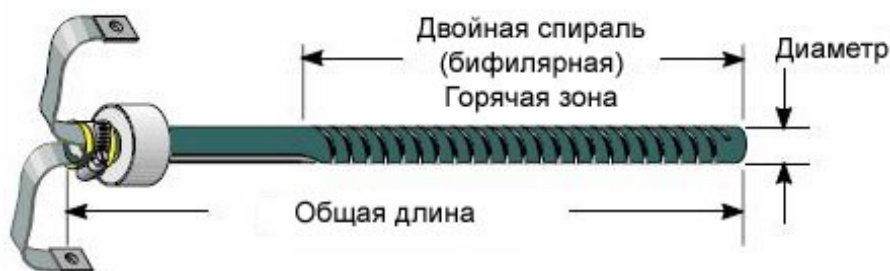


Карбидокремниевый нагревательный элемент

Starbar® Туп SER и TSR

Общее описание SER

Сделанный из высокоплотного связанного карбида кремния, элемент SER Starbar является нагревателем с токовыводами, расположенными с одного конца нагревателя. Активная часть имеет двойную спиральную прорезь, которая уменьшает площадь поперечного сечения элемента, через который проходит электрический ток, в результате активная часть имеет более высокое сопротивление, чем концы элемента. Токовывод имеет две продольные прорези по длине трубы. Элемент SER имеет керамическую втулку, прицементированную к концам токовывода. Токовыводы SER элемента металлизированы алюминием на расстояние 5см. К этой металлизированной поверхности, при помощи упругих хомутов из нержавеющей стали, прикреплены плоские плетеные алюминиевые ремешки. Хомуты электрически изолированы от плоских алюминиевых ремешков при помощи высокотемпературной изоляции. Алюминиевая плетенка имеет длину 254 мм и отверстия, обеспечивающие легкое соединение с контактами подачи энергии.



Общее описание TSR

Поставляется пяти разных диаметров, TSR элемент имеет канал большого внутреннего диаметра и используется как камера нагрева. Имея оба токовывода с одной стороны, TSR Starbar элемент аналогичен элементу Starbar SER. TSR Starbar элемент имеет тонкостенную конструкцию и точный внутренний диаметр, что позволяет использовать его для трубчатых печей. Обычно TSR Starbar элемент не требует керамической втулки, но возможна поставка и с керамической втулкой. Плоские алюминиевые плетеные ремешки удерживаются хомутами из нержавеющей стали. Хомут электрически изолирован при помощи высокотемпературной изоляции от алюминиевой плетенки.

Элементы TSR и SER Starbar маркируются общей длиной, длиной активной части и диаметром. Пример: SER 610 x 406 x 32 является элементом с общей длиной 610 мм, длиной активной части 406 мм и внешним диаметром 32мм.

Качество исполнения



При плотности $2,7 \text{ г/см}^3$, этот высокоплотный элемент способен работать в агрессивных средах. Эта высокая плотность не допускает окисления кристаллической решетки. Вследствие этого элемент имеет очень низкую скорость старения.

Взаимозаменяемость

Starbar нагревательные элементы взаимозаменяемы с карбидокремниевыми нагревательными элементами, производимыми в США, а также с нагревательными элементами высокого сопротивления, производимыми в Азии и Европе. При заказе нагревателей Starbar, важно обеспечить номинальное электрическое сопротивление.

Поставляемые размеры

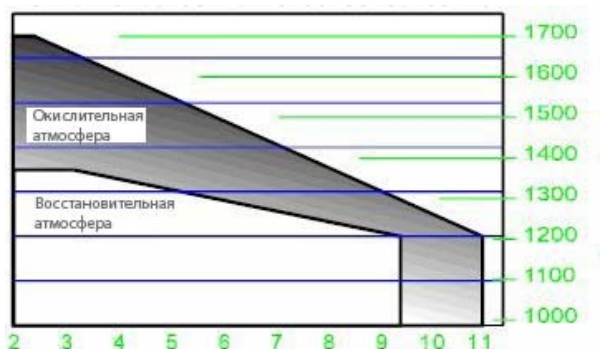
Элементы Starbar производятся любой длины до 2032 мм. Максимальная длина активной части 1016 мм в данный момент. Пожалуйста, обратитесь к таблице А для выяснения поставляемых диаметров и длин.

