

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 621.822.6.004.67:678.344.329

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-4-8

СТОЙКОСТЬ К СТАРЕНИЮ И ВИБРАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АНАЭРОБНОГО ГЕРМЕТИКА «АН-111»

КОНОНЕНКО АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: as-kononenko@yandex.ru

ПСАРЕВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент²

E-mail: psarev_380@mail.ru

РОЖНОВ АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ, старший преподаватель²

E-mail: smart-68@yandex.ru

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; 105005, ул. 2-я Бауманская, 5, г. Москва, Российская Федерация

² Мичуринский государственный аграрный университет; 393760, ул. Интернациональная, 101а, г. Мичуринск, Российская Федерация

Приведена методика и результаты исследований влияния процессов старения на изменение прочностных характеристик клеевых соединений герметика «АН-111» и нанокomпозиции на его основе. Толщина испытываемого полимерного слоя составляла 0,2 мм. Старение полимерных материалов производилось ускоренным методом (на основе ГОСТ 9.707-81). По завершении 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 циклов определялась прочность клеевого соединения герметика «АН-111» и композиции на его основе при аксиальном сдвиге. Для исследования применялась разрывная машина Р-5. Показано, что стойкость к старению у нанокomпозиции на 15,4% выше, чем у ненаполненного состава. Представлены методика и результаты стендовых испытаний стойкости исследуемых полимерных составов к вибрационным нагрузкам. Амплитуда колебаний плиты составляла 1,0...1,2 мм. Толщина испытываемого полимерного слоя – 0,2 мм. После завершения испытаний на вибростенде через 5, 10, 15, 20, 25 и 30 ч образцы испытывали на прочность на разрывной машине Р-5. Установлены закономерности изменения прочности клеевых соединений в зависимости от количества циклов нагружения. Показано, что воздействие вибрационных нагрузок приводит к снижению прочностных характеристик анаэробного герметика «АН-111» на 20,4%. В свою очередь, стойкость к вибрации композиции «АН-111 + Таунит-М» на 16,5% выше, чем у ненаполненного полимерного состава.

Ключевые слова: полимерная композиция, углеродные нанотрубки, вибрационные нагрузки, анаэробный герметик, старение, циклические нагрузки.

Формат цитирования: Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б. Стойкость к старению и вибрационным нагрузкам полимерного композиционного материала на основе анаэробного герметика «АН-111» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 5(93). С. 4-8. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-4-8.

RESISTANCE TO AGING AND VIBRATION LOADS OF A POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL BASED ON THE AH-111 ANAEROBIC SEALANT

ALEKSANDR S. KONONENKO, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: as-kononenko@yandex.ru

DMITRIY N. PSAREV, PhD (Eng), Associate Professor²

E-mail: psarev_380@mail.ru

ANDREY B. ROZHNOV, Senior Lecturer²

E-mail: smart-68@yandex.ru

¹ Bauman Moscow State Technical University; 105005, 2nd Baumanskaya Str., 5, Moscow, Russian Federation

² Michurinsk State Agrarian University; 393760, Internatsionalnaya Str., 101a, Michurinsk, Russian Federation

The paper presents methodology and research results of the influence of aging processes on the change in the strength characteristics of adhesive joints made with the AH-111 sealant and its nanocompositions. The thickness of the test polymer layer was 0.2 mm. Polymeric materials were aged using an accelerated method (based on GOST 9.707-81). Upon completion of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 cycles, the adhesive strength of the AH-111 sealant and its composition were determined under axial shear. For research, an explosive machine P-5 was used. It was shown that the aging resistance of the nanocomposite is 15.4% higher than that of the unfilled composition. The authors describe the methodology and bench test results characterizing the resistance of the studied polymer compositions to vibration loads. The oscillation amplitude of the plate was 1.0...1.2 mm. The thickness of the test polymer layer amounted to 0.2 mm. After completion of the tests on the vibration bench, after 5, 10, 15, 20, 25, and 30 hours, the samples were tested for strength with a P-5 tensile testing machine. The authors have established regularities of changes in the strength of adhesive joints depending on the number of loading cycles. It has been shown that the effect of vibration loads leads to a decrease in the strength characteristics of the AH-111 anaerobic sealant by 20.4%. In turn, the vibration resistance of the AH-111 + Taunit-M composition is 16.5% higher than that of a filler-free (non-pigmented) polymer composition.

