

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE SCIENCE AND BUILDING

УДК 621
doi: 10.21685/2072-3059-2025-2-9

Соединения с натягом, собираемые осевым способом и экспериментальное определение их герметичности по предложенному техническому решению

Н. Е. Курносов¹, К. В. Лебединский², Ю. Ю. Накашидзе³

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

¹kurnosov-ne@mail.ru, ²lebedinskiy_k@mail.ru, ³yyn700@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Среди всех неподвижных соединений в машиностроении соединения с натягом отличаются широким многообразием и составляют около 20 % всех соединений. Проанализированы существующие способы сборки соединений с натягом и указаны решения по обеспечению их герметичности. Целью работы является обеспечение герметичности соединений с натягом при продольном способе сборки. *Материалы и методы.* Приведена программа экспериментальных исследований. Предложено техническое решение. Показано, что управление формобразованием поверхностного слоя сопрягаемых деталей при продольном способе сборки решает задачу обеспечения герметичности соединений. *Результаты.* Представлены графики зависимости усилий запрессовки по длине соединения от величины натяга и наличия герметика, а также степени герметичности запрессованных деталей, собранных из разных материалов. *Выводы.* Соединения с натягом, собранные по существующей технологии без герметика, не обеспечивают герметичность соединения, в то же время использование герметика увеличивает усилие запрессовки. Управление формированием поверхностного слоя охватываемой детали возможно без усложнения конструкции и технологии изготовления, что позволяет обеспечить прочностные характеристики и требуемую герметичность соединений.

Ключевые слова: соединение с натягом, сопрягаемые детали, герметичность, способы сборки, формобразование

Для цитирования: Курносов Н. Е., Лебединский К. В., Накашидзе Ю. Ю. Соединения с натягом, собираемые осевым способом и экспериментальное определение их герметичности по предложенному техническому решению // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2025. № 2. С. 98–109. doi: 10.21685/2072-3059-2025-2-9

Tension joints assembled by axial method and experimental determination of their tightness according to the proposed technical solution

N.E. Kurnosov¹, K.V. Lebedinskiy², Yu.Yu. Nakashidze³

© Курносов Н. Е., Лебединский К. В., Накашидзе Ю. Ю., 2025. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

^{1,2,3}Penza State University, Penza, Russia¹kurnosov-ne@mail.ru, ²lebedinskiy_k@mail.ru, ³yyn700@mail.ru

Abstract. *Background.* Among all fixed connections in mechanical engineering, tension connections are distinguished by a wide variety and make up about 20% of all connections. The article analyzes existing methods for assembling tension connections and indicates solutions for ensuring their tightness. The purpose of the work is to ensure the tightness of tension connections with a longitudinal assembly method. *Materials and methods.* The program of experimental studies is given. It is shown that control of shaping of the surface layer of mating parts in the longitudinal assembly method solves the problem of ensuring the tightness of joints. A technical solution is proposed. *Results.* The graphs of the dependence of pressing forces along the length of the joint on the value of the tension and the presence of sealant are presented. The graphs of the degree of tightness of pressed parts assembled from different materials are shown. *Conclusions.* Tension joints assembled using existing technology without sealant do not provide tightness of the joint, while the use of sealant increases the pressing force. Controlling the formation of the surface layer of the covered part is possible without complicating the design and manufacturing technology, which allows for ensuring the strength characteristics and the required tightness of the joints.

Keywords: interference fit joint, mating parts, tightness, assembly methods, shaping

For citation: Kurnosov N.E., Lebedinskiy K.V., Nakashidze Yu.Yu. Tension joints assembled by axial method and experimental determination of their tightness according to the proposed technical solution. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2025;(2):98–109. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2025-2-9

Введение

Среди многочисленных типов соединений особую группу составляют неподвижные соединения с натягом, которые обеспечивают наиболее эффективное образование сборочных единиц. Соединение с натягом [1] представляет собой технологическую операцию получения условно разъемного соединения, которое получается при вставлении одной детали (или части ее) в отверстие другой детали при посадке с натягом.

