

УДК 629.113

## Новый способ герметизации стыка фланцев корпусов при высоком внутреннем давлении

**О.А. Ряховский, Г.В. Малышева, А.Н. Воробьев**

*На жесткость стыка составных корпусов влияют такие факторы, как шероховатость поверхности, волнистость, погрешность формы и размеры фланцев. Применение в качестве уплотняющего средства анаэробных материалов позволяет успешно герметизировать стык фланцевого соединения.*

*Рассмотрен перспективный способ обеспечения герметичности фланцевых соединений при минимальном снижении жесткости стыка по сравнению с уплотнением фланцев стыка податливыми прокладками.*

*Приведены результаты экспериментальных исследований герметичности плоского стыка фланцевого соединения при перепаде давлений до 120 атм. с помощью анаэробного материала LOCTITE производства фирмы Henkel. Эксперимент показал положительный результат герметизации стыка с помощью анаэробного герметика.*

**Ключевые слова:** корпус насоса, фланцевое соединение, анаэробный материал, плотность стыка.

## A New Method of Housing Flanges Sealing under High Internal Pressure

**O.A. Ryahovskiy, G.V. Malysheva, A.N. Vorobiev**

*The article presents an advanced method providing housing flanges sealing with a minimum decrease of joint stiffness compared to flanges sealing joints with flexible pads. Such factors as surface roughness, waviness, shape defect, and flanges dimensions themselves effect on joint stiffness of housing components. Using anaerobic materials as a means of sealant can successfully seal flange butt joint. Experimental research results of a plane flange sealing under differential pressures up to 120 bar, and using anaerobic material LOCTITE manufactured by Henkel, are given. The experiment showed positive result of joints sealing with the use of anaerobic sealant.*

**Keywords:** pump housing, flange butt joint, anaerobic material, stiffness butt joint.

Фланцевые соединения различных форм соединяемых деталей широко применяют в машиностроении. Фланец может быть соединен с трубой или корпусом сложной формы. Как правило, конструктор предпочитает проектировать корпусные детали цельными, что обеспечивает увеличение жесткости корпуса, снижение массы, удешевление конструкции.



**РЯХОВСКИЙ**  
Олег Анатольевич  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**RYAHOVSKIY**  
Oleg Anatolyevich  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)



**МАЛЫШЕВА**  
Галина Владленовна  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**MALYSHEVA**  
Galina Vladlenovna  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)



**ВОРОБЬЕВ**  
Александр Николаевич  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**VOROBIEV**  
Alexander Nikolaevich  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)

Однако в случаях необходимости расположения габаритных деталей и механизмов внутри корпуса, корпуса приходится делать составными. Таким образом появляются плоскости разъема (стыки).

Конструктор стремится к тому, чтобы разъемный корпус по своим характеристикам возможно ближе приближался к цельному корпусу.

Как известно [1–3], реальная площадь контакта «чисто» отработанных поверхностей составляет не более 10% номинальной площади стыка. Остальные 90% площади контакта это щели и поры, вызванные отклонениями реальной поверхности от идеальной плоскости, что влияет на герметичность стыка поверхности. Отрицательно влияют на жесткость составных корпусов также такие факторы, как шероховатость, волнистость и погрешности формы поверхностей соединяемых деталей. Особенно остро данная проблема стоит при необходимости герметизации стыков корпусов с высоким внутренним давлением.

Существенное влияние на характер распределения напряжений сжатия (давления) в стыке после затяжки крепежных винтов силой  $F_{\text{зат}}$  и действии отрывающей силы  $F$  оказывает деформация участков корпусов в соединениях фланцев (рис. 1) [4].

Зависимость давления в стыке круглого фланца от толщины пластин  $t$ , полученные расчетным путем показаны на рис. 2. С увеличением толщины фланца в 4 раза давление в стыке выравнивается.

Герметичность стыков подобных корпусов обеспечивают применением податливых прокладок, изготовленных из композитных пластичных материалов. При сжатии материал прокладок заполняет зазоры и щели между соединяемыми деталями, создавая герметичность стыка. Однако при этом корпуса получают дополнительную податливость в стыке (нормальную и тангенциальную), что способствует повышению виброактивности конструкции. Кроме этого, в прокладке, изготовленной из вязкоупругого материала, происходят релаксационные процессы и давление в стыке со временем снижается, а вместе с ним и герметичность, также искажается форма отверстий в корпусах под подшипники, что отрицательно

