

**Карбидокремниевые
нагревательные элементы
Kanthal GLOBAR® SD**



KANTHAL

Введение

Kanthal – одно из важнейших направлений Sandvik Material Technology- является мировым лидером по производству нагревательных элементов из карбида кремния. Производственные мощности компании расположены в г. Перт, Шотландия, и в г. Сан Паоло, Бразилия. Получение любой информации касательно технической поддержки или продаж доступно через официальные представительства Kanthal в любой стране мира.

Элементы Kanthal GLOBAL SD производятся из рекристаллизованного альфа карбида кремния и разработаны для применения в самом широком спектре высокотемпературного промышленного оборудования.

Элементы Kanthal GLOBAL SD работают при температурах от 600°C до 1600°C как на воздухе, так и в контролируемых атмосферах, хотя рабочая атмосфера печи будет определять максимальную рекомендуемую температуру на элементе.

Элементы Kanthal GLOBAL SD могут быть установлены как вертикально, так и горизонтально, и, так как материал жесткий, даже при максимальных рабочих температурах не требуется наличия каких-либо специальных поддерживающих приспособлений.

Элементы Kanthal GLOBAL SD позволяют работать при гораздо больших электрических нагрузках, чем металлические элементы, в тоже время сохраняя превосходные рабочие характеристики как при непрерывных, так и при циклических термических процессах.

Вышеуказанные факторы в значительной степени влияют на сокращение затрат при конструировании печи и упрощают ее последующее техническое обслуживание. Элементы могут быть легко заменены даже «на горячую», что сводит к минимуму простой печи.

Элементы Kanthal GLOBAL SD производятся в виде стержней или трубчатыми с диаметрами от 10 мм до 55 мм. Стандартные размеры элементов GLOBAL SD подходят в качестве прямой замены как для элементов производства Kanthal прошлого поколения, таких как GLOBAL LL, Silit и Hot Rod, так и для элементов других производителей, имеющих свои специальные размеры и сопротивление.

Кроме того, для упрощения установки элементов, когда их необходимо подключить только с одной стороны, большое значение имеет возможность изготовления 2-х, 3-х или 4-х стержневых элементов GLOBAL SD.

Каталог 10-B-2-9 10-08-500

© Kanthal AB.

Настоящая брошюра может быть воспроизведена только с соответствующего официального уведомления издающей организации.

Примечание: Информация, содержащаяся в данном документе, является только пояснительной. Перечисленные примеры являются только основными рекомендациями и не являются гарантией на продукцию, работающую при индивидуальных/специфических условиях. Покупатель продукции Kanthal обязан проверить применимость продукции Kanthal для специфического применения, перед тем как использовать.

© KANTHAL и GLOBAL являются зарегистрированными торговыми марками группы компаний Kanthal в Швеции и других странах.

Kanthal – компания входящая в группу Sandvik

Sandvik – высокотехнологичная группа компаний насчитывающая 47000 сотрудников с годовыми продажами примерно в 86 миллиарда Шведских крон. Sandvik вкладывает примерно 4% от оборота в исследования и развитие. Kanthal, как компания входящая в группу Sandvik имеет полный доступ к мировым ресурсам и технологическим процессам, включая широко известный научно-исследовательский центр в Швеции компании Sandvik, который является одним из выдающихся во всём мире. Офисы продаж компании Kanthal представлены в 130 странах.

Содержание

Типы элементов

Одностержневые элементы Kanthal GLOBAL SD	4
Многостержневые элементы Kanthal GLOBAL SD	4
Применение	6

Методы установки

Установка одностержневых элементов Kanthal GLOBAL SD	8
Установка многостержневых элементов Kanthal GLOBAL SD	9
Вертикальная установка	10
Горизонтальная установка	11
Расстояние между элементами (для всех типов элементов)	12
Электрические характеристики одностержневых и многостержневых элементов Kanthal GLOBAL SD	12
Технические характеристики	13
Свойства элемента	14
Ваттная нагрузка на элемент	14
Процедура запуска	14
Рабочие температуры	14
Влияние атмосфер	16
Глазури и покрытия	17
Непрерывный и циклический режимы эксплуатации нагревателей	17

Источники питания

Соединения элементов	18
Согласование электросопротивления	19
Запас напряжения	19
Оборудование источников электропитания	19
1. Регулируемый силовой трансформатор	20
2. Блок тиристоров (тиристорный регулятор напряжения)	21
2.1 Фазовое включение (фазовое регулирование зажигания)	22
Контроль мощности – фазовый угол	23
2.2 Импульсное регулирование – быстрый цикл	24
Контроль мощности – быстрый цикл	25
3. Трансформатор + тиристор	25
4. Прямые включения непосредственно в электросеть	25

Информация, необходимая для размещения заказа

Для элементов с одним стержнем	26
Для элементов с несколькими соединенными между собой стержнями	26
Аксессуары	27

Типы элементов – Элементы Kanthal GLOBAL SD одноствержневые и многостержневые элементы

Одноствержневые элементы Kanthal GLOBAL SD

Нагревательные элементы GLOBAL SD изготавливаются из гранул альфа карбида кремния высокой чистоты, экструдированных в форме стержней или труб, которые затем подвергаются рекристаллизации при температуре более 2500°C. Рекристаллизация создает прочные однородные связи между смежными зернами, а гранулометрический состав тщательно контролируется для достижения оптимальной плотности и сопротивления к рабочей атмосфере.

Как правило, элементы GLOBAL SD состоят из центральной горячей зоны и двух холодных выводов с низким сопротивлением. При необходимости возможно изготовление элементов с неодинаковыми по длине холодными выводами.

Исходя из применения, нагревательный элемент GLOBAL SD может состоять из одного цельного стержня или из трех частей. Отличительная черта цельной конструкции в том, что она не имеет точек соединения, а пористая структура холодных выводов пропитана кремниевым сплавом с низким удельным сопротивлением. Особенность элемента, состоящего из 3-х частей в том, что его холодные концы с низким сопротивлением присоединены к горячей зоне надежным и прочным реакционно-связанным способом.

Удельное сопротивление материала горячей зоны значительно выше, чем холодных выводов, и, при прохождении электрического тока, основная масса тепла вырабатывается именно в горячей зоне. Холодные выводы, проходящие через футеровку

печи, остаются относительно холодными. Они покрыты алюминием для создания надежного электрического контакта (с низким сопротивлением) между элементом и алюминиевыми контактными проводниками.

Стандартные элементы производятся с диаметрами от 10 до 55 мм, как подробно указано в таблице 1. Элементы с диаметром 10 мм изготавливаются в виде стержней. Все остальные элементы – трубчатые.

Многостержневые элементы Kanthal GLOBAL SD

Многостержневые нагревательные элементы GLOBAL SD изготавливаются из 2, 3 или 4 карбидокремниевых стержней из одного и того же материала и являются стандартными элементами GLOBAL SD, каждый стержень которых состоит из двух частей с четко определенной длиной горячей зоны и холодных выводов. Все стержни каждого отдельного элемента подбираются по сопротивлению для равномерного распределения нагрузки и соединяются между собой карбидокремниевым мостиком-перемычкой.

В результате особого технологического процесса присоединения все части элемента становятся единой монолитной структурой из альфа карбида кремния. Благодаря отсутствию клея и сварных швов ничто не ограничивает температурные возможности полученного таким образом элемента. Мостик-перемычка не является частью горячей зоны и при необходимости может использоваться в качестве крепления.

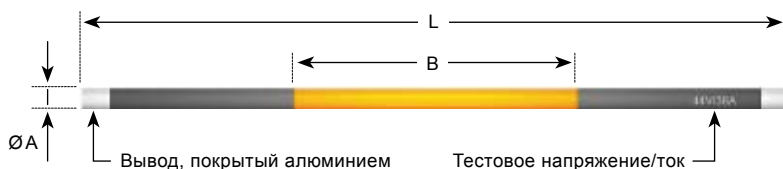


Рис. 1 Стандартные размеры (мм) одноствержневых элементов Kanthal GLOBAL SD

Диам. A [мм]	10	12	14	16	20	25	32	38	45	55
Макс.длина гор.зоны, B	350	500	600	600	850	850	1250	1450	2400	2400
Общая макс.длина, L	650	950	1000	1150	1450	1600	2000	2250	3300	3300

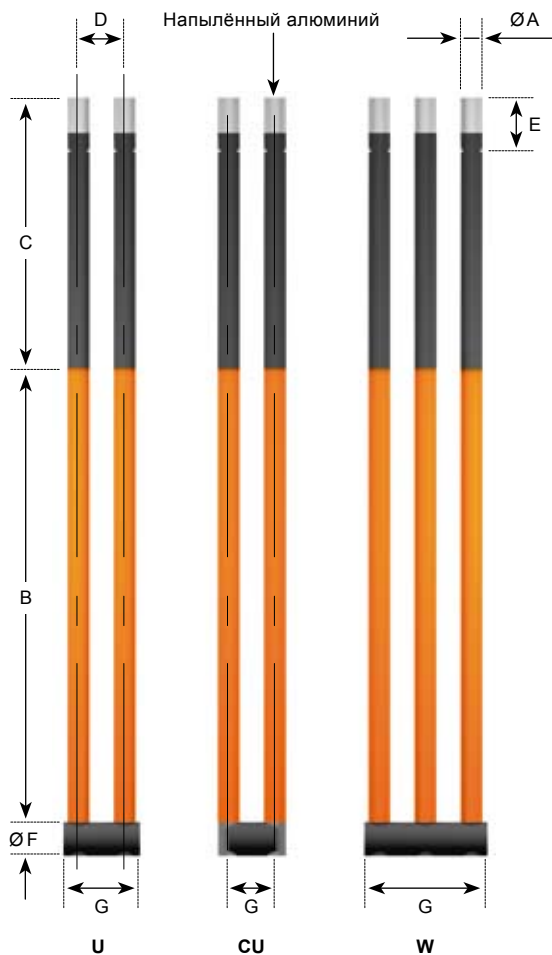


Рис. 2 Стандартные размеры (мм) многостержневых элементов Kanthal GLOBAR SD

Диам. А [мм]	16	20	20	25	32	38	45
В макс.	500	800	800	850	1400	1400	1400
С макс.	400	500	500	550	625	625	625
D	35	38	52	52	64	89	108
E	45	45	45	45	45	75	75
Диам. F	25	32	32	38	44	54	54
G (U)	60	65	79	87	102	145	165
G (CU)	35	38	52	52	64	89	108
G (W)	95	106	134	139	166	234	27

“U”-образный элемент, состоящий из двух стержней, представляет собой однофазный элемент, хотя для получения трехфазной сбалансированной нагрузки достаточно прикрепить к нему определенное количество других элементов, например два.

