

Проблемы межсекционного соединения биметаллических радиаторов отопления

А. А. Лобач, канд. техн. наук,

В. В. Бегнарский, канд. техн. наук,

А. А. Беляева, инженер

Ключевые слова: биметаллический радиатор, межсекционное соединение, замковое соединение, плоская прокладка, линейный коэффициент расширения

Герметичность и надежность биметаллического радиатора обеспечиваются, в числе прочего, конструктивным исполнением его межсекционного соединения. Понимание особенностей таких соединений и их влияния на эксплуатационные характеристики прибора позволит совершенствовать отопительную технику, добываясь более высоких рабочих параметров.

Биметаллические радиаторы широко востребованы на российском рынке отопления. Их основные преимущества определяются конструктивными особенностями [1]. Стальной сердечник обеспечивает высокую прочность, а хорошая жидкотекучесть алюминиевого сплава позволяет создать развитую поверхность для обеспечения значительной тепловой мощности изделия. Большинство производителей таких радиаторов выпускают их в виде соединенных между собой отдельных секций. Сборная конструкция отопительного прибора позволяет производить переконфигурацию секций под конкретные задачи прямо на строительном объекте. Такое удобство заставляет обратить особое внимание на межсекционное соединение биметаллического радиатора, поскольку именно оно обеспечивает высокие

показатели герметизации всего изделия. Высокая прочность отдельных секций радиаторов достигается проще, чем получение высоких рабочих давлений у всего прибора целиком – это уже другая, весьма сложная конструкционная задача.



■ Рис. 1. Радиатор сборный

Секции биметаллического радиатора соединяют между собой с помощью специального ниппеля (рис. 1). В каждой секции в верхнем и нижнем коллекторах изготавливают трубную резьбу [2] в один дюйм. Для возможности скручивания секций в них делают с правой стороны правую резьбу, а с левой стороны – левую. Ниппель в виде короткой трубы имеет соответствующие витки с противонаправленной резьбой. Такое исполнение ниппеля и соединяемых секций обеспечивает стягивание секций с требуемым усилием.

Очевидно, если осуществить сборку радиатора только на ниппелях, то не будет герметизации внутренней части [3], где движется теплоноситель (вода). Поэтому для герметизации такого межсекционного стыка используют специальные уплотнительные прокладки.

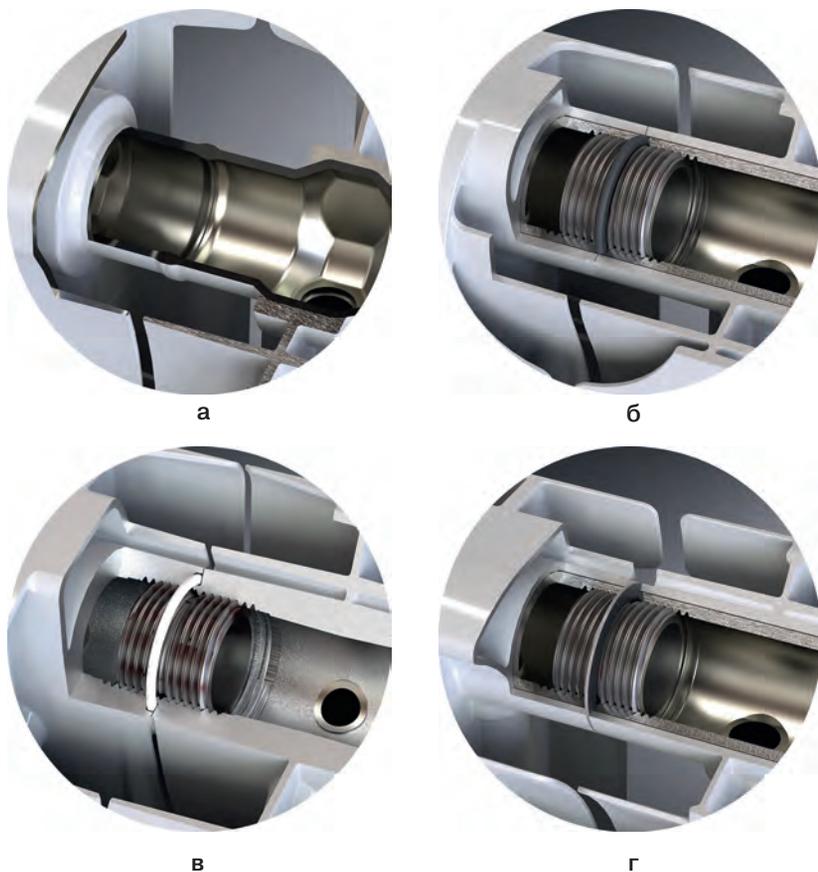
В практике производства биметаллических радиаторов используют в основном три вида соединений. Один из них (рис. 2а) – это контактная сварка, не требующая никаких уплотнителей (пример – монолитные биметаллические радиаторы [4]). Для двух других требуются прокладки разной конфигурации – это замковое соединение (рис. 2б и 2в) и плоское соединение (рис. 2г).

