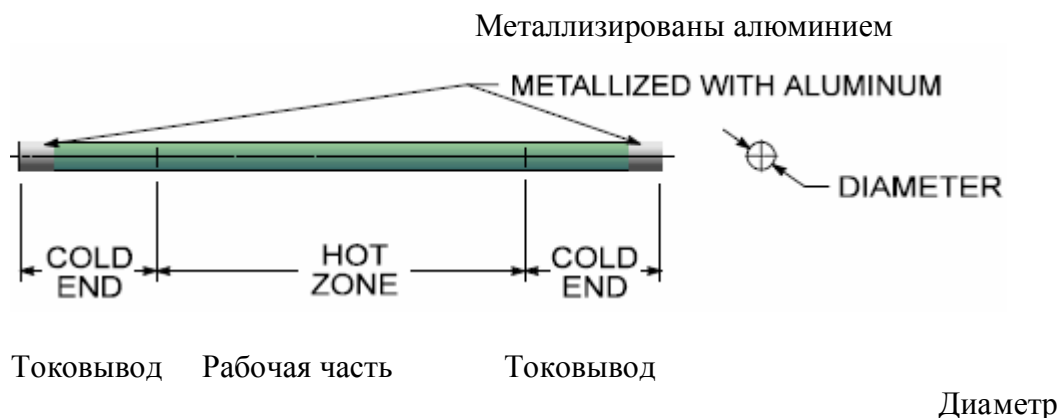


Starbar® Тип RR

Карбидокремниевый нагревательный элемент

Общее описание

Элемент RR Starbar является резистивным карбидокремниевым нагревательным элементом. Нагреватели Starbar производятся в форме стержней и трубок в зависимости от диаметра. Они имеют центральную зону, именуемую рабочей (горячей) зоной и два конца, именуемых токовыводами (холодная зона). Существует два типа RR Starbar. (1) Выводы нагревателя пропитаны карбидом металла, тогда нагреватель называется одноэлементным, и (2) нагреватель имеет припеченные выводы с низким сопротивлением, именуемый как трехэлементный. Эти имеющие более низкое сопротивление выводы имеют более низкую температуру. Концы элементов металлизированы алюминием для обеспечения низкого сопротивления контактной поверхности, к которой производится электрическое подключение при помощи алюминиевых жгутов.



RR Starbar описываются по общей длине, длине рабочей зоны и диаметру. Как пример, RR 1075 x 600 x 25 - нагревательный элемент типа RR общей длиной 1075мм, с длиной рабочей зоны 600мм и 25мм в диаметре.

Качество исполнения

Благодаря высокой плотности – приблизительно $2,4 \text{ г/см}^3$, нагреватели Starbar имеют высокое качество исполнения. При этом улучшаются характеристики по устойчивости к старению и дополнительной прочности.

Взаимозаменяемость

Starbar нагревательные элементы взаимозаменяемы с карбидокремневыми нагревательными элементами, производимыми в США, а также с нагревательными элементами высокого сопротивления, производимыми в Азии и Европе.

Размеры

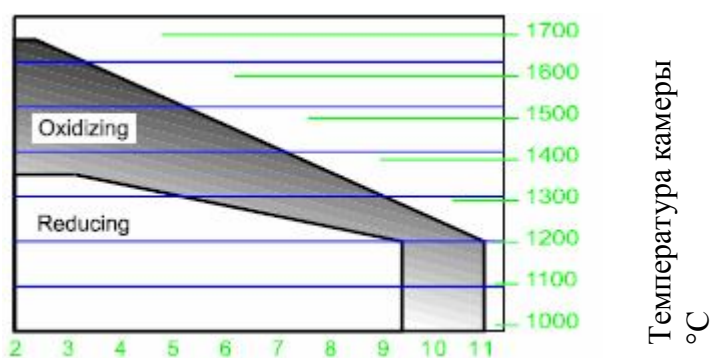
Starbar нагревательные элементы могут быть выполнены любой длины в пределах до 5842мм. Длина максимальной рабочей зоны составляет 5100 мм.

Рабочая температура

В воздушной или инертной атмосфере аргона или гелия одноэлементный нагреватель Starbar может работать в печи при температуре до 1700°C , трехэлементный нагреватель Starbar при температуре до 1425°C . В восстановительной атмосфере максимальная температура службы составляет 1370°C , см. рисунок 1. На карбиде кремния существует защитный слой из диоксида кремния. Водород уменьшает этот слой и вызывает повреждение нагревателей Starbar. Очень сухой или очень влажный водород неблагоприятно влияет на срок службы.

