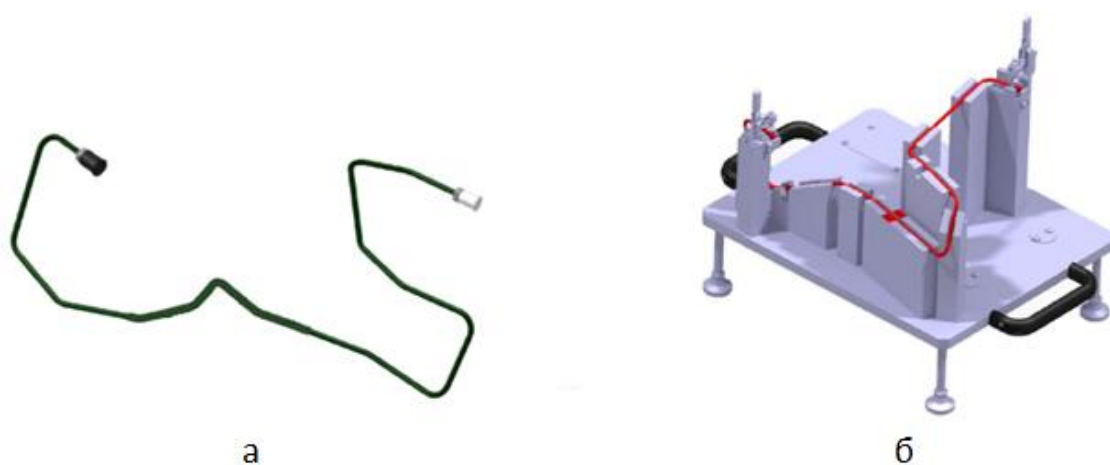


Рисунок 16 – Контроль геометрии: а – тормозная трубка; б – специальный контрольный стенд

Также для контроля используется различное высокотехнологичное измерительное оборудование.

Прецизионный полуавтомат FORMTRACER SV-C 3200 (рисунок 17) используют для измерения геометрии и шероховатости поверхности с программным обеспечением FORMTRACERPAK.



Рисунок 17 – FORMTRACER SV-C 3200

А измерительный манипулятор ROMER AbsoluteArm 7535 (рисунок 18) позволяет бесконтактно измерять трехмерную геометрию трубки с помощью специального датчика и программного обеспечения.



Рисунок 18 – ROMER Absolute Arm 7535

Видеоизмерительная система Norgau NVM-2010 (рисунок 19) обладает широкими возможностями по измерению различных поверхностей деталей, обработке измеренных данных, обеспечивает простое и быстрое базирование измеряемой детали.



Рисунок 19 – Norgau NVM-2010

Маркировка (рисунок 20). Все тормозные трубки должны быть промаркированы идентификационной табличкой (этикеткой), содержащей:

- наименование предприятия-изготовителя;
- обозначение трубок по КД предприятия-потребителя.

Маркировка должна быть сохраняемой в течение всего периода эксплуатации тормозных трубок. В некоторых случаях может потребоваться несмываемая единая маркировка деталей.



Рисунок 20 – Маркировка тормозных трубок

Ну и наконец – упаковка. Готовые тормозные трубки должны поставляться в упаковке, соответствующей модели и согласованной поставщиком и заказчиком. Упаковка должна обеспечивать их защиту от внешних повреждений (коррозии, ударов и т.д.) до момента монтажа на автомобиле.

1.8 Тесты и испытания тормозных трубок

Для того чтобы убедиться в качестве тормозных трубок, они должны быть проверены в следующих условиях:

- динамическое испытание на герметичность;
- устойчивость к очистке под давлением;
- устойчивость к разрыву;
- устойчивость к воздействию озона;
- устойчивость к температуре;
- испытание на изгиб;
- испытание на удар;
- совместимость с тормозной жидкостью.

1.8.1 Динамическое испытание на герметичность

Количество испытательных образцов составляет 6 штук в новом состоянии с покрытием (рисунок 21).

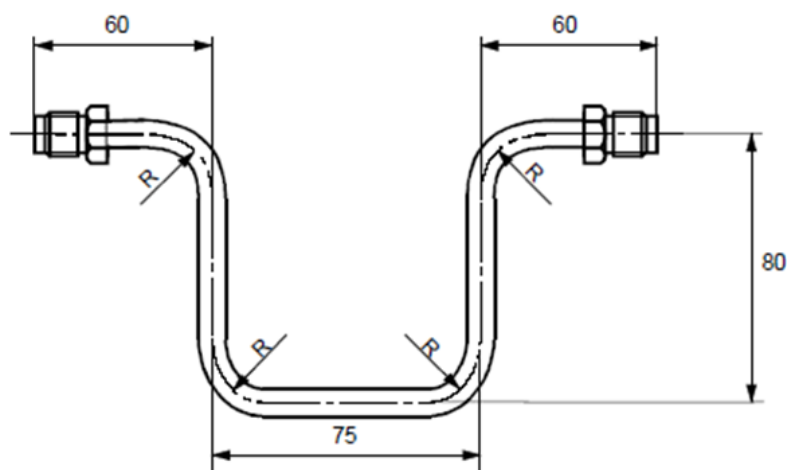


Рисунок 21 – Испытательный образец

Цель:

- отсутствие падения давления;
- отсутствие трещин в развальцовке после демонтажа.

Принцип испытания.

Образцы для испытания представляют собой жесткие тормозные трубы, верхний конец которых заглушен, а нижний конец (со стороны наружной развальцовки/наконечника) закручен в специальный испытательный стенд (рисунок 22) с заданным моментом затяжки/углом:

– $7 \text{ Н}\cdot\text{м} \pm 20 \% + 40 \pm 6^\circ$ для всех конфигураций труб.

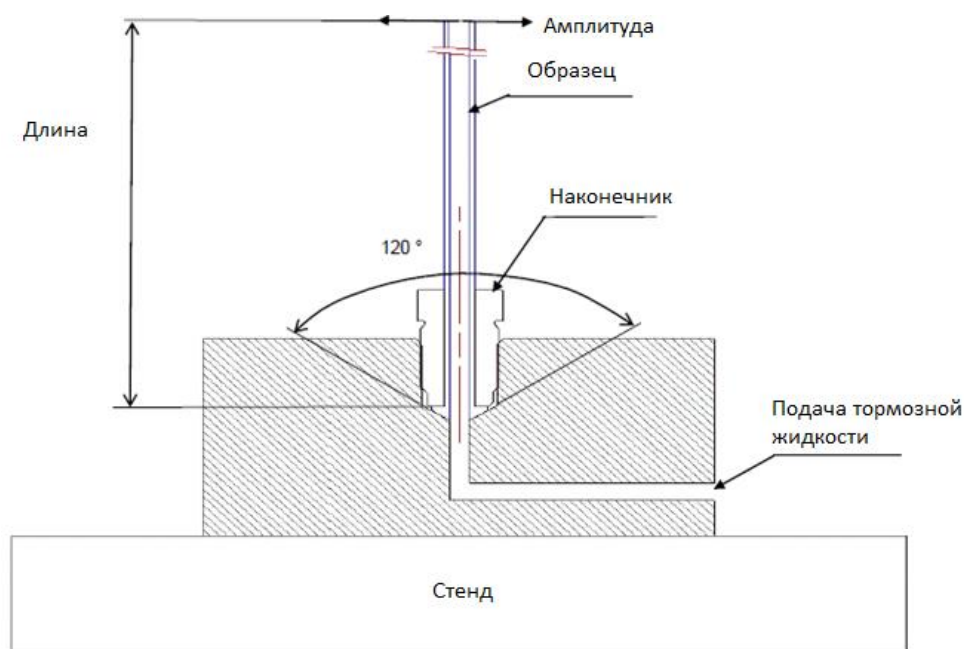


Рисунок 22 – Испытательный стенд

Они подвергаются нагрузке в соответствии с условиями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Условия для испытания на герметичность

Диаметр трубок, мм	4,75	6	8
Длина, мм	228	228	250
Частота, Гц	50 ч при 20 Гц и 50 ч при 30 Гц	50 ч при 20 Гц и 50 ч при 30 Гц	50 ч при 20 Гц и 50 ч при 30 Гц
Амплитуда, мм	± 2	± 2	± 2

Метод испытания:

- продолжительность испытания 100 ч;
- давление 17 МПа в тормозной жидкости или 8,5/9 МПа в воздухе.

1.8.2 Устойчивость к очистке под давлением

Количество тестовых образцов составляет 6 штук в новом состоянии с покрытием (рисунок 21).

Принцип испытания.

Жёсткие тормозные трубы длиной 300 мм помещаются вертикально в коробку и поддерживаются на концах. С помощью распылительной форсунки наносится очиститель. Схема испытания представлена на рисунке 23.