К соединениям с натягом предъявляются различные требования по эксплуатационным свойствам: прочность, контактная жесткость, усталостная прочность, коррозионная стойкость и т.д. В то же время достаточно часто встречается дополнительное требование – обеспечение герметичности. Это, например: герметичность гидроаппаратуры, узлов, входящих в состав датчиков измерения давления, герметичность заклепочных соединений в авиационной промышленности, грудных валов в бумагоделательных машинах, направляющих втулок блока цилиндров двигателей внутреннего сгорания и т.д. Соответственно конструктивные и технологические решения по обеспечению герметичности различны.

Большое значение для обеспечения герметичности играет величина фактической площади контакта, которая зависит от характера взаимодействия, материала, методов обработки и т.д. [1–3].

Основными способами сборки соединений с натягом в машиностроении являются поперечный способ и продольный (посредством осевого усилия пресса), при этом технология процессов сборки соединений принципиально различны [3–6].

При поперечном способе сборки для обеспечения герметичности применяются различные конструктивно-технологические решения [1, 7–10], а также решения на уровне патентов (патент РФ № 1296754, РФ № 2357111).

Для осевой сборки ввиду другого процесса многие конструктивные решения неприемлемы вследствие принципиально другого характера взаимодействия сопрягаемых поверхностей. В заклепочных соединениях герметичность достигается оптимизацией конструкторско-технологических решений [3, 5]. Известны технические решения, повышающие герметичность соединения деталей в посадках с натягом за счет применения дополнительных закладных герметизирующих элементов (патент РФ № 1315670, РФ № 2112157), т.е. необходимо введение третьего элемента, что увеличивает усилие сборки и повышает себестоимость детали.

Предлагается техническое решение, обеспечивающее прочностные свойства соединения, а также герметичность, и связанное с формообразованием поверхностного слоя и определяемое конструктивными особенностями вала и отверстия (патент РФ № 2835085).

Для проверки предлагаемого технического решения была разработана программа и методика экспериментальных исследований, проведены исследования, сделаны выводы.

Материалы и методы

Как отмечалось ранее, сборка под прессом имеет свои особенности [5] и осуществляется путем запрессовки вала в отверстие (рис. 1). Большое значение для обеспечения герметичности играет величина фактической площади контакта [1, 7], которая зависит от характера взаимодействия сопрягаемых поверхностей (рис. 2).

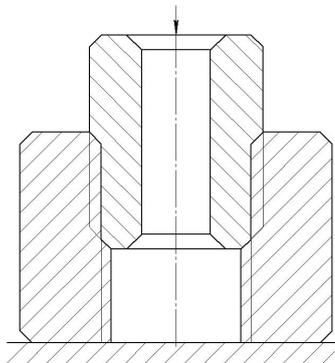


Рис. 1. Схема продольно-прессового соединения

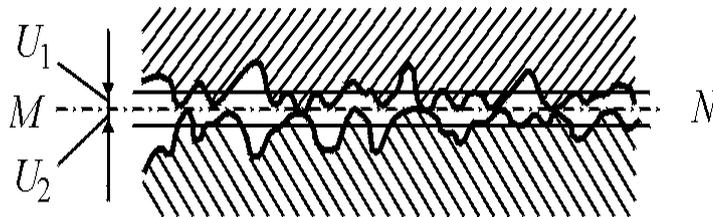


Рис. 2. Модель контактного взаимодействия сопрягаемых поверхностей при продольной сборке: U_1 , U_2 – уровни сближения контактирующих поверхностей

В качестве прототипа реального объекта исследования был выбран узел крышки цилиндра двигателя внутреннего сгорания Д50 с направляющей втулкой впускного и выпускного клапана (рис. 3).

