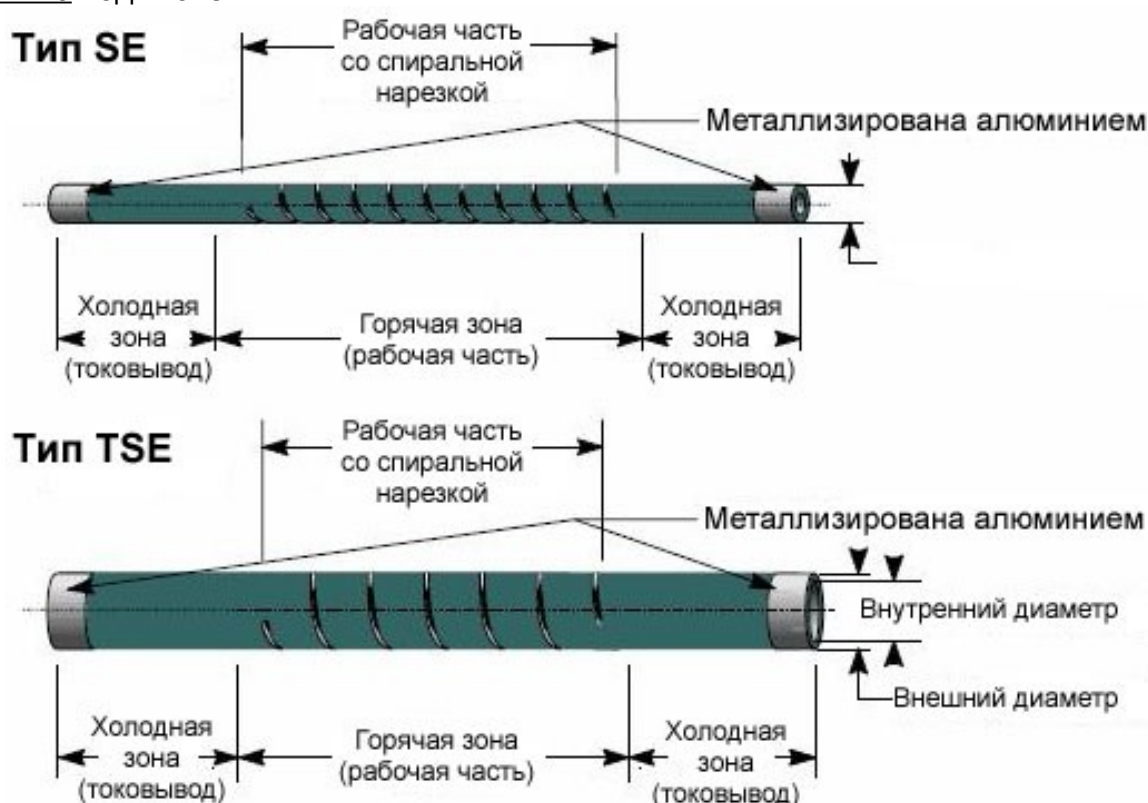


Starbar® Тип SE и TSE

Карбидокремниевые нагревательные элементы со спиральной нарезкой

Общее описание

Элементы Starbar со спиральной нарезкой сделаны из особого высокоплотного связанного карбида кремния. Спиралевидная прорезь в активной зоне уменьшает площадь поперечного сечения. Это обеспечивает более высокое сопротивление активной части по сравнению с токовыводами. Элементы могут иметь специальные припеченные концы для увеличения соотношений сопротивлений. Чтобы обеспечить низкое сопротивление контактных поверхностей, кончики токовыводов металлизированы алюминием. Электрические контакты сделаны из плоских алюминиевых ремешков и упругих зажимов. Концы элемента типа SE обычно подключены.



Тип SE и TSE определяются общей длиной элемента, длиной активной части и диаметром. Пример, SE 914 x 356 x 25 является нагревательным элементом со спиральной нарезкой с общей длиной 914 мм, длиной активной части 356 мм и диаметром 25 мм. Элемент TSE 914 x 356 x 75 является трубчатым элементом со спиральной нарезкой общей длиной 914 мм, длиной активной части 356 мм и внешним диаметром 75мм.

Тип TSE поставляется в пяти различных диаметрах. Тип TSE аналогичен типу SE. Тип TSE имеет тонкостенную конструкцию и сквозной внутренний диаметр.

Тонкостенная конструкция делает элемент Starbar пригодным для применения в трубчатых печах.

Качество исполнения

Благодаря высокой плотности 2.7 г/см³ этот низко-пористый элемент способен работать в агрессивных средах. Высокая плотность предотвращает кристаллическую решетку от окисления. Этот элемент имеет высокую устойчивость к старению.