Рабочая температура

В воздушной атмосфере или в атмосфере аргона или гелия элементы SER и TSR могут работать при температуре печи 1650°C . В восстановительной атмосфере максимальная рабочая температура 1370°C . Обратитесь к графику 1 зависимости максимальной удельной поверхностной мощности от температуры.

Но поверхности карбида кремния образуется защитный слой из диоксида кремния. Водород уменьшает этот слой и вызывает разрушение элемента Starbar. Применение в атмосфере азота ограничено температурой 1370°C и поверхностной мощностью от 3,1 до 4,6 Вт на см^2 . Более высокая температура поверхности вызовет образование нитрида кремния. Этот термически изолирующий слой приведет к перегреву элемента и его разрушению.

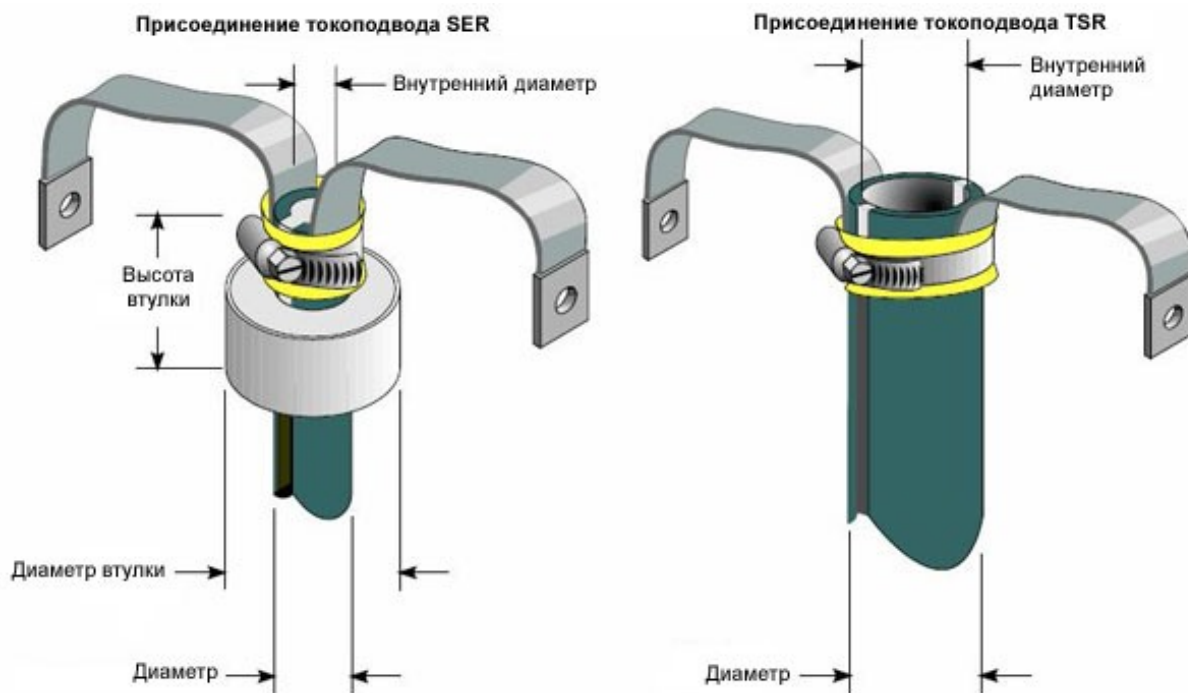
Рекомендуемая максимальная удельная поверхностная мощность
(Рис 1)



Температура
камеры, °С

Удельная поверхностная мощность, Вт/см²

Рабочая длина алюминиевой плетенки элементов TSR и SER составляет 254 мм
Диаметр хомута для плетенки 50 ампер составляет 7 мм, для плетенки 100 ампер