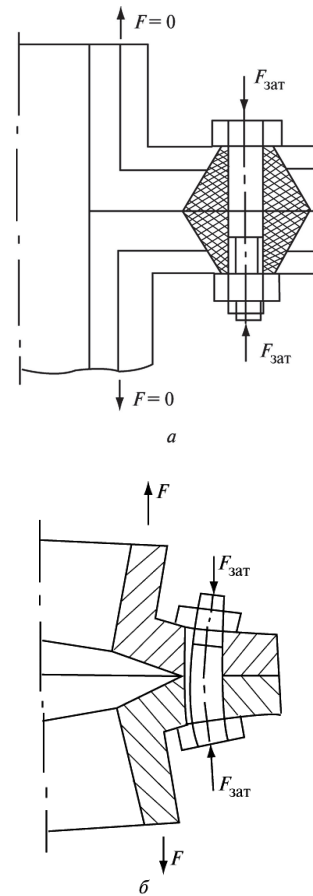


Рис. 1. Деформации фланцевого соединения:

*a* — без нагрузки силой  $F$ ;  
*б* — под воздействием силы  $F$

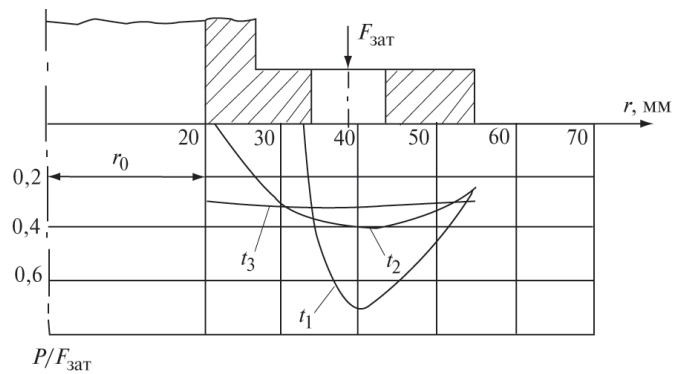


Рис. 2. Зависимость давления в стыке от толщины пластин фланцев:

$t_1 = 9$  мм;  $t_2 = 18$  мм;  $t_3 = 36$  мм

влияет на условия их работы. Следовательно, необходимо, чтобы стык такого корпуса был жестким и герметичным. Эту проблему можно решить, используя достижения химии высокомолекулярных соединений.

В современных машинах в таких случаях применяют жидкие прокладки из анаэробного материала [5]. После сжатия винтами поверхностей герметизируемого стыка жидкая прокладка, предварительно нанесенная на поверхности соединяемых деталей, заполняет зазоры и полости. Особенность этого материала состоит в том, что при контакте с кислородом (на воздухе) он представляет собой низкомолекулярную жидкость и поэтому легко наносится на металлические поверхности герметизируемого стыка, заполняя неровности. В отсутствии кислорода и при наличии металла, являющегося катализатором, протекает реакция полимеризации материала жидкой прокладки. В результате создается соединение, когда две металлические поверхности приходят в соприкосновение по вершинам отдельных выступов, а остальное пространство заполнено полимеризованным материалом жидкой прокладки. При этом достигается высокая жесткость и герметичность стыка.

Целью данной работы является экспериментальная оценка герметичности плоского фланцевого соединения частей корпуса при высоком внутреннем давлении (110...120 атм.).

Качество рабочих поверхностей фланцев характеризуется показателями шероховатости и волнистости. Контактующие поверхности фланцев обработаны на токарном станке до шероховатости  $R_a = 1,6$  мкм. Толщины стенок образца и размеры фланцев выбраны в геометрическом подобии с соединением частей корпуса насоса.

Для экспериментального изучения способности герметизировать стык фланца анаэробным герметиком (жидкой прокладкой) проведены испытания. Первоначально сжатие плоскости разъема осуществлялось силой затяжки шпилек без уплотнителя. Сразу после начала роста давления жидкости была обнаружена утечка жидкости через фланец.

В качестве герметизирующего средства выбран рекомендуемый продукт LOCTITE 510 — однокомпонентный тиксотропный анаэробный герметик.