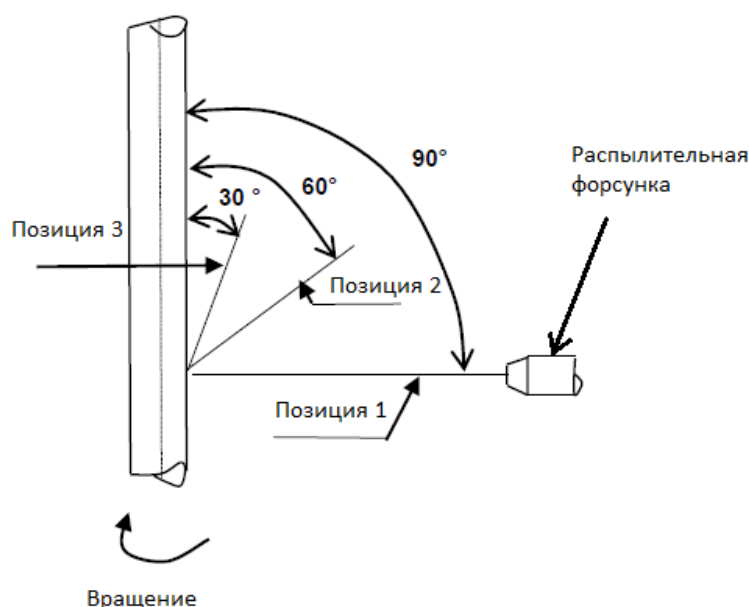


Рисунок 23 – Схема испытания

Условия для испытания:

- вращение гибких шлангов 5 оборотов в минуту;
- обжимные соединения должны быть испытаны;
- продолжительность 30 с на каждую позицию, начиная с позиции 1.

После нанесения очистителя наносится моющий раствор, который состоит из воды с добавлением моющего средства (доля 0,5 % по весу).

Условия распыление моющего раствора:

- температура $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- давление $6,5 \pm 0,2\text{ МПа}$,
- расход $750 \pm 50\text{ л/ч}$.

Сразу после мытья испытуемые образцы должны быть прополосканы в горячей воде ($53\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) под давлением $5,3 \pm 0,2\text{ МПа}$.

Испытательные образцы должны быть высушены на открытом воздухе в течение 24 ч. После этой выдержки проводится тест на устойчивость к разрыву при температуре окружающей среды.

1.8.3 Устойчивость к разрыву

Количество испытательных образцов составляет 6 штук в новом состоянии с покрытием (рисунок 21).

Образцы для испытаний устанавливаются на приспособление, имитирующее соединение трубы с наконечником с гидравлическим подъемником.

Давление разрыва должно быть более:

- 110 МПа для испытуемой детали диаметром 4,75 мм;
- 85 МПа для испытуемой детали диаметром 6 мм;
- 68 МПа для испытуемой детали диаметром 8 мм.

1.8.4 Устойчивость к воздействию озона

Количество образцов для испытаний составляет 6 штук в новом состоянии с покрытием (рисунок 21).

Испытание проводят при концентрации $50 \pm 5\text{ ррсм}$ в течение 72 ч при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Цель: отсутствие изменения состояния покрытия.

1.8.5 Устойчивость к температуре

Количество образцов для испытаний составляет 12 штук (рисунок 21) длиной 450 мм.

Используется трубка перед нанесением покрытия, т.е. трубка без покрытия в количестве 6 штук.

Условия испытаний: после поддержания температуры $218\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 ± 5 мин, 6 образцов должны выдерживать гидравлическое давление не менее 55 МПа.

Задачи:

- отсутствие падения давления,
- отсутствие набухания,
- отсутствие постоянной деформации.

Трубка с покрытием в количестве 6 штук.

Условия испытаний: после поддержания температуры $218\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 ± 5 мин, 6 образцов должны выдерживать гидравлическое давление не менее 55 МПа.

Этот цикл повторяется 10 раз.

Задачи:

- отсутствие падения давления,
- отсутствие набухания,
- отсутствие постоянной деформации.

1.8.6 Испытание на изгиб

Выполняется ручная гибка на угол 180° вокруг цилиндрической оправки диаметром в четыре раза превышающим диаметр трубки.

Визуальный контроль: отсутствие дефектов, трещин, морщин или недостаточной адгезии, видимых невооруженным глазом.

1.8.7 Испытание на удар

Образцы длиной 500 мм должны выдерживать удар силой 2 Дж в плоскости поперечной по отношению к трубке. Испытание проводится с помощью закаленного стального лезвия, образующего угол 60° и имеющего кончик радиусом 1 мм.

После испытания на удар, трубки подвергаются внутреннему гидравлическому давлению в 49 МПа и внутреннему гидравлическому давлению 49 МПа. Не должно наблюдаться утечки, разрушения или разбухания в зоне удара и в 50 мм с каждой стороны от этой зоны.

1.8.8 Совместимость с тормозной жидкостью

После погружения на 5 минут в тормозную жидкость гидравлический тормозной трубопровод должен капать в вертикальном положении при температуре окружающей среды. Тормозные жидкости должны соответствовать функциям класса 3, класса 4, класса 5.1, класса 6 стандартов ISO 4925, а также DOT 3, DOT 4, DOT 5.1 правил FMVSS 116.

Оценка размягчения покрытия может быть проведена путем царапания и сравнения с новой деталью (не допускается разрушение) [8].

1.9 Неисправности и факторы износа тормозных трубок

Существует несколько видов неисправностей тормозных трубок:

- трещины и любые другие внешние дефекты;
- утечка тормозной жидкости из-за негерметичного соединения;
- обрыв трубки.

Стальные трубки в основном боятся коррозии. Предпосылок к этому сразу несколько. Это прежде всего естественная электрохимическая коррозия из-за применения медных и латунных штуцеров и шайб в системе [26]. Новые тормозные системы стараются обходиться без потенциальных гальванопар, но при нормальной эксплуатации повреждения от такой коррозии невелики и нивелируются присутствием алюминиевых компонентов в системе. Внутренняя коррозия тормозных трубок связана с гигроскопичностью тормозной жидкости: при ее несвоевременной замене тормозная трубка начинает постепенно корродировать изнутри, а ингибиторы коррозии со временем вырабатываются [16].

Наружная поверхность тормозной трубки повреждается по многим причинам. Вполне естественное механическое воздействие частиц грунта и камней со временем может повредить незакрытые кожухами элементы трассы.

Также очень часто бывает разрушение трубки из-за теплового воздействия, которое исходит от коллектора двигателя. Пластиковое покрытие просто стареет, а подпленочная коррозия, масла и агрессивные жидкости разъедают и разрушают его [29].

Повреждения кузова при ДТП и неквалифицированном ремонте также встречаются. Если не осуществлять специальную обработку антикоррозийными составами, то наружная поверхность постепенно корродирует до образования свищей. Но чаще всего вибрации и рабочее давление разрывают трубку раньше [22].

Дополнительными факторами, негативно влияющими на сохранность тормозных трубок, становятся загрязнение поверхности грунтом и гигроскопичными материалами, повреждения опор, коррозия соседствующих элементов, попадание на наружную поверхность масел и агрессивных химических составов, использование некачественной тормозной жидкости, а также неквалифицированное вмешательство при ремонтах. Как показывает практика, у машин, имеющих коррозионные повреждения кузовных панелей днища, вероятность повреждения коррозией и тормозных магистралей стремится к 100 %, а срок службы заводского защитного покрытия составляет примерно 10 – 15 лет в условиях крупных городов [2].

Подводя итоги первого раздела, можно сделать следующий вывод: тормозные трубки играют важную роль в работоспособности тормозной системы автомобиля и, несмотря на их простую конструкцию, они имеют весьма большую номенклатуру и непростой технологический процесс изготовления, а также разного рода дефекты. Поэтому для того, чтобы детально изучить и наглядно увидеть неисправности тормозных трубок, а также выявить причину их возникновения, необходимо провести поиск дефектов трубопроводов на примере автомобилей LADA.

2 Анализ дефектов тормозных трубок автомобилей LADA

2.1 Обзор дефектов тормозных трубок автомобилей LADA

Для того чтобы найти и выявить дефекты тормозных трубок в различных узлах тормозной системы у модельного ряда компании LADA, мы обратились на различные информационные сайты отзывов владельцев следующей линейки автомобилей: Granta, Vesta, XRay, Largus, Niva Legend и Niva Travel.

2.1.1 Дефекты тормозных трубок автомобиля LADA Granta

Возможен контакт с дальнейшим протираем кабеля датчика ABS и тормозной трубки левого переднего колеса с оплеткой троса привода сцепления (рисунок 24) [20].



Рисунок 24 – Протираем тормозных трубок об тросик привода сцепления

Данный дефект вызывает разрушение целостности тормозных трубок (рисунок 25) и приводит к течи тормозной жидкости и, соответственно, к снижению эффективности тормозной системы автомобиля [21].



Рисунок 25 – Последствие перетирания тормозной трубки

Кроме данного дефекта существует также касание тормозных трубок с шлангом расширительного бачка (рисунок 26).



Рисунок 26 – Касание тормозных трубок с шлангом расширительного бачка

Помимо данных дефектов владельцы жалуются на постоянное загрязнение тормозных трубок в особо уязвимых местах, расположенных на днище кузова автомобиля, где постоянно происходит контакт с грязью и водой, летящей из-под колёс во время эксплуатации.

2.1.2 Дефекты тормозных трубок автомобиля LADA Vesta

На автомобиле LADA Vesta в комплектации с силовым агрегатом объёмом 1,6 л. существует проблема, связанная с перетиранием тормозных трубок [10].

Данный дефект вызван конструкторским просчётом, вследствие которого незакрепленный кронштейн на патрубке, контактирует с тормозными трубками и тем самым протирает их во время эксплуатации автомобиля (рисунок 27).