и выше – 14мм

Значения в амперах для плетенки в зависимости от диаметров составляют: для диаметров от 13 до 25 мм – 50 ампер, от 32 до 54 мм – 100 ампер, 70 мм – 400 ампер; TSR элементы от 44 до 62 мм

Таблица А							
Размеры элемента SER Starbar							
Диаметр Starbar	Диаметр керамической втулки	Высота керамической втулки	** Максимальная длина активной части	**Максимальная общая длина	***Максимальный наружный диаметр загрузочной трубы OD	*Внутренний диаметр элемента Starbar ID	Длина активной части без нарезки
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
13	38	50	250	533	2	5	13
16	38	50	250	559	5	8	13
19	38	50	406	635	6,5	9,5	13
22	57	50	508	914	9	12	13
25	57	50	508	914	11	14	13
32	57	50	508	991	14	17	19
35	57	76	610	1016	18	21	19
38	57	76	610	1016	21	24	19
44	76	76	610	1016	24	27	19
54	76	76	610	1219	30	33	25
70	95	100	1016	1549	46	48	38
Размеры элемента TSR Starbar							
44	Обычно для элемента TSR не требуется керамическая втулка, но может поставляться и с ней	305	610	29	37	13	
50		305	635	32	40	13	
55		305	635	36	44	13	
62		305	660	46	54	16	
75		305	660	59	67	16	
* Внутренний диаметр SER Starbar обычно присоединен к электрическим концам (если не оговорен как чистый (ID) внутренний диаметр). Внутренний диаметр TSR Starbar чистый							
** Рекомендуемая максимальная длина = 70% от указанной выше максимальной							
*** Максимальный диаметр загружаемой трубы определяется по общей длине элементов SER и TSR. Из-за различных коэффициентов термического расширения, овальности и недостаточной прочности нагревательного элемента и загружаемой трубы, возможно понадобится уменьшение значений.							

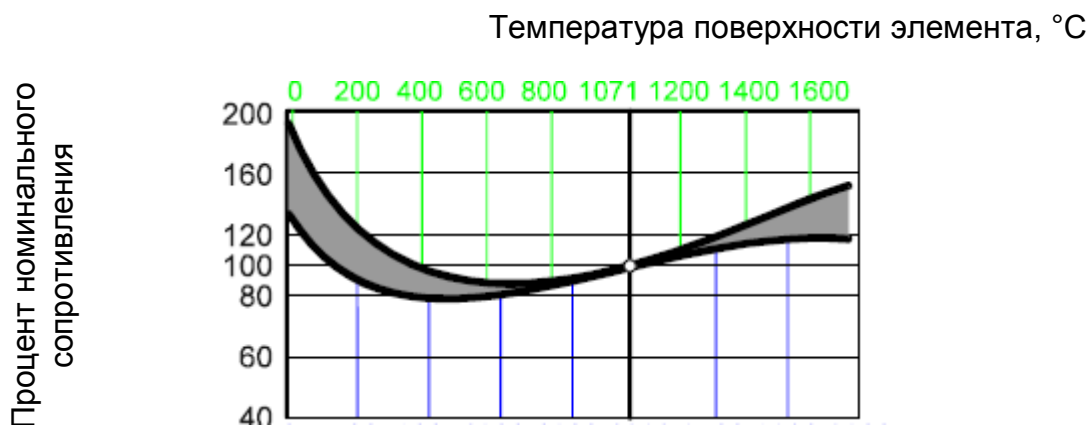
Электрические характеристики

Карбидокремниевые нагреватели Starbar являются нагревателями резистивного типа, которые преобразуют электрическую энергию в тепловую – по закону Джоуля $W=I^2 \times R$ (W -мощность в Вт, I – ток в амперах, R - сопротивление, Ом). SER Starbar

имеет отрицательные характеристики по параметрам температура - сопротивление в диапазоне от комнатной температуры до приблизительно 650° С. На этой точке происходит переход на положительные характеристики, которые остаются положительными на всем диапазоне рабочей температуры. Типичная

кривая, характеризующая зависимость сопротивления от температуры показана на рисунке 2.

