

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.753

doi: 10.30987/2782-5957-2022-7-24-33

АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПОСАДОК С НАТЯГОМ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Николай Ефимович Курносов¹, Александр Владимирович Тарнопольский²,
Юлия Юрьевна Накашидзе^{3✉}

^{1, 2, 3} Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹ kurnosov-ne@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6353-557X>

² taw48@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8152-6597>

³ yun700@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9401-044X>

Аннотация. Задачей проведенного исследования является выявление оптимальных технических решений в области обеспечения герметичности посадок с натягом в сложных условиях эксплуатации изделий.

В результате анализа проблемы технологического обеспечения герметичности и надежности посадок с натягом на этапе их проектирования установлено, что применении регулярного микро-рельефа и специальных видов покрытий сопрягаемых поверхностей может обеспечить решение поставленной задачи. Установлено, что характеристики микро-рельефа и физико-механические свойства сопрягаемых поверхностей, а также способ сборки оказывают значительное влияние на плотность контакта и герметичность соединения деталей. Показано, что за счет управления микрогеометрией сопрягаемых поверхностей, применения мягких гальванических покрытий и анаэробных

материалов в процессе сборки можно существенно повысить фактическую площадь контакта и герметичность соединений. Новизна работы заключается в широком рассмотрении и обобщении конструктивно-технологического обеспечения герметичности соединений с натягом, также рассмотрены аспекты повышения герметичности и надежности соединений с натягом. Анализ научных источников показал, что герметичность соединения при динамической нагрузке существенно зависит от параметров микрогеометрии и физико-механических характеристик материалов сопрягаемых поверхностей деталей, определяющих их фактическую площадь контакта. Выявлены направления обеспечения герметичности соединений с натягом, особенно работающих в критических условиях.

Ключевые слова: герметичность соединений с натягом, микрогеометрия, материал и покрытия сопрягаемых поверхностей.

Ссылка для цитирования:

Курносов Н.Е. Аспекты обеспечения герметичности посадок с натягом в сложных условиях эксплуатации изделий / Н. Е. Курносов, А. В. Тарнопольский, Ю. Ю. Накашидзе // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 7. – С. 24 – 33. doi: 10.30987/2782-5957-2022-7-24-33.

Original article

Open Access Article

ASPECTS OF ENSURING TIGHTNESS OF INTERFERENCE FITS IN DIFFICULT OPERATING CONDITIONS OF PRODUCTS

Nikolay Efimovich Kurnosov¹, Aleksander Vladimirovich Tarnopolsky²,
Yulia Yuryevna Nakashidze^{3✉}

^{1, 2, 3} Penza State University, Penza, Russia

¹ kurnosov-ne@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6353-557X>

² taw48@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8152-6597>

³ yun700@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9401-044X>

Abstract. The study objective is to discover optimal technical solutions in the field of ensuring tight-

ness of interference fits in difficult operating conditions of products.

As a result of analyzing the problem of technological ensuring tightness and reliability of interference fits at the stage of their design, it is found that the use of regular microrelief and special types of coatings of joint faces can provide a solution to the problem. It is found that the characteristics of the microrelief and the physico-mechanical properties of the joint faces, as well as the assembly method, have a significant effect on the contact density and hermetic connection of the parts. It is shown that by controlling the microgeometry of the of joint faces, the use of soft electroplating coatings and anaerobic materials in the assembly, it is possible to increase the actual contact area and tightness of the joints significantly. The novelty of the work is in a

Reference for citing:

Kurnosov N.E, Tarnopolsky A.V, Nakashidze Yu.Yu. Aspects of ensuring tightness of interference fits in difficult operating conditions of products. Transport Engineering. 2022; 7: 24 – 33. doi: 10.30987/2782-5957-2022-7-24-33.

Введение

Цилиндрические соединения в машинах и механизмах [2, 12] обычно составляют 4...20 % от количества всех неподвижных соединений различного типа.