“CU”- тип элемента подобен типу “U”, но мостик-перемычка у такого типа короче. Такой элемент используют там, где внутреннее пространство печи ограничено.

“W”- образные элементы, состоящие из трех стержней, образуют эффективный трехфазный элемент.

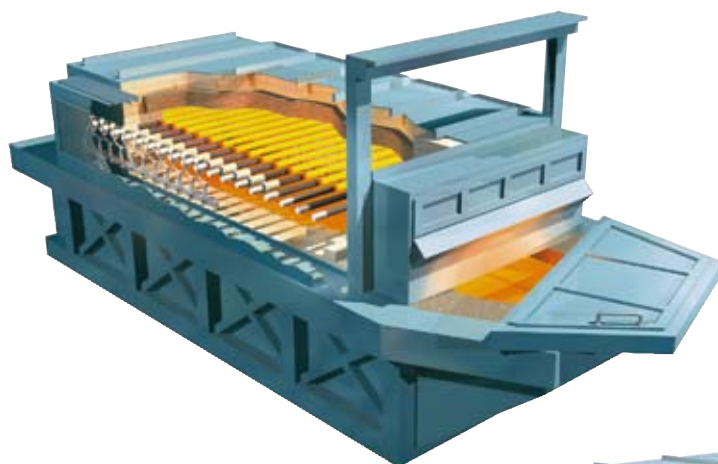
“M”- образные элементы с четырьмя стержнями могут служить заменой двух “U”- образных элементов, тем самым уменьшая количество контактных соединений и отверстий в футеровке

печи. При необходимости четыре стержня “M”-образного элемента могут иметь как одинаковую длину горячей зоны, так и укороченную/удлиненную горячую зону у двух внутренних стержней.

Примечание: высота мостика-перемычки “ØF” не входит в длину горячей зоны. Полную информацию о размерах и электросопротивлении можно получить из каталога “Размеры элементов”. По желанию заказчика возможно изготовление элементов с нестандартным расстоянием между стержнями элемента “D” и нестандартным расположением пазов для крепления “F”.

Применение

Все одностержневые и многостержневые элементы Kanthal GLOBAL SD можно устанавливать как вертикально, так и горизонтально (рис. 3).



Миксера для плавки алюминия

Печи непрерывного действия

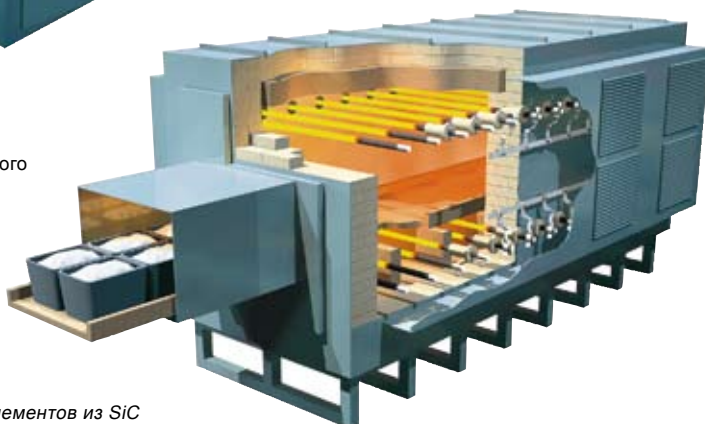
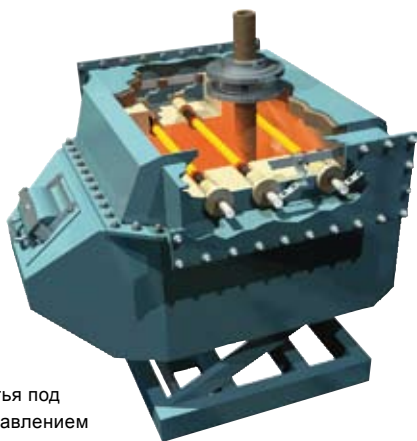


Рис. 3 Типовые печи с использованием элементов из SiC

Одноконцевые соединения многостержневых элементов позволяют использовать их там, где для обычных стандартных элементов GLOBAR SD доступ затруднен либо из-за слишком широкого проема печи, либо из-за особенностей конструкции, требующих одноконцевых соединений (одностороннего подвода электрического тока).

Нагревательные элементы Kanthal GLOBAR SD широко применяются как в маленьких лабораторных печах, так и при непрерывных нагревательных процессах в промышленности со всевозможными атмосферами и температурами. Такие элементы позволяют сконструировать печь любого дизайна, что в комбинации с простой установкой и долгим сроком службы является наиболее предпочтительным выбором для большинства применений, включая стекольную, керамическую,

электронную и металлургическую промышленности, а также научно-исследовательскую работу. Наиболее типичными разновидностями печей, в которых применяются элементы Kanthal GLOBAR SD, являются элеваторные печи, печи литья под давлением, карусельные печи, печи непрерывного действия, печи для выдержки и плавки алюминия и т.д.



Печи литья под
низким давлением



Элеваторные печи



Карусельные печи

Методы установки

Установка одностержневых элементов Kanthal GLOBAL SD

Несмотря на то, что карбид кремния – это твердый и самоподдерживающийся материал, у него довольно низкое сопротивление удару, и обращаться с ним надо осторожно, чтобы избежать механических повреждений, а также держать его следует двумя руками.

Очень важно, чтобы элементы не были “намертво” зафиксированы в одном положении и могли двигаться в монтажных отверстиях, как по оси, так и радиально. Отверстия должны соответствовать размерам элементов, и перед монтажом самих элементов надо провести центровку отверстий путем протягивания прямого стержня такого же диаметра, как и у монтажных отверстий, через футеровку печи.

Ни при каких обстоятельствах нельзя допускать, чтобы горячая зона элемента заходила внутрь футеровки, так как это ведет к локальному перегреву и к преждевременному повреждению элемента

В каталоге “Аксессуары” можно получить информацию о специальных монтажных втулках, предназначенных для монтажа нагревательных элементов Kanthal GLOBAL SD всех размеров. Втулки должны быть вставлены в просверленные отверстия снаружи печи. Диаметр отверстия должен

быть таким, чтобы втулка в него входила свободно. Втулки не в коем случае нельзя приклеивать. В общем, втулки будут гораздо короче, чем толщина изоляции печи, но отверстие с гарантированным зазором должно быть просверлено насквозь через всю толщину стенки (Рис. 4) для того, чтобы элемент не касался футеровки, так как это ведет к адгезии и преждевременному повреждению.

Если во втулках надобности нет, то элементы вставляют непосредственно в отверстия в футеровке, диаметр которого должен на 4–5 мм превышать диаметр элемента при условии, что диаметр элемента не превышает 20 мм. Если же диаметр элемента составляет от 25 до 55 мм, то диаметр отверстия должен быть больше диаметра элемента на 8–10 мм. В печах с утолщенной футеровкой и в случае возможности накопления в отверстиях для элементов или на “холодных” концах летучих веществ, отверстия должны быть достаточно большими.

Для того, чтобы элементы располагались по центру отверстия, под каждый из “холодных” концов должна быть положена прокладка из керамического волокна. Обертывать “холодные” концы керамическим волокном или каким-либо другим теплоизоляционным материалом нельзя ни при каких условиях, так как это приведет к нежелательной фиксации элементов, не исключены

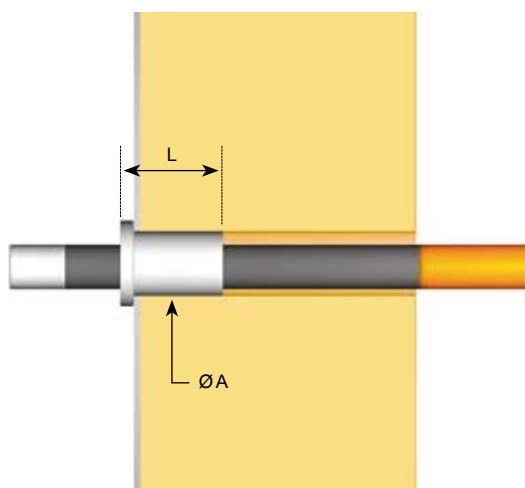


Рис. 4 Стандартная керамическая втулка и ее установка

Тип элемента	Диаметр элемента	Диаметр втулки	Длина втулки
SL10	10	18	75
SL14	12 & 14	26	75
SL20	16 & 20	31	75
SL29	25	43	75
SL32	32	47	75
SL38	38	56	75
SL45	45	62	75
SL55	55	70	150

Все размеры указаны в мм

также в этом случае и преждевременные поломки. В целях избежания излучения на токопроводы и для снижения потерь тепла через щели вокруг выводного конца устанавливают гибкую шайбу из керамического волокна. Шайба находится с внешней стороны электроды (рис. 5).