Зависимость сопротивления от температуры Рисунок 2



Номинальное сопротивление Starbar измеряется при определенной температуре 1070°С. Номинальное значение сопротивлений в Ом на единицу длины указаны в таблице В.

Таблица В		
SER Электрические сопротивление		
Диаметр	*Сопротивление активной части	*Сопротивление токовыводов
мм	Ом/мм	Ом/мм
13	0,03929	0,00791
16	0,03153	0,00550
19	0,02362	0,00394
22	0,02165	0,00314
25	0,01969	0,00233
32	0,01341	0,00152
35	0,01224	0,00110
38	0,01103	0,00116
44	0,00960	0,00079
54	0,00636	0,00073
70	0,00379	0,00042
TSR Электрические сопротивление		
44	0,02953	0,0000
50	0,02953	0,0000
55	0,02953	0,0000
62	0,02953	0,0000
75	0,02953	0,0000
* Все значения сопротивлений указаны +/- 20%		

Электроподключение

Элементы Starbar не определяются размерами к существующей мощности как металлические нагревательные элементы. Количество энергии, которую Starbar способен преобразовать из электрической в тепловую, зависит от атмосферы и температуры печи, в которой установлен элемент.

Для определения суммарной мощности Starbar элемента используются значения удельной поверхностной мощности, то есть мощность в Вт на единицу излучающей поверхности. На рисунке показана рекомендуемая нагрузка в Вт на см² в зависимости от температуры печи.

Для определения рекомендуемой суммарной мощности сначала обратитесь к рисунку 1, зная температуру печи и атмосферы, в которой будет работать элемент. Следуйте вдоль температурной линии до пересечения с жирной черной линией (выбирая эту линию в зависимости от атмосферы в которой Starbar будет работать). Определите значения мощности в Вт на см², которая может быть получена на элементе. Для нахождения суммарной мощности Starbar элемента, получаемой при этих условиях, умножьте это значение на площадь излучаемой поверхности. Площадь излучаемой поверхности умножением размера диаметра рабочей зоны на длину и на число π (3,14).

Пример вычисления площади излучаемой поверхности: элемент SER 610 x 406 x 32мм имеет длину рабочей части 406мм и диаметр 32 мм. Площадь излучаемой поверхности $406 \times 32 \times 3,14 = 40,795 \text{ мм}^2$ или 408 см^2 .

Пример расчета мощности: при температуре 1500°C, воздушная среда, элементы Starbar могут иметь поверхностную мощность 6 Вт/см². Следовательно, Starbar с 100 см² излучающей поверхности могут обеспечить 600 Вт, а Starbar с 2000 см² излучающей поверхности могут обеспечить 12 000 Вт.

Электрический расчет

В предыдущем параграфе были даны разъяснения как рассчитать рекомендуемую мощность в Вт для элемента Starbar. В этом параграфе будет объяснено, как произвести электрический расчет, чтобы обеспечить рекомендуемую нагрузку.

Зная получаемую мощность в Вт и сопротивление Starbar элемента мы имеем следующее равенство $E = \sqrt{(W \times R)}$, где E – номинальное напряжение, W – нагрузка в Вт и R – сопротивление Starbar элемента в Ом). Значение сопротивления Starbar элемента может быть определено при помощи Таблицы В.

Находя значение E, мы находим требуемое напряжение при номинальном сопротивлении Starbar элемента для обеспечения желаемой мощности.

Пример: Элемент SER 60 x 40 x 3,125 имеет сопротивление 5,76 Ом и 408 мм² площадь излучающей поверхности. Нагрузка 6,1 Вт/мм² может обеспечить 2500 Вт. Для определения номинального напряжения вычислим E.

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$

$$E_n = \sqrt{25000 \times 5,76}$$

$$E_n = 120 \text{ вольт}$$

Элементы Starbar могут быть соединены параллельно, последовательно или в комбинации этих соединений. Параллельное соединение предпочтительнее, так как сопротивление одного или нескольких элементов Starbar увеличивается, нагрузка уменьшается, и группа остается в равновесии. При параллельном соединении напряжение на всех элементах одинаково. По формуле $W = E^2/R$ (W-мощность, E- напряжение, R-сопротивление) видно, что с увеличением сопротивления мощность увеличивается. Параллельно подключенные элементы Starbar с самым низким сопротивлением будут выделять больше тепловой энергии и, следовательно, работать при большей температуре.