В ряде случаев посадки с натягом, наряду с обеспечением неподвижности деталей под нагрузкой, должны обеспечивать и высокую степень герметичности соединения, особенно в условиях значительных перепадов эксплуатационных температур. Например, посадка с натягом направляющих втулок клапанов двигателей внутреннего сгорания должна обеспечивать герметичность и прочность их соединения с блоком цилиндров в условиях изменения температуры эксплуатации в сотни градусов. Потеря герметичности соединения деталей зачастую приводит к длительным простоям оборудования. В этих случаях герметичность соединений с натягом является наиболее значимым показателем их надежности.

Аналогичная задача обеспечения герметичности стыка деталей при их соединении заклепками рассматривается в работе [1, 2, 8]. Показано, что достижение непроницаемости заклепочных соединений осуществляется при помощи герметиков, однако их использование сопряжено с увеличением трудоёмкости и себестоимости выполнения конструкций. При этом проводятся практические исследования, направленные на обеспечение герметично-

broad consideration and generalization of the constructive and technological provision of tightness of interference fits, the aspects of increasing the tightness and reliability of interference fits are also considered. Analysis of scientific sources has shown that the tightness of the joint under dynamic load significantly depends on the parameters of microgeometry and the physical and mechanical characteristics of the materials of the joint faces of the parts that determine their actual contact area. The directions of ensuring tightness of interference fits, especially those operating in critical conditions, are observed.

Keywords: tightness of interference fits, microgeometry, material and coatings of joint faces.

сти клёпанных конструкций другими технологическими мероприятиями. Установлено, что их проницаемость определяется конструктивно-технологическими факторами, включая радиальный натяг, точность исполнения отверстий, шероховатость сопряжённых поверхностей листа и заклёпки.

Тенденции совершенствования изделий, повышения их качества показывают, что наиболее значимы и существенны задачи по оценке взаимосвязи технологического обеспечения характеристик поверхностного слоя и эффектов контактного взаимодействия сопрягаемых элементов конструкций. Вместе с тем в настоящее время недостаточно исследованы представляющие научный и практический интерес вопросы обоснованного выбора вида и параметров неподвижных соединений, подготовки сопрягаемых поверхностей деталей с учетом контактного взаимодействия, влияния методов и технологических режимов сборки на характеристики соединений.

Разработка положений теории контактного взаимодействия в соединениях с натягом позволяет получить принципиально новые технические решения, обеспечивающие существенное повышение качества соединений с натягом изделий различного назначения, работающих в жестких условиях эксплуатации.

Анализ методов и направлений обеспечения герметичности соединений с натягом

Методика обеспечения длительной герметичности посадок с натягом в сложных условиях эксплуатации, с учетом влияния геометрических факторов и характеристик сопрягаемых поверхностей разработана недостаточно. Причина состоит в недостаточном исследовании особенностей контактного и фрикционного взаимодействия сопрягаемых поверхностей, что не позволяет решать задачи обоснованного выбора конструктивных характеристик сопряжений и их технологического обеспечения, прогнозировать получение требуемых эксплуатационных характеристик на этапе проектирования.

Особенно это касается соединений с натягом, работающих в сложных и критических условиях. При решении вопросов обеспечения герметичности посадок с натягом учитываются сложные условия эксплуатации изделий, такие как:

- подклапанная втулка дизелей, где необходимо обеспечить герметичность между втулкой и крышкой цилиндров, работающих при температуре 600-800 °С и приводящее к нежелательному контакту в системе смазки;

- заклепочные стержневые соединения для топливных отсеков самолетов;

- соединения с натягом в корпусах морских судов.

Таким образом, обеспечение несущей способности и герметичности стыка двух поверхностей практически всегда связано с управлением фактической площадью контакта сопрягаемых деталей. Использование при оценке герметичности и надежности стыка двух деталей в качестве характеристик их поверхностей параметров шероховатости R_a , R_z не отвечает современному уровню развития триботехники [3, 4].

Выбор типа соединения для разрабатываемой конструкции или совершенствование существующей является сложной многофакторной задачей. При проектировании, наряду с обеспечением различных эксплуатационных характеристик, необходимо обеспечить и основные условия процесса сборки: высокую технологичность

изготовления деталей и сборки соединений, т.е. минимальное количество фиксируемых степеней свободы деталей в процессе их ориентации, минимальное количество переходов и т. д. Кроме этого необходим учет возможностей производства, экономических и других показателей.