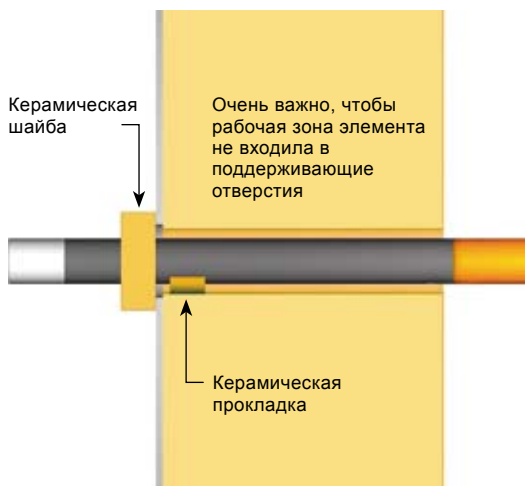


Рис. 5 Установка без керамической втулки

Во всех случаях концы элементов должны выходить за пределы кожуха печи на расстояние, равное не менее 2–3 диаметрам элемента.

Рекомендуется использование алюминиевых контактных проводников, так как они не подвержены прогрессирующему окислению, к тому же эти проводники плоские и обладают гибкостью, что обеспечивает надежный электроконтакт. Алюминиевые контактные проводники обычно крепятся с помощью пружинных клемм (клипс) типа “Н”, которые очень легко устанавливаются без использования каких-либо дополнительных инструментов. Клеммы типов “Н” и “С” изготавливаются из пружинной стали, чтобы получить хороший контакт, их необходимо использовать при температуре не выше 250°C. Для более высоких температур рекомендуется использовать зажимы типов “G” и “D”. Такие зажимы крепятся к элементу болтами из

нержавеющей стали. Перед установкой элемента необходимо смазывать резьбу высокотемпературной смазкой, чтобы предотвратить заедание и дальнейшие трудности при затяжке и замене. После 24-х часов эксплуатации болты надо снова поджать. Электрические соединения элементов для обеспечения надежного контакта должны быть всегда холодными и для этого любые защитные чехлы должны хорошо вентилироваться. При необходимости использования герметичных чехлов следует выполнять следующие процедуры:

- Увеличить длину находящегося снаружи холодного конца нагревателя в 4–5 раз больше, чем диаметр элемента
- Убедиться, что площадь крышки клеммной коробки достаточна для соответствующего охлаждения. Возможно использование ребристой крышки для увеличения площади поверхности
- Использовать контактные зажимы типа “D” и контактные проводники с большим, чем обычно сечением
- Вводить технологический газ через концевую муфту, чтобы способствовать охлаждению
- В особо жестких условиях можно применять усиленное охлаждение

В том случае, если элементы Kanthal GLOBAL SD должны быть установлены вертикально, под конец вывода необходимо подложить в качестве опоры электроизоляционный и термостойкий материал. Что касается элементов с диаметром 16 мм и более, по специальному заказу возможно дополнить их втулками для крепления и шайбами для того, чтобы их можно было подвешивать на свод печи, подобно вертикально установленным элементам типа “U” (Рис. 6).

Установка многостержневых элементов Kanthal GLOBAL SD

Все многостержневые элементы требуют бережного обращения при распаковке, держать их следует также, как и одностержневые элементы, двумя руками, чтобы избежать механических повреждений стержней. Приспособления для безопасной транспортировки снимаются с нагревателей только непосредственно перед установкой в печь.

Вертикальная установка

Многостержневые элементы типов “U” и “W” обычно устанавливаются вертикально. Их подвешивают в огнеупорном стакане, отверстия и размеры в котором должны соответствовать отверстиям в своде печи и размерам элемента. Возможна предварительная сборка элемента со стаканом. Форма и размер стакана будет зависеть от размеров элемента и конструкции свода печи.

Элементы поддерживаются благодаря специально сконструированным крепежным шайбам (рис. 6), но по необходимости в качестве поддержки может быть использована соответствующая керамика, располагаемая под мостиком-перемычкой.

Необходимо следить за тем, чтобы выводы не перегревались, особенно в тех случаях, когда элементы работают на предельно высокой температуре или футеровка свода относительно тонка. В большинстве случаев вполне достаточно подложить под крепежные шайбы подушку из керамического волокна толщиной 25 мм, при условии, что выводы и токопроводы хорошо вентилируются. Но иногда приходится вставлять электронагревательные элементы еще и в отдельную опорную пластину, выступающую на 75–100 мм над кожухом печи для того, чтобы обеспечить свободный доступ воздуха или технологического газа к открытым холодным концам и токопроводам. Альтернативой могут служить элементы, изготавливаемые с нестандартно расположенными опорными пазами или отверстиями, что позволяет использовать контактные клеммы разной длины.

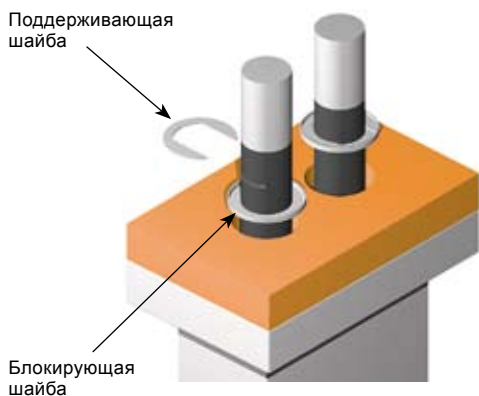


Рис. 6 Пример вертикальной установки

Стаканы должны производиться из огнеупорного материала, способного выдерживать максимальную температуру элемента (которая может значительно превышать температуру печи). Стаканы должны обладать достаточно высоким удельным электросопротивлением в целях избежания пробоя между токопроводящими элементами при такой температуре. Как правило, самым подходящим материалом является высокоглиноземистый огнеупор с низким содержанием железа или спрессованное в вакууме керамическое волокно.

Необходимо убедиться в том, что отверстия для установки элементов параллельны друг другу и просверлены на нужном расстоянии. Если диаметр элемента не превышает 20 мм, то отверстие должно быть на 6 мм больше, если диаметр элемента превышает 20 мм, то отверстие в фасоне должно быть больше на 9 мм.

Компания Kanthal производит специальные стаканы из керамического волокна (LB ceramic fibre location block), подходящие к большинству типоразмеров U и CU элементов. Необходимо использовать отдельную хорошо изолированную прокладку с отверстиями с гарантированными зазорами для стержней элемента, которая должна располагаться на фланце, чтобы передавать нагрузку на кожух печи.

LB стаканы производятся с расчетом на 3 различные номинальные температуры при 1250°C, 1400°C



и 1500°C, которые должны соответствовать максимальной ожидаемой температуре элемента.

Захождение рабочей «горячей» зоны электронагревательного элемента в отверстие для установки элементов в футеровке или стакане во избежание перегрева недопустимо ни при каких обстоятельствах. В противном случае может произойти перегрев или преждевременный выход из строя элементов или футеровки.

Элементы могут быть также установлены вертикально с токопроводами, находящимися в опоре. При этом контактные выводы должны быть установлены на электроизоляционной и термостойкой опоре под концом вывода.

У элемента типа “М” гораздо большее расстояние между холодными концами, чем у двухстержневых и трехстержневых элементов. Поэтому такие элементы лучше всего устанавливать изнутри печи, используя рукава типа SL, чтобы изолировать элементы от футеровки и кожуха печи.

Горизонтальная установка

Необходимо принимать особые меры предосторожности при горизонтальной установке многостержневых элементов, особенно с длинными элементами. Холодные концы элементов должны располагаться на твердой гладкой поверхности таким образом, чтобы их можно было свободно передвигать в процессе нагрева и охлаждения. Подходящим поддерживающим элементом может быть алюминиевая трубочка, устанавливаемая под 90 ° к оси стержня элемента. Отверстия в печной изоляции должны быть сделаны в виде пазов или отверстий с гарантированным зазором, чтобы стержни поддерживались только керамической трубочкой и не касались изоляции печи. Нельзя допускать, чтобы элементы крепились только с одной стороны, какой-либо дополнительный элемент должен поддерживать мостик-перемычку. Важно убедиться, что поддерживающий элемент мостика-перемычки выровнен горизонтально по отношению к керамической трубке, поддерживающей стержни элемента, в противном случае один из стержней не будет полностью поддерживаться, и может преждевременно выйти из строя.

Так как зачастую невозможно гарантировать, что опоры находятся на одной линии, компания Kaphal разработала систему самовыравнивания, и можно изготавливать элементы с прикрепленным к мостику-перемычке направляющим стержнем, чтобы элемент свободно вращался без механических повреждений стержней. В качестве альтернативы

опорой для стандартного мостика-перемычки может служить алюминиевая трубка, которая позволяет ему свободно вращаться относительно стержней элемента (Рис. 7).

Горизонтальные элементы, как правило, следует устанавливать таким образом, чтобы стержни находились в одной и той же горизонтальной плоскости. Установка, когда оси стержней находятся в одной и той же вертикальной плоскости, возможна только для коротких элементов, но такой вид установки обычно не рекомендуется использовать, так как трудно гарантировать одинаковую поддержку для всех стержней.