Взаимозаменяемость

Элементы Starbar взаимозаменяемы со всеми карбидокремниевыми элементами, производимыми в США и также с элементами с высокими сопротивлениями, производимыми в Азии и Европе. Это важно обеспечить номинальное электрическое сопротивление при заказе Starbar.

Поставляемые размеры

Элементы SE производятся до 2362мм длиной. Максимальная длина активной части 1524мм в данный момент. Пожалуйста., обратитесь к таблице А для определения поставляемых размеров диаметр и длин.

Таблица А				
Размеры элемента типа SE				
Диаметр	*Максимальная длина активной части	*Максимальная общая длина	**Максимальный внешний диаметр загрузочной трубы	Диаметр внутреннего канала Starbar
мм	мм	мм	мм	мм
10	250	762	3	5
13	305	787	3	5
16	355	864	6	8
19	555	1067	8	9,5
22	660	1270	9	12,5
25	760	1549	13	14
32	1015	1803	14	17
35	1015	1803	17	21
38	1015	1803	21	24
45	1220	207	24	27
54	1320	2159	30	33
70	1525	2362	46	49
Размеры элемента типа TSE				
45	610	991	29	37
50	610	991	32	40
55	610	991	36	44
62	610	991	46	54
75	610	991	59	67

*Рекомендуемая максимальная длина = 70% от Максимальной длины

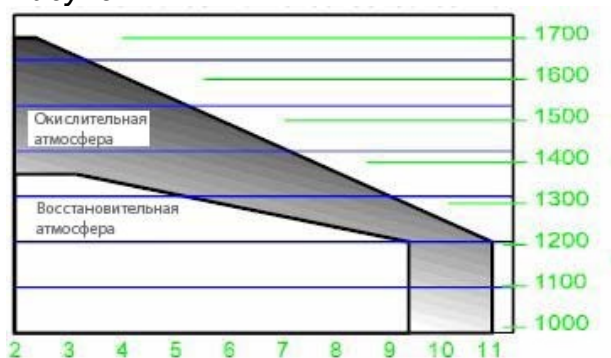
** Рекомендуемый максимальный диаметр загружаемой трубы базируется на короткой зоны нагрева и общей длине. Благодаря разным соотношениям термического расширения, овальности и прочности элемента Starbar и загружаемой трубы дальнейшее уменьшение возможно будет необходимо.

Рабочая температура

В воздушной или инертной атмосфере аргона или гелия элементы типа SE и TSE могут служить при температуре 1650°C. В восстановительной атмосфере максимальная рабочая температура 1371°C. Обратитесь к графику мощности, рис 1.

Рекомендуемая нагрузка, Вт

Рисунок 1



Ось X: Удельная поверхностная мощность, Вт/см²

Ось Y: Температура камеры °C

На карбиде кремния образуется защитный слой из диоксида кремния. Водород уменьшает этот слой и вызывает разрушение Starbar. Очень сухой или очень влажный водород отрицательно влияет на срок службы. Применение в атмосфере азота ограничено 1370°C и максимальной поверхностной мощностью от 3,1 до 4,6 ватт на квадратный сантиметр). Слишком высокая поверхностная температура вызовет образование нитрида кремния. Обладающий свойствами термической изоляции этот образующийся на поверхности элемента Starbar слой вызовет высокую температуру поверхности, которая разрушит элемент Starbar.

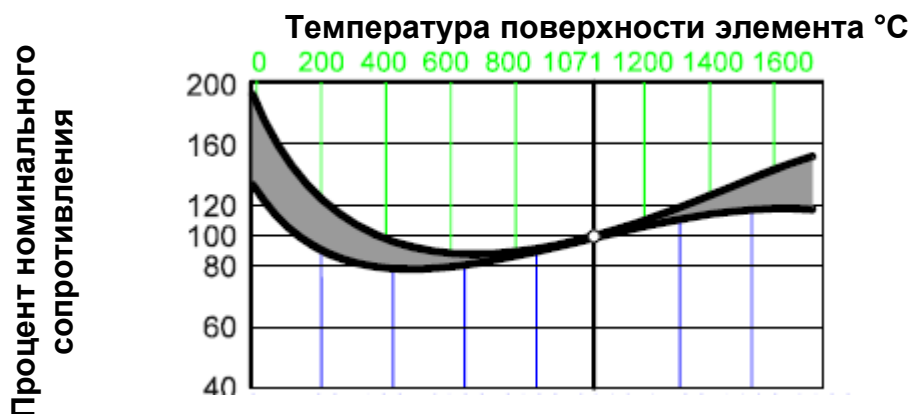
Электрические характеристики

Карбидокремниевый элемент Starbar является линейным элементом резисторного типа, который превращает электрическую энергию в тепловую по закону Джоуля. $W=I^2 \times R$ (W-мощность в Вт, I – ток в амперах, R- сопротивление, Ом).