Таким образом, необходимость решения широкого круга практически значимых проектировочных задач, в том числе и технологического обеспечения по обеспечению герметичности и надежности, улучшению эксплуатационных характеристик неподвижных соединений является актуальной задачей.

Развитие традиционных методов проектирования соединений с натягом связано, в основном, с уточнением напряженно-деформированного состояния деталей соединения, значений номинального контактного давления, как при упругой, так и при пластической деформации сопрягаемых деталей непосредственно после сборки и в условиях длительной эксплуатации соединения [1]. Под действием радиальной нагрузки пластическая деформация основного материала детали происходит раньше полного деформирования неровностей на контактной поверхности из-за существенного влияния остаточных технологических напряжений.

Известны работы, в которых на основе ряда упрощающих представлений, выполнен расчёт контактного давления сопряженных цилиндров и напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек с учётом деформации неровностей сопрягаемых поверхностей [5].

Влияние мягких покрытий на напряженно-деформированное состояние деталей рассматривалось в работе [6]. Однако при этом не учитывалась шероховатость поверхностей, которая в большинстве случаев соизмерима с толщиной покрытия. Известны технические решения, направленные на повышение герметичности и прочности посадок с натягом. Способ соединения деталей с натягом по патенту № 1 296 754 достигается за счет предварительного покрытия поверхности одной из деталей слоем клеевой композиции, при

этом на сопрягаемых поверхностях вала и втулки выполнены кольцевые канавки. Способ соединения деталей с натягом по патенту RU № 2 357 111 путем запрессовки с нанесением упрочняющего соединения материала включает частичную запрессовку деталей с измерением усилия запрессовки и последующую их допрессовку. Согласно способу осуществляют частичную запрессовку деталей. Затем на свободные участки соединяемых поверхностей одной или обеих деталей наносят упрочняющий материал. После этого осуществляют их последующую допрессовку. Однако из-за не учета факторов фрикционного взаимодействия сопрягаемых поверхностей, предлагаемые технические решения не позволили решить проблему на уровне, как технологических требований промышленности, так и обеспечения прочностных характеристик соединений, предъявляемых исключительно жесткими эксплуатационными требованиями.

Управление несущей способностью и обеспечение герметичности соединений с натягом практически всегда связано с управлением фактической площадью контакта. При этом существует, очевидно, оптимальное соотношение геометрических параметров (D, l) , параметров шероховатости и физико-механического состояния поверхностного слоя деталей, при которых площадь контакта будет соответствовать требуемой прочности и долговечности соединения.

Традиционно используемая методика проектирования соединений с натягом дает геометрические параметры конструкции (D, l) пропорциональные значениям приложенной осевой нагрузки P и крутящего момента $M_{кр}$. Управление эксплуатационными характеристиками соединения за счет увеличения сборочного усилия при выборе соответствующего натяга не всегда оправдано и целесообразно.

Интенсивно развивается наиболее прогрессивное направление по выявлению, разработке и использованию эффективных методов управления характером фрикционного контакта сопрягаемых деталей, которые должны обеспечить требуемые экс-

плуатационные характеристики соединений с натягом [1, 7, 9]. Однако, результаты, полученные по различным методикам проведения экспериментов, при ограниченном числе исследуемых факторов и ограниченных диапазонах их изменения, носят локальный, а иногда и противоречивый характер. Они не являются, а зачастую и не могут быть достаточными для обоснованного технологического управления эксплуатационными свойствами соединений.

Длительное время задачи оптимизации микрорельефа практически не рассматривалось. Рядом исследователей [7, 9] выявлено, что прочность соединений с натягом (СН) при обработке сопрягаемых поверхностей точением и шлифованием, выше при сдвиге в осевом направлении, чем в круговом. Это связано с анизотропией параметров шероховатости сопрягаемых поверхностей.

В работах [7, 10] предложен способ вибрационного накатывания, позволяющий решать задачи оптимизации геометрических характеристик рельефа сопрягаемых поверхностей. Как установлено авторами работ, повышение прочности соединений при использовании предлагаемого метода обработки объясняется увеличением фактической площади контакта. Способ вибрационного накатывания формирует характерный рельеф, когда увеличиваются радиусы неровностей, сопрягаемые поверхности выглаживаются.