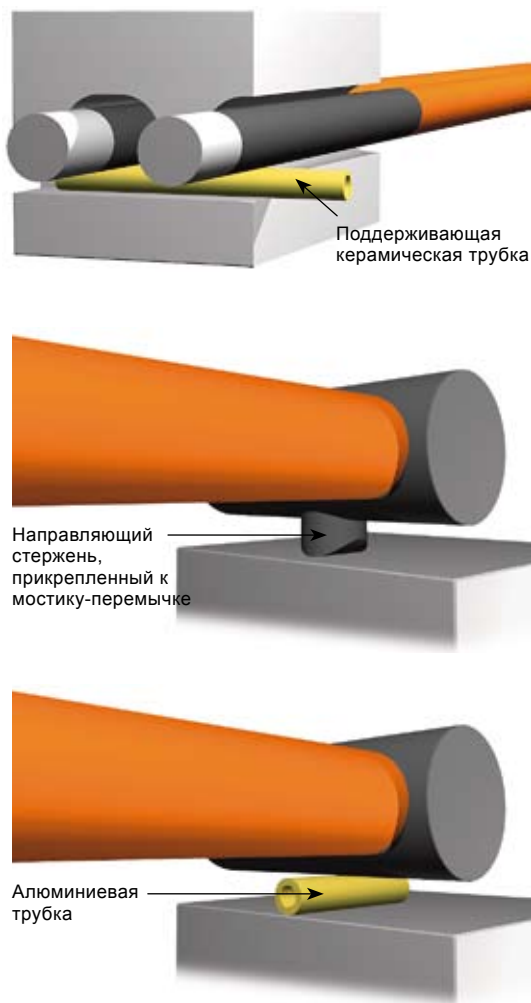


Рис. 7 Пример горизонтальной установки

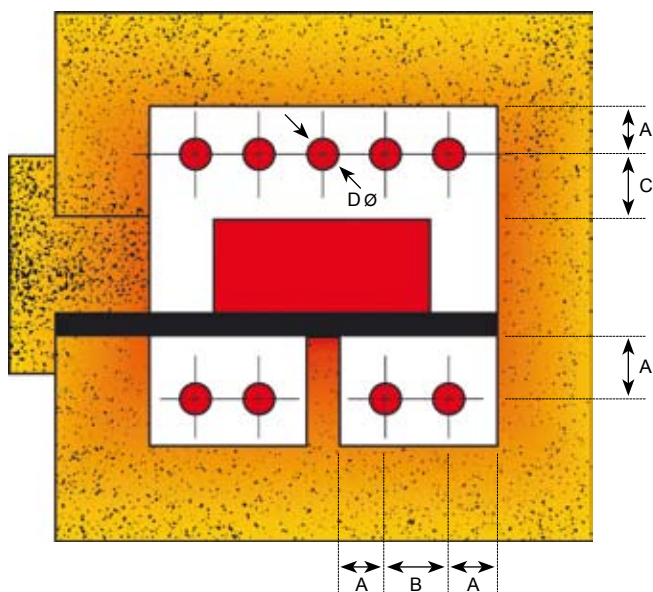
Расстояние между элементами (для всех типов элементов)

Расстояние между центрами соседних элементов должно быть не менее 2 диаметров, но предпочтительнее, если оно будет равно 2,5–3 диаметрам. Расстояние между центром крайнего стержня элемента и огнеупорной футеровкой должно составлять не менее 1,5 диаметра. Расстояние между изделиями, находящимися в печи, и центром стержней элементов должно быть не менее 2 диаметров, хотя при необходимости оно может быть увеличено (если, например, требуется более равномерный нагрев, а расстояние между смежными элементами слишком велико) (рис. 8). При использовании многостержневых элементов

предпочтительнее будет увеличить интервал между элементами настолько, чтобы между смежными мостиками-перемычками расстояние было по меньшей мере 15 мм.

Электрические характеристики одностержневых и многостержневых элементов Kanthal GLOBAL SD

Карбидокремниевые элементы Kanthal обладают более высоким удельным сопротивлением, чем металлические элементы, и могут выдерживать более высокие нагрузки на поверхность (ватт на см² поверхности “горячей зоны”).



- A** = $(1.5 \times D)$ = Минимальное расстояние между центром элемента и смежным огнеупорным материалом
- B** = $(2 \times D)$ = Минимальное расстояние между центрами смежных элементов
- C** = $(2 \times D)$ = Минимальное расстояние между центрами элементов и подовыми плитами или деталями
- D** = Диаметр элемента

Примечание:

При нижнем нагреве подовые плиты должны быть как можно более тонкими, и их теплопроводность должна составлять по крайней мере 14 Вт/мК во избежание перегрева элементов.

Рис. 8 Рекомендуемое расстояние между элементами

Зависимость удельного сопротивления элементов от температуры показана на графике (рис. 9).

При комнатной температуре удельное сопротивление достаточно высокое, но при повышении температуры до 700°C оно падает до минимального значения. При подъеме температуры элемента выше 700°C удельное сопротивление начинает увеличиваться.

Малейшие изменения в количестве включений в материале оказывают непропорциональный эффект на величину “холодного” электросопротивления, как указано на графике пунктирными линиями. Электросопротивление при комнатной температуре не соответствует сопротивлению при рабочей температуре.

Электросопротивление всегда необходимо измерять при постоянной температуре при 1000°C или выше. Величина будет также измеряться напряжением, деленным на количество последовательно соединенных элементов, и током, проходящим через них.

Технические характеристики

Номинальные значения сопротивления, указанные в каталоге “Размеры элементов”, основываются на

данных при температуре 1000°C, как показано на рис. 9. Электросопротивление элементов может находиться в пределах $\pm 15\%$, но, несмотря на то, что номинальные значения обычно используются при расчете напряжения источника питания, отрицательные допуски по сопротивлению должны учитываться при расчете максимального подаваемого тока. (См. Стр. 20).

Элементы Kanthal GLOBAL SD маркируются значениями стандартного тестового напряжения, рассчитываемого для того, чтобы вывести элемент с номинальным сопротивлением до температуры 1000°C в свободном воздухе. При подборке элементов по сопротивлению необходимо учитывать данные по тестовому току, значения которого также наносятся на элемент. Значения тестового напряжения указываются только для калибровки элемента. Максимальное рекомендуемое напряжение для новых элементов не должно превышать 80% тестового напряжения.

В каталоге «Размеры элементов» представлены наиболее предпочтительные размеры элементов, но также могут быть изготовлены нестандартные элементы, включая элементы Kanthal GLOBAL SD со смещенной горячей зоной.

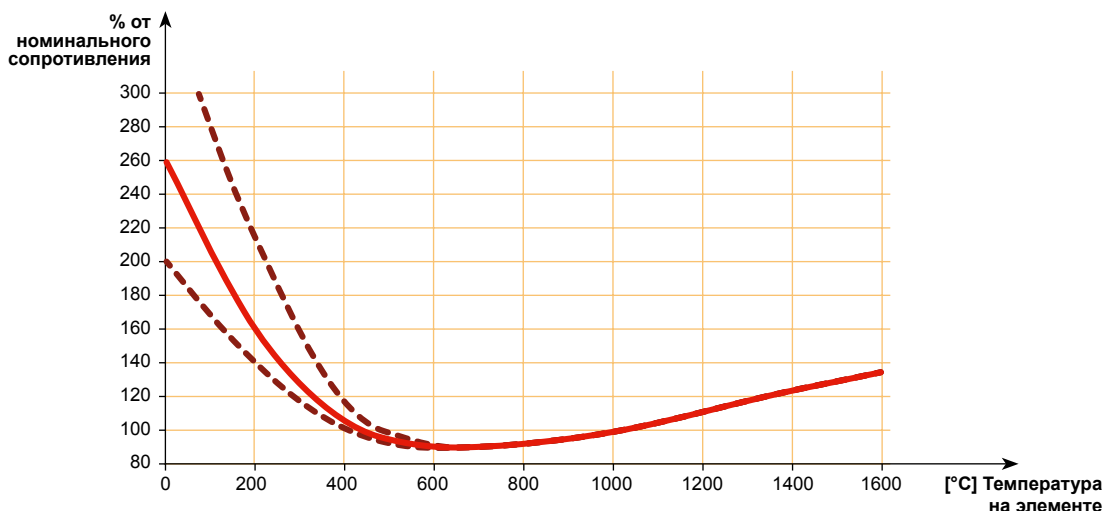


Рис. 9 Зависимость удельного сопротивления элементов от температуры

Свойства элементов

В процессе эксплуатации всех карбидокремниевых элементов повышается их электросопротивление; скорость «старения» элементов (скорость увеличения сопротивления в процессе эксплуатации) зависит от следующих факторов:

- Рабочая температура;
- Ваттная нагрузка, мощность на см² поверхности рабочей части элемента;
- Атмосфера, окружающая электронагревательные элементы;
- Режим эксплуатации: непрерывный или циклический;
- Используемые методы контроля и регулирования температуры

Электросопротивление элементов Kanthal GLOBAL SD будет увеличиваться примерно на 5–6% каждые 1000 часов при непрерывном режиме на чистом воздухе при температуре 1400°C, а при температуре 1000°C на 3% каждые 1000 часов. Необходимо принимать во внимание, что любые незначительные изменения в условиях эксплуатации могут оказать большое влияние на темпы «старения».

Ваттная нагрузка на элемент

Карбидокремниевые элементы не имеют специальных номинальных значений в ваттах, и номинальная мощность это функциональная зависимость требуемой рабочей температуры, рабочей атмосферы и режима эксплуатации. Выражаемая в Вт/см² нагрузка на поверхность вычисляется путем деления мощности каждого элемента на площадь поверхности «горячей» зоны, данные по которой детально представлены в перечне «Размеров элементов», или может быть рассчитана по формуле:

$$\pi \times D \times L,$$

где **D** это внешний диаметр элемента в см, а **L** это длина горячей зоны в см.