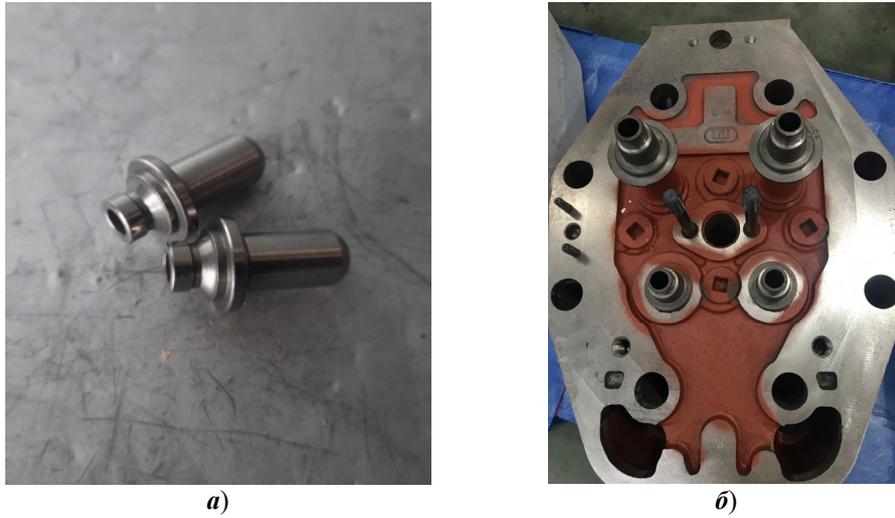


Рис. 3. Направляющая втулка и крышка цилиндра ДВС Д50: *a* – направляющая втулка впускного и выпускного клапана крышки цилиндра; *b* – крышка цилиндра

Для проведения экспериментальных исследований использовались экспериментальные образцы, соответствующие прототипу (рис. 4).

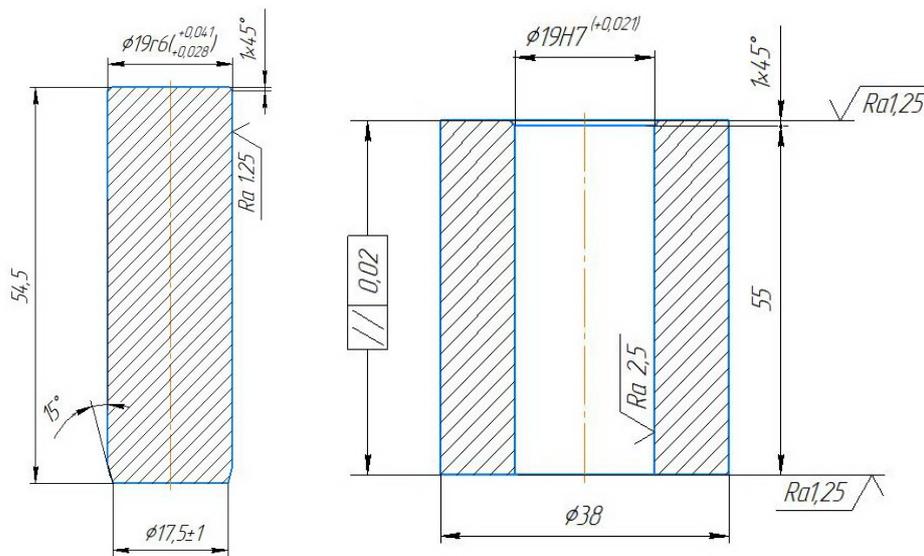


Рис. 4. Чертеж экспериментального образца: вал (охватываемая деталь); втулка (охватывающая деталь)

Для проверки и получения большей достоверности результатов экспериментальных исследований образцы изготавливались из различных материалов: вал – втулка чугун Сч20 ГОСТ 1412–85 и вал – втулка сталь С45 ГОСТ 1050–88 (рис. 5).



Рис. 5. Экспериментальные образцы; материал:
а – вал-втулка чугун Сч20; **б** – вал-втулка сталь С45

Посадочные поверхности деталей обрабатывались на токарном станке Белмаш *WL-300/535VS S229A*. Для каждого эксперимента изготавливалось по три образца. После изготовления образцов измерялись наружные диаметры валов и внутренние диаметры втулок.