Рисунок 27 – Протираание тормозных трубок об незакреплённый кронштейн

Данный дефект также может в дальнейшем привести к снижению эффективности тормозной системы автомобиля и негативно сказаться на безопасности всех, кто эксплуатирует данное транспортное средство [3].

2.1.3 Дефекты тормозных трубок автомобилей LADA Niva Legend и Niva Travel

Так как автомобили Niva Legend и Niva Travel были спроектированы на одной и той же платформе, которая с момента её создания, практически, не подверглась какой-либо модернизации, то можно смело относить дефекты тормозной системы сразу к двум автомобилям, базирующихся на данной платформе.

На рисунке 28 представлен контакт между тормозными трубками и шлангом ручного тормоза, который наблюдается на огромном количестве данных автомобилей [19]. Данный дефект впоследствии вызывает разрушение тормозной трубки и течь тормозной жидкости, что приводит к снижению эффективности тормозной системы и, следовательно, к снижению безопасности.

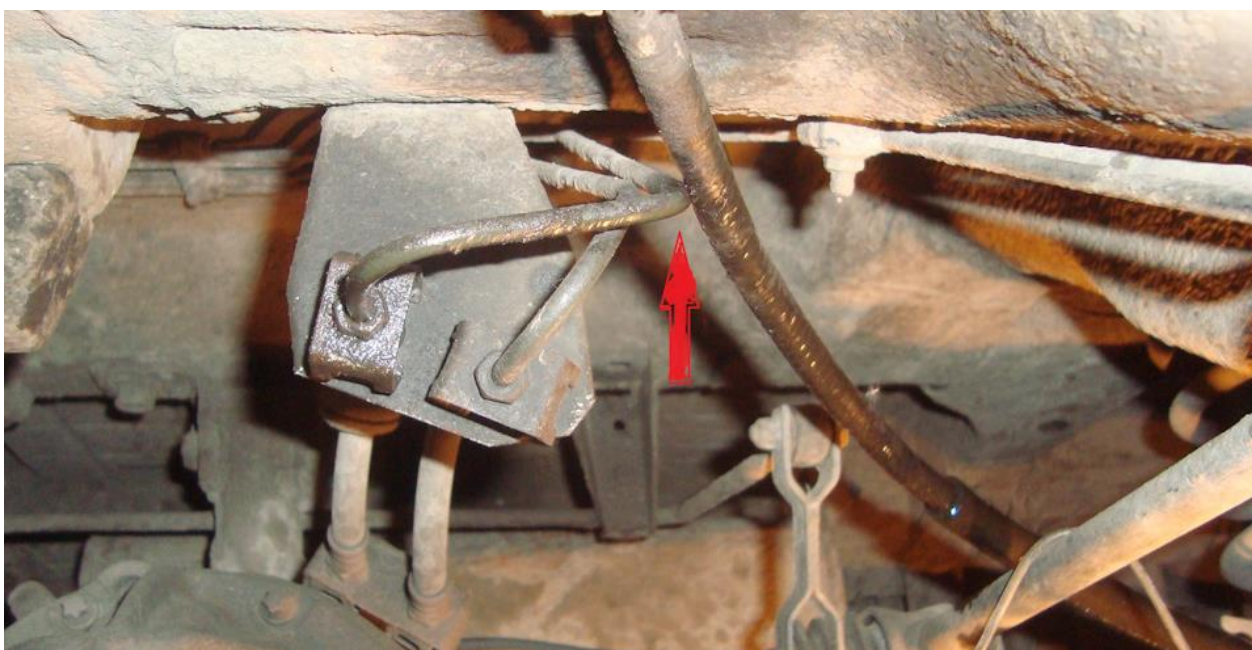


Рисунок 28 – Протираание тормозных трубок об шланг ручного тормоза

Также на многих автомобилях наблюдается контакт тормозной трубки с трубкой сцепления (рисунок 29).

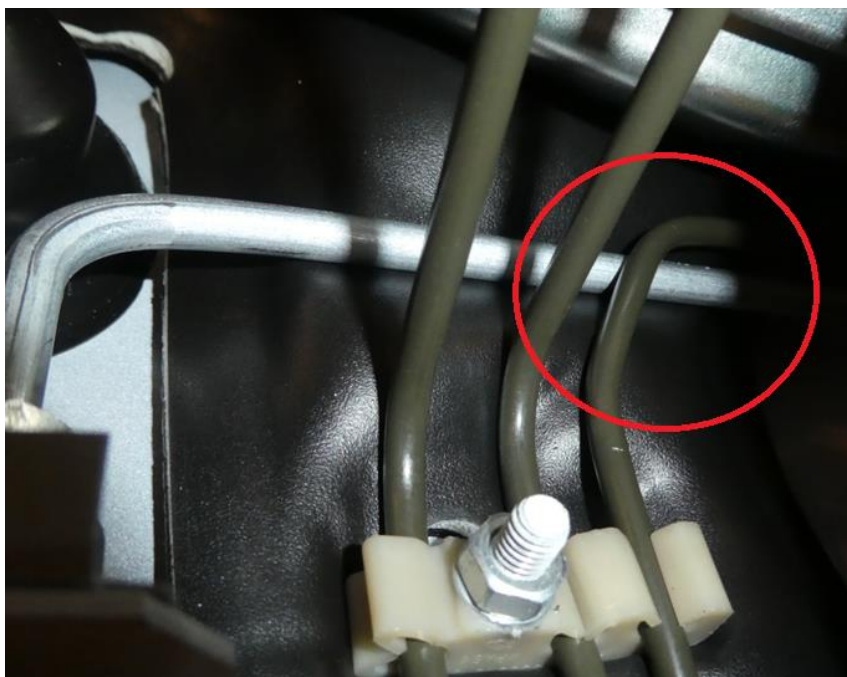


Рисунок 29 – Контакт тормозной трубки и трубки сцепления

Помимо вышеописанных дефектов, на автомобилях LADA Niva Travel с механическим регулятором тормозных усилий наблюдается контакт между тормозной трубкой и кузовом (рисунок 30).

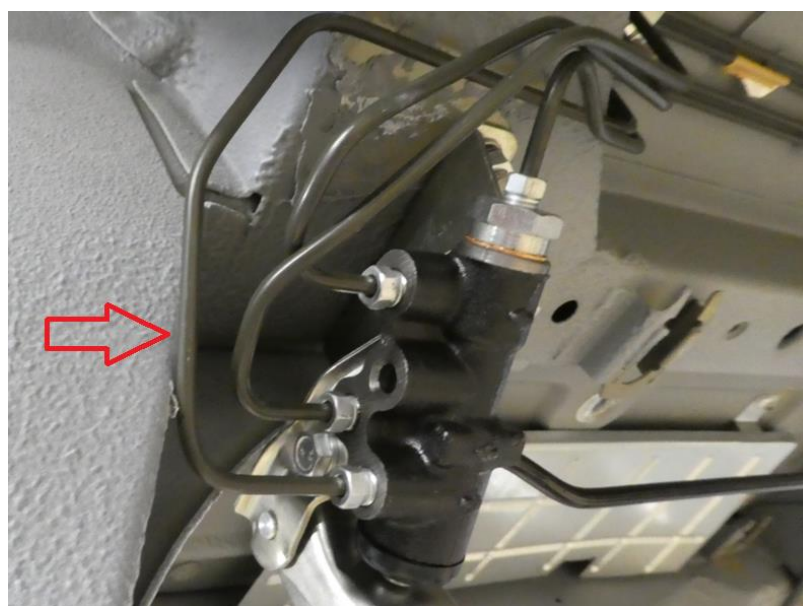


Рисунок 30 – Контакт тормозной трубки с кузовом

Подобный вышеописанному дефекту существует и на LADA Niva Legend (рисунок 31).