Так как нагрузка на поверхность напрямую зависит от температуры элемента, должна быть выбрана наименьшая нагрузка на единицу мощности для оптимального срока службы элемента, и, как правило, это 3–8 Вт/см².

На рис. 10 изображена зависимость между температурой печи, ваттной нагрузкой на элемент и температурой элемента.

Например: при температуре элемента 1400°C и нагрузке на элемент 5 Вт/см² температура элемента будет составлять 1450°C, как указывает зеленая линия на рисунке, а при температуре печи 1100°C и нагрузке на элемент 6 Вт/см² температура элемента будет составлять 1200°C, как указывает голубая линия.

Кривая указывает максимальную рекомендуемую ваттную нагрузку на элементе в воздухе. Этими данными можно руководствоваться в качестве основных, но если необходимо максимально продлить срок службы элементов, то надо по возможности не подвергать их высоким ваттным нагрузкам. Снижение ваттной нагрузки также необходимо при эксплуатации элементов в восстановительных и других атмосферах для того, чтобы поддерживать температуру элемента в пределах, указанных на рис. 11. Минимальной рекомендуемой нагрузкой на поверхность является 3 Вт/см², но, несмотря на это, допустимы и меньшие значения там, где источник питания имеет достаточное напряжение, необходимое для преодоления высокого «холодного» сопротивления элементов.

Процедура запуска

Быстрый нагрев является разрушительным для всех керамических материалов и, хотя одностержневые и многостержневые элементы Kanthal GLOBAL SD обладают сопротивлением к тепловому удару, необходимо в начале нагрева из холодного состояния ограничить напряжение и соответственно темпы нагрева. Ни в коем случае нельзя превышать максимальное пусковое напряжение, отмеченное на каждом элементе, но обычно предпочтительнее ограничивать подаваемое напряжение на более низких значениях, получаемых исходя из расчетной мощности элемента и его номинального сопротивления:

$$V = \sqrt{WR}$$

где **W** это расчетная мощность элемента в ваттах, а **R** – номинальное сопротивление элемента.

Рабочие температуры

Элементы Kanthal GLOBAL SD можно использовать на воздухе при температурах печи, достигающих 1600°C, хотя эта величина может быть резко снижена из-за применения в других видах атмосфер. Нижней температурной границы применения для элементов GLOBAL SD не существует, но

Рекомендуемая ваттная нагрузка для элементов Kanthal GLOBAL SD при работе в воздухе

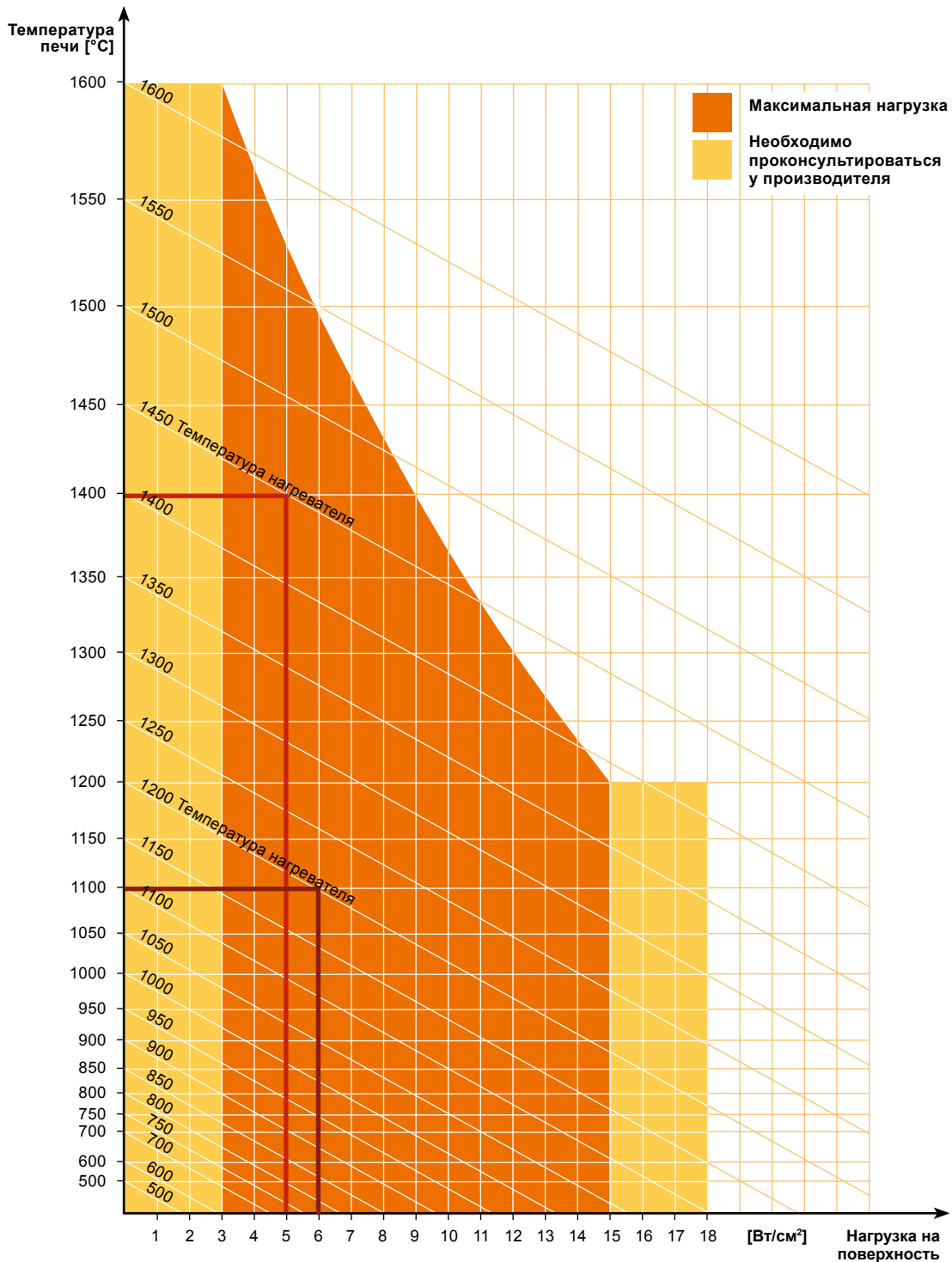


Рис. 10 График расчета нагрузки на поверхность

необходимо установить нагрузку на поверхность элемента для достижения температуры элемента по крайней мере 900°C.

Влияние атмосфер

Несмотря на то, что чистый, сухой воздух обычно наиболее предпочтителен для использования элементов Kanthal GLOBAR SD, они могут работать и в других атмосферах с различными видами технологических газов. Карбид кремния легко окисляется на воздухе, но продукт окисления, диоксид кремния, формирует стабильную аморфную кварцевую пленку вокруг гранул карбида кремния, таким образом замедляя процесс окисления, ограниченный диффузией кислорода через кварцевый слой. Такое пассивное окисление требует содержания свободного кислорода не менее 1%, а при более низком уровне содержания кислорода может произойти активное окисление из-за невозможности создания стабильной кварцевой пленки.

Активное окисление также может произойти и в присутствии водяных паров, так как сформировавшийся кварц скорее всего кристаллизуется и не сможет нести защитной

функции. Элементы, незащищенные от водяных паров даже на очень короткий период времени, будут серьезно повреждены и никогда не вернуться в состояние прежнего окисления даже в чистом сухом воздухе. Перед установкой элемента электропечи должны быть тщательно просушены, но если нужно, чтобы печь была просушена при помощи элементов, в этом случае печь должна хорошо проветриваться, чтобы не допустить образование водяных паров. Там, где предполагается присутствие водяных паров, необходимо применять глазурированные элементы Kanthal GLOBAR SD. Также глазурированным должен быть, по крайней мере, первый комплект элементов для печей с кирпичной кладкой или печей из литых огнеупоров, где неизбежно некоторое выделение пара в процессе первого нагрева.

Элементы Kanthal GLOBAR SD также с успехом могут применяться в нейтральных или восстановительных атмосферах, но при более низком температурном пределе.

Например, в чистом сухом водороде для достижения оптимального срока службы максимальная температура элемента составляет около 1200°C. Однако при более низком проценте водорода

Атмосфера	Максимальная температура элемента [°C]	Комментарии
Чистый воздух	1625	1500°C для элементов, состоящих из 3-х частей
Чистый кислород	1500	Более быстрое окисление, чем на воздухе
Азот	1350	Формирование нитрида кремния при >1350°C
Чистый водород	1200	Окисление в мокром водороде
Сухой экзотермический газ	1400	Большая зависимость от химического состава
Сухой эндотермический газ	1250	Большая зависимость от химического состава
Вакуум	1200	Как правило, очень краткосрочно

Рис. 11 Максимальная температура на элементе в различных атмосферах

максимальная температура может быть увеличена и элементы с успехом будут работать при температуре свыше 1300°C в условиях экзотермических и эндотермических газов. Чистый азот может вызвать реакцию, в результате которой образуется нитрид кремния при температуре печи 1300°C. Возможно использование также и в атмосфере с чистым кислородом только с небольшой скоростью окисления, но алюминиевые контактные проводники могут вступить в экзотермическую реакцию с атмосферой, если их не содержать в очень хороших условиях. В таблице (рис. 11) указаны максимальные рекомендуемые температуры элементов для работы в различных атмосферах.