Измерение проводилось Нутрометром индикаторным 109Б-1141 0, и Микрометром МК-25 в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и по трем сечениям по длине сопряжения детали, контроль параметров шероховатости осуществлялся Профилометром 296.

В качестве результирующего рабочего размера принималось среднее значение по результатам шести измерений, причем максимальное отклонение формы детали в области сопряжения допускалось не более 20 % от величины натяга (табл. 1).

Таблица 1

Геометрические размеры деталей.

№	Материал	Вал, 1 образец, мкм		Втулка, 1 образец, мкм		Вал, 2 образец (с гермети- ком), мкм		Втулка, 2 образец (с гермети- ком). мкм		Полученный натяг <i>N</i> , мкм	
		1 сечение	2 сечение	1 сечение	2 сечение	1 сечение	2 сечение	1 сечение	2 сечение	без герметика	с герметиком
1	Чугун Сч20	19,00	-18,99	19,03	19,03	19,00	19,00	19,02	19,02	0,02	0,03
2	Сталь С45	19,02	19,03	19,04	19,04	19,02	19,02	19,03	19,03	0,03	0,04

После измерения осуществлялся подбор пар деталей, в результате которого разброс средних натягов и высотных параметров шероховатости

не превышал $\pm 10\%$ от необходимого значения. В качестве герметизирующего элемента использовался силиконовый универсальный клей-герметик ТУ 2252-51221435.

Сборка деталей соединений проводилась продольным методом путем запрессовки на гидравлическом прессе модели *Tester IP 5145-500* при скорости запрессовки от 8 до 10 мм/мин с записью диаграмм усилия запрессовки в координатах «усилие – перемещение» при помощи испытательного оборудования Точприбор-КБ, подключенного к компьютеру для фиксации результатов испытаний (рис. 6).



Рис. 6. Испытательное оборудование: *a* – гидравлический пресс *Tester IP 5145-500*; *б* – оборудование Точприбор-КБ

Для обеспечения герметичности соединений с натягом предложено техническое решение согласно патенту РФ № 2835085.

На поверхности охватываемой детали выполнялись две группы по 3–4 полукруглых кольцевых выступа, расположенных на расстоянии $l = 1/3-1/5$ от концов соединения, а высота выступов соответствовала максимальному натягу плюс 10–50 %, расстояние между выступами и ширина выступов равна двукратной величине высоты выступа (рис. 7).

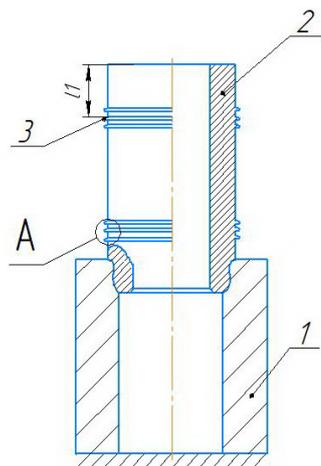


Рис. 7. Соединение с натягом

Получение выступов на валу осуществлялось на станке с числовым программным управлением ЧПУ *WATTSAN A1 1325* по заранее заданной программе.

Согласно техническому решению изготавливались образцы вала и втулки из материала чугун Сч20 ГОСТ 1412–85 и сталь С45 ГОСТ 1050–88 (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Экспериментальные образцы; материал:
а – вал-втулка: чугун-чугун Сч20; б – вал-втулка: сталь-сталь С45

Перед проведением испытания на герметичность проводилась запрессовка деталей, измерялось усилие.

Результаты

Результаты зависимости усилий запрессовки от величины натяга и наличия герметика приведены на рис. 9.