Key words: polymer composition, carbon nanotubes, vibration loads, anaerobic sealant, aging, cyclic loads.

For citation: Kononenko A.S., Psarev D.N., Rozhnov A.B. Resistance to aging and vibration loads of a polymeric composite material based on the AH-111 anaerobic sealant. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 5(93): 4-8. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-4-8 (In Rus.).

Введение. Современные полимерные материалы играют значительную роль в промышленности, т.к. обладают высокими механическими свойствами, такими как прочность, ударная вязкость и упругость. Благодаря своим эксплуатационным характеристикам полимеры нашли широкое применение в изготовлении деталей и узлов, работающих в условиях жестких динамических нагрузок и агрессивных сред. Увеличилось также производство сложных конструкций, средних и крупных корпусных деталей из полимерных материалов и композиций на их основе, несущих значительные нагрузки [1].

Однако полимеры имеют ряд недостатков по сравнению с металлами и сплавами, таких как недостаточные жесткость и теплостойкость, высокие хрупкость и коэффициент термического расширения, которые устраняются путём введения в состав полимера нанонаполнителей. В результате повышаются не только механические свойства, но и эксплуатационные характеристики получаемых нанокompозитов, такие как устойчивость к рабочим жидкостям, механическим и температурным воздействиям [2, 3].

В ремонтном производстве широко используются анаэробные герметики – жидкие многокомпонентные составы, которые способны в течение длительного времени храниться без изменения свойств и отверждаться при отсутствии доступа кислорода. Химической основой данного вида полимеров являются полимеризационно-способные соединения акрилового ряда. Наибольшее распространение получили диметакриловые эфиры полиалкиленгликолей, основной характеристикой которых является высокая скорость перехода в состояние трехмерно-сшитого полимера. Для обеспечения более длительного хранения и увеличения скорости отверждения в состав анаэробных герметиков вводят ингибирующие и иницирующие системы, а также возможно добавление различных загустителей, модификаторов, красителей и других добавок [1, 4].

Для исследований использовали анаэробный герметик высокой прочности «Анатерм-111» (далее «АН-111»), предназначенный для фиксации гладких цилиндрических соединений, работающих в условиях агрессивных сред и вибрационных нагрузок.

С целью улучшения механических характеристик анаэробных составов используются нанонаполнители, наиболее доступным из которых является углеродный наноматериал (УНМ) «Таунит-М», который представляет собой одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита в виде сыпучего порошка черного цвета, полученные газофазным химическим осаждением (CVD) в процессе каталитического пиролиза углеводородов [1, 4].

Цель работы – исследовать влияние процессов старения на изменение прочностных характеристик клеевых соединений герметика «АН-111» и нанокompозиции на его основе. Оценить с помощью стендовых испытаний стойкость исследуемых полимерных составов к вибрационным нагрузкам.

Методика. В связи с длительностью испытаний в условиях эксплуатации старение полимерных материалов производилось ускоренным методом. По методике, составленной на основе ГОСТ 9.707-81, на каждом этапе исследований определялась прочность клеевого соединения герметика «АН-111» и композиции на его основе при аксиальном сдвиге.

Сущность данного метода состоит в последовательном циклическом воздействии на образцы положительных и отрицательных температур [5]. Каждый цикл процесса старения включал в себя следующие операции:

- нагрев в сушильно-стерилизационном шкафу ШСС-80п до +120°C и выдержка в течение 8 ч;
- охлаждение на воздухе до +20°C в течение 6 ч;
- замораживание до -20°C и выдержка в течение 8 ч;
- оттаивание при температуре +20°C в течение 6 ч.

По завершении 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 циклов проводили испытания образцов на прочность при аксиальном сдвиге. Для исследования применялась разрывная машина Р-5.

Испытуемые образцы состояли из двух цилиндрических частей, одна из которых свободно перемещалась внутри другой (рис. 1).

Наружная и внутренняя части образцов подбирались таким образом, чтобы толщина испытываемого полимерного слоя составляла 0,2 мм [6, 7].