Эта повышенная температура элементов вызовет постепенное увеличение сопротивления до тех пор, пока все элементы не будут иметь одинаковое сопротивление. В этот момент все нагреватели Starbar будут иметь приблизительно одинаковые значения сопротивлений и поверхностных температур и, следовательно, оставаться в равновесии.

Чтобы рассчитать суммарное сопротивление группы элементов, может быть использована следующая формула $R_n = R \times S/P$ (R_n -суммарное сопротивление, R- сопротивление элемента, S- количество соединенных элементов Starbar, P- количество параллельно соединенных элементов).

Пример: Восемь элементов SER 24 x 16 x 1,25 (R = 5,76 Ом) соединенные по 2 элемента последовательно (S=2) в четыре параллельные группы (P=4).

$$R_n = R \times S/P$$

$$R_n = 5,76 \times 2/4$$

$$R_n = 2,88 \text{ Ом}$$

Для расчета номинального требуемого напряжения для группы нагревателей Starbar используется комбинация двух предыдущих формул: $E_n = \sqrt{W \times R_n}$, где E_n - суммарное номинальное напряжение, R_n – суммарное сопротивление, W- суммарная мощность.

Пример: Восемь элементов Starbar SER 24 x 16 x 1,25 (R = 5,76 Ом) соединенные по 2 элемента последовательно четыре параллельные группы. Каждый элемент Starbar обеспечивает 2500 Вт. $W = 8 \times 2500 = 20000$ Вт. $R_n = 2,88$ Ом

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$

$$E_n = \sqrt{20000 \times 2,88}$$

$$E_n = 240 \text{ Вольт}$$

Сопротивление элементов увеличивается постепенно по мере срока их службы. Поэтому требуется техническое обслуживание для поддержания потребляемой мощности и сохранения требуемой температуры печи.

Исторически дорогое оборудование для изменения напряжения такое как multiple tap преобразователь и дроссели насыщения (saturable reactors) рекомендовались для всех, но не низкотемпературных режимов.

Элементы Starbar могут использоваться с прямым подключением (при стабильном напряжении) при температуре 1370°C. Для того, чтобы скомпенсировать уменьшение потребляемой мощности, возникающее вследствие старения элементов или увеличить сопротивление, печи первоначально загружают на нагрузку от 25 до 50% больше. Такой способ позволяет избежать дорогостоящего оборудования для изменения напряжения, и зарекомендовал себя хорошо при многих применениях. Он не рекомендуется в случаях, когда требуется точное соблюдение температурных режимов.

Допустим, печь требует приблизительно 20000 Вт после всех тепловых потерь и учета загрузки камеры. Увеличение этих 20000 на 25-50% дает требуемую мощность от 2500 до 30000 Вт.

Но, взглянув с другой стороны на предыдущий пример можно увидеть, что 10 элементов Starbar RR 24 x 16 x 1 соединенные по два элемента дадут 5 параллельных групп на 120 вольт и обеспечат 25 000 Вт. Если будут использоваться двенадцать элементов такого же размера, производимая мощность составит 36000 Вт.

Двенадцать элементов соединенных по четыре элемента на 240 вольт уравнивают суммарное напряжение трех групп(?) 240 вольт.

Температура печей контролируется импульсным контроллером. Новые элементы находятся во включенном состоянии только в продолжение 20/25 или 20/30 от часа. По мере увеличения сопротивления элементов, они будут находиться включенными большую долю времени. Когда они достигнут увеличения сопротивления при котором они обеспечивают нагрузку 30 000 Вт, элементы будут находится включенными 100% времени. SCR (silicon controlled rectifier) преобразователь или тиристор может быть использован.