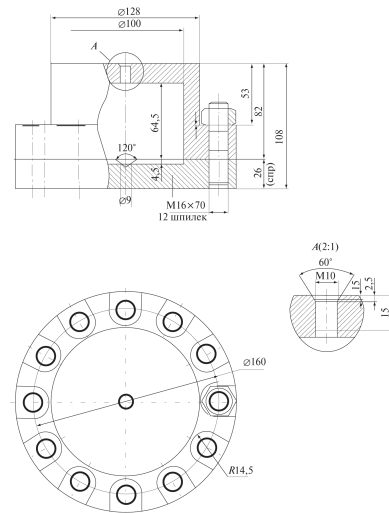


Рис. 3. Эскиз образца

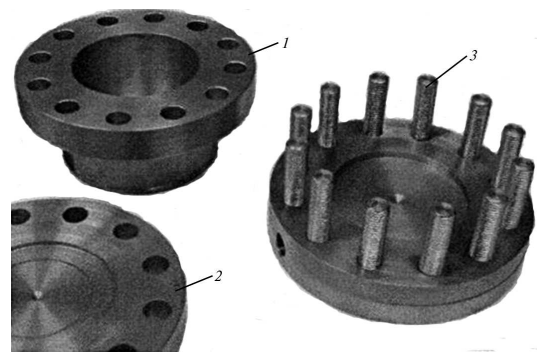


Рис. 4. Детали фланцевого соединения перед сборкой:

1, 2 — детали корпуса; 3 — шпильки

Эскиз испытуемого соединения приведен на рис. 3, а, а фотографии экспериментальной установки в разобранном состоянии — на рис. 4.

Технология сборки фланцевых соединений существенным образом зависит от типа производства.

Перед нанесением анаэробного герметика поверхность стыка тщательно очищалась специальным растворителем LOCTITE 7063 и протиралась ветошью. После высыхания растворителя на поверхность стыка, свободную от шпилек, кистью наносился тонкий слой герметизирующего продукта LOCTITE 510. Затем обе части образца сжимались силами затяжки шпилек. Затяжка шпилек проводилась крест на крест в два круга: первый круг — половина полной силы затяжки; второй круг — полная сила затяжки. Максимальная сила затяжки определялась прочностью стержня и резьбы шпилек с учетом действия давления внутри корпуса.

Связь между моментом завинчивания на ключе  $T_{зав}$  и силой завинчивания (затяжки)  $F_{зат}$  определяется выражением

$$T_{зав} = T_p + T_T = F_{зат} [0,5d_2 \operatorname{tg}(\psi + \varphi_1) + f_t(a + d_0)/4],$$

или

$$T_{зав} \approx 0,2F_{зат}d,$$

где  $T_{зав}$  — момент завинчивания гайки;  $T_p$  — момент трения в резьбе;  $T_T$  — момент трения на торце гайки;  $F_{зат}$  — сила затяжки шпильки;  $d_2$  — средний диаметр резьбы;  $\psi$  — угол подъема развертки винтовой линии по среднему диаметру  $d_2$  (обычно  $\psi = 2^\circ 30' \dots 3^\circ 30'$ );  $\varphi_1$  — приведенный угол трения,  $\varphi_1 = \varphi / \cos \alpha / 2$  (для метрической резьбы  $\alpha / 2 = 30^\circ$ , тогда  $\varphi_1 \approx 1,15\varphi$ );  $\varphi$  — угол трения;  $a$  — размер под гаечный ключ ( $a \approx 1,3d$ );  $d_0$  — диаметр отверстия во фланце под шпильку ( $d_0 \approx 1,1d$ );  $d$  — наружный диаметр резьбы;  $\alpha$  — угол профиля резьбы в поперечном сечении.

Сила предварительной затяжки одной шпильки составила  $F_{зат} = 46\,800$  Н. При этом давление на стыке  $P_{ст} = 27,40$  МПа  $\approx 2,74$  атм.

Время полимеризации от момента затяжки шпилек до начала испытаний составило 48 ч. Затяжка всех шпилек проводилась с помощью динамометрического гаечного ключа, позволяющего точно контролировать момент завинчивания гайки ( $T_{зав} = 150$  Н·м). Возможная утечка масла через плоскость стыка контролировалась визуально и по показаниям манометра, установленного на выходе из насоса.

Перед каждым испытанием внутренняя полость заполнялась рабочей жидкостью (машинное масло АМГ-10) через отверстие под штуцер. При этом устранялся воздух внутри полости корпуса. Внутреннее давление в рабочей полости создавалось ручным насосом (рис. 5).

Экспериментальное исследование состояло из двух этапов. На первом этапе давление жидкости составило  $P = 93 \dots 95$  атм. При этом утечки жидкости не наблюдалось. На втором этапе давление было увеличено до  $110 \dots 112$  атм. и выдерживалось в течение  $3 \dots 4$  ч. Утечки жидкости не наблюдалось.