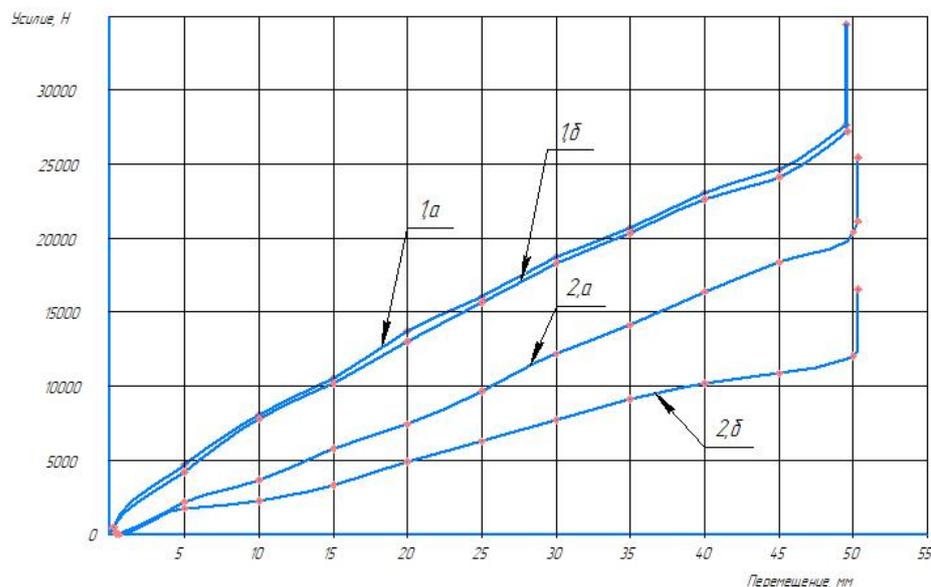


Рис. 9. Зависимость усилий запрессовки от величины натяга N и наличия герметика:
 $1a$ – без герметика, $N = 0,03$ мкм; $1б$ – без герметика, $N = 0,04$ мкм;
 $2a$ – с герметиком, $N = 0,02$ мкм; $2б$ – с герметиком, $N = 0,02$ мкм, материал чугун Сч20

Результаты зависимости усилий запрессовки от натяга, наличия герметика и технического решения показаны на рис. 10.

При использовании технического решения в зоне выступов наблюдается четко выраженный всплеск усилия запрессовки.

С целью экспериментального выявления возможной негерметичности запрессованных деталей разработана схема и изготовлен испытательный стенд (рис. 11, 12).

Программа и методика испытаний на герметичность объекта исследования разработана на основе ГОСТ 24054–80 «Методы испытаний на герметичность. Общие требования». Соединения испытывались на герметичность пузырьковым методом компрессионным способом.

Проведена проверка степени герметичности запрессованных деталей из различных материалов. В ходе эксперимента менялись следующие параметры: температура: от 50 до 250 °С, давление: от 3 до 7 МПа. Эксперимент проводился до достижения времени от 3 до 5 мин с трехкратным повторением, степень расхождения результатов не превышала 5 %. Счет производили два независимых эксперта.

Проведена проверка степени герметичности запрессованных деталей аналогично вышеуказанной методике. Получены следующие экспериментальные данные, взятые по усредненным значениям (рис. 13).