Соединение секций с выполнением кольцевого паза [5], или замковое соединение (рис. 2б), отличается тем, что прокладка надежно запирается между секциями. При изготовлении таких прокладок чаще всего используют смеси на базе силикона или EPDM для воды и фторкаучука для масла. Для этого на торцах секций выполняют специальное углубление – седло. При сборке радиатора прокладку размещают и зажимают в полости между соединяемыми секциями и специальным ниппелем (рис. 2б).

Другой пример замкового соединения – известное техническое решение (рис. 2в), раскрытое еще в 1985 году в итальянском патенте [6]. Паз выполняют в алюминиевой части на торце секции, а запираение прокладки обеспечено благодаря взаимному совмещению соответствующих выступов на соседних секциях радиатора.

Приведенные замковые соединения обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики в течение долгого времени, а также позволяют устройству работать при очень больших давлениях (свыше 100 атм). Материалы прокладок не подвержены старению и потере эксплуатационных свойств, что характерно при применении паронита и его аналогов.

В биметаллическом радиаторе с горизонтальным стальным коллектором использовать



■ Рис. 2. Виды межсекционного соединения радиаторов: а – безрезьбовое, автоматическая стыковая сварка; б и в – гидравлическое соединение типа замок; г – простое плоское соединение

конструкцию с пазом не так просто, как кажется на первый взгляд. Горизонтальный коллектор состоит из стальной трубы и наружного слоя из алюминиевого сплава толщиной 1,3–2,5 мм, полученного литьем (рис. 2б). Операцию механической обработки сразу нескольких слоев из материалов с разными свойствами и разным типом стружки в рассматриваемой биметаллической конструкции выполнять технологически сложно. Алюминиевый сплав сильно отличается по механическим свойствам от стали: твердость НВ применяемого АК12М2 равна 7,0–8,3 МПа, а стали 08пс – около 11,5 МПа [7], при этом стружка первого материала ломкая,

а второго – витая. Поэтому, несмотря на преимущества соединения секций с выполнением кольцевой канавки и использованием кольцевого уплотнителя, на практике только несколько компаний используют этот способ соединения для биметаллических радиаторов, остальные предпочитают конструкции с плоским уплотнителем. Вместе с этим очень сложно изготовить канавку только в слое алюминия или только в слое стали (рис. 3) с размерами, достаточными для размещения в ней эластичной прокладки с сечением, необходимым для надежной герметизации.

Плоское соединение оценивают как экономически более

предпочтительное для биметаллического радиатора (рис. 2г). Не нужно усложнять технологию и использовать значительно более дорогие уплотнители из требуемых в системах отопления видов резины или силиконов. В любом случае сопрягаемые торцевые части секций радиаторов должны быть прямолинейными, без искажений прилегающих поверхностей для их параллельности, и не иметь дефектов, способных привести к порче прокладок на этапе сборки радиатора или при чрезмерном увеличении усилия сжатия.

Следует пояснить, что практика использования плоского соединения сложилась на основе зарубежного положительного опыта производства алюминиевых радиаторов, ведущего свою историю с 60-х годов XX века [8, 9]. Преимущество плоского межсекционного соединения в конструкции биметаллического радиатора требует корректировки геометрических параметров и оценки влияния некоторых технологических режимов производства для надежной герметичности прибора.

Сегодня внешние габаритные размеры коллектора биметаллического радиатора с плоским соединением повторяют внешний размер коллекторов обычных алюминиевых радиаторов. Применяемые для сборки ниппели и прокладки в биметаллическом радиаторе аналогичны алюминиевому прототипу. В процессе покраски радиаторы по-прежнему нагревают до 180–200 °С, не учитывая того, что коллектор нового двухкомпонентного изделия имеет сопрягаемые торцевые плоскости, состоящие из двух материалов с разным тепловым расширением.