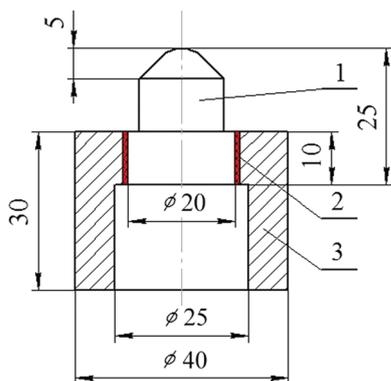


Рис. 1. Образец для определения прочности при аксиальном сдвиге:

1, 3 – внутренняя и наружная части образца;
2 – исследуемый полимер

Fig. 1. Sample for axial shear strength:

1, 3 – inner and outer parts of the sample; 2 – test polymer

Для проведения исследований стойкости герметика и нанокomпозиции на его основе к вибрации разработана и изготовлена установка, в основе которой – электромеханический вибратор ИВ-107, представляющий собой асинхронный короткозамкнутый двигатель с номинальной

мощностью 800 Вт, частотой вращения $46,6 \text{ с}^{-1}$, возмущающей силой 10 кН, статическим моментом 1,15 Н·м и массой 51 кг. Двигатель был закреплен на металлической плите массой 130 кг, установленной на 4-х цилиндрических винтовых пружинах [8]. Подбор пружин осуществлялся так, чтобы частота собственных колебаний плиты с укрепленным на ней вибратором составляла 0,2 от частоты вынужденных колебаний. Во время испытаний амплитуда колебаний плиты, измеренная вибрографом ВР-1, составляла 1,0...1,2 мм. Образцы с толщиной клеевого слоя, равной 0,2 мм, жестко крепили на плите. После завершения испытаний на вибростенде через 5, 10, 15, 20, 25 и 30 ч образцы испытывали на прочность на разрывной машине Р-5.

Результаты и обсуждение. Исследование стойкости герметика «АН-111» и нанокomпозиции на его основе к старению показало, что при воздействии 5...10 циклов испытаний происходит увеличение прочности клеевых соединений герметика «АН-111» при аксиальном сдвиге на 9,78% (рис. 2). Возможно, ее увеличение связано с повышением адгезии герметика за счет его полной полимеризации в процессе испытаний. После увеличения прочности клеевых соединений происходит стабилизация, а затем и снижение герметизирующей способности «АН-111» на 8,1% по сравнению с первоначальным значением.

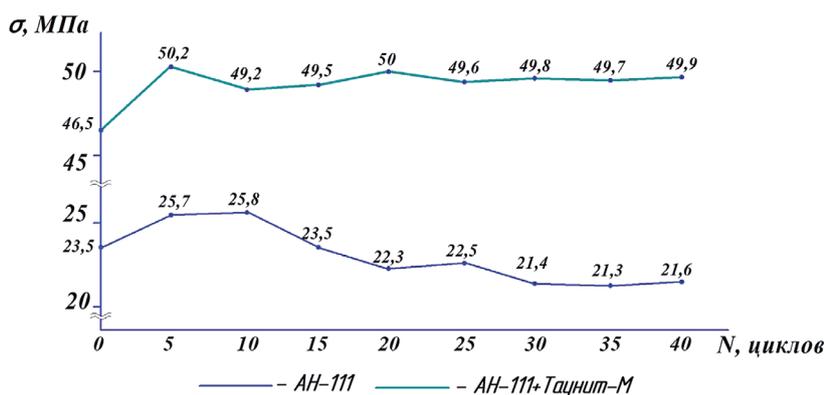


Рис. 2. Результаты исследования процесса старения анаэробного герметика «АН-111» и полимерной композиции на его основе

Fig. 2. The study results of the aging process of the “АН-111” anaerobic sealant and its polymer composition

После пятого цикла испытаний прочность при аксиальном сдвиге композиционного материала на основе герметика «АН-111» также возросла на 7,9%. После шестого цикла испытаний прочность композиции незначительно снизилась и стабилизировалась на значениях, превышающих первоначальные показатели на 7,3% вследствие разветвленной структуры наполнителя и изменения коэффициента теплового расширения композиции.

Испытания, связанные с воздействием процессов старения, не дают полного представления о прочностных характеристиках и долговечности полимерных материалов, используемых для восстановления подшипниковых узлов. Стендовые испытания с вибрационным нагружением, имитирующим реальные условия эксплуатации большинства машин, позволяют с минимальными затратами средств и времени получить основные зависимости, необходимые для учета во время эксплуатации.

Воздействие на подшипниковый узел вибрационных нагрузок приводит к снижению прочностных характеристик. Так, после 30 ч испытаний прочность при аксиальном сдвиге анаэробного герметика «АН-111» снизилась с 23,5 до 18,7 МПа, что составило 20,4%. Наиболее интенсивное снижение прочностных характеристик имело место в начале вибрационного нагружения. Увеличение времени вибрационных воздействий приводит к уменьшению степени их влияния на прочность (табл.).