Применение в атмосфере азота ограничено 1370°C и максимальной поверхностной мощностью от 3,1 до $4,6 \text{ Вт/см}^2$. Слишком высокая температура поверхности вызовет реакцию карбида и азота. Термоизоляционный слой на нагревателе Starbar приведет к очень высоким поверхностным температурам, которые повреждают элемент Starbar.

Рекомендуемая мощность Рисунок 1



Поверхностная мощность элемента Вт/см²

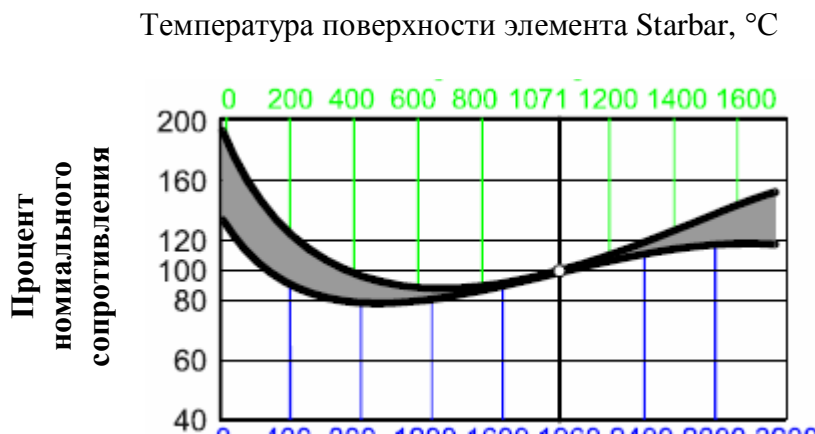
Электрические характеристики

Карбидокремниевые нагреватели Starbar в виде стержня являются нагревателями резисторного 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)

Материалом рабочей зоны Starbar является связанный карбид кремния. Решетчатая структура или волокна, которые удерживают зерна карбида кремния вместе, формируются в процессе рекристаллизации карбида кремния при очень высоких температурах. Элементы Starbar из зеленого (необожженного) карбида кремния, который классифицируется как полупроводниковый материал электронного типа.

Электрическое сопротивление элементов Starbar трудно измерить из-за незначительных включений, самонагреву и контактному сопротивлению. Также зеленый (необожженный) карбид кремния имеет отрицательные характеристики по параметрам сопротивление - температура 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. Это означает, что при комнатной температуре удельное сопротивление достаточно высокое, но при повышении температуры приблизительно до 650° С оно падает до минимального значения. При повышении температуры выше 650° С удельное электрическое сопротивление начинает увеличиваться. Типичная кривая, характеризующая зависимость сопротивления от температуры показана на рисунке 2.

Зависимость сопротивления от температуры (рис 2)



Процент номинального сопротивления

Номинальное сопротивление элемента Starbar измеряется при температуре 1071°C

Номинальное сопротивление элемента Starbar измеряется при температуре 1071 °C Значения номинального сопротивления Starbar в Ом на единицу длины показано в таблице А.

Таблица А			
RR Starbar размеры		**RR Электрическое сопротивление	
Диаметр, мм	*Максимальная общая длина, мм	Рабочая зона, Ом/мм	Выводы, Ом/мм
10	660	0,01372	0,000686
11	915	0,01009	0,000505
13	1090	0,00773	0,000387
16	1250	0,00497	0,000248
19	1575	0,00341	0,000170
25	1900	0,00197	0,000098
32	2210	0,00134	0,000067
35	2290	0,00106	0,000053
38	2340	0,00092	0,000046
45	2670	0,00065	0,000032
54	3300	0,00059	0,000030

* Рекомендуемая общая длина 70% от указанной максимальной длины

** Все значения имеют разброс +/- 20%

Электрическая мощность

Удельная мощность элементов Starbar не определяется размерами элемента как у металлических нагревательных элементов. Количество энергии, которую Starbar способен преобразовать из электрической в тепловую, зависит от атмосферы и температуры печи, в которой установлен элемент.

Для определения суммарной мощности элемента Starbar используются значения удельной поверхностной мощности, то есть мощность в Вт на единицу излучающей поверхности. На рисунке 1 показана рекомендуемая мощность 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 линией графика (выбирая линию графика в зависимости от атмосферы в которой Starbar будет работать Oxidizing – окислительная, Reducing – восстановительная). Определите значения мощности в Вт на см^2 , которая может быть получена на элементе. Для нахождения суммарной мощности элемента Starbar, получаемой при этих условиях, умножьте это значение на площадь излучаемой поверхности. Площадь излучаемой поверхности вычисляется умножением размера диаметра рабочей зоны на ее длину и на число π (3,14).