В работах [9, 13] показано, что одним из важнейших факторов, зачастую существенно влияющим на качество ряда изделий, является технологическая наследственность (наклеп поверхностей, остаточные напряжения). Значительное влияние на контактное взаимодействие поверхностей деталей СН при сборке могут оказывать остаточные напряжения в поверхностных слоях материалов деталей [7]. Характер остаточных напряжений, их распределение зависят от режима обработки и, прежде всего, от условий трения в зоне контакта режущего инструмента и обрабатываемой поверхности детали. В работах [12, 13] доказана положительная роль остаточных сжимающих напряжений в

охватываемых деталях в связи с повышением усталостной прочности деталей соединения.

Многочисленные металлографические исследования зоны контакта деталей, соединяемых с натягом поперечным методом [12], показывают, что характерным для контактного взаимодействия является одностороннее внедрение шероховатого слоя материала одной детали в более мягкий материал другой.

Значительный эффект дает сочетание упрочнения сопрягаемых поверхностей соединения с нанесением на них микрорельефа определенного вида. Совмещение регулярных микрорельефов охватываемой и охватывающей деталей соединения позволяет существенно увеличить механическую составляющую сил трения покоя [10, 13].

К факторам, существенно влияющим на эксплуатационные характеристики соединений, относятся отклонения формы и волнистость сопрягаемых поверхностей. Эти факторы приводят к перераспределению и локальному повышению контактного давления, что может способствовать снижению статической и динамической прочности соединений.

Использование смазок в большинстве случаев преследует лишь цель уменьшения усилия запрессовки за счет снижения адгезионного взаимодействия деталей, предохранения сопрягаемых поверхностей от повреждения при продольном методе сборки. В работах [13, 14, 17] даны рекомендации по рациональному применению различных смазок.

Вопросам обеспечения надежности и герметичности посадок с натягом уделяется внимание в работах [1, 8, 18-20, 22]. Показано, что исходными данными для проектирования соединений с натягом являются конструктивные параметры контактирующих деталей, параметры макро- и микрогеометрии их поверхностей, физико-

механические свойства материалов, а также величина приложенной нагрузки. При использовании покрытий сопрягаемых поверхностей в качестве исходных параметров рассматриваются их толщина и физико-механические характеристики. Отмечено, что для определения эксплуатационных свойств соединения необходимо определить напряженно-деформированное состояние в зоне контакта и контактные характеристики. Получена система трансцендентных уравнений, позволяющая определить зависимость относительной площади контакта и плотности зазоров в стыке при контактировании через слой покрытия в зависимости от параметров шероховатости, свойств материалов, толщины покрытия и приложенной нагрузки.

Существенная роль при решении задачи обеспечения эксплуатационных свойств соединений с натягом принадлежит технологическим факторам. Исследования направлены на более глубокое изучение влияния технологических процессов обработки деталей и сборки соединения. К основным технологическим приемам на этапе подготовки посадочных поверхностей, способствующим повышению качества соединений следует отнести:

- применение термической обработки поверхностей и химико-термической обработки (введение ингридиента), позволяющей изменить физико-механические свойства, структуру поверхностных слоев деталей [1];

- применение мягких покрытий существенно увеличивает герметичность, коррозионную стойкость, а в ряде случаев и прочность соединений [15];

- применение твердых покрытий (никель, хром) может способствовать схватыванию сопрягаемых поверхностей. В ряде работ предлагается также применять синтетические покрытия, твердеющие при нагреве [1].

Анализ существующих направлений совершенствования эксплуатационных характеристик соединений с натягом

В настоящее время не разработаны конкретные методики, позволяющие обоснованно выбирать и обеспечивать техно-

логическими приемами параметры сопрягаемых поверхностей в соответствии с функциональным назначением и требова-

ниями к соединениям с натягом, не разработаны способы управления качеством сопрягаемых поверхностей и характеристиками их контактного взаимодействия при сборке соединения с учетом условий его эксплуатации.