Рассмотрим конструкцию алюминиевого радиатора с «дюймовыми» коллекторами. Торцевой

внешний диаметр коллектора составляет порядка 41–43 мм, внутренний диаметр – 33,5 мм. Большинство производителей используют прокладки размерами 42×32 мм. Внутренний диаметр прокладки 32 мм обусловлен необходимостью плотно и без перемещений охватывать ниппель, который в месте расположения прокладки имеет схожий диаметр. Плоские прокладки таких же размеров используют для сборки биметаллических радиаторов.

В Западной Европе производители алюминиевых радиаторов сегодня, как и раньше, предлагают изделия со значением рабочего давления 6 атм [10, 11]. Проверку герметичности такого прибора выполняют по нормативу EN442-1 Радиаторы и конвекторы. Часть 1. Технические условия и требования [12] давлением, в 1,3 раза превосходящим рабочее, то есть до 7,8 атм. С точки зрения нормативов для подобных соединений размеры прокладок уже не удовлетворяют требованиям для таких давлений, как 7,8 атм, не говоря уже о давлениях, при которых должны испытываться радиаторы отопления в РФ [1, 3]. В нашей стране можно встретить заявляемые производителями значения опрессовочного давления радиаторов в 30 атм для алюминиевых и 45 атм для биметаллических.

Если обратиться к российскому ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры [13], то паронитовая прокладка с минимальной указанной толщиной 2 мм должна иметь внутренний диаметр 29 мм (наиболее близкий к 32 мм), а внешний – 63 мм для давлений до 6,3 атм и 69 мм для давлений от 10 до 40 атм. Очевидно, что расчет надежности прокладки основан на суммарном усилии на выдавливание, которое

представляет собой функцию внутреннего давления, длины окружности по внутреннему диаметру плоской прокладки и ее толщины.

Если пересчитать внешний диаметр прокладки при ее толщине в 1 и 0,5 мм и давлении до 6,3 атм, то получим для внутреннего диаметра 32 мм внешние диаметры, приведенные в табл. 1. Аналогичные размеры для давлений 10–40 атм составят 70 мм (толщина 2 мм), 54 мм (толщина 1 мм), 44,7 мм (толщина 0,5 мм).

По зарубежным нормативам DIN 2690 Кольца уплотнительные для фланцевых соединений на номинальное давление от 1 до 40 кгс/см² [14] и DIN EN 1514-1 Фланцы и их соединения. Размеры прокладок для фланцев с обозначением PN. Часть 1. Неметаллические плоские прокладки со вставками или без них [15], внешний диаметр прокладок для выполнения условия герметичности больше, чем в ГОСТ 15180 [13]. Иными словами, при условии параллельности, соосности и шероховатости R_a от 10 до 5 мкм сопрягаемых торцевых поверхностей нарушены нормы площади прокладки, т. е. при фиксированном внутреннем диаметре ее внешний диаметр меньше нормы даже при толщине 0,5 мм и давлении до 6,3 атм.

Теперь рассмотрим, что происходит при производстве радиатора с межсекционным соединением в случае наличия горизонтального стального коллектора. После сборки радиатор проходит операцию порошковой окраски, на этом этапе для полимеризации краски его нагревают ориентировочно до 200 °С.

Определим напряжение, возникающее на торце коллектора радиатора.

В расчетах используем линейный коэффициент расширения

Таблица 1

Расчетные размеры плоских прокладок для радиатора по нормативам

	Внутренний диаметр $D_{вн}$, мм	Толщина прокладки s_0 , мм	Рабочее давление, атм	Внешний диаметр $D_{н}$, мм
ГОСТ 15180	32	1,0	до 6,3	51,0
		0,5		42,5
		1,0	10,0–40,0	54,0
		0,5		44,7
DIN 2690		1,0	до 6,0	53,4
		0,5		44,0
		1,0	10,0–40,0	58,9
		0,5		47,0

[16, 17], который показывает, насколько увеличивается каждый метр длины при изменении температуры на один градус

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}, \quad (1)$$

где Δl – изменение длины;

l_0 – начальный размер;

Δt – изменение температуры.

$$\Delta t = (t_1 - t_0); \Delta l = (l_1 - l_0), \quad (2)$$

где t_0 – начальная температура;

t_1 – температура нагрева;

l_1 – линейный размер при нагреве.