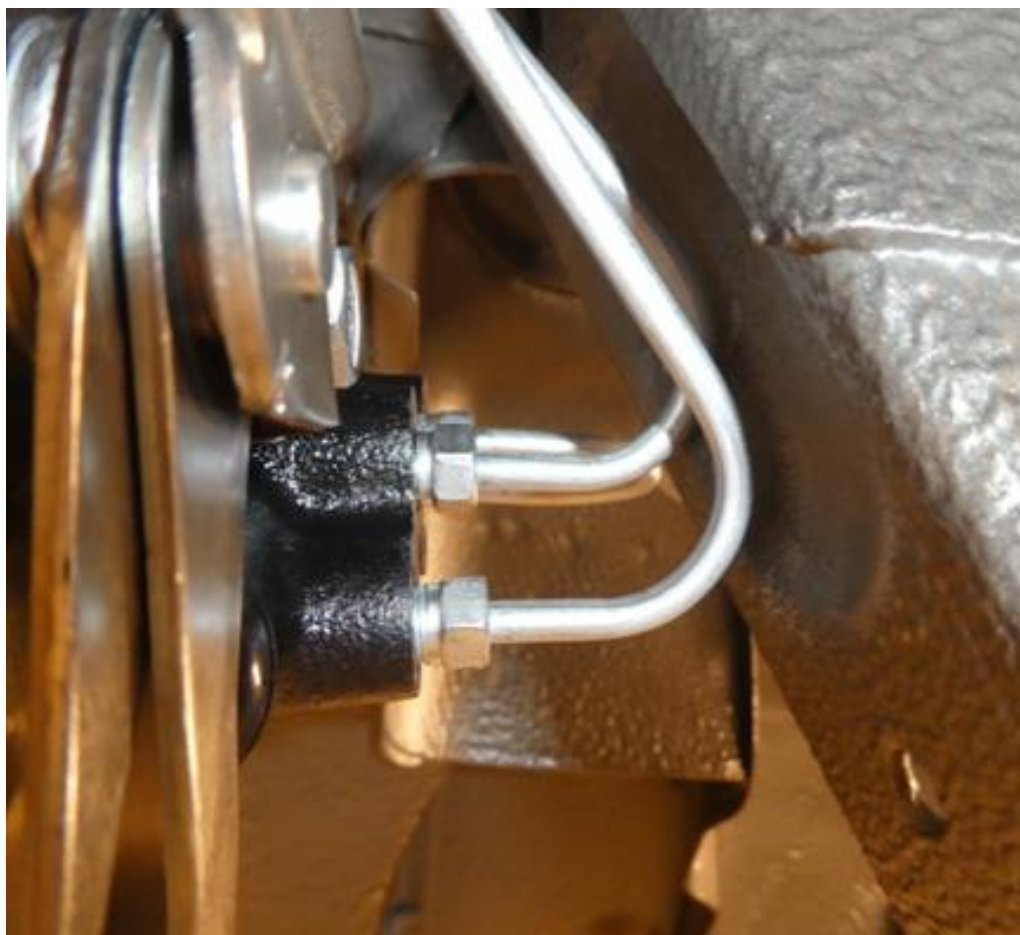


Рисунок 31 – Контакт тормозной трубки с кузовом

Также многие владельцы данных автомобилей жалуются на плохое качество и небольшой ресурс и долговечность многих элементов тормозной системы [4].

2.1.4 Дефекты тормозных трубок автомобилей LADA Largus и XRay

На автомобиле Largus и XRay не удалось найти каких-либо отрицательных отзывов владельцев о проблемах, связанных с тормозными трубками, так как автомобиль собирается на известной французской платформе B0, которая разрабатывалась и совершенствовалась долгие годы

компанией Renault, в которой существуют определённые правила проектирования и компоновки узлов тормозной системы.

Несмотря на все эти инженерные решения, у данных автомобилей все равно наблюдается очень много дефектов, связанных с контактами и перетиранием различных узлов автомобиля, в частности и в тормозной системе.

На рисунке 32 можно увидеть перетирание тормозных передних тормозных шлангов автомобиля Largus об выступы боковых дефлекторов («пыльников»), прикрепленных к передней части лонжеронов и повторяющих форму стоек крепления подрамника передней подвески.



Рисунок 32 – Протирание передних тормозных шлангов об дефлекторы

Также у автомобиля LADA Largus в марте 2021 г. был обнаружен очень серьёзный дефект [11], из-за которого компания LADA проводила масштабную отзывную кампанию. Он заключался в перетирании шланга вакуумного усилителя тормозов о шпильку массы (рисунок 33). Разрушение шланга ВУТ может привести к полному выведению вакуумного усилителя тормозов из строя.



Рисунок 33 – Перетираание шланга ВУТ об шпильку массы

По моему мнению, необходимо провести анализ и выявить причины вышеперечисленных дефектов тормозных трубок автомобилей LADA, чтобы предложить способы решения.

2.2 Анализ дефектов и поиск решения проблемы износа тормозных трубок

Проведя анализ дефектов тормозных трубок на примере автомобилей LADA, можно сделать вывод, что они вызваны в основном конструкторскими просчётами, ведь основные причины их возникновения в следующем:

- неправильная компоновка и расположение тормозных трубок на очень близком расстоянии к другим автомобильным узлам и деталям, что вызывает между ними контакт с дальнейшим разрушением

(протираем) друг друга во время эксплуатации транспортного средства;

- экономия на качественных дорогостоящих материалах и покрытиях;
- отсутствие дополнительной защиты в зонах повышенной температуры, а также постоянного контакта с грязью, водой и пылью, что в дальнейшем может вызвать коррозию.

По моему мнению, на данный момент существует несколько способов решения вышеперечисленных проблем:

- рассмотреть способы ремонтпригодности тормозных трубок;
- разработка или заимствование современных правил проектирования и компоновки узлов тормозной системы;
- проектирование новой конструкции тормозных трубок с защитными рукавами.

Я считаю, что нужно рассмотреть и провести анализ, а также технико-экономический расчёт каждого из этих способов и выбрать наиболее возможный и положительный для внедрения на производстве, чтобы в дальнейшем попытаться избежать появления всех видов дефектов и тем самым повысить эксплуатационные свойства тормозных трубок.

2.3 Анализ способа ремонтпригодности тормозных трубок

Проведя анализ на основе данных о требованиях к тормозным трубкам, их номенклатуре и факторах износа, можно сделать следующие выводы: замена тормозных трубок в случае выявления каверн, вздутий или протечек должна выполняться целиком, так как ремонт вставками или пайкой недопустим, как и эксплуатация поврежденных деталей [13].

Заменить заводские тормозные трубки можно на стальные, медные или медно-никелевые. На легковых автомобилях стоят тормозные трубки диаметром 4,75 мм; толщина стенки у стальных трубок 0,71 мм, у медных – 0,9 мм, у медно-никелевых – 0,71 мм. Идеальным выбором будут медно-

никелевые трубки из-за улучшенных параметров, таких как: коррозионная стойкость, стандартное внутреннее проходное сечение 4,75 мм, а также лёгкость монтажа за счёт эластичности данного материала. Но у них есть недостаток в качестве большой цены. Для примера, медно-никелевые тормозные трубки стоят в 3 раза дороже, чем стальные.

Подводя итоги, можно сказать, что данный способ подходит для замены вышедших из строя тормозных трубок, однако он не решает нашу главную проблему, соответственно дефекты на них будут также появляться при дальнейшей эксплуатации автомобиля, что вызовет постоянные растраты владельца при прохождении определённого пробега транспортного средства.

Исходя из вышеперечисленного, способ ремонтпригодности не сможет повысить эксплуатационные качества тормозных трубок и при дальнейшей работе мы его рассматривать не будем.

2.4 Анализ современных правил проектирования и компоновки узлов тормозной системы

В компании Renault существуют правила проектирования и компоновки всех автомобильных узлов, включая тормозную систему, согласно которым должны выдерживаться максимально возможные расстояния, а точнее минимум 10 мм между тормозными трубками и другими деталями автомобиля, которые находятся в статичном состоянии по отношению к ним. А также 15 мм, если у деталей есть возможность перемещаться во время эксплуатации автомобиля. Всё это сделано для того, чтобы предотвратить всевозможные контакты автомобильных узлов и снизить, либо полностью исключить вероятность появления дефектов.

Данные правила очень хорошо себя зарекомендовали и в настоящий момент активно используются при проектировании всех новых моделей компании Renault. Хочу отметить, что компания LADA заимствовала и пользуется ими, но как уже описывалось в п. 3.3 даже данные правила не

всегда позволяют полностью исключить возможные контакты группы деталей. По моему мнению, это может быть связано со следующими неблагоприятными факторами:

- изначально неправильно продуманные платформы автомобилей, что вызвало проблемы с компоновкой новых современных групп деталей, таких как различные электронные блоки управления (ABS, ESP и т.д.), которые, в свою очередь, требуют кронштейны крепления, различные жгуты подключения и, конечно же, электрическую проводку;
- использование устаревших нетурбированных силовых агрегатов большого объёма, которые заполняют большинство подкапотного пространства, что опять же вызывает затруднения при компоновке и проектировании;
- в более дешёвых комплектациях автомобилей используются неформованные шланги, которые имеют свойство «провисать» и перемещаться во время движения автомобиля, тем самым касаясь о различные группы деталей и протираясь.

Все эти факторы затрудняют применение современных правил проектирования и поэтому в некоторых местах конструктора не пользуются этими правилами из-за логической невозможности их применения, что в дальнейшем приводит к дефектам, которые описываются в разделе 3.

Таким образом, можно сказать, что данные правила уникальны и при исключении негативных факторов могут полностью исключить все дефекты, а также облегчить работу инженерам-компоновщикам. Но к сожалению, для исключения всех факторов потребуются большие вложения, что на данный момент времени невозможно.

Подводя итоги второго раздела, можно сделать следующие выводы:

- исходя из вышеперечисленного, разработка или заимствования современных правил проектирования и компоновки узлов тормозной системы не позволит нам полностью избавиться от дефектов

тормозных трубок или повысить их эксплуатационные качества, но при этом сильно поможет при компоновке и проектировании новой конструкция тормозных трубок с защитным рукавом, чтобы исключить всевозможные риски контактов и протираний в дальнейшем;

- тормозные трубки на автомобилях LADA имеют достаточное количество дефектов, при анализе которых выявлено, что они вызваны конструкторскими просчётами, а точнее невозможностью соблюдения нужного архитектурного зазора с окружающими деталями транспортного средства из-за небольших габаритов автомобилей и устаревших правил проектирования и компоновки узлов тормозной системы.

3 Проектирование новой конструкции тормозных трубок

Для того, чтобы избежать больших экономических растрат на замену вышедших из строя трубок, а также растрат на разработку современных правил проектирования, была поставлена цель – спроектировать новую конструкцию тормозных трубок, которая могла бы увеличить ресурс, а вместе с ним и эксплуатационные качества в 1,5-2 раза при минимальных затратах.