Для случаев, когда требуется точное соблюдение температурного режима и/или температура превышает 1315°C необходимо устройство для увеличения напряжения. Существует несколько способов для обеспечения источника изменяемого напряжения:

- (1) multiple tap преобразователь наиболее распространен из-за своей низкой стоимости. The secondary преобразователя обеспечивается taps (прерыванием), количество которых варьируется от 10 до 36. Будьте внимательны при выборе voltage tap (режима прерывания), правильный подбор к сопротивлению элемента позволит увеличить срок службы.

- (2) Saturable reactors (дрессели насыщения) и регулятор индукции используются для безступенчатого (безшагового) управления напряжением. Они также иногда используются с multiple tap преобразователем.
- (3) Управление конденсатором используется редко. Этот способ позволяет исправить фактор мощности, и желателен для использования в некоторых случаях.
- (4) SCR (silicon controlled rectifier) стал распространен благодаря преимуществу в solid state устройствах.

Для компенсации уменьшения излучаемой мощности из-за увеличения сопротивления элементов Starbar, требуется диапазон напряжений, который будет компенсировать 100% увеличение сопротивлений элементов Starbar. Следующая формула может быть использована для расчетов $E_{max} = \sqrt{(Wt \times Rn)} \times 1,5$ (E_{max} -рекомендуемое максимальное напряжение, требуемое для компенсации увеличения сопротивлений, возникающих вследствие старения элементов и допусков по значениям сопротивлений, Wt -мощность преобразователя в Вт, Rn – суммарное сопротивление элементов Starbar, 1,5 – минимальный допуск на удвоение значений сопротивлений элементов Starbar и на допуск 20% по значению сопротивлений. Более высокое значение незначительно скажется на сроке службы).

Пример: Преобразователь, рассчитанный на 24 киловольт-ампер, имеет суммарное номинальное полное напряжение 240 вольт. ($Rn=2,88$ Ом, $Wt=20000$ Вт для 8 нагревателей)

$$E_{max} = \sqrt{(W \times Rn)} \times 1,5$$
$$E_{max} = \sqrt{(20000 \times 2,88)} \times 1,5$$
$$E_{max} = \sqrt{(57600)} \times 1,5$$
$$E_{max} = 360 \text{ Вольт}$$

Полное номинальное напряжение и максимальное напряжение подсчитаны.

Когда определяется преобразователь, полное номинальное напряжение обычно уменьшается на 5-10%, чтобы учесть 20% допуск по значению сопротивлений элементов Starbar. Также, пониженное voltage taps (подача напряжения?) обеспечивают холостой ход (работу при низких температурах печи?) и медленный прогрев.

Для расчета минимального напряжения берется 70% от номинального напряжения. Для циклических применений берется 30% от полного номинального напряжения.

Автоматические преобразователи могут использоваться, если первичное напряжение составляет 230 вольт или менее. Не следует использовать трехфазное подключение. Принятые на практике ограничения вторичного напряжения для всех трансформаторов составляет 300 вольт. Кроме того, существует проблема утечки напряжения на футеровку. Если рассчитывать размер пошагового изменения, значения, составляющие 5% от номинального напряжения, обычно используются. Использование SCR (silicon controlled rectifier)

или тиристоров требует первоначально меньшего количества taps. Например, если используется 6 taps (ступеней повышения напряжений), то напряжение для холодной печи может составлять 0,7 от номинального напряжения, следующее значение напряжений может быть на 14% выше. Для 8 taps (ступеней повышения напряжений) первоначальный уровень напряжения возможен 0,7 от номинального напряжения, каждое последующее на 9,1% больше.

Простота замены

Элементы Starbar могут быть заменены при рабочей температуре. Следует отключить электроэнергию от заменяемого элемента, отстегнуть зажим и освободить алюминиевые плетенки, затем удалить элемент Starbar. Новый элемент Starbar следует устанавливать, продвигая его в печь с определенной скоростью, чтобы не допустить плавления алюминия на концах элемента, но не слишком быстро во избежание термодара.