Из формул (1) и (2) следует, что изменение длины Δl при некоторой температуре (рис. 3), отличающейся от начальной на Δt градусов, выражается формулой:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 (t_1 - t_0). \quad (3)$$

Используя закон Гука [16]:

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (4)$$

где σ – нормальное напряжение в поперечном сечении;

E – модуль упругости;

ε – относительное удлинение определим напряжения при возникающих усилиях в конструкции межсекционного соединения.

Напряжение на прокладке, связанное со сборкой радиатора, при условии сборки с усилием 50 Н·м,

Таблица 2

Параметры межсекционного соединения биметаллического радиатора с плоским уплотнением

Материал	$\alpha, 1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$	$l_0, \text{мм}$
Сталь	13,4	80,0
Алюминиевый сплав	20,5	80,0
Паронит	24,9	0,9

составит 2,2 МПа. При нагревании секции алюминиевого радиатора до 200 °С расширяется весь коллектор секции алюминиевого радиатора. Возникающее при этом дополнительное напряжение объясняется сопротивлением расширению стального ниппеля, материал которого имеет меньший коэффициент теплового линейного расширения, чем материал алюминиевого коллектора (табл. 2). Таким образом, расширение считаем на длине ниппеля, при этом учитываем, что площадь сечения ниппеля в 2,5 раза меньше, чем площадь алюминиевого торца. Полученное по результатам расчетов значение, равное 0,005 МПа, ничтожно мало по сравнению с начальным напряжением. Максимально возможное расчетное удлинение при таком напряжении составит 0,02 мм [18].

Поэтому для алюминиевого радиатора нагрев при покраске практически никак не скажется на герметичности соединения.

Теперь определим напряжение на торце биметаллического

радиатора (рис. 3). Начальное усилие при сборке аналогично значениям, принятым для алюминиевого радиатора. При нагревании секции биметаллического радиатора стальная закладная коллектора и ниппель не создают дополнительных усилий на прокладку. Избыточное сжимающее усилие связано с присутствием алюминиевого слоя, находящегося над стальной закладной коллектора. В этом случае в расчетах необходимо учесть расширение по ширине коллектора секции. Для расчета используем 80 мм – стандартная ширина секции радиатора. Полученное расчетное напряжение составит 0,025 МПа, что в пять раз больше, чем у алюминиевого радиатора. При этом деформация участка прокладки, сжимаемой алюминиевой частью коллекторов, составит 0,1 мм.

В ходе натурального эксперимента секцию биметаллического радиатора нагревали в электрической печи, контролировали геометрию торцевой поверхности при температурах +20 и +200 °С. Результаты

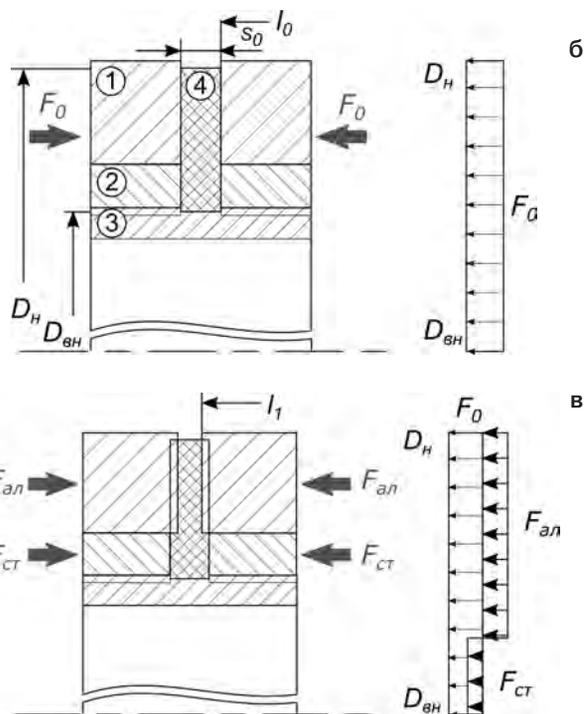
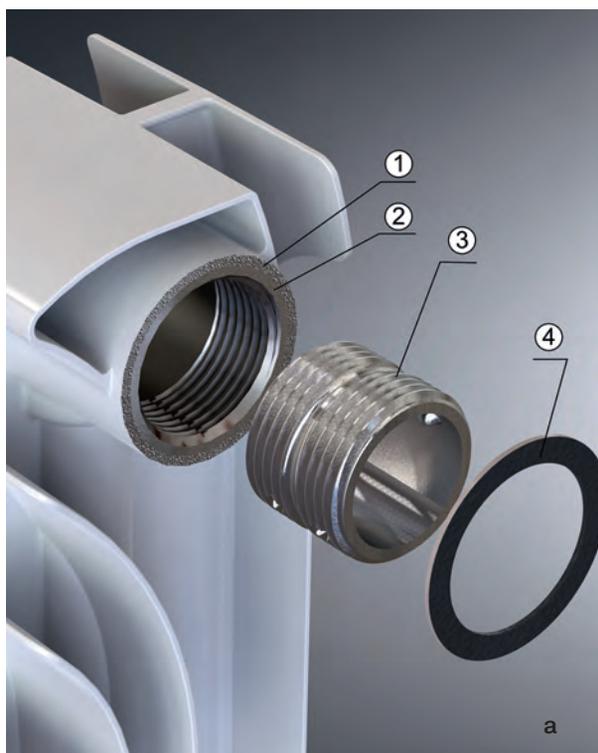