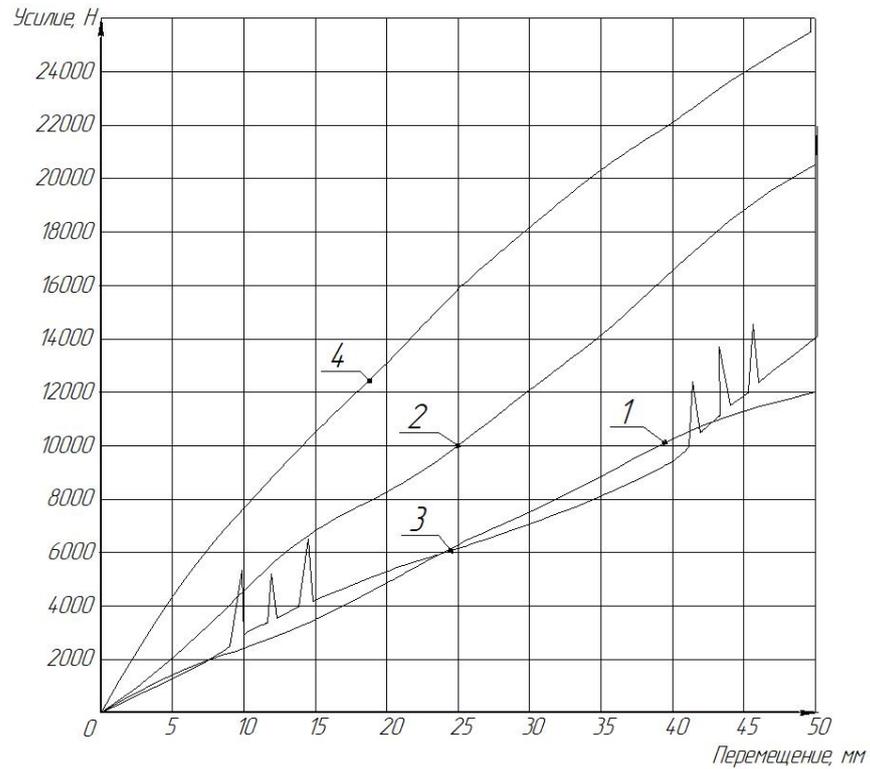


Рис. 10. Зависимость усилий запрессовки по длине соединения из разных материалов от натяга N : 1 – материал чугун-чугун Сч20, $N = 0,03$ мкм; 2 – сталь-сталь С45, $N = 0,02$ мкм; 3 – техническое решение, материал чугун-чугун Сч20, $N = 0,03$ мкм; 4 – материал чугун-чугун Сч20 с герметиком, $N = 0,03$ мкм

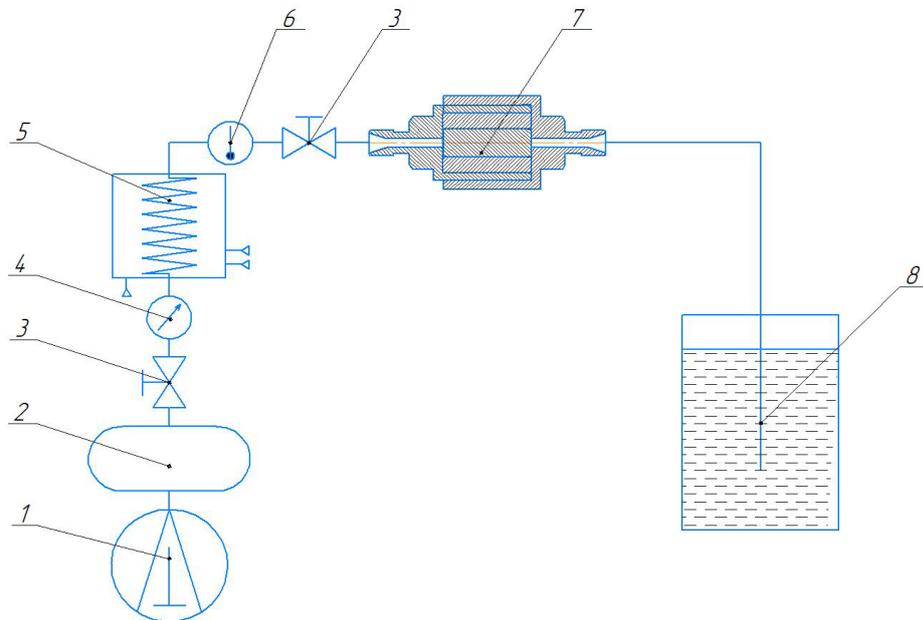


Рис. 11. Схема стенда: 1 – компрессор; 2 – манометр; 3 – кран; 4 – термометр; 5 – муфельная печь; 6 – термометр; 7 – приспособление; 8 – емкость с водой