На срок службы элемента также могут повлиять другие летучие вещества, оказывающие воздействие либо на карбид кремния, либо на защитную пленку из кремнезема. Особенно реактивными являются пары щелочей, галогена, окислы металлов и галоидные соединения, поэтому, в целях избежания их воздействия, необходимо обеспечить в камере печи хорошую вентиляцию или насколько возможно уменьшить перенос агрессивных веществ на элемент. Вентиляция будет также препятствовать конденсации летучих веществ в отверстиях футеровки для элементов. Хотя в большинстве случаев можно снизить воздействие летучих веществ до допустимого уровня, в особенно сложных случаях необходимо поместить элементы в огнеупорные или металлические защитные трубы. Использование таких чехлов будет способствовать значительному повышению температуры элемента, особенно если применяются керамические материалы, обладающие относительно низкой эмиссионной способностью и теплопроводностью. В данном случае в целях избежания перегрева возможно придется изменить ваттную нагрузку на элементы.

Если атмосфера содержит углеводороды, то не исключено образование на стенках печи и на элементах налета сажи, что может привести к электрическому пробое. Для того, чтобы этого избежать, необходимо четко контролировать потенциал углерода в газе, а иногда периодически необходимо просто открывать печь для проветривания и сжигания налетов сажи.

Глазури и покрытия

Для продления срока службы элементов в различных условиях, особенно при угрозе химических воздействий, были разработаны специальные глазури, покрытия и методы поверхностной обработки. Более полную информацию можно получить по заказу.

Непрерывный и циклический режимы эксплуатации нагревателей

Все элементы Kanthal GLOBAR SD используются как в непрерывном, так и в циклическом режиме, но при температурах свыше 1400°C рекомендуется непрерывный режим в целях обеспечения максимального срока службы. Объемные изменения, которые разрушают защитную пленку из кремнезема при охлаждении ниже 900°C, подвергают карбид кремния дальнейшему окислению, приводящему к повышению электросопротивления. Поэтому желательно организовывать для высокотемпературных печей короткие периоды «холодного хода» при температуре около 900°C.

При температурах ниже 1400°C рост кремнезема относительно небольшой и поэтому негативные эффекты при циклической работе не будут заметны, особенно, если циклы короткие. При температуре свыше 1400°C и прерывистом режиме работы предпочтительными нагревательными элементами являются Kanthal GLOBAR SG.

Источники питания

Элементы Kanthal GLOBAL SD можно считать как чисто резистивные нагрузки, и к ним применяются обычные законы электричества, то есть, где V = напряжение в вольтах I = сила тока в амперах, W = мощность в ваттах, R = сопротивление в Омах $[\Omega]$.

$$V = IR = \sqrt{WR} = \frac{W}{I}$$

$$W = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

$$I = \frac{V}{R} = \sqrt{\frac{W}{R}} = \frac{W}{V}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V^2}{W} = \frac{W}{I^2}$$

Очень важно устанавливать, подключать и контролировать элементы так, как рекомендуется для достижения оптимального срока службы.

Соединения элементов

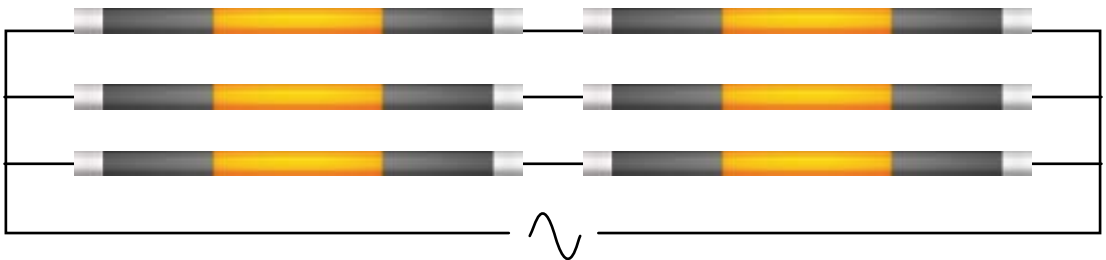
Элементы Kanthal GLOBAL SD могут соединяться параллельно, последовательно или в комбинации того и другого вида соединений. В большинстве случаев наиболее предпочтительным является параллельное соединение, т.к. малейшие изменения электросопротивления в этом случае будут уравновешиваться с пользой для срока

службы элементов. При последовательном электросоединении элементов изменения их сопротивления будут увеличиваться, снижая при этом срок службы элементов.

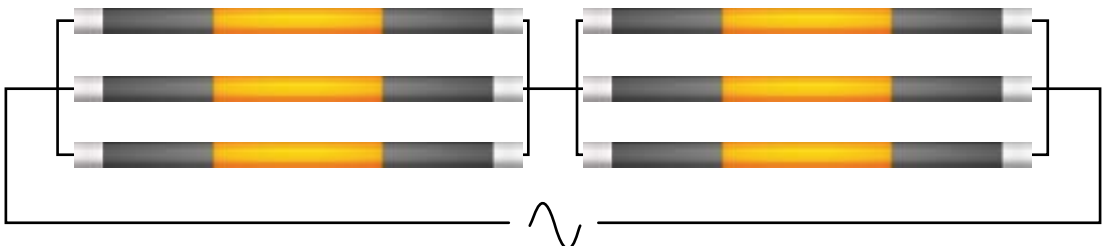
Поскольку электросопротивление элементов Kanthal GLOBAL SD увеличивается относительно медленно, то влияние нарушения равновесия будет небольшим, и поэтому разрешается последовательно соединять до четырех элементов при условии, что у них согласованы величины электросопротивления. При температуре электропечи, превышающей 1400°C , рекомендуется количество элементов, соединенных последовательно, ограничить до двух.

Комбинация параллельного и последовательного соединения элементов обычно считается эффективным решением, и в этом случае рекомендуется последовательно соединенные группы элементов соединять параллельно, если же параллельно соединенные группы соединить последовательно, то выход из строя одного элемента приведет к значительной перегрузке остальных элементов этой группы.

3-х фазные соединения могут включать в себя соединения звездой или дельтой. При применении соединения звездой рекомендуется использование 4-х проводного источника электропитания для



Предпочтительный метод параллельного и последовательного соединения



Альтернативный, но не рекомендуемый, метод параллельного и последовательного соединения

Рис. 12 Параллельное и последовательное соединение элементов

того, чтобы сбалансировать фазовые напряжения независимо от фазовых значений сопротивления. Фазовые значения сопротивлений должны быть очень четко подобраны при использовании 3-х проводного соединения в звезду.

Согласование электросопротивления

Рекомендуется для последовательного соединения элементов в группы выбирать элементы, отличающиеся в пределах исходного электросопротивления $\pm 5\%$. При параллельном соединении пределы изменения исходного электросопротивления элементов шире: $\pm 10\%$.

Если после короткого промежутка времени элемент выходит из строя или ломается, его заменяют на новый, желательнее с более высоким электросопротивлением.

Если элементы проработали уже достаточно долго, то необходимо заменить всю группу элементов, в противном случае чрезмерная нагрузка придется либо на старый (при последовательном соединении), либо на новый (при параллельном соединении) элемент, что приведет к преждевременному выходу из строя.

Лучше всего, если общее количество элементов в печи будет разделено на относительно небольшие контрольные группы для упрощения согласования электросопротивления в дальнейшем. Например, будет гораздо проще подбирать элементы по сопротивлению, если 48 находящихся в печи элементов разделить на 8 групп из 6 элементов в каждой вместо 3 групп из 16 элементов.

При замене группы элементов важно проверить, чтобы перед включением напряжение на выходе источника питания было установлено на нужную величину, т.к. даже за короткое время перегрузка элементов может привести к отказам, не поддающимся ремонту. Старые элементы можно оставлять для дальнейшего использования, но уже со своими «ровесниками» по электросопротивлению. По возможности необходимо перед удалением элементов снимать показания напряжения и тока и указывать повышенную величину сопротивления на выводах для облегчения согласования электросопротивления при последующем их использовании. Необходимо помнить, что электросопротивление элементов при комнатной температуре не равняется сопротивлению при рабочей температуре и снимать показания сопротивления необходимо при постоянной температуре выше 1000°C . Различные типы электронагревательных элементов не должны использоваться в одной электрической цепи, т.к.

разная степень «старения» может вызвать перегрузку одного типа или другого в зависимости от способа соединения.

Запас напряжения

Для компенсации повышения электросопротивления, которое неизбежно в процессе эксплуатации элементов, обычно используется изменяемое напряжение источников электропитания. Величина необходимого резерва напряжения будет зависеть от темпов «старения» и предполагаемого срока службы элементов, но обычно составляет около 50–100% от напряжения, необходимого для того, чтобы дать полную мощность с новыми электронагревательными элементами в исходном состоянии.

Например, если 125 В требуется для обеспечения полной мощности с новыми элементами, то для создания 100% запаса напряжения необходимо напряжение в пределах 125–250 В.

В тех случаях, когда элементы должны работать длительные промежутки времени при температуре 1400°C и выше и при высоких темпах «старения» при более низких температурах разрешается 100% запаса напряжения. И наоборот, если температура элемента очень низкая и электропечь используется не так часто, достаточным бывает запас напряжения 50% и менее.

Оборудование источников электропитания

Для запуска расчетной мощности, которая должна поддерживаться на протяжении всего срока службы элементов, обычно применяются различные источники питания с меняющимся напряжением. Тип используемого оборудования может влиять на характеристики элемента, и очень важно выбрать соответствующее оборудование для достижения наибольшего срока службы элементов.