Рис. 3. Взаимодействие элементов межсекционного соединения биметаллического радиатора с плоским уплотнением при нагреве (1 – слой алюминиевого сплава; 2 – слой стали; 3 – стальной ниппель; 4 – прокладка из паронита): а – внешний вид; б – до нагрева; в – после нагрева

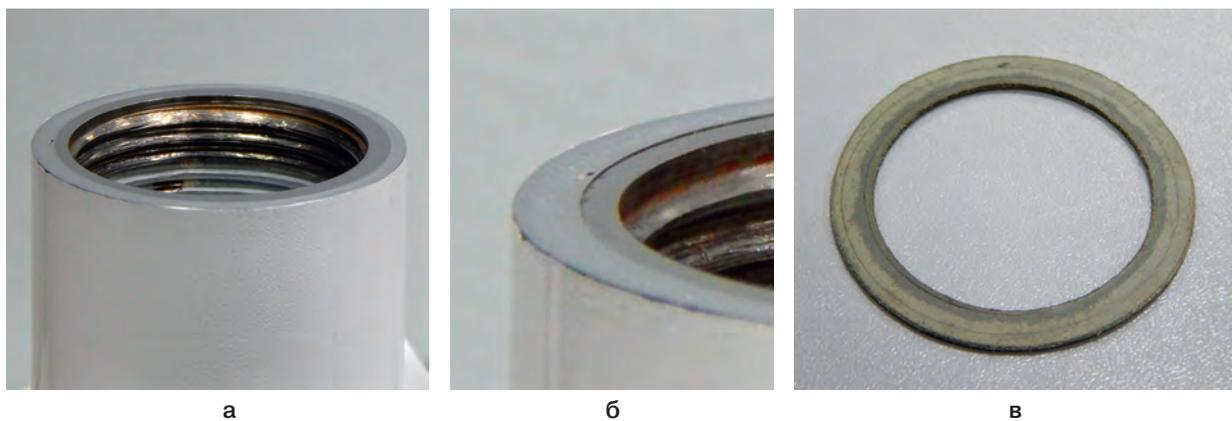


Рис. 4. Результаты эксперимента: а – исходный образец при температуре +20 °С; б – образец во время нагрева до +200 °С (видна ступенька на разделе сталь–алюминиевый сплав); в – деформированная прокладка из биметаллического радиатора

представлены на рис. 4, где видно, что исходный образец имеет ровную торцевую поверхность. При нагреве до +200 °С в результате теплового расширения материалов с разными физическими свойствами прокладка испытывает более высокое сжимающее воздействие в алюминиевой части. На photographs эксперимента

наблюдаем образование ступеньки на торце нагретой секции, а также деформацию прокладки с характерным окантовывающим следом после извлечения ее из межсекционного соединения.