Материал элемента Starbar со спиральной нарезкой является связанным карбидом кремния. Эти элементы имеют отрицательные характеристики по параметрам температура - сопротивление в диапазоне от комнатной температуры до приблизительно 650°C. 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 измеряется при установочной температуре 1071°C. Значения номинальных сопротивлений элементов Starbar в Омах на единицу длины показаны в таблице В. Для подсчета используйте длину рабочей части со спиральной нарезкой.

Таблица В		
*Электрическое сопротивление элементов типа SE		
Диаметр	** Сопротивление активной части	Сопротивление токовыводов
мм	Ом/мм	Ом/мм
10	0,01114	0,00173
13	0,00909	0,00192
16	0,00698	0,00129
19	0,00559	0,00097
22	0,00507	0,00077
25	0,00455	0,00058
32	0,00314	0,00038
35	0,00223	0,00022
38	0,00214	0,00025
45	0,00182	0,00022
54	0,00135	0,00016
70	0,00094	0,00011
*Электрическое сопротивление элементов типа TSE		
45	0,00672	0,00034
50	0,00672	0,00034
55	0,00672	0,00034
62	0,00672	0,00034
75	0,00672	0,00034
*Значения всех сопротивлений даны +/- 20%		
**Активная зона со спиральной нарезкой (активная зона -25 мм) используется для подсчета сопротивления активной зоны		

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 1 показана рекомендуемая нагрузка в Вт на см^2 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 см^2 , 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 расчета площади излучающей поверхности: Элемент типа SE 914 x 356 x 25мм имеет длину рабочей зоны 356 мм и диаметр 25 мм. Площадь излучающей поверхности составляет $356 \times 25 \times 3,14$ или $27,946 \text{ мм}^2 = 279 \text{ см}^2$.

Пример расчета мощности: При температуре 1500°C в воздушной атмосфере элементы Starbar могут иметь нагрузку 6 Вт/см^2 . Следовательно, элемент Starbar с площадью излучающей поверхности 100 см^2 может обеспечить мощность 600 Вт , в то время как элемент Starbar с площадью излучающей поверхности 200 см^2 может обеспечить мощность 12000 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. Это определяет номинальное напряжение.

Пример: элемент типа SE 90 x 35 x 2,5 имеет сопротивление 1,83 Ом и площадь излучающей поверхности 275 мм². При нагрузке 7,2 Ом/мм² этот элемент обеспечит мощность 2000Вт. Для нахождения номинального напряжения определим E.

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$
$$E_n = \sqrt{2000 \times 1,8}$$
$$E_n = 60 \text{ вольт}$$

Элементы могут быть соединены параллельно, последовательно или в этих комбинациях. Параллельное соединение предпочтительнее, так как сопротивление одного или нескольких элементов возрастает, доля от нагрузки может быть уменьшена и группа остается в равновесии. При параллельном соединении напряжение имеет одинаковые значения на каждом элементе. 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 Starbar SE 36 x 14 x 1 ($R=1,83$ Ом) соединенных в серии по 2 последовательных элемента ($S=2$) и 4 параллельных группы ($P=4$)

$$R_n = R \times S/P$$
$$R_n = 1,80 \times 2 / 4$$
$$R_n = 0,9 \text{ Ом}$$

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 SE 36 x 14 x 1 ($R=1,21$ Ом) соединенных в серии по 2 последовательных элемента ($S=2$) и 4 параллельных группы ($P=4$)

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$
$$E_n = \sqrt{16000 \times 0,9}$$
$$E_n = 120 \text{ вольт}$$

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 °С. Для того, чтобы скомпенсировать уменьшение потребляемой мощности, возникающее вследствие старения элементов или увеличить сопротивление, печи первоначально загружают на нагрузку от 20 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 24 000 Вт после всех тепловых потерь и учета загрузки камеры. Увеличение этих 24 000 на 25-50% дает требуемую мощность от 30 000 до 36 000 Вт.

Допустим, печь требует приблизительно 16 000 Вт после всех тепловых потерь и учета загрузки камеры. Увеличение этих 16 000 на 25-50% дает требуемую мощность от 20 000 до 24 000 Вт.

Но, взглянув с другой стороны на предыдущий пример можно увидеть, что 10 элементов Starbar SE 36 x 14 x 1 соединенные по два последовательных элемента, дадут 5 параллельных групп на 120 вольт и обеспечат 20 000 Вт. Если будут использоваться двенадцать элементов такого же размера, соединенных по два последовательных элемента в шесть параллельных групп дадут мощность 24 Вт.