Пример: При температуре 1500 °С поверхностная мощность для элемента Starbar может составлять 6 Вт на см^2 . Следовательно, элемент Starbar, имеющий площадь излучающей поверхности 100 см^2 может иметь мощность 600 Вт, а элемент Starbar, имеющий площадь излучающей поверхности 200 см^2 может иметь мощность 1200 Вт.

Пример расчета поверхностной площади:

Элемент типа RR 1092 x 610 x 25 имеет длину рабочей зоны 610 мм и диаметр 25 мм. Площадь излучающей поверхности определяется $610 \times 25 \times 3,14$ что составляет 47 885 мм^2 или 478 см^2 .

Электрический расчет

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

Зная получаемую мощность в Вт и сопротивление элемента Starbar 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 элемента Starbar может быть определено при помощи Таблицы А.

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

Пример: Элемент RR 1092 x 610 x 25 мм имеет сопротивление 1,21 Ом и 478 см². площадь излучающей поверхности. При нагрузке 6, 28 Вт/ см². этот элемент может обеспечить 3000 Вт. Чтобы найти номинальное напряжение надо найти E по формуле

$$E = \sqrt{W \times R}$$
$$E = \sqrt{3000 \times 1,21}$$
$$E = 60 \text{ вольт}$$

Элементы Starbar могут соединяться последовательно, параллельно или в комбинациях того и другого вида соединений. Параллельное соединение предпочтительно.

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 уменьшается. 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 последовательно соединенных элементов Starbar, P- количество параллельно соединенных групп элементов).

Пример: восемь элементов Starbar 1092 x 610 x 25 мм (R=1,21 Ом) соединенных в серии по 2 элемента (S=2) и 4 параллельных группы (P=4)

$$R_n = R \times S / P$$
$$R_n = 1,21 \times 2 / 4$$
$$R_n = 0,6 \text{ Ом}$$

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 RR 1092 x 610 x 25 мм (R=1,21 Ом) соединенных в серии по 2 элемента (S=2) и 4 параллельных группы (P=4)

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$
$$E_n = \sqrt{24000 \times 0,6}$$
$$E_n = 120 \text{ вольт}$$

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 многоступенчатые преобразователи и магнитные усилители рекомендовались для всех, но не низкотемпературных режимов.

Элементы Starbar могут использоваться с прямым подключением (при стабильном напряжении) при температуре 1315 °С. Для того, чтобы скомпенсировать уменьшение выпускаемой мощности, возникающее вследствие старения элементов, то есть увеличение сопротивление элементов, печи первоначально загружают на нагрузку от 20 до 50% больше максимальной. 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.

Но, взглянув с другой стороны на предыдущий пример, можно увидеть, что 10 элементов Starbar RR 1092 x 610 x 25 мм соединенные по два элемента, дадут 5 параллельных групп на 120 вольт и обеспечат 30 000 Вт. Если будут использоваться двенадцать элементов такого же размера, производимая мощность составит 36000 Вт. Двенадцать элементов соединенных по четыре элемента на 240 вольт уравновесят суммарное напряжение трех фаз 240 вольт.

Температура печей контролируется позиционным (включено-выключено) регулятором. Новые элементы находятся во включенном состоянии только в продолжение 24/30 или 24/36 от часа. По мере увеличения сопротивления элементов, они будут находиться включенными большую долю времени. Когда они достигнут увеличения сопротивления при котором они обеспечивают нагрузку 24 000 Вт, элементы будут находится включенными 100% времени. Может быть использован тиристор.

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

- (1) Многоступенчатый трансформатор наиболее распространен из-за своей низкой стоимости. Количество ступеней варьируется от 10 до 36. Будьте внимательны при выборе режима ступеней, и правильный подбор к сопротивлению элемента позволит увеличить срок службы.
- (2) Магнитный усилитель и регулятор индукции используются для безступенчатого (безшагового) управления напряжением. Они также иногда используются с трансформатором
- (3) Управление конденсатором используется редко. Этот способ позволяет исправить фактор мощности, и желателен для использования в некоторых случаях.
- (4) Тиристор стал распространен.