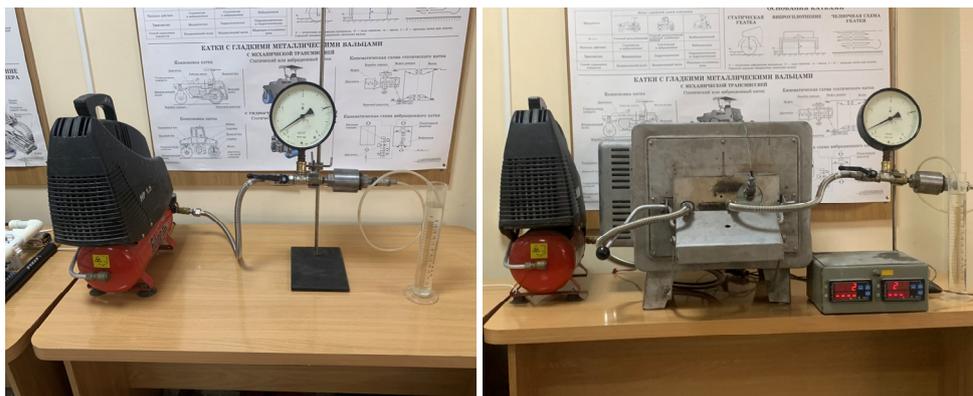


Рис. 12. Испытательный стенд

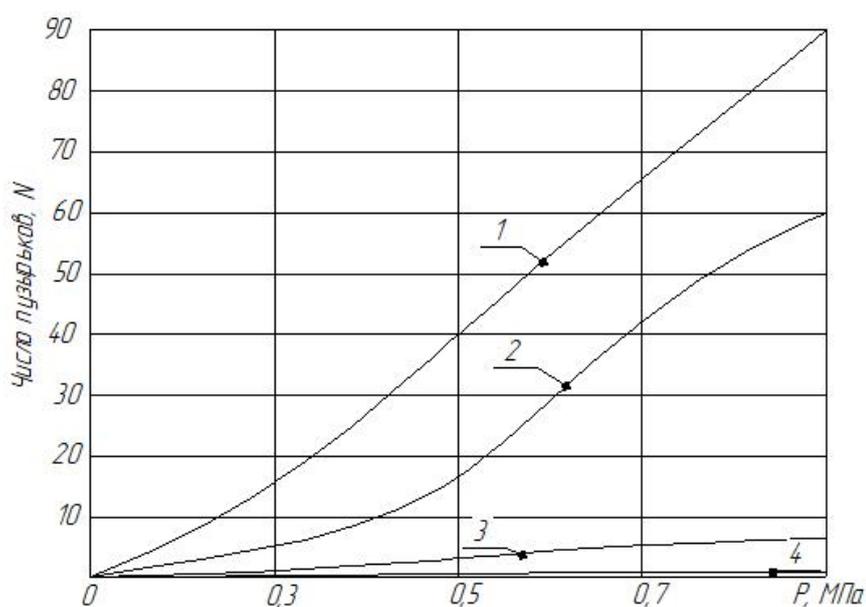


Рис. 13. Степень герметичности запрессованных деталей: 1 – материал чугун-чугун Сч20; 2 – сталь-сталь С45; 3 – чугун-чугун Сч20 с герметиком; 4 – техническое решение, материал чугун-чугун Сч20

Заключение

Соединения, изготовленные и собранные по существующей технологии без герметика, не обеспечивают герметичность соединения.

Использование универсального силиконового клея-герметика позволяет герметизировать соединение, но при этом в значительной степени увеличивается усилие запрессовки на 20–40 %.

Управление формообразованием поверхности охватываемых деталей по предлагаемому техническому решению позволяет обеспечить прочностные характеристики и требуемую герметичность соединения.

Необходимое формообразование обеспечивается при обработке охватываемой детали на станках с числовым программным управлением.