Принято выделять фактическую A_r и контурную A_c площади контакта, составляющие часть номинальной площади A_a . Оценка значений предельных натягов, устанавливаемых по ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82, показывает, что для ССН в большинстве случаев характерен высокий уровень контактных давлений, приводящих к преобладанию пластических деформаций в зоне контакта. В этом случае при построении модели формирования дискретного контакта необходим учет влияния локальных областей деформации и смещенных объемов материала.

Используется модель контактного взаимодействия твердой (недеформируемой) и менее твердой (пластически деформируемой) шероховатых поверхностей с учетом возможных отклонений формы сопрягаемых деталей соединения [1].

Предполагается, что в области фактического контакта происходит смятие неровностей менее жесткой поверхности и далее – внедрение твердой поверхности. Таким образом, формируется ФПК (рис. 1) при сборке соединения.

Для пластического контакта, когда $A_a = A_c$, $P_a = P_c$, значение фактической площади контакта (ФПК) может быть определено как

$$\eta_{r,a} = \frac{P_a}{c\sigma_T}, \quad (1)$$

где: P_a – номинальное давление на поверхности контакта; σ_T – предел текучести более мягкого из контактирующих материалов; c – коэффициент, позволяющий учесть форму внедряющегося выступа неровностей, возрастание предела текучести поверхностных слоев материала.

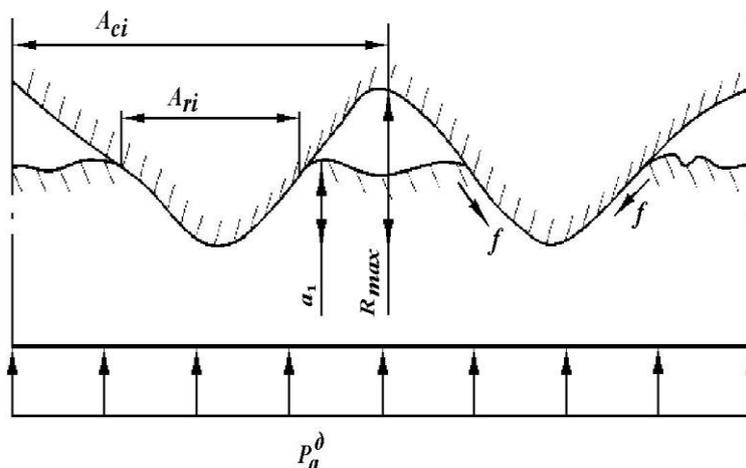


Рис. 1. Модель контактного взаимодействия деталей, соединяемых с натягом поперечным методом
 Fig. 1. Model of contact interaction of parts connected with an interference fit by the transverse method

Остается малоизученным вопрос о влиянии на несущую способность термообработки соединения после сборки. Термообработка соединения после сборки является одним из эффективных приемов дополнительного воздействия на его характеристики. Особенно эффективно сочетание поверхностно-пластической обработки деталей (обкатка роликами, дорно-

вание) и последующей термообработки соединения [7, 10].

Нанесение различных покрытий и смазок является эффективным способом воздействия на свойства фрикционного контактного взаимодействия сопрягаемых поверхностей соединения. Однако широкое применение покрытий сдерживается отсутствием научно обоснованных реко-

мендаций по выбору материала и толщины покрытий в зависимости от используемого материала деталей, геометрии сопрягаемых поверхностей, контактного давления, условий эксплуатации соединения.

Недостаточно исследованы процессы контактного взаимодействия поверхностей деталей при сборке с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ). Результаты использования ПАВ для очистки сопрягаемых поверхностей с целью повышения адгезионной составляющей силы трения позволяют прогнозировать возможность их более эффективного применения с целью повышения качества неподвижных соединений.

Для расчета параметров контактного взаимодействия получила широкое распространение характеристика, устанавливающая форму неровностей и их распределение по высоте, распределение материала по высоте шероховатого слоя [3, 16-21].

В зоне контакта различают упругие, пластические и упруго-пластические деформации [3, 4]. Принято выделять фактическую A_r и контурную A_c площади контакта, составляющие часть номинальной площади A_a . Для построения опорной кривой обычно используется метод П. Е. Дьяченко [3].