Срок службы

По мере использования сопротивление элементов Starbar возрастает. Это увеличение называется старением элементов. Старение определяется следующими параметрами:

- (1) Рабочая температура
- (2) Электрическая нагрузка (обычно выражается в Вт/см² излучающей поверхности элемента)
- (3) Рабочей средой
- (4) Режим работы (прерывистый или постоянный)
- (5) Технологическими и ремонтными характеристиками

Монтаж

Элементы SER Starbar могут быть установлены вертикально или горизонтально. При монтаже горизонтально нет необходимости опоры для активной части. При монтаже горизонтально прорезь токовывода не должна иметь контакта с футеровкой печи. Самый простой способ добиться этого, расположить прорезь в горизонтальную позицию. Отверстия для концов элемента должны быть на 10% больше, чем диаметр элемента. Необходимо строго следить за тем, что при установке в элементах не возникало напряжение. Следует обеспечить пространство, чтобы элементы печи и сами элементы могли бы сжиматься и расширяться беспрепятственно.

Активная часть элементов Starbar должна быть так центрирована, чтобы при расширении не касалась стен печи. Углубление в виде конуса или усеченного конуса 13 мм глубиной иногда размещают на внутренней поверхности стены, через которую проходит элемент. Это позволяет активной части давать равномерное излучение и помогает поддерживать равномерную температуру в печи.

Размеры камеры

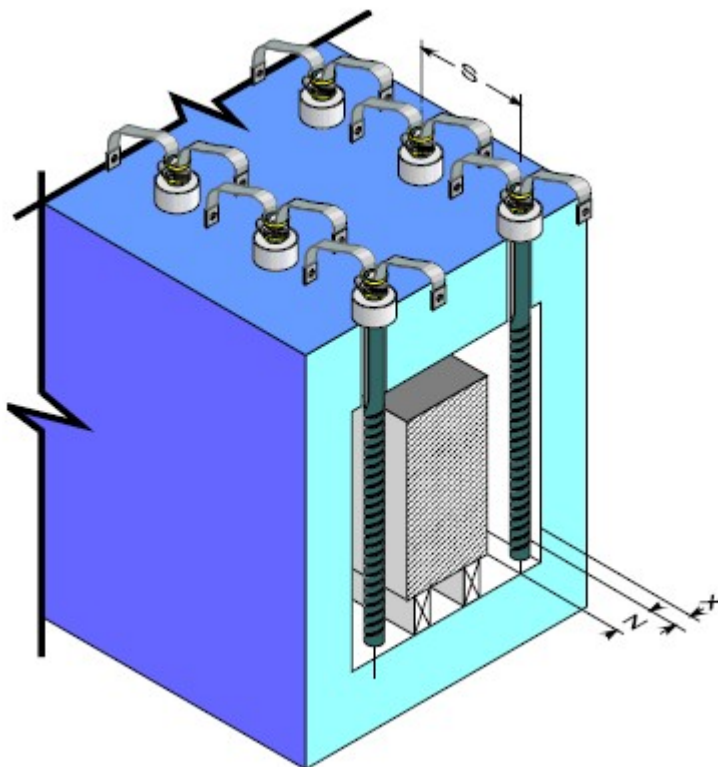
Размеры камеры нагрева, в которой расположен элемент Starbar могут быть такими же как показанные на рисунке 3 и рисунке 4. Рекомендуемый диаметр выходного отверстия рассчитывается увеличением наружного диаметра Starbar на 20% для определения размеров и включая 35 мм, и 10% -ным увеличением для больших размеров. Таблица С показывает эти рекомендуемые минимальные диаметры отверстий в футеровке в зависимости от размеров Starbar.

Таблица С	
Рекомендуемые минимальные диаметры отверстий для вывода концов элемента SER в огнеупоре	
Диаметр Starbar	Рекомендуемые минимальные диаметры отверстий в огнеупоре
мм	мм
13	16
16	19
19	23
22	27
25	30
32	39
35	42
38	42
44	49
54	60
70	77
Рекомендуемые минимальные диаметры отверстий для токовыводов элемента TSR в огнеупоре	
44	49
50	55
55	61
62	69
75	84

Элементы Starbar не следует размещать ближе, чем на два диаметра элемента друг к другу или на полтора диаметра элемента к стене или к другому отражающему элементу. Если элемент Starbar не имеет возможности излучать тепло равномерно во всех направлениях, это может вызвать местный перегрев и возможное разрушение.