Так как в большинстве случаев тормозные трубки разрушаются в последствии прямого контакта с другими деталями (электрические жгуты, шланги и т.д.) автомобиля и из-за естественного механического воздействия частиц грунта и камней, летящих из-под колес во время эксплуатации транспортного средства, а также из-за воздействия высоких температур, исходящих из коллектора двигателя, то была разработана и спроектирована новая конструкция тормозных трубок с защитными рукавами (рисунок 34).

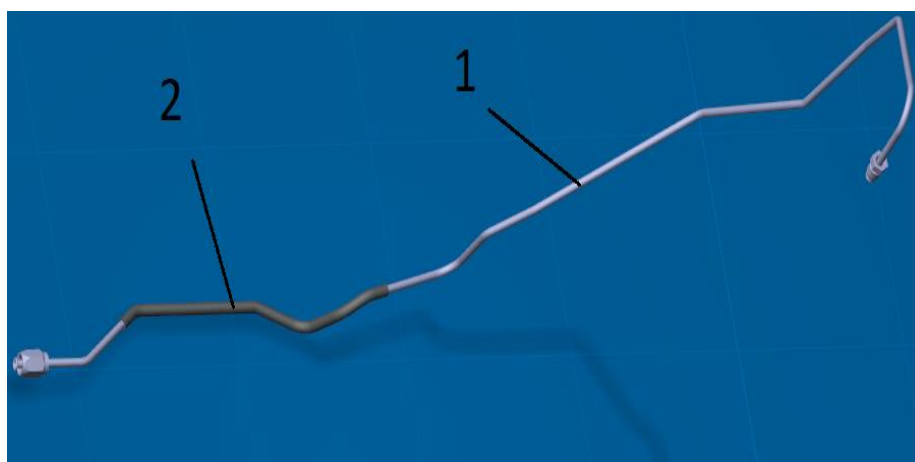


Рисунок 34 – Тормозная трубка с защитным рукавом

Данная конструкция состоит из тормозной трубки 1 и защитного рукава 2, месторасположение и длина которого будут зависеть от самых уязвимых участков тормозной трубки, где есть высокая вероятность контакта с другими деталями из-за невозможности соблюдения архитектурного зазора

и правильной компоновки. Соответственно у каждой модели автомобиля LADA будут найдены подобные места и спроектированы оригинальные защитные рукава, которые будут защищать тормозную трубку от протираний, что позволит повысить её ресурс и долговечность, а также эксплуатационные качества в несколько раз.

Исходя из вышеперечисленного, можно отметить несколько важных достоинств данной конструкции:

- защитный рукав можно зафиксировать на любом проблемном участке стандартной заводской тормозной трубки, поэтому нет необходимости проектировать её новую трассу;
- в целях экономии материала, можно использовать несколько защитных рукавов разной длины, которые будут установлены на особо уязвимых местах, на одной тормозной трубке;
- при полном износе защитного рукава можно будет заменить его на новый, при этом не меняя тормозную трубку, что является большой экономией;
- весьма низкие затраты на внедрение данной конструкции на производстве.

Таким образом, данная конструкция тормозных трубок не поможет нам полностью избавиться от дефектов, но с помощью защитного рукава, определённо, увеличится стойкость, ресурс и долговечность трубопровода в уязвимых зонах, тем самым повысит эксплуатационные качества при наименьших затратах. Это соответствует нашей поставленной цели.

3.1 Применяемость защитных рукавов в мире

Для того чтобы провести обзор применяемости защитных рукавов для тормозных трубок, были выбраны самые известные и популярные в России и мире автомобильные бренды, такие как: Kia, Hyundai, Volkswagen, Skoda, Audi, BMW, Renault, Ford, УАЗ, Volvo, Subaru, Suzuki, Toyota.

Обзор показал, что абсолютно все вышеприведённые бренды, используют защитные рукава для тормозных трубок. Также стоит отметить, что некоторые бренды используют защитные рукава не только для тормозных трубок, но и для тормозных шлангов (рисунок 35), что говорит о универсальности применения данного типа защиты.



Рисунок 35 – Тормозной шланг с защитным рукавом

При этом можно отметить, что автомобильные производители чаще всего используют защитные рукава именно в подкапотном пространстве и преимущественно на автомобилях Б-класса, для которых свойственно иметь небольшие габариты. Как уже описывалось выше, именно из-за этого невозможно соблюсти архитектурные зазоры между соседними деталями и узлами транспортного средства.

На автомобилях LUX-класса и повышенной проходимости (внедорожников), таких брендов как BMW, Audi, Volkswagen и т.п., производители стараются применять защитные рукава практически по всей длине тормозных трубок (рисунок 36) и шлангов (рисунок 37). В основном это связано с прогнозируемыми условиями эксплуатации данных типов транспортных средств, чтобы полностью защитить тормозную систему от протираний и течи тормозной жидкости в суровых условиях бездорожья, тем

самым демонстрируя высокую надёжность и безопасность автомобиля. Это вызывает доверие и приверженность к бренду у клиента [6].



Рисунок 36 – Тормозная трубка и шланг с защитными рукавами



Рисунок 37 – Тормозной шланг с защитными рукавами

Как уже отмечалось ранее, некоторые производители устанавливают несколько защитных рукавов на одной тормозной трубке (рисунок 38)



Рисунок 38 – Тормозная трубка с несколькими защитными рукавами

Это сделано с целью экономии материала защитных рукавов. Таким образом, производитель размещает их только на самые уязвимые участки тормозной трубки.

3.2 Номенклатура защитных рукавов

Для того, чтобы подробно изучить номенклатуру защитных рукавов требуется специальная техническая документация на данный тип продукта, которую невозможно найти во всевозможных источниках из-за конфиденциальности частных коммерческих компаний, но в связи с тем, что компания Renault и LADA активно сотрудничают и делятся опытом в области машиностроения, существуют общие требования по использованию и применению защитных рукавов для тормозных трубок, а также технические требования – это критерии устойчивости к истиранию и дополнительные подтверждающие тесты и проверки, связанные с устойчивостью к физико-химической среде автомобиля.

В связи с тем, что защитные рукава являются элементом безопасности, в компании Renault они применяются не только на тормозные трубки, но и на

топливные, а также различные шланги и электрические жгуты цилиндрической формы.

В связи с этим защитные рукава делятся на 5 категорий, которые распределены следующим образом (таблица 2): в зависимости от инструмента, с помощью которого рукава будут испытаны.

Таблица 2 – Категории защитных рукавов

Категория	Инструмент для проверки защитных рукавов
C1	резиновая трубка
C2	чугун
C3	изношенный нож
C4	острая кромка пластика
C5	острая металлическая кромка

Из вышеприведённой таблицы видно, что защитные рукава были постепенно разделены на 5 категорий в соответствии с их уровнем эффективности (C1 – самый низкий уровень, C5 – самый высокий).

В связи с тем, что тормозные трубки являются компонентом безопасности, соответственно их защита от окружающих деталей требует высокого уровня защиты и должна быть выполнена с особой тщательностью. Поэтому на них должны быть установлены защитные рукава категорий C3, C4.

Эти 2 категории выбираются в зависимости от окружающей формы или частей узлов и деталей, независимо от их расположения в транспортном средстве (таблица 3).

Стоит отметить, что согласно данным, приведенным в таблице 3, компания Renault допускает возможность и учитывает контакт защитных рукавов разных категорий друг с другом.

Таблица 3 – Категории защитных рукавов для тормозных трубок

Категории защитных рукавов	Окружающие формы/детали
С3 (Изношенный нож)	плоская или слегка изогнутая металлическая форма
	плоская пластиковая форма (без стекловолокна)
	агрессивная металлическая или пластиковая форма (без стекловолокна) $R \geq 2$
	металлическая трубка
	мастика (не плоская)
	литье (не обрезное)
	жгут
	головка винта, головка болта, резьба
	впитывающая сторона (без стекловолокна) или плоская поверхность
	рукав категории С3 или менее
С4 (Острая кромка пластика)	точечная сварка, дуговая сварка заусенцев и стыков
	кромка панели (толщина < 7мм)
	плоская пластиковая форма со стекловолокном
	агрессивная металлическая или пластиковая (со стекловолокном или без него) форма $R < 2$
	литье по краям
	абсорбирующая сторона (загруженная стекловолокном)
	сторона с тепловым экраном
	категория рукава С4 или менее

Разница категорий С3 и С4 заключается в толщине защитного рукава – 1 и 2 мм соответственно.

3.2.1 Материал защитных рукавов

подавляющее большинство защитных рукавов изготавливаются из термоусадочных полимерных материалов. От выбора полимера зависит большинство характеристик термоусадки.

В компании Renault используют двустенные защитные рукава.

Внешняя оболочка должна быть изготовлена из модифицированного полиолефина и быть сшитой. Внутренняя оболочка должна представлять собой расплавляемый клей. Двустенная трубка должна быть однородной, без

изъянов, дефектов, пузырей, проколов, швов, трещин или включений, и каждая стенка должна быть однородной.

Полиолефины (PE) – синтетические продукты полимеризации олефинов. Распространенные полиолефины: полиэтилен (PE), полипропилен (PP) и этиленвинилацетат (EVA, сэвилен), композиция которого используется как термоплавкий клей для термоусадочных трубок. В промышленности важны также полиизобутилен и этилен-пропиленовый каучук (EPDM-резина). По масштабам производства и широте областей применения полиолефины занимают первое место среди синтетических полимеров [23].