Параболическая аппроксимация начального участка кривой опорной поверхности используется Э.В. Рыжовым, Н.Б. Демкиным и И.В. Крагельским. Полученное выражение целесообразно представить в так называемых относительных ко-

$$\eta_{r,a} = \frac{A_r}{A_a}; \quad \eta_{r,c} = \frac{A_r}{A_c}; \quad \eta_{c,a} = \frac{A_c}{A_a}. \quad (5)$$

При отнесении нормальной нагрузки к соответствующим площадям получают номинальное P_a , контурное P_c и фактическое P_r давления.

Контурную площадь контакта (КПК) можно определить как площадь контакта волн, имеющих на поверхностях контактирующих деталей в результате их обработки, преимущественно деформирующихся упруго. На формирование КПК существенное влияние оказывает отклонение

ординатах

$$\eta_{r,c} = b\varepsilon^v. \quad (2)$$

Здесь $\eta_{r,c} = \frac{A_r}{A_c}$ – относительная

площадь сечения материала;

$\varepsilon_1 = \frac{a_1}{R_{\max}}$ – относительное сближение

(уровень сечения);

b и v – параметры, зависящие от вида обработки.

Значения параметров b и v в зависимости от методов обработки и высотных параметров шероховатости представлены в работах И.В. Крагельского. Кроме того, значения b и v можно определить по кривой опорной поверхности или по следующим соотношениям [3, 4]:

$$v = 2\bar{\eta}_{r,c} \frac{R_p}{R_a} - 1, \quad (3)$$

$$b = \bar{\eta}_{r,c} \left(\frac{R_{\max}}{R_p} \right)^v, \quad (4)$$

где $\bar{\eta}_{r,c}$ – относительная опорная площадь на уровне средней линии; R_a и R_{\max} – среднее арифметическое отклонение и наибольшая высота неровностей профиля.

Для аппроксимации опорной кривой в диапазоне сближения используются различные модификации нормального закона [3].

Используются выражения для относительных площадей контакта:

от установленной геометрической формы. Расчёт КПК подробно изложен в ряде работ [1, 4, 16, 17].

В результате исследований И.В. Крагельского и Н.М. Михина [4] установлены границы перехода от упругого контакта к упругопластическому и пластическому контакту. Для поверхностей с $R_a < 0,32$ мкм показано, что при пластическом контакте на части неровностей, вклад неровностей, деформирующих материал упруго и упругопластически в силовое

взаимодействие твердых тел пренебрежимо мал по сравнению с вкладом неровностей, деформирующих материал пластически.

В настоящее время признана двойственная природа трения как процесса, включающего объёмное деформирование материала и преодоление межмолекулярных связей (мостиков сварки), возникающих в местах фактического контакта. Наиболее полно двойственный характер трения отражен в широко распространенной молекулярно-механической (адгези-

Заключение

В результате проведенного анализа, выявлен высокий уровень исследований фрикционного контактного взаимодействия поверхностей сопрягаемых деталей, установлен характер влияния параметров сопрягаемых поверхностей на эксплуатационные характеристики неподвижных соединений, рассмотрены вопросы конструктивно-технологического обеспечения герметичности соединений с натягом.

Показано, что герметичность соединения при динамической нагрузке существенно зависит от параметров микрогеометрии и физико-механических характеристик материалов сопрягаемых поверхно-

нно-деформационной) теории трения, развитой И.В. Крагельским.

Вычисление механической составляющей силы трения ведется на основе разработанных моделей, как контактирующих поверхностей, так и отдельных неровностей. Вычисление молекулярной составляющей силы трения затрудняется тем, что свойства поверхностных слоев, характеризующих «третье тело» [1], существенно отличаются от свойств используемых материалов и изучены недостаточно.

стей деталей, определяющих их фактическую площадь контакта. Установлено, что применение мягких покрытий сопрягаемых поверхностей, а также использование анаэробных материалов в процессе сборки существенно повышает фактическую площадь контакта и герметичность соединения.