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 120 вольт. ($Rn=0,6$, $Wt=24000$)

$$E_n = \sqrt{(W \times R_n) \times 1,5}$$
$$E_n = \sqrt{(24000 \times 0,6) \times 1,5}$$
$$E_n = 180 \text{ вольт}$$

Полное номинальное напряжение и максимальное напряжение просчитаны. При выборе преобразователя, полное номинальное напряжение обычно уменьшается на 5-10%, чтобы учесть 20% допуск по значению сопротивлений элементов Starbar. Также, пониженное напряжение обеспечивают работу при низких температурах 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, то значения, составляющие 5% от номинального напряжения, обычно используются. Использование полупроводниковых регуляторов или тиристоров требует первоначально меньшего количества ступеней. Например, если используется 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 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 мощность (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.

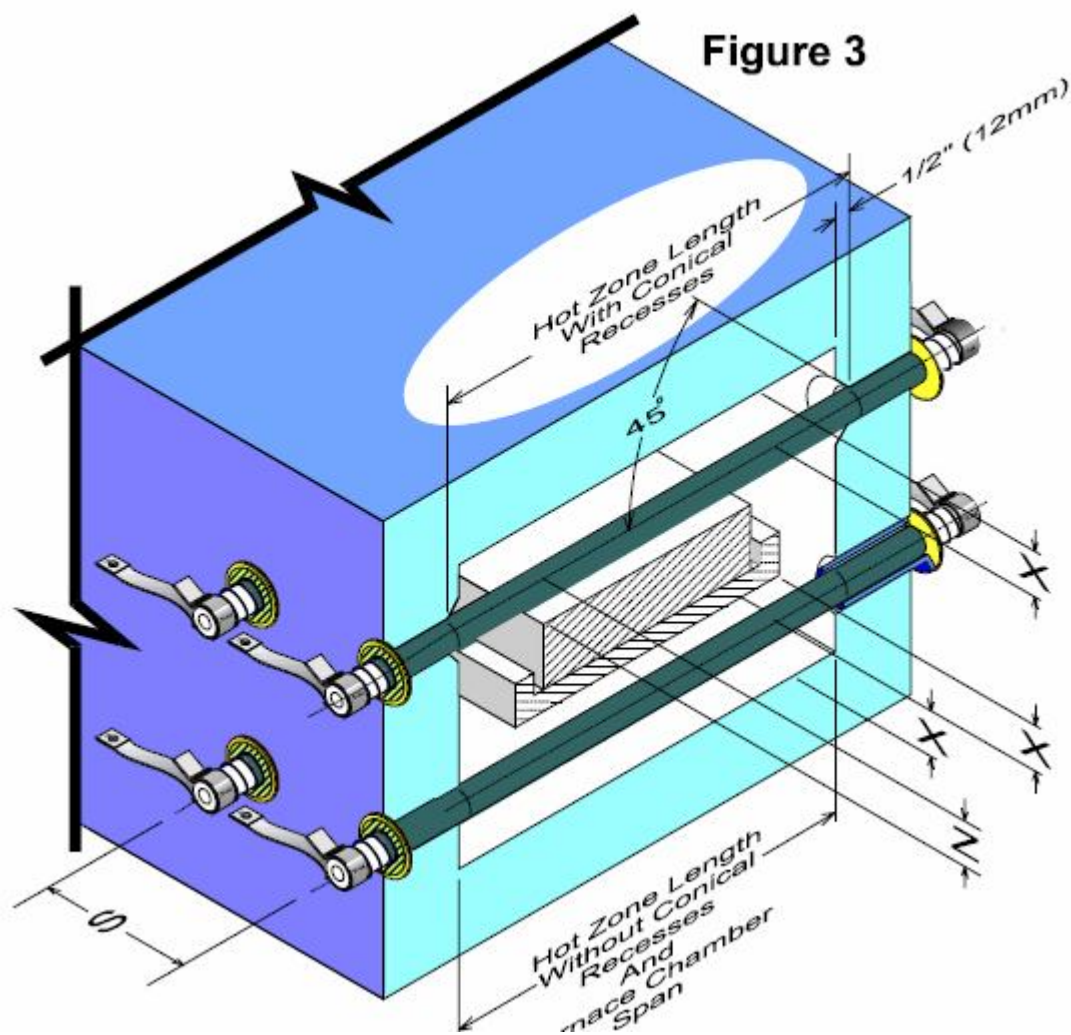
Размеры камеры

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 В

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.

Таблица В
Рекомендуемый минимальный размер отверстия в огнеупоре

Starbar диаметр	Минимальный диаметр отверстия в зависимости от толщины стены				
	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	44	44	46	48	50
45	51	52	53	55	57
54	61	62	63	65	67



Рекомендуемые размеры под установку элементов Starbar

$X = 2 \times$ 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.