Список литературы

1. Воячек И. И. Обеспечение качества неподвижных соединений на основе интеграционной системы конструкторско-технологического проектирования : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08, 05.02.02. Пенза, 2006. 40 с.
2. Курносов Н. Е., Тарнопольский А. В., Накашидзе Ю. Ю. Аспекты обеспечения герметичности посадок с натягом в сложных условиях эксплуатации изделий // Транспортное машиностроение. 2022. № 7 (7). С. 24–33.
3. Шишкин С. С. Разработка метода оценки герметичности заклёпочных соединений для определения оптимальных конструктивно-технологических решений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.07.02. Москва, 2010. 20 с.
4. Берникер Е. И. Посадки с натягом в машиностроении : справоч. пособие. М. : Машиностроение, 1966. 167 с.
5. Курносов Н. Е., Салмин В. В., Накашидзе Ю. Ю. Обеспечение герметичности соединений с натягом различными способами сборки // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2024. № 11. С. 21–28.
6. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М. : Машиностроение, 1980. 592 с.
7. Еременкова И. В. Технологическое обеспечение герметичности неподвижных разъемных металлических соединений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Брянск, 2005. 13 с.
8. Евстифеева Е. А. Технологическое обеспечение прочностных характеристик соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Пенза, 2009. 21 с.
9. Зенкин А. С. Технологические основы сборки соединений с натягом. М. : Машиностроение, 1982. 48 с.
10. Федулов В. М. Исследование методов расчета натяга в прессовых соединениях на основе управления технологическими условиями обработки поверхностей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Рыбинск, 2013. 16 с.

References

1. Voyachek I.I. *Quality assurance of fixed connections based on the integrated system of design and technological engineering*. DSc abstract. Penza, 2006:40. (In Russ.)
2. Kurnosov N.E., Tarnopol'skiy A.V., Nakashidze Yu.Yu. Aspects of ensuring tightness of interference fits under difficult operating conditions of products. *Transportnoe mashinostroenie = Transport engineering*. 2022;(7):24–33. (In Russ.)
3. Shishkin S.S. *Development of a method for assessing the tightness of riveted joints to determine optimal design and technological solutions*. PhD dissertation. Moskva, 2010:20. (In Russ.)
4. Berniker E.I. *Posadki s natyagom v mashinostroenii: spravoch. posobie = Interference fits in mechanical engineering: textbook*. Moscow: Mashinostroenie, 1966:167. (In Russ.)
5. Kurnosov N.E., Salmin V.V., Nakashidze Yu.Yu. Ensuring tightness of tension joints using various assembly methods. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya = Repair. Restoration. Modernization*. 2024;(11):21–28. (In Russ.)
6. Novikov M.P. *Osnovy tekhnologii sborki mashin i mekhanizmov = Fundamentals of assembly technology of machines and mechanisms*. Moscow: Mashino-stroenie, 1980:592. (In Russ.)
7. Eremenkova I.V. *Technological provision of tightness of fixed detachable metal connections*. PhD dissertation. Bryansk, 2005:13. (In Russ.)
8. Evstifeeva E.A. *Technological support of strength characteristics of tension joints during assembly with anaerobic materials*. PhD abstract. Penza, 2009:21. (In Russ.)

9. Zenkin A.S. *Tekhnologicheskie osnovy sborki soedineniy s natyagom = Technological principles of assembly of tension joints*. Moscow: Mashinostroenie, 1982:48. (In Russ.)
10. Fedulov V.M. *Research of methods for calculating tension in press joints based on control of technological conditions of surface treatment*. PhD abstract. Rybinsk, 2013:16.

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Ефимович Курнос

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры транспортных
машин, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: kurnosov-ne@mail.ru

Nikolay E. Kurnosov

Doctor of engineering sciences, professor,
professor of the sub-department of transport
vehicles, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Константин Валерьевич Лебединский

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры транспортных машин,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: lebedinskiy_k@mail.ru

Konstantin V. Lebedinskiy

Candidate of engineering sciences, associate
professor, associate professor of the
sub-department of transport vehicles,
Penza State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Юлия Юрьевна Накашидзе

старший преподаватель кафедры
транспортных машин, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yun700@mail.ru

Yuliya Yu. Nakashidze

Senior lecturer of the sub-department
of transport vehicles, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 27.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 22.04.2025

Принята к публикации / Accepted 29.05.2025