Из них методом экструзии получают пленку, трубы, шланги, листовые материалы, кабельные изделия, различные емкости, тару, профильные и другие изделия [4].

Профильные изделия чаще всего экструдируют из полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и его сополимеров, полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), полипропилена (ПП). Иногда применяется линейный полиэтилен низкой плотности ЛПЭНП (1ШРЕ). Профили из высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ) производят методом плунжерной экструзии или механической обработкой полуфабрикатов из него – плит, стержней.

По сравнению с ПВХ полиолефины реже применяются для производства профилей, тем не менее, они имеют свои области применения. Например, если требуются хорошие диэлектрические свойства или высокая пробивная электрическая прочность, контакт с пищевыми продуктами, повышенная морозостойкость, стойкость к химически агрессивным средам.

В компании Renault, как и в других иностранных компаниях, защитные рукава производят из полиэтилена низкой плотности (ПЭНП), свойства которого представлены в таблице 4.

Характеристики:

- высокая химическая стойкость к большинству химически активных сред;

- высокая пробивная электрическая прочность и хорошие диэлектрические показатели;
- жесткость;
- стабильность размеров изделий в широком диапазоне температур;
- хорошая окрашиваемость;
- сохранение достаточно высокой прочности и эластичности при низких температурах.

Таблица 4 – Основные свойства полиэтилена низкой плотности (ПЭНП)

Свойства	ПЭНП (ПЭВД)
Плотность, кг/м ³	918-935
Температура плавления, °С	105-115
Температура размягчения, °С	60-65
Мол. масса промышленных марок, 10 ⁻⁴	2-5
Модуль упругости при изгибе, МПа	80-160
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	10-16
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	12-17
Относительное удлинение, %	150-600
Ударная вязкость, кДж/м ²	образец не ломается
Твердость по Бринеллю, МПа	15-25
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	2,1-2,8
Коэффициент температуропроводности, Вт/(м·К)	0,2-0,3
Коэффициент линейного расширения, 10 ⁴ град ⁻¹	2,2-2,5
Показатель текучести расплава, г/10 мин.	0,2-20

Производство этого класса полимеров в мире постоянно растет.

Для изготовления полиолефиновых термоусадочных трубок применяется радиационно или химически «сшитый» полиэтилен с пластификаторами, подавителями горения, красителями и UV-фильтрами.

В мире из полиолефинов изготавливают 90 % термоусадочных трубок. Их свойства похожи из-за общего материала-основы, отличия зависят от сырья, добавок и технологии производства.

Полиолефины обладают хорошей гибкостью в широком температурном диапазоне и достаточной для повседневных задач механической прочностью. Из-за очень хорошей электрической прочности изделия из полиэтилена используются как электрическая изоляция. Из модифицированного полиэтилена изготавливают внешние изоляционные оболочки высоковольтных кабелей, изоляторы низковольтного оборудования, водопроводные трубы, пленки, прокладки и шайбы.

Модифицированные полиолефины устойчивы к концентрированным и разбавленным кислотам, эфирам, спиртам, альдегидам, кетонам и растительным маслам. Кратковременно способны выдержать воздействие алифатических и ароматических углеводородов (бензол), минеральных масел и сильных окислителей. При этом материал медленно и необратимо разрушается в длительном контакте с ГСМ. Галогенсодержащие углеводороды разрушают полиолефины быстро.

Диапазон рабочих температур полиэтиленовых трубок: от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому их применяют как внутри, так и снаружи помещений. Некоторые тугоплавкие композиции на основе полиолефина могут иметь повышенную рабочую температуру: до $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, но столь высокие эксплуатационные температуры являются для полиолефинов предельными. В зависимости от композиции материала меняется и температура усадки полиолефиновых трубок. Низкотемпературные трубки начинают усадку при $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, а высокотемпературные трубки требуют для полной усадки нагрева до $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.2 Установка, размер и положение защитных рукавов

В связи с тем, что защитный рукав имеет свойства термоусадочных трубок, соответственно технология установки у них аналогична: рукав надевают на тормозную трубку после того, как установили наконечник на

одной из сторон (рисунок 39), после чего он подвергается нагреву до температуры свыше 115 °С и его внутренний диаметр уменьшается до заранее определённого нужного размера.



Рисунок 39 – Установка защитного рукава

Размер защитного рукава должен быть выбран в соответствии с наружным диаметром тормозных трубок (таблица 5), а номинальная толщина его стенки должна составлять минимум 1 мм (в зависимости от окружающих деталей в автомобиле).

Таблица 5 – Размеры защитных рукавов

Диаметр тормозной трубки, мм	Внутренний диаметр защитного рукава до нагрева, мм	Внутренний диаметр защитного рукава после нагрева, мм	Номинальная толщина стенки защитного рукава, мм
4,75	6	4,7	1
6	8	6,1	1
8	10	7,4	1
10	12	7,4	1

Положение защитного рукава должно быть гарантировано в течение всего срока службы автомобиля. В случае, если рукав не обладает внутренним клеевым слоем, то его перемещение по тормозным трубкам должно быть остановлено путем добавления клейкой ленты на его концах или

за счет трения, допускаемого из-за изогнутой формы трубок. Если клейкая лента на концах не установлена, срез рукава должен быть чистым и исключать появление заломов.

3.3 Тесты и испытания защитных рукавов

Для того чтобы убедиться в качестве защитных рукавов, они должны быть проверены в следующих условиях:

- стойкость к истиранию,
- выносливость,
- огнестойкость,
- влагостойкость,
- ударопрочность,
- периодический контакт с автомобильными жидкостями (моторное масло, тормозная жидкость и т.п.);
- термостойкость.

3.3.1 Стойкость к истиранию

Стойкость к истиранию защитных рукавов является одной из ключевых свойств данного элемента безопасности. Именно от неё зависит повышенный ресурс и долговечность, а также качество защитных рукавов.

В компании Renault она определяется не расчетным, а экспериментальным способом. В соответствии с процедурой испытания на образцах исходного состояния, которая представляет собой гипотетический тяжелый жизненный цикл транспортного средства.

Необходимые параметры для данного испытания, которое проводится на специальном испытательном стенде, представлены в таблице 6.

В конце испытания, после прохождения 288 000 циклов на каждой оси, не допускается наличие следов на испытуемых образцах, иными словами – отсутствие воздействия абразивного износа, уровень которого должен быть

равен или выше уровня С3 согласно данным, которые были представлены в таблице 2.

Таблица 6 – Параметры для испытания стойкости к истиранию

Инструменты	В зависимости от случая применения защитного рукава и его окружения в автомобиле выбирается изношенный нож (С3) или острая кромка пластика (С4)
Частота	10 Гц
Амплитуда	10 мм
Температура	120 °С
Количество циклов	288000
Оси	Х и Y
Масса	200 г

3.3.2 Испытание на выносливость

Испытание на выносливость заключается в прохождении транспортного средства участка общей протяжённостью 30000 км по асфальтированной дороге, которая включает в себя 3360 км дороги плохого качества (просёлочной), а также 523 км железа, имеющего форму серии правильных складок (гофрированное железо).

Испытание на выносливость считается успешно выполненным при достижении следующих результатов:

- нет смещения защитного рукава на тормозной трубке;
- отсутствие разрывов защитного рукава;
- никакого износа окружающих деталей.

3.3.3 Требования к физико-химическим характеристикам

Для завершения проверки стойкости к истиранию должны быть проведены различные испытания, чтобы продемонстрировать, что защитные рукава адаптированы к глобальным условиям эксплуатации транспортного средства без ухудшения характеристик.

Физико-химические характеристики защитных рукавов и требования к ним представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Требования к физико-химическим характеристикам

Физико-химические характеристики	Требования
Токсичность/огнестойкость	деталь должна быть самозатухающей
Влагостойкость	нет деформации, отслоения изменение размеров < 8 %
Ударопрочность	без разрывов и трещин
Периодический контакт с жидкостями	нет деформации, отслоения изменение размеров < 8 %
Термостойкость (ускоренное старение)	без разрушения, изменение размеров < 8 %

Подводя итоги третьего раздела, можно сделать следующие выводы:

- защитные рукава активно применяют большинство мировых автомобильных компаний;
- защитные рукава имеют небольшую номенклатуру из-за простоты конструкции;
- материал защитных рукавов идентичен материалу термоусадки.

Таким образом, все свойства защитных рукавов идеально подходят для надёжной защиты тормозных трубок, но для того чтобы быть уверенным в их эффективности, нужно провести эксперимент на стойкость к истиранию и коррозии.

4 Экспериментальные исследования эффективности применения защитных рукавов

Для того чтобы быть уверенным в повышении эксплуатационных свойств тормозных трубок с защитными рукавами, необходимо доказать повышение таких эксплуатационных показателей, как:

- ресурс,
- долговечность,
- стойкость.

Но рассчитать данные показатели невозможно из-за сложности частного случая абразивного износа при разной эксплуатации транспортного средства [12]. Поэтому было принято решение о проведении эксперимента на стойкость к истиранию тормозных трубок с защитными рукавами по методике компании Renault, а также эксперимента на стойкость к коррозии.

4.1 Эксперимент на стойкость к истиранию

Провести эксперимент на стойкость к истиранию можно 2 способами при помощи:

- испытательного стенда,
- непосредственно самого транспортного средства.