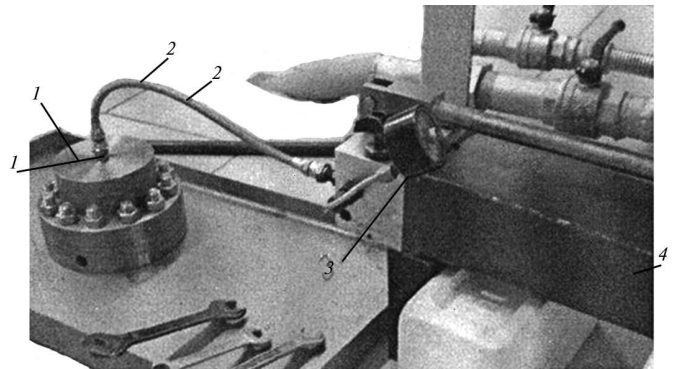


Рис. 5. Испытательная установка в сборе:

1 — испытуемый образец в сборе; 2 — подводящий маслопровод; 3 — манометр; 4 — плунжерный насос

После этого были проведены дополнительные испытания шестью шпильками. Результаты испытаний представлены ниже:

Этап эксперимента	Методика испытаний	Результаты
1	Сборка образца с жидкой прокладкой LOCTITE 510; затяжка гаек моментом $M_{зат} = 150$ Н·м; выдержка на полимеризацию 48 ч, затем подача жидкости в полость	При максимальном давлении внутри полости $P = 110 \dots 120$ атм. утечки жидкости не наблюдалось в течение $3 \dots 4$ ч
2	Удалили шесть гаек через одну после этапа 1	При давлении $P = 35 \dots 40$ атм. утечки жидкости не наблюдалось в течение $2 \dots 3$ ч. При давлении $P = 75$ атм. произошла утечка жидкости

## Выводы

1. В результате проведенных исследований установлено, что использование анаэробного состава LOCTITE 510 обеспечивает герметизацию фланцевого соединения; повышает ремонтпригодность, а также упрощает и удешевляет процесс уплотнения стыка, благодаря сокращению номенклатуры формованных прокладок.

2. С уменьшением числа шпилек в 2 раза, при давлении  $35 \dots 40$  атм. утечки жидкости не наблюдалось, тогда как при увеличении давления до  $75 \dots 77$  атм. имеет место разгерметизация стыка.



## Литература

1. Бouden Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка. М.: Машгиз, 1960. 151 с.
2. Польцер Г., Маесснер Ф. Основы трения и изнашивания. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
3. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. М.: Машиностроение, 1986. 360 с.
4. Ковган С.Т. Теория и методы расчета и проектирования фланцевых соединений. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1991. 32 с.
5. Промышленные клеи, герметики и составы для обработки поверхностей. Каталог продуктов. Henkel.

## References

1. Bouden F.P., Teibor D. *Trenie i smazka* [Friction and Lubrication]. Moscow, Mashgiz publ., 1960. 151 p.
2. Polzer G., Meissner F., 1983, *The Friction and Wear Fundamentals* [Grundlagen zu Reibung und Verschleiß]. VEB

German publisher for basic industries, Leipzig. (Russ ed.: Pol'tser G., Maessner F. *Osnovy treniia i iznashivaniia*. Moscow, Mashinostroenie publ., 1984. 264 p.)

3. Buckley D.H. *Surface effects in adhesion, friction, wear and lubrication*. Elsevier, 1981. (Russ. ed.: Bakli D. *Poverkhnostnye iavleniia pri adgezii i friktsionnom vzaimodeistvii*. Moscow, Mashinostroenie publ., 1986. 360 p.)

4. Kovgan S.T. *Teoriia i metody rascheta i proektirovaniia flantsevykh soedinenii. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Theory and methods of analysis and design of flanges. Abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Leningrad. 1989.

5. *Promyshlennnye klei, germetiki i sostavy dlia obrabotki poverkhnostei. Katalog produktov* [Industrial adhesives, sealants and surface treatments. Product Directory]. Henkel.

Статья поступила в редакцию 14.03.2012

## Информация об авторах

**РЯХОВСКИЙ Олег Анатольевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: rolgan@mail.ru).

**МАЛЫШЕВА Галина Владленовна** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**ВОРОБЬЕВ Александр Николаевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1).

## Information about the authors

**RYANOVSKIY Oleg Anatolyevich** (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Fundamentals of Machine Design» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: rolgan@mail.ru).

**MALYSHEVA Galina Vladlenovna** (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Rocket-and-Space Composite Construction» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).

**VOROBIEV Alexander Nikolaevich** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Fundamentals of Machine Design» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).