Особую актуальность приобретает проблема дальнейшего углубленного исследования закономерностей процессов технологической подготовки и сборки соединений с натягом, с целью их обоснованного проектирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воячек И.И. Обеспечение качества неподвижных соединений на основе интеграционной системы конструкторско-технологического проектирования: специальность 05.02.08, 05.02.02: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / Воячек Игорь Иванович; Пензенский государственный университет. Пенза, 2006. 40 с.
2. Шишкин С.С. Разработка метода оценки герметичности заклёпочных соединений для определения оптимальных конструктивно-технологических решений: специальность 05.07.02: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук/ Шишкин Сергей Сергеевич; Московский авиационный институт (государственный технический университет). Москва, 2010. 20 с.
3. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 244 с.
4. Крагельский И.А., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
5. Юрченко Ю.Н. Исследование процесса трения и контактирования деталей, соединяемых с натягом, с целью повышения качества фрикционных сопряжений: специальность 05.02.08: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Юрченко Юрий Николаевич; Калининский политехнический институт. Калинин, 1982. 18 с.
6. Белецкий В.В., Осинская Л.В., Николаев В.А. Влияние гальванических покрытий на прочность соединений с натягом, создаваемых индукционной закалкой // Вестник машиностроения. 1984. № 7. С. 57.
7. Папшев Д.Д., Тютиков Г.Ф., Машков А.Н. Зависимость прочности соединений с натягом от методов обработки сопрягаемых деталей // Вестник машиностроения. 1981. № 10. С. 16-17.
8. Евстифеева Е.А. Технологическое обеспечение прочностных характеристик соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами: специальность 05.02.08: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук/ Евстифеева Екатерина Ана-

тольевна; Пензенский государственный университет. Пенза, 2009. 21 с.

9. Замша А.Л. Исследование и разработка методов технологического обеспечения эксплуатационных свойств посадок с натягом: специальность 05.02.08: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Замша Алексей Леонидович; Брянский институт транспортного машиностроения. Брянск, 1980. 22 с.
10. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-е, 1982. 248 с.
11. Лесков С.П. Прочность прессовых соединений типа корпус-втулка. Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении: сб. тезисов докладов республиканского совещания, Ижевский механический институт. Ижевск: Изд-во ИМИ, 1981. С. 69-72.
12. Балацкий Л.Т. Прочность прессовых соединений. Киев: Техника, 1982. 151 с.
13. Зенкин А.С. Технологические основы сборки соединений с натягом. М.: Машиностроение, 1982. 48 с.
14. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
15. Воячек И.И., Курносоев Н.Е. Оптимизация толщины мягкого покрытия, нанесенного на сопрягаемые поверхности деталей неподвижного соединения. Технологические методы управления качеством деталей машин и приборов. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1981. С.33-34.

REFERENCE

1. Voyachek II. Quality assurance of fixed joints based on the integration system of design and technological design [abstract of the dissertation]. [Penza (RF)]: Penza State University; 2006.
2. Shishkin SS. Development of a method for assessing the tightness of rivet joints to determine optimal structural and technological solutions [abstract of the dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow Aviation Institute (State Technical University); 2010.
3. Demkin NB, Ryzhov EV. Surface quality and contact of machine parts. Moscow: Mashinostroenie; 1981.
4. Kragelsky IA, Mikhin NM. Friction units of machines: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 1984.
5. Yurchenko YuN. Study of friction and contacting of parts connected with tension in order to improve the quality of friction conjugations [abstract of the dissertation]. [Kalinin (RF)]: Kalinin Polytechnic Institute; 1982.
6. Beletsky VV, Osinskaya LV, Nikolaev VA. The effect of electroplating coatings on the strength of pressure coupling parts created by induction hardening. Vestnik Mashinostroeniya. 1984;7:57.

16. Рыжов Э.В., Курносоев Н.Е., Воячек И.И. Определение фактической площади контакта деталей, соединяемых с натягом // Вестник машиностроения. 1984 № 4. С. 12-13.
17. Курносоев Н.Е. Обеспечение качества неподвижных соединений: монография. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. 224 с.
18. Горохов Д.Б., Соболевский А.А. Герметизирующая способность уплотнительного стыка при повышенных температурах // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015. № 2(2). С. 19-28.
19. Горохов Д.Б., Кожевников А.С. Опыт решения контактных задач в герметологии неподвижных соединений // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2016 № 1. С. 159-167.
20. Тихомиров В.П., Измеров М.А. Герметичность металлических уплотнительных устройств // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 1(49). С. 89-99.
21. Курносоев Н.Е., Тарнопольский А.В., Накашидзе Ю.Ю. Обеспечение герметичности в соединениях деталей с натягом // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. С. 11(108). С. 64-73.
22. Горохов Д.Б., Кожевников А.С. Обеспечение эксплуатационных свойств соединений деталей машин // Системы, методы, технологии. 2016. № 3(31). С. 75-80.