В связи с тем, что для появления каких-либо результатов при эксплуатации транспортного средства потребуется большое количество времени на прохождение тысяч километров, было принято решение о проведении эксперимента на испытательном стенде.

Эксперимент заключается в сравнительном испытании на стойкость к истиранию посредством трения на разработанной испытательной установке тормозной трубки как без защитного рукава, так и с рукавом, тем самым имитируя гипотетический тяжелый жизненный цикл транспортного средства.

Для проведения данного эксперимента, в качестве исходного образца, была приобретена стандартная стальная тормозная трубка (рисунок 40) диаметром 4,75 мм, которая на данный момент применяется на семействе автомобилей LADA Niva.



Рисунок 40 – Тормозная трубка в качестве исходного образца

В качестве защитного рукава была приобретена термоусадка (рисунок 41) из полиолефина с внутренним диаметром 6 мм.



Рисунок 41 – Термоусадка в качестве защитного рукава

Так как окружающие и контактирующие с тормозной трубкой детали в автомобиле можно представить в виде стального тупого (изношенного) ножа или тупой кромки пластика, то в качестве испытательного инструмента было принято решение использовать электрический лобзик Интерсокол МП-65/550Э (рисунок 42) с развернутой в противоположную сторону режущей пилкой, которая будет совершать возвратно-поступательные движения, создавая трение и, тем самым, имитируя процесс протирания.



Рисунок 42 – Электрический лобзик с развернутой пилкой

В таблице 8 представлены технические характеристики данного электрического лобзика.

Таблица 8 – Технические характеристики электрического лобзика

Потребляемая мощность, Вт	550
Частота, Гц	5...50
Ход штока, мм	10

Стоит отметить, что во время проведения испытания при работе лобзика будут задействованы такие же технические характеристики, как и в испытании компании Renault, а именно:

- частота 10 Гц,
- ход штока 10 мм.

Для того чтобы имитировать закрепление тормозных трубок, как на транспортном средстве, была разработана специальная испытательная установка, где в качестве крепления трубопровода с двух сторон используются механические тиски (рисунок 43).

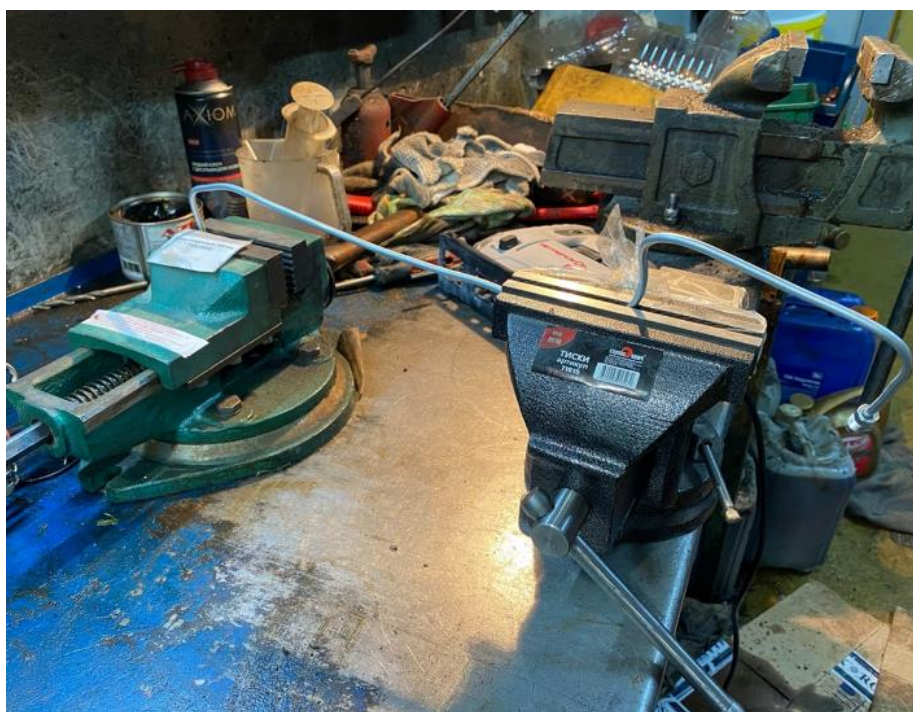


Рисунок 43 – Испытательная установка с закреплённой тормозной трубкой

На рисунке 44 представлена полностью собранная испытательная установка. Электрический лобзик, жестко закрепленный в механических тисках, подносится к закреплённой тормозной трубке до момента касания (рисунок 45). После этого на него подаётся питание и начинается возвратно-поступательное движение тупой пилкой по тормозной трубке.



Рисунок 44 – Испытательная установка с закреплённой тормозной трубкой



Рисунок 45 – Касание обратной стороны пилки о тормозную трубку

Длительность данного испытания составила 3 ч или 108000 циклов работы пилки, что является достаточным для появления результата. На рисунке 46 четко видно углубление на цилиндрической поверхности тормозной трубки без защитного рукава, которое составил 1 мм вглубь.



Рисунок 46 – Результат эксперимента на стойкость к истиранию тормозной трубки без защитных рукавов

После проведения первого этапа эксперимента надеваем и усаживаем с помощью нагрева на данную тормозную трубку нашу термоусадку

(рисунок 47), которая по своим свойствам и материалу полностью соответствует защитным рукавам.



Рисунок 47 – Термоусадка на тормозной трубке в качестве защитного рукава

И теперь устанавливаем на нашу собранную испытательную установку (рисунок 48).



Рисунок 48 – Испытательная установка с закреплённой тормозной трубкой с защитным рукавом

После проведения эксперимента, аналогичного предыдущему с теми же режимами и одинаковыми техническими характеристиками, получили результат, который представлен на рисунке 49.

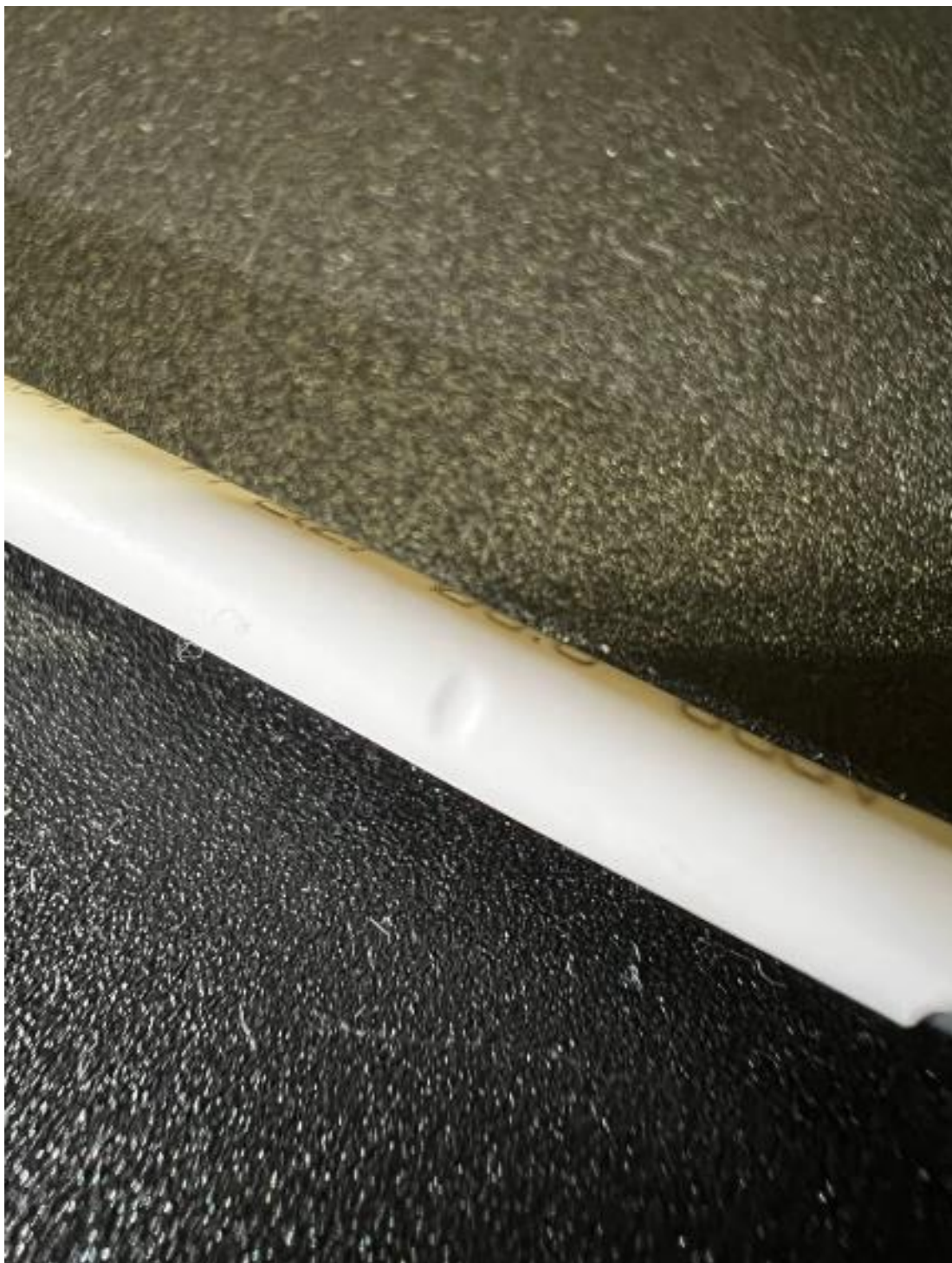


Рисунок 49 – Результат эксперимента на стойкость к истиранию тормозной трубки с термоусадкой

Из полученного результата видно, что в зоне контакта с пилкой присутствует небольшая потёртость, но при этом износа термоусадки с последующим разрушением не произошло, что говорит о высокой эффективности защитных рукавов и отличной стойкости к истиранию. Тормозная трубка в данной зоне под термоусадкой не получила абсолютно никаких повреждений (рисунок 50).