Существуют различные типы источников питания:

1. Регулируемый силовой трансформатор
2. Блок тиристоров (тиристорный регулятор напряжения)
 - a. фазовое включение (фазовое регулирование зажигания)
 - b. импульсное регулирование
3. Комбинированные системы: тиристоры/преобразователи
4. Прямое включение непо-средственно в электросеть

В сущности, трансформаторы со ступенчатым выходом осуществляют контроль только включения/выключения, если они не используются в комбинации с тиристорами. Несмотря на трудоемкость и нечувствительность к небольшим перегрузкам, в большинстве случаев трансформатор считается тяжелым, громоздким и относительно дорогим источником питания. Тиристорный контроль является наиболее компактным решением с возможностью безшагового регулирования мощности и пропорционально-интегрально-дифференциальным точным температурным контролем. Однако тиристорный контроль требует большей мощности и может быть причиной помех на линиях энергоснабжения. Как правило, для обеспечения запаса напряжения более чем 50% не используют только тиристорный контроль, и, если требуется обеспечить большой запас напряжения вместе с пропорционально-интегрально-дифференциальным контролем, лучшим решением, пусть даже наиболее дорогим, является комбинирование преимуществ контроля тиристора и большого напряжения трансформатора.

Только один тиристорный контроль обычно применяют в печах с низкими температурами, в лабораторных печах и другом оборудовании, где скорость изменения сопротивления элементов должна быть низкой. Для применения в высокотемпературных промышленных печах непрерывного действия, где необходим как большой запас напряжения, так и точный температурный контроль, дополнительные затраты на использование комбинированной системы трансформатор+тиристор обычно оправдывают себя по производительности.

1. Регулируемый силовой трансформатор

Непрерывно регулируемые от нуля силовые трансформаторы используются для электропитания небольших лабораторных электропечей или обогрева экспериментальных стендов, но считаются очень дорогими для крупных электропечей, для которых более экономичными являются силовые трансформаторы со ступенчатым выходом. Максимальный перепад напряжения у такого трансформатора между ступенями не должен превышать 7% от начального напряжения, необходимого для выделения полной мощности ($=\sqrt{WR}$), где W – установленная мощность электропечи и R – электросопротивление цепи, рассчитанное по номинальному электросопротивлению элементов), и при расчете максимальной величины вторичного тока трансформатора ($=\sqrt{\frac{W}{R_{\min}}}$).

необходимо принимать во внимание допуски на электросопротивление элемента. Например: если печь рассчитана на 5 кВт и оборудована элементами Kanthal GLOBAL SD, обладающими электросопротивлением цепи $2\Omega (\pm 15\%)$ то характеристика трансформатора может быть вычислена следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{номинальное напряжение полной мощности} &= \\ &= \sqrt{WR} = \sqrt{5000 \times 2} = \mathbf{100 \text{ В}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{перепады между ступенями не должны превышать} &= \\ &7\% \text{ от } 100 \text{ В} = \mathbf{7 \text{ В}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{минимальное электросопротивление цепи} &= \\ &= 2\Omega - 15\% = \mathbf{1.7\Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{минимальный вторичный ток} &= \\ &= \sqrt{\frac{5000}{1.7}} = \mathbf{54 \text{ А}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{минимальное требуемое напряжение} &= \\ &= \sqrt{5000 \times 1.7} = \mathbf{92 \text{ В}} \end{aligned}$$

Предположим, что необходимый запас напряжения составляет 100%. Тогда характеристика трансформатора будет выглядеть следующим образом:

Вход: Однофазное, соответствующее источнику питания

Выход: Изменяющееся от 92 В до 197 В при 15 ступенях по 7 В каждая (= 4 крупных × 4 мелких отвода)

Номинальные данные силового трансформатора:
5 кВА от 92 В и выше (максимальный вторичный ток 54 А)

- 1) При использовании силового трансформатора со ступенями необходимо предусмотреть снижение мощности электропечи, которое будет происходить при работе между переключениями со ступени на ступень. Например, при перепаде напряжения между ступенями 7% мощность в процессе работы упадет примерно на 12,5% до того, как напряжение будет переключено на следующую ступень трансформатора.
- 2) Если нужно, то для более низких мощностей могут быть предусмотрены несколько отводов менее 92 В.
- 3) Если необходимо установить амперметр, то он должен быть смонтирован в первичной цепи, там, где напряжение постоянное; в данном случае его показания точно отразят выделяемую мощность на электронагревательных элементах, независимо от величины вторичного напряжения.

2. Блок тиристоров (тиристорный регулятор напряжения)

Тиристор представляет собой полупроводниковое устройство, с помощью которого регулируется средняя проводимая мощность к электронагревательным элементам, мгновенными его переключениями с включенного на выключенное состояния. Каждый тиристор проводит ток только в одном направлении и для регулирования нагрузок переменного тока, тиристоры, соединенные встречно-параллельно, поставляются в парах. Тиристоры включаются серийно импульсов, подаваемых с соответствующего

каскада усилителя мощности или температурного контроллера. Тиристоры – это достаточно простые приборы, но их зачастую оснащают закрытым обратным контуром для компенсации перепадов подаваемого напряжения, нагрузки и т.д. Типичные режимы работы обратного контура включают в себя контроль по току (I^2 обратная связь), контроль по напряжению (V^2 обратная связь) и контроль по активной мощности (VI обратная связь). Как правило, только контроль по напряжению (V^2 обратная связь) подходит для карбидкремниевых нагревателей, несмотря на то, что существуют некоторые исключения.

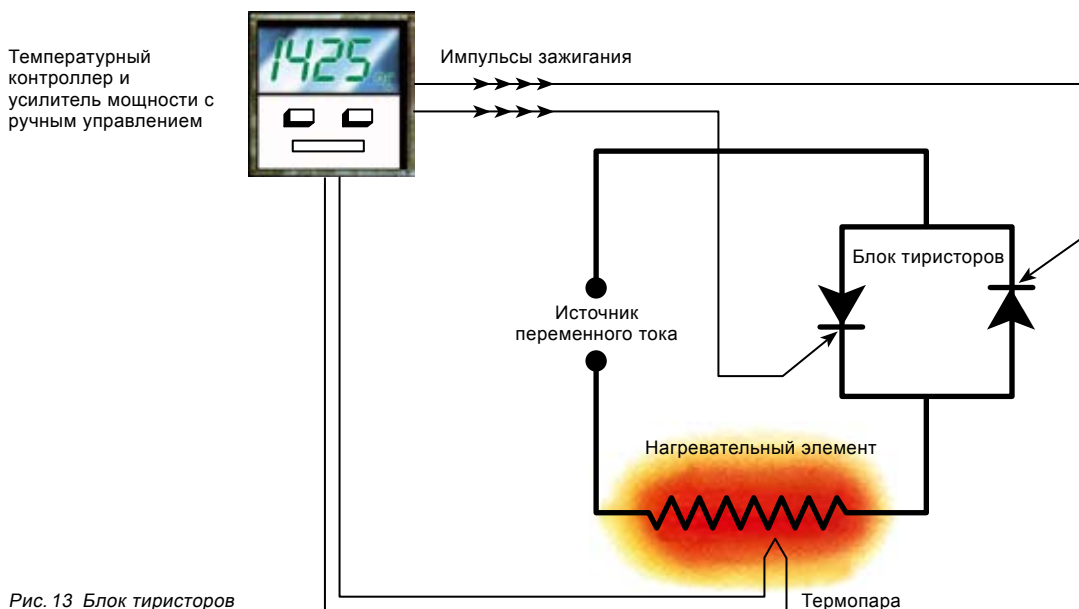


Рис. 13 Блок тиристоров

Контроль по току может привести к увеличению мощности на элементе в связи с возрастанием сопротивления, и как контроль по мощности, так и по току может быть причиной серьезного повреждения элементов по мере роста сопротивления. При наличии такого высокого сопротивления нагрузки как контроль по току, так и по мощности, скорее всего, приведут к подаче максимального напряжения на элементы, и, если имеющееся напряжение выше, чем допустимое, элементы могут быть серьезно повреждены. При контроле по напряжению

подача мощности будет контролироваться по сопротивлению и температурным характеристикам элементов, начиная с относительно низкой мощности и постепенно возрастая по мере нагрева элементов.

Выходные характеристики тиристорного регулятора напряжения находятся в зависимости от способов включения (регулирования) тиристоров. Этим способом два:

2.1 Фазовое включение (фазовое регулирование зажигания)

Каждый тиристор включается один раз на определенное время каждые полцикла питания переменным током. Проводимость тиристора заканчивается в конце половины цикла, т.е. ток снижается до нуля. В этом случае синусоида подачи электропитания разбивается, что ведет к снижению среднеквадратичного напряжения на выходе тиристорного блока, то есть к нагрузке поступает лишь часть напряжения. Для регулирования напряжения электропитания карбидкремниевых электронагревательных элементов необходимо изменять угол зажигания тиристоров и, таким образом, можно, увеличивая его, компенсировать «старение» элементов, увеличив напряжение питания нагревателей.

Блоки тиристоров с фазовым зажиганием могут быть оборудованы токоограничителем, который будет защищать тиристоры от случайной перегрузки, поддерживая выход электротока ниже установленной величины, независимо от величины установки напряжения. Следует иметь в виду, что систему ограничения тока, необходимую для защиты тиристоров, нельзя использовать для регулирования входа мощности к элементам, так как вход мощности ($= I^2R$) будет постепенно возрастать с ростом сопротивления элементов, что приведет к перегрузке нагревательных элементов.

Так как тиристорные регуляторы с фазовым зажиганием (включением) характеризуются плавным, безперепадным изменением питающего электронагреватели напряжения, то они идеально подходят для обеспечения электропитания карбидкремниевых электронагревательных элементов. В то же время они могут вызывать

радиопомехи и искажение формы волн; этим факторам необходимо уделять особое внимание при выборе системы электропитания печи. Использование фазового зажигания (включения) не приветствуется во многих странах, либо оно строго ограничено местными правилами.