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

Стандарты и допуски

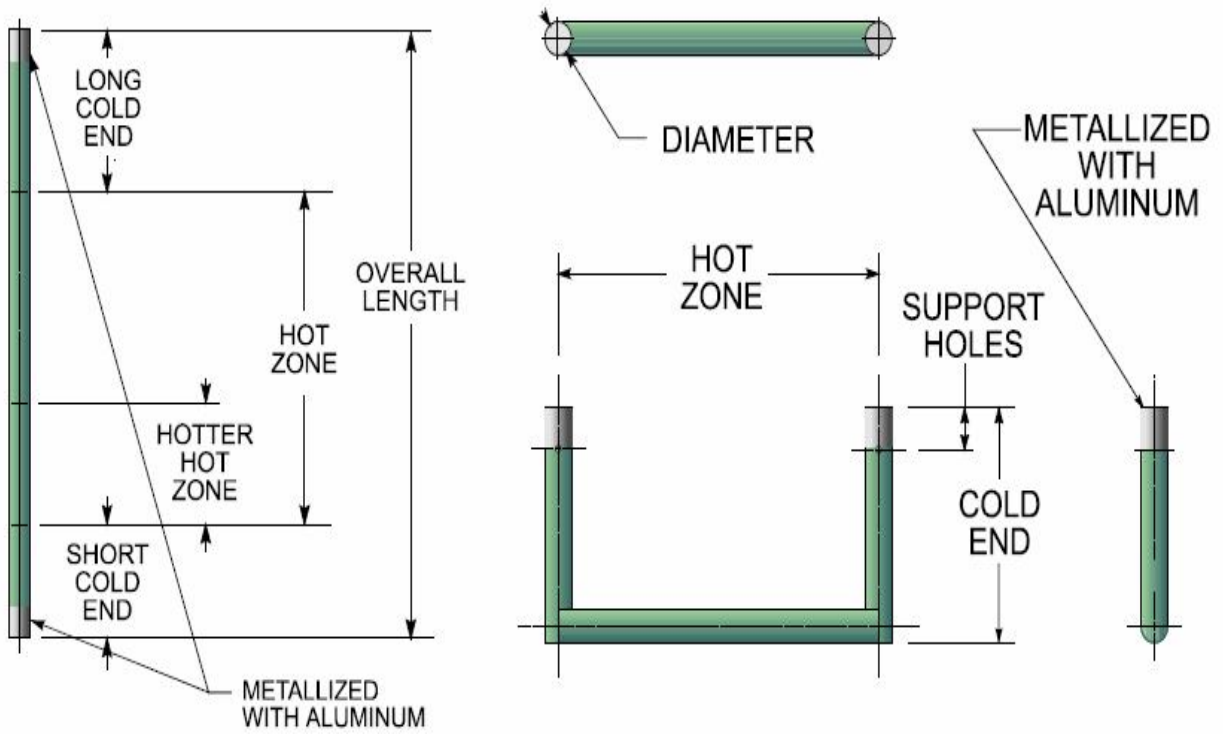
Элементы Starbar имеют допуски производителя плюс-минус 20% от номинального сопротивления. Все элементы калибруются, по крайней мере, дважды перед отправкой клиенту для уверенности в соответствии их спецификации. Измеренная сила тока каждого элемента маркируется на картоне и правом конце каждого элемента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

Изготовление на заказ

Возможны размеры и формы на заказ. Токовыводы могут быть различной длины. Это, например, может понадобиться для печей с арочным сводом, требующим большую длину токовыводов через крышу и меньшую через пол.

Другой случай – это печь с двухтемпературной зоной нагрева. Это, например, позволило бы получить дополнительную тепловую энергию в менее загруженной тоннельной печи. В то время, как специально модифицированная зона нагрева не будет создавать особую разность температур, это позволяет удобным способом добавить больше тепловой энергии в требуемую зону печи.

Тип нагревателя Прямой угол (RA), показанный здесь, имеет все электрические характеристики типа RR. Токовыводы прикреплены перпендикулярно к рабочей части нагревателя. Тип RA обычно устанавливается с выведенными через крышу токовыводами.





ООО "Термокерамика"

141420, Московская область, г. Химки, мкр. Сходня,
ул. Некрасова д.2 на территории технопарка
"Сходня-Инжиниринг"

Тел/факс: (495) 626-45-28, 626-83-90

E-mail: info@termokeramika.com, www.termokeramika.com