Рисунок 50 – Отсутствие следов износа на тормозной трубке

Таким образом можно сделать вывод, что эксперимент удался и защитные рукава действительно за счёт улучшенной стойкости к истиранию повышают эксплуатационные свойства тормозных трубок.

4.2 Эксперимент на стойкость к коррозии

Как уже описывалось ранее, защитные рукава являются защитой не только против абразивного износа в зоне контакта с близко расположенными деталями автомобиля, но и против коррозии.

Известно, что коррозия начинает проявляться на тормозных трубках после попадания на них воды и различных автомобильных жидкостей. Но эффективнее всего она проявляется после попаданий различных камней,

летающих из-под колёс в процессе эксплуатации транспортного средства. Камни и щебень могут наносить серьёзные сколы, в которые попадает грязь, вследствие чего тормозные трубки корродируют намного быстрее.

Защитный рукав из-за прочной структуры полиолефина, а также плотного прилегания к тормозной трубке должен справляться с данной проблемой, поэтому было принято решение о проведении эксперимента на стойкость к коррозии.

Эксперимент заключается в эксплуатации транспортного средства с закреплённой под днищем кузова тормозной трубки с термоусадкой, которая будет выполнять функции защитного рукава, в течение 10000 км в зимнее время года.

Для проведения данного была приобретена стальная тормозная трубка диаметром 4,75 мм (рисунок 51).



Рисунок 51 – Тормозная трубка

В качестве защитного рукава была приобретена термоусадка (рисунок 52) из полиолефина, которая по своим свойствам и материалу полностью соответствует защитным рукавам, с внутренним диаметром 6 мм.



Рисунок 52 – Термоусадка в качестве защитного рукава

Данную термоусадку надеваем с помощью нагрева на тормозную трубку (рисунок 53).



Рисунок 53 – Термоусадка на тормозной трубке

Устанавливаем нашу тормозную трубку с термоусадкой на задний мост (одно из самых уязвимых мест автомобиля, которое всегда контактирует с грязью и водой) транспортного средства и закрепляем с помощью специальных стяжек (рисунок 54).



Рисунок 54 – Закрепленная тормозная трубка с термоусадкой

Спустя 10000 км эксплуатации транспортного средства в зимнее время года снимаем нашу трубку и фиксируем результат (рисунок 55).



Рисунок 55 – Результат эксперимента стойкости к коррозии

Результатом данного эксперимента является отсутствие каких-либо следов попадания грязи или жидкости внутрь термоусадки, в отличие от незащищённых участков трубопровода, где наблюдается повышенный слой грязи, пыли и высохшей жидкости, полученной во время эксплуатации транспортного средства. Это ещё раз говорит о высокой эффективности применения защитных рукавов на тормозных трубках.

Подводя итоги четвёртого раздела, можно сделать следующий вывод: эксперименты на стойкость к истиранию и коррозии показали и доказали наглядную и высокую эффективность применения защитных рукавов на тормозных трубках, повышая их эксплуатационные свойства, что являлось главной целью данной магистерской диссертации.

Заключение

В данной магистерской диссертации был выполнен анализ существующей конструкции тормозных трубок, выявлены уязвимые места, на основе которых найдено оптимальное техническое решение, путём введения новой конструкции тормозных трубок.

Было определено, а также доказано, что применение конструкции тормозных трубок с защитными рукавами, существенно повышает эксплуатационные свойства трубопроводов, эффективно защищая их от истирания и коррозии.

Целью магистерской диссертации являлся поиск и разработка новых способов повышения эксплуатационных свойств тормозных трубок, таких как надёжность, долговечность, стойкость и ресурс.

Для достижения заданной цели решены следующие задачи:

- проведён анализ классификации и номенклатуры существующих конструкций тормозных трубок;
- проведён анализ возникновения дефектов тормозных трубок на автомобилях LADA, на основании которого предложены способы решения;
- проведён анализ новых способов повышения эксплуатационных свойств тормозных трубок, на основании которого выбран наиболее технико-экономически выгодный;
- предложена новая конструкция тормозных трубок с защитными рукавами;
- проведён анализ классификации и номенклатуры существующих защитных рукавов и их применения в мире;
- с помощью экспериментов доказана эффективность применения защитных рукавов.

Список используемых источников

1. Афанасьев Л. Л., Дьяков А. Б., Иларионов В. А. Конструктивная безопасность автомобиля. М.: Машиностроение, 1983. 212 с.
2. Баурова Н. И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин. М.: ИНФРА-М, 2019. 264 с.
3. Великанов Д. П. Эксплуатационные свойства автомобиля. М.: Автотрансиздат, 1962. 399 с.
4. Володин В. П. Экструзия профильных изделий из термопластов. Спб.: Профессия, 2005. 112 с.
5. Гержодов В. И. Техническое состояние автомобилей и безопасность движения. Киев: Техніка, 1978. 149 с.
6. Гладков Г. И. Легковые автомобили отечественного и иностранного производства (Новые системы и механизмы). М.: Транспорт, 2002. 183 с.
7. ГОСТ Р 52452-2005. Трубки и шланги гидравлического и пневматического привода тормозов.
8. Дыгало В. Г. Технологии испытания систем активной безопасности автотранспортных средств. М.: Машиностроение, 2013. 387 с.
9. Зайцева М. М., Мегера Г. И., Веремеенко А. А. Диагностика технического состояния транспортных средств // Строительство и архитектура. 2015. №1. С. 124–126.
10. Информационный сайт для владельцев автомобилей LADA «LADA Online» [Электронный ресурс]. URL: <https://лада.онлайн/do-myself/tuning/tuning-lada-vesta/1286-chto-delat-esli-peretirayutsya-shlangi-trubki-pod-капотом-автомобилу-лада.html> (Дата обращения 07.04.2022).
11. Информационный сайт для владельцев автомобилей LADA «LADA Online» [Электронный ресурс]. URL: <https://лада.онлайн/auto-news/autovaz/15319-avtovaz-proverjaet-na-lada-largus-fl-vozmozhnoe-peretiranie-shlanga-vakuumnogo-usilitelja.html> (Дата обращения 07.04.2022).

12. Левченко Е. Теория и практика абразивной резки труб. М.: Монография, 2018. 142 с.
13. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.
14. Матвеев А. Технологическое обеспечение процессов гидроштамповки трубных заготовок. СПб.: Лань, 2017. 376 с.
15. Мороз С. М. Научные основы обеспечения эксплуатационной безопасности автотранспортных средств. М.: Автополис Плюс, 2005. 369 с.
16. Новиков А. Н., Кулев М. В., Кулев А. В. Анализ влияния технических неисправностей транспортных средств на уровень дорожной безопасности // Мир транспорта и технологических машин. 2010. №1. С. 8–11.
17. Папаскуа А. А. Факторы снижения ресурса элементов тормозной системы с АБС // Уникальные исследования XXI века. 2015. №5. С. 154–160.
18. Презентация с официального сайта производителя тормозных трубок «WP» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pwpnet.pl/ru/> (дата обращения 28.01.2022).
19. Сайт автолюбителей «Drive» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/l/509650303704892269/> (Дата обращения 07.04.2022).
20. Сайт автолюбителей «Drive» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/l/5110312/> (Дата обращения 07.04.2022).
21. Сайт автолюбителей «Drive» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/l/9879416/> (Дата обращения 07.04.2022).
22. Суковицин В. И. Оценка влияния технического состояния автомобиля на безопасность движения. М.: Транспорт, 1983. 196 с.
23. Технические свойства полимерных материалов: учебно-справочное пособие / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов и др. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Профессия, 2005. 248 с.
24. ТУ 4591-021-480-93689-2010. Трубопроводы гидропривода тормозов и сцепления для автомобилей LADA.

25 Энциклопедия полимеров в 3 т. Т. 2,3. Под ред. В. А. Каргина. М.: Сов. Энци., 1972.

26. Юрковский И. М. 300 возможных неисправностей легкового автомобиля. М.: Патриот, 1993. 223 с.

27. Albatlan S Abu Alyazeed. Improving performance of a hydraulic brake system for a passenger car. Ph. D Thesis, Ain Shams University, Faculty of Engineering, Automotive Department, Cairo; 2005.

28. Antanaitis David et al. Automotive brake hose fluid consumption characteristics and its effect on brake system pedal feel. SAE Int J Passeng Cars Mech Syst; 2010.

29. Khan et al. Modeling experimentation and simulation of a brake apply system. In: American control conference; 1992.

30. Limpert R. Brake design and safety. SAE; 1992

31. Nantais Nath, Minaker Bruce P. Active four wheel brake proportioning for improved performance and safety. SAE International; 2008.