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

Температура печей контролируется импульсным контроллером. Новые элементы находятся во включенном состоянии только в продолжение 16/20 или 16/24 от часа. По мере увеличения сопротивления элементов, они будут находиться включенными большую долю времени. Когда они достигнут увеличения сопротивления при котором они обеспечивают нагрузку 16 000 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 1370°С 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 (дроссели 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 16 киловольт-ампер, имеет суммарное номинальное полное напряжение 120 вольт. ($Rn=0,9$, $Wt=16000$ для 8 элементов)

$$E_n = \sqrt{(W \times R_n)} \times 1,5$$
$$E_n = \sqrt{(16000 \times 0,9)} \times 1,5$$
$$E_n = 180 \text{ вольт}$$

Полное номинальное напряжение и максимальное напряжение просчитаны. Когда определяется преобразователь, полное номинальное напряжение обычно уменьшается на 5-10%, чтобы учесть 20% допуск по значению сопротивлений элементов Starbar. Также, пониженные 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 термоудара.

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

Нет строгих ограничений по монтажу элементов, хотя вертикальное и горизонтальное размещение более распространено. 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.

Вертикально устанавливаемые элементы Starbar должны поддерживаться за нижний конец электрически изолированными держателями.

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, должны быть такого же размера как длина элемента в рабочем состоянии как показано на рис 3. Альтернативой размерам камеры, где установлен элемент Starbar, может быть размер на 25 мм меньше, чем длина нагретого элемента. В этом случае отверстие в форме конуса с углом 45° должно быть для элемента, расположенного над садкой (рисунок 3). Рекомендуемое отверстие для концов токовыводов для различных типов огнеупорных стен и размеров Starbar, показаны в таблице С

Таблица С					
Рекомендуемый минимальный размер отверстия в огнеупоре					
	Минимальный диаметр отверстия в зависимости от толщины футеровки				
Диаметр элемента	100	150	200	300	400
мм	мм	мм	мм	мм	мм
10	15	15	16	-	-
11	16	17	18	20	-
13	18	19	20	22	-
16	21	22	23	25	-
19	25	25	26	28	-
25	31	32	33	35	37
32	38	39	40	42	44
35	41	42	43	45	47
38	45	45	46	48	50
45	51	52	53	55	57
54	61	62	63	65	67
63	71	72	73	75	77
70	78	79	80	82	84
76	85	85	86	88	90

Стандарты и допуски

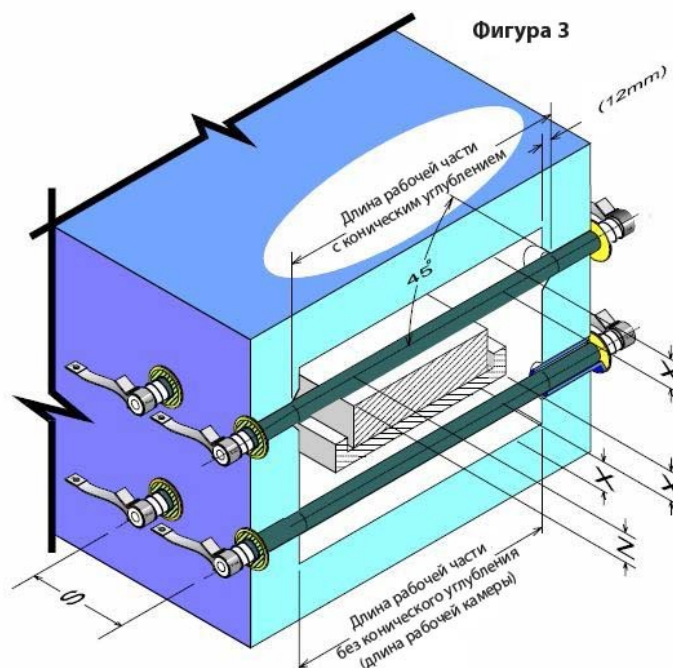
Элементы Starbar имеют допуски производителя плюс-минус 20% от номинального сопротивления. Все элементы калибруются, по крайней мере, дважды перед отправкой клиенту для уверенности в соответствии их спецификации. Измеренная сила тока каждого элемента маркируется на картоне и правом конце каждого элемента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

Размеры под установку

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 рекомендуемых размеров под установку печи для обеспечения правильного градиента обогрева садки показана на рис 3

Рис 3



X – расстояние от оси элемента Starbar до любой отражающей поверхности, например, футеровки или садки

Z- расстояние от оси элемента до стационарной или движущееся садки

S – расстояние от оси элемента Starbar до соседнего элемента

X = 2 x диаметр элемента Starbar минимум, 1,5 x диаметр элемента Starbar абсолютный минимум и требует уменьшения поверхностной мощности элемента

Z= S/1,41 минимум для стационарной садки

Z= S/1,73 минимум для нестационарной садки

S=2 x диаметр элемента Starbar минимум

TSE в печи

Обратитесь к таблице А для максимального диаметра
загружаемой трубы