7. Papshev DD, Tyutikov GF, Mashkov AN. Dependence of the strength of pressure coupling parts on the machining methods of conjugated parts. Vestnik Mashinostroeniya. 1981;10:16-17.
8. Evstifeeva EA. Technological support of strength characteristics of pressure coupling parts during assembly with anaerobic materials [abstract of the dissertation]. [Penza (RF)]: Penza State University; 2009.
9. Zamsha AL. Study and development of technological support methods of operational properties of interference fits [abstract of the dissertation]. [Bryansk (RF)]: Bryansk Institute of Transport Engineering; 1980.
10. Schneider YuG. Operational properties of parts with regular microrelief. Leningrad: Mashinostroenie; 1982.
11. Leskov SP. Strength of press connections of the housing-bushing type. Collection of reports at the republican meeting: Mechanization and automation of manual and labor-intensive work in mechanical engineering. Izhevsk: IMI Publishing House, 1981. p. 69-72.
12. Balatsky LT. Strength of press joints. Kiev: Tekhnika; 1982.

13. Zenkin AS. Technological bases of assembly of pressure coupling parts. Moscow: Mashinostroenie; 1982.
14. Novikov MP. Fundamentals of assembly technology of machines and mechanisms. Moscow: Mashinostroenie; 1980.
15. Voyachek II, Kurnosov NE. Optimization of the soft coating thickness applied to the conjugated surfaces of fixed joint parts. Technological methods of quality management of machine parts and devices. Saratov: Publishing House of Saratov University; 1981.
16. Ryzhov EV, Kurnosov NE, Voyachek II. Determination of the actual contact area of the parts connected to the tension. Vestnik Mashinostroeniya. 1984;4:12-13.
17. Kurnosov NE. Quality assurance of fixed joints: monograph. Penza: Publishing House of Penza State University; 2001.
18. Gorokhov DB, Sobolevsky AA. Sealing ability of the sealing joint at elevated temperatures. Trudi Bratskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Series: Natural and Engineering Sciences. 2015;2(2):19-28.
19. Gorokhov DB, Kozhevnikov AS. Experience in solving contact problems to seal fixed joints. Trudi Bratskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Series: Natural and Engineering Sciences. 2016;1:159-167.
20. Tikhomirov VP, Izmerov MA. Tightness of metal sealing devices. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2016;1(49):89-99.
21. Kurnosov NE, Tarnopolsky AV, Nakashidze YuYu. Ensuring tightness in pressure coupling parts. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2021;11 (108):64-73.
22. Gorokhov DB, Kozhevnikov AS. Ensuring the operational properties of the joints of machine parts. Systems, methods, technologies. 2016;3(31):75-80.

Информация об авторах:

Курносов Николай Ефимович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортные машины», телефон: моб. +7-962-470-49-07.
Тарнопольский Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

«Транспортные машины», телефон: моб. +7-964-870-23-06.

Накашидзе Юлия Юрьевна – старший преподаватель кафедры «Транспортные машины», телефон: моб. 8-927-362-83-94.

Information about the authors:

Kurnosov Nikolay Efimovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Vehicles, phone: +7-962-470-49-07.
Tarnopolsky Aleksander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the De-

partment of Transport Vehicles, phone: +7-964-870-23-06.

Nakashidze Yulia Yuryevna, Senior Lecturer of the Department of Transport Vehicles, phone: 8-927-362-83-94.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 09.03.2022; одобрена после рецензирования 08.04.2022; принята к публикации 23.03.2022. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Техносферная безопасность» Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 09.03.2022; approved after review on 08.04.2022; accepted for publication on 23.03.2022. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technosphere Safety at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.