В результате исследования композиции «АН-111 + Таунит-М» установлено, что ее прочность при аналогичных условиях снизилась с 46,5 до 44,7 МПа, что составило всего 3,9%. На наш взгляд, это связано со значительной степенью влияния высокой удельной поверхности частиц нанопорошка «Таунит-М» на структурирование расположения волокон полимерной матрицы [9, 10].

Динамика изменения прочности анаэробного герметика «АН-111» и композиции на его основе в зависимости от количества циклов вибрационного нагружения

The dynamics of changes in the strength of the “АН-111” anaerobic sealant and its compositions, depending on the number of vibration loading cycles

Материал	Прочность, МПа						
	Количество циклов						
	0	5	10	15	20	25	30
Герметик АН-111	23,5	20,4	19,3	19	18,6	18,5	18,7
Полимерная композиция «АН-111 + Таунит-М»	46,5	45,1	44,9	44,5	44,8	44,4	44,7

Выводы

1. Результаты исследований анаэробного герметика «АН-111» и наноконпозиции на его основе с нанопорошком «Таунит-М» показали, что стойкость к старению у наноконпозиции выше, чем у ненаполненного состава на 15,4% вследствие меньшей величины коэффициента теплового расширения композиционного материала. Чем ниже его значение, тем, соответственно, меньше

температурные перепады влияют на когезионное и адгезионное разрушение полимера.

2. Стендовые испытания позволили установить, что стойкость к вибрационным нагрузкам у разработанной композиции выше, чем у ненаполненного состава на 16,5%. Это объясняется большей упакованностью и меньшей подвижностью полимерных волокон, а соответственно более равномерным распределением вибрационных волн по объёму композиционного материала.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-48-680702/18-р_а.

This work was supported by the RFBR grant No. 17-48-680702 / 18-r_a.

Библиографический список

1. Рожнов А.Б., Ли Р.И., Хатунцев В.В. Исследование деформационно-прочностных свойств полимерной наноконпозиции на основе анаэробного герметика АН-111 // Вестник МичГАУ. 2014. № 6. С. 43-46.

качения / А.Б. Рожнов, Д.Н. Псарев, Р.И. Ли, В.В. Хатунцев, М.М. Мишин, С.Ю. Астапов // Достижения науки и техники в АПК. 2016. Т. 30. № 5. С. 86-88.

2. Li R.I., Shipulin M.A. Evaluative quality parameters in nondestructive control of adhesive metallic bonds in machine unit. Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. 2012. Volume 5. Number 1. Pp. 15-19. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421212010108>.

10. Рожнов А.Б., Ли Р.И. Перспективный полимерный композиционный наноматериал для фиксации деталей подшипникового узла в трансмиссии автотракторной техники // Сб. научных трудов «Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования». 2016. Т. 3. Вып. 1 (4). С. 519.

3. Пучин Е.А., Лисунов Е.А., Чепурин А.В., Кравченко И.Н. и др. Надежность технических систем. М.: Издательство КолосС, 2010. 318 с.

References

4. Композиция для склеивания металлических изделий: Патент на изобретение № 2526991 РФ / Р.И. Ли, А.В. Бутин, А.Б. Рожнов, В.Н. Сафонов; заявл. 05.02.2013; опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24.

1. Rozhnov A.B., Li R.I., Khatuncev V.V. Issledovanie deformatsionno-prochnostnykh svoystv polimernoy nanokompozitsii na osnove anaerobnogo germetika AN-111 [Research deformation-strength properties of polymeric nanocomposition based on the AN-111 anaerobic hermetic]. *Vestnik MichGAU*, 2014; 6: 43-46. (In Rus.)

5. Кононенко А.С. Герметизация неподвижных фланцевых соединений анаэробными герметиками при ремонте сельскохозяйственной техники: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. М., 2001. 156 с.

2. Li R.I., Shipulin M.A. Evaluative quality parameters in nondestructive control of adhesive metallic bonds in machine unit. ISSN1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2012, Volume 5, Number 1, pp. 15-19. (In English)

6. Устройство для оценки адгезионных свойств герметиков при сдвиге: Патент на полезную модель № 180309 РФ / А.С. Кононенко, А.А. Соловьева; заявл. 29.01.2018; опубл. 08.06.2018. Бюл. № 16.