При восстанавливаемости паронитовой прокладки даже до 50 % [18, 19] напряжение на торце сжимаемой алюминиевой

части коллекторов уменьшится в два раза. При двукратном нагреве (сушка грунта и полимеризация порошковой краски) напряжение упадет в четыре раза. Таким образом, наблюдается падение начального усилия, созданного при сборке, т.е. ослабление стягивания секций между собой. Далее в результате

эксплуатации эффективное сжимающее напряжение будет наблюдаться только на поверхности стальной части торца межсекционного соединения. Т. е. работать будет прокладка с диаметром в пределах 33,5–38 мм. Если провести сравнение с данными табл. 1, то можно сделать вывод о том, что прокладка с такими размерами не соответствует никаким нормативным документам даже при рабочем давлении ниже 6 атм.

Необходимо отметить, что размеры прокладок, указанные в нормативах, даны с коэффициентом запаса. Рабочее давление в системах отопления редко бывает более 6 атм, и поэтому мы не наблюдаем массовых межсекционных протечек биметаллических радиаторов. Однако отсутствие запаса надежности таких соединений приводит к тому, что сбой в технологии изготовления (нарушение шероховатости, условий хранения плоских прокладок, изменение крутящего момента при скручивании секций) может привести к протечке.

Таким образом, при использовании плоского уплотнения оптимизацию соединения рационально направить на предотвращение рассмотренного деформационного воздействия на прокладку со стороны торцевых частей, выполненных из стали и алюминиевого сплава.

В заключение выделим принципиально новый способ межсекционного соединения биметаллических радиаторов, основанный на контактно-стыковой сварке (см. рис. 2а), при котором в секциях биметаллического радиатора не выполняется резьба, ниппель и уплотнитель не используются, не происходит уменьшение толщины стенки стального коллектора в месте нарезки или накатки резьбы. В результате получается надежное герметичное соединение [4].

Выводы

1. Высокое качество радиатора, его герметичность при эксплуатации и продолжительный срок службы обеспечиваются надежным межсекционным соединением.

2. Целью оптимизации замкового межсекционного соединения является конструкция, обеспечивающая надежность и герметичность соединения без сложной механической обработки двуслойной торцевой поверхности, а также отсутствие теплоносителя в зоне контакта стали и алюминиевого сплава.

3. Применение плоской прокладки, хорошо зарекомендовавшей себя в алюминиевых радиаторах, для биметаллических радиаторов имеет ряд особенностей, снижающих надежность соединения секций.

4. Монолитный биметаллический радиатор не требует герметизации межсекционного соединения. Сварное соединение секций, в отличие от резьбового, обладает уникальной надежностью.

Литература

1. ГОСТ 31311-2005 Приборы отопительные. Общие технические условия.
2. ГОСТ 6357-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трубная цилиндрическая.
3. Бегнарский В. В., Солодченко А. И. Производственные испытания радиаторов пробным давлением // С. О. К. – 2012. – № 8(128). – С. 70–73.
4. Это интересно. Радиатор – MONOLIT! // С. О. К. – 2011. – № 9(117). – С. 57.
5. Fisher L. Leak-tight seal between mating portions of assembled hollow castings // Patent US 3591207A, 1969.

6. Цалзолари С., Группиони В. Секция радиатора для систем отопления и соответствующей техники строительства // Патент Италии № 2179693, 1985.
7. Марочник сталей и сплавов / Сост. Драгунов Ю. Г. и др. 6-е изд., стер. – М.: Инновационное машиностроение, 2019.
8. Sira Industrie, 60 years of history with aluminium and a leader in automotive castings // A&L. – December 2019. – № 6. – С. 12–19.
9. Company profile. Faral, radiatori italiani dal 1966 // faral.com
10. Radiatori in alluminio pressofuso. Scheda prodotto // www.radiatori-pasotti.it
11. Product profile. Radiators in die-cast aluminum. Sira Industrie S.p.A // www.siraindustrie.com.
12. EN 442-1-2015 Радиаторы и конвекторы. Часть 1. Технические условия и требования.
13. ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры.
14. DIN 2690 Кольца уплотнительные для фланцевых соединений на номинальное давление от 1 до 40 кгс/см².
15. DIN EN 1514-1 Фланцы и их соединения. Размеры прокладок для фланцев с обозначением PN. Часть 1. Неметаллические плоские прокладки со вставками или без них.
16. Кушнер В. С. и др. Материаловедение: учебник. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014.
17. Попова М. В., Ружило А. А. и др. Линейное расширение алюминия и его сплавов. Том 1. – Новокузнецк, 2001.
18. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия.
19. ГОСТ 24038-90 Материалы асбестополимерные листовые уплотнительные. Метод определения сжимаемости и восстанавливаемости.