Формула для расчета рекомендованного пространства под установку элемента Starbar для обеспечения равномерного прогрева садки показана на рис 3.

Рисунок 3



$X = 2 \times$ диаметр элемента Starbar составляет минимум, $1,5 \times$ диаметр элемента Starbar составляет абсолютный минимум и требует уменьшения поверхностной мощности элемента Starbar.

$Z = S/1,41$ Минимальное при стационарной нагрузке

$Z = S/1,73$ Минимальное при нестационарной нагрузке

$S = 2 \times$ диаметр элемента Starbar составляет минимум

X – расстояние между осью элемента Starbar до других отражающих поверхностей, таких как огнеупорная стена или садка.

Z – расстояние от центральной оси элемента Starbar до движущейся или неподвижной садки.

S – расстояние от центральной оси элемента Starbar до соседнего элемента.

Стандарты и допуски

Элементы Starbar имеют допуски производителя плюс-минус 20% от номинального сопротивления. Все элементы калибруются, по крайней мере, дважды перед отправкой клиенту для уверенности в соответствии их спецификации. Измеренная сила тока каждого элемента маркируется на картоне и правом конце каждого элемента Starbar. При монтаже устанавливайте элементы

по возможности со значениями силы тока близкими друг к другу. Более длительный срок службы может быть получен в случае, когда элементы Starbar подобраны друг к другу по сопротивлению.

Срок поставки

Элементы Starbar могут быть доставлены со склада в срок **2-3 недели** после размещения заказа.

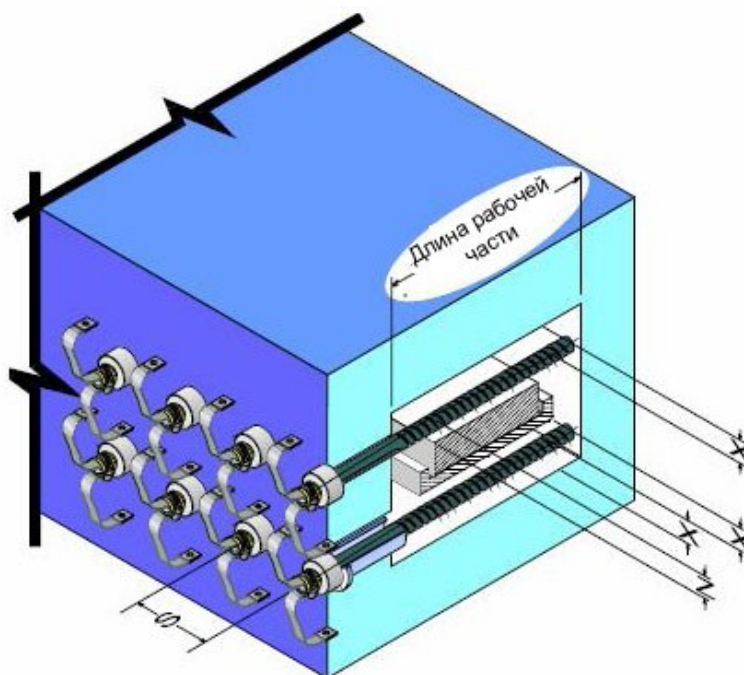
Изготовление на заказ

Внутренний диаметр токовыводов элемента SER обычно подсоединен к электропитанию. В другом исполнении элемент SER с неподключенным внутренним диаметром, что позволяет использовать его как трубчатый нагреватель. Использование элемента SER в качестве трубчатого нагревателя более вероятно, чем использование элемента TSR из-за более толстых стенок, что упрочняет элемент. Элемент TSR следует использовать только в том случае, если элемент SER не имеет достаточного размера.

Особо высокие значения электрического сопротивления также возможны в поставке. Это достигается нарезкой спирали меньшей ширины. Вследствие этого, элементы с высоким сопротивлением и/или большой длиной активной части не распространены на практике. Более низкое, чем стандартное сопротивление не рекомендуется.

Рис 4

Элемент SER Starbar установленный горизонтально



Элемент TSR Starbar используемый как трубчатый нагреватель.