3. Puchin E.A., Lisunov E.A., Chepurin A.V., Kravchenko I.N. et al. Nadezhnost' technicheskikh system [Reliability of technical systems]. Moscow, Izdatel'stvo KolosS, 2010: 318. (In Rus.)

7. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Адгезионная прочность составов холодного отверждения и наноконпозиций на их основе // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 11. С. 10-14.

4. Li R.I., Butin A.V., Rozhnov A.B., Safonov V.N. Kompozitsiya dlya skleivaniya metallicheskih izdeliy [Composition for pasting metal products]: Patent na izobretenie No. 2526991, 2014. (In Rus.)

8. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Стойкость полимерных составов холодного отверждения и наномодификаций на их основе к вибрационным нагрузкам // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 3. С. 22-25.

5. Kononenko A.S. Germetizatsia nepodvizhnykh flantsevykh soedineniy anaerobnymi germetikami pri remonte sel'skokhoziyastvennoy tehniky [Sealing fixed flange connections with anaerobic sealants while repairing agricultural

9. Рожнов А.Б. Технология механизированного нанесения полимерных покрытий на подшипники

machinery]: PhD (Eng) thesis: 05.20.03. Moscow, 2001: 156. (In Rus.)

6. Kononenko A.S., Solovyeva A.A. Ustroistvo dlya otsenki adgezionnykh svoystv germetikov pri sdvige [Device for evaluating the adhesion properties of sealants when shifting]: Patent for a utility model No. 180309 RF, 2018. (In Rus.)

7. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Adgezionnaya prochnost' sostavov kholodnogo otverzhdeniya i nanokompozitsiy na ikh osnove [Adhesive strength of cold curing compounds and its nanocomposites]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016; 11: 10-14. (In Rus.)

8. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Stoikost' polimernykh sostavov kholodnogo otverzhdeniya i nanomodifikatsiy na ikh osnove k vibratsionnym nagruzkam [Resistance

of polymeric structures of cold hardening and its nanomodifications to vibration loads]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016; 3: 22-25. (In Rus.)

9. Rozhnov A.B., Psarev D.N., Li R.I., Khatuntsev V.V., Mishin M.M., Astapov S.Yu. Tekhnologiya mekhanizirovannogo naneseniya polimernykh pokrytiy na podshipniki kacheniya [Technology of mechanized applying polymeric coatings on roller bearings]. *Dostigeniya nauki i tekhniki v APK*, 2016; 30(5): 86-88. (In Rus.)

10. Rozhnov A.B., Li R.I. Perspektivnyy polimerniy kompozitsionnyy nanomaterial dlya fiksatsii detaley podshipnikovogo uzla v transmissii avtotraktornoy tekhniki [Promising polymeric composite nanomaterial for fixing parts of a bearing assembly in autotractor gearboxes], 2016; Vol. 3; 1 (4): 519. (In Rus.)

Критерии авторства

Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Кононенко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 13.05.2019

Опубликована 18.10.2019

Contribution

A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. A.S. Kononenko, D.N. Psarev, A.B. Rozhnov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 13, 2019

Published 18.10.2019

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 658.562.012.7

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-5-8-13

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЯ «ВАЛ-МАНЖЕТА»

МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

КАЗАНЦЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ, докт техн. наук, профессор

E-mail: kspts@bk.ru

ЧЕХА ОЛЬГА ВЯЧЕСЛАВОВНА

E-mail: olgachekha@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация

От долговечности уплотнительных устройств во многом зависит ресурс ходовой части, трансмиссии и других агрегатов сельскохозяйственных машин. Перечислены причины потери работоспособности уплотнений: износ поверхности по внутреннему диаметру (87%), растрескивание кромки в результате старения и усталостного разрушения (14%), слипание манжеты с валом и последующее ее разрушение (9%). С целью анализа параметров новых уплотнений исследована партия манжет типоразмера 1.1-45×65-1 ГОСТ 8752-79 в количестве 200 шт. Приведены некоторые параметры оценки новых и изношенных манжет и валов. Представлены гистограммы и теоретические кривые рассеяния натяга и контактного давления рабочей кромки манжет. Проведен однофакторный эксперимент зависимости натяга новых манжет от контактного давления на вал $N = f(p)$. Установлено, что данные величины независимы, о чем свидетельствует полученный коэффициент корреляции, равный 0,016. Перечислены характерные дефекты валов: износ поверхности, сопряженной с манжетой, царапины, трещины и коррозионные