Так как при фазовом регулировании угла зажигания тиристоров, особенно при малых углах зажигания, появляется большое количество высших гармоник, что приводит к выделению большой реактивной мощности в цепях, то даже при чисто резистивных нагрузках это может привести к большим проблемам в регулировании на мощных установках. Одним словом, для снижения этого эффекта стартовое напряжение с новыми элементами должно быть не меньше 60 % от напряжения питания.

Кабели электропитания должны быть рассчитаны при среднеквадратичном токе, пропущенном через элементы ($= \text{Мощность} \div \text{Напряжение выхода тиристора}$, а не $\text{Мощность} \div \text{Напряжение питания}$). Это значит, что мощность источника питания должна быть выше, чем проектная мощность печи, и чем больше будет запас напряжения, тем выше будет требуемый перерасчет.

В трехфазных установках появление третьей высшей гармоники вызовет кумулятивное искажение волн электропитания и может привести к чрезмерно высокому нейтральному току в нулевом проводе, в 2 раза превышающему линейный ток в 3-х фазных, 4-х проводных нагрузках, соединенных в звезду. Поэтому нейтральные кабели (нулевые провода) должны быть правильно рассчитаны для того, чтобы выдержать этот чрезмерный ток. Тем не менее, необходимо использовать 3-проводное соединение звездой для исключения такой проблемы, это может привести к дисбалансу между фазами, особенно,

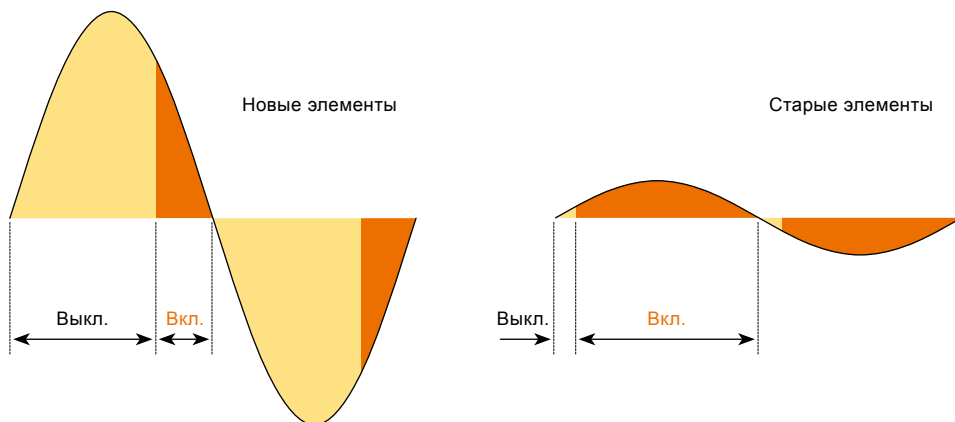
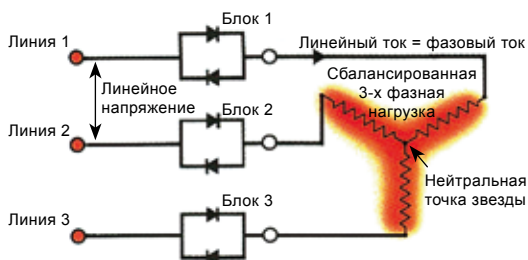


Рис. 14 Фазовое включение (фазовое регулирование зажигания)

если элементы не очень четко подобраны по сопротивлению.

Для уменьшения искажения подачи электропитания в крупных установках рекомендуется использование 6-ти проводного электропитания с открытым треугольником (дельтой).

В данном случае может наблюдаться значительное снижение общих затрат на электроустановку, т.к. тиристоры могут быть рассчитаны только для фазового тока, а не для линейного тока, как это требуется в установке с нагрузкой обычным треугольником (закрытой дельтой), и фазы можно контролировать независимо, что ведет к более гибкому контролю.



3 фазы, 3 провода, соединение звездой (фазное зажигание)

Пределы напряжения блока = Линейное напряжение = Фазное напряжение $\times \sqrt{3}$

Пределы тока блока = Линейный ток = Фазный ток

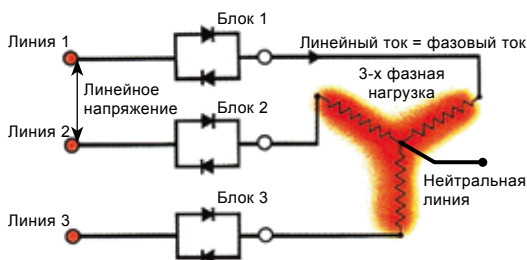
Примечание: фазное электросопротивление и нагрузки должны быть сбалансированы

Рис. 15 3 фазы, 3 провода, соединение звездой

Расчет величины напряжения и электротока в тиристорных регуляторах с фазовым зажиганием осуществляется также, как и для трансформаторов, здесь так же необходимо принимать во внимание допуски на электросопротивление элементов при расчете максимального тока.

Контроль мощности – фазовый угол

Большинство типов вольтметров и амперметров не дают точных среднеквадратичных данных о фазовых регулируемых нагрузках, и поэтому необходимо пристально следить за тем, чтобы электронагревательные элементы не оказались сильно перегруженными. Имеющиеся в наличии цифровые приборы точно укажут на



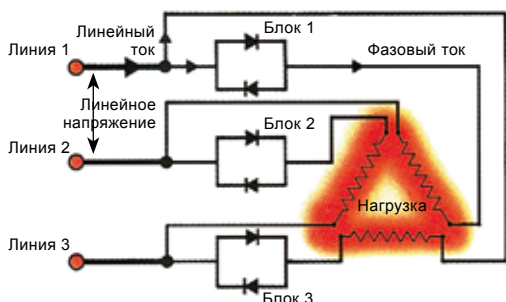
3 фазы, 4 провода, соединение звездой (фазное зажигание)

Пределы напряжения блока = Фазное напряжение = $\frac{\text{Линейное напряжение}}{\sqrt{3}}$

Пределы тока блока = Линейный ток = Фазный ток

Нейтральный (нулевой) провод = Линейный ток $\times 2$ для безопасности

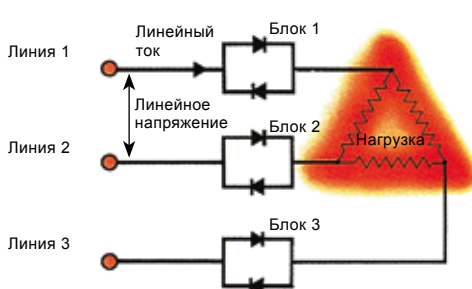
Рис. 16 3 фазы, 4 провода, соединение звездой



3-х фазное соединение открытым треугольником (открытой дельтой)

Пределы напряжения блока = Линейное напряжение
Пределы тока блока = Фазный ток (= $\frac{\text{Линейный ток}}{\sqrt{3}}$)

Рис. 17 6 проводов (открытая дельта)



3-х фазное соединение обычным треугольником (закрытой дельтой)

Пределы напряжения блока = Линейное напряжение
Пределы тока блока = Линейный ток = Фазный ток $\times \sqrt{3}$

Рис. 18 3 провода (закрытой дельтой)

несинусоидальные волны, однако для того, чтобы быть уверенным в правильности выбранного прибора, необходимо проконсультироваться с его производителем или с представителем компании Kanthal. Для получения правильных среднеквадратичных данных рекомендуется использовать датчик Холла с коэффициентом амплитуды 7 или выше.

2.2 Импульсное регулирование – быстрый цикл

При импульсном регулировании мощности тиристоры запускаются в начале основного цикла и остаются открытыми на протяжении одного или нескольких полных циклов, затем запираются на один или несколько циклов. Эта операция непрерывно повторяется, ограничивая средний вход мощности к элементам. Ручное регулирование ограничения мощности применяется для изменения соотношения вкл./выкл. для компенсации «старения» элементов.

Хотя средняя мощность, подаваемая к элементам, может быть в допустимых рекомендуемых для запуска пределах, температура и атмосфера, мгновенные всплески полного напряжения основной цепи могут привести к мгновенным нагрузкам, в несколько раз превышающим эту величину, что может ускорить темпы «старения» и вызвать преждевременный (если не немедленный) выход элементов из строя. В этих целях элементы нужно соединять так, чтобы мгновенные нагрузки на элемент в момент всплеска напряжения основной цепи не превышали 15 Вт/см².

Для уменьшения воздействия всплеска «включено» необходимо максимально сократить основное время

его длительности, желательно, чтобы оно было менее 30 циклов при частоте питания 50 Гц (т.е. 50% мощности = 15 циклов «вкл.» + 15 циклов «выкл.»).

Время включения тиристоров с медленным циклом обычно составляет несколько секунд, и такие тиристоры не пригодны для прямого регулирования мощности карбидокремниевых электронагревательных элементов. Их можно использовать на вторичном контуре ступенчатого силового трансформатора вместо обычных электромеханических контакторов.

Оптимальным видом тиристора с импульсным регулированием для карбидокремниевых элементов является тиристор с одним циклом импульсного регулирования, где средний вход мощности всегда достигается, превышая возможное количество полных циклов (т.е. 50% мощности = 1 цикл «вкл.» + 1 цикл «выкл.»).

Требуемая величина напряжения блока тиристоров будет такой же или выше, чем напряжение источника питания, но пределы тока блока должны определяться делением среднеквадратичного напряжения питания на минимальное электросопротивление цепи.

$$\text{т.е. ток тиристора} = \frac{\text{напряжение питания}}{\text{минимальное электросопротивление}}$$

По этой причине расчетные значения такого тиристора будут гораздо выше, чем у подобного блока тиристоров с фазовым зажиганием.

Для получения значения требуемого выхода тиристора необходимо рассчитать мощность при напряжении питания, таким образом, коэффициент вкл./выкл. тиристора, в любом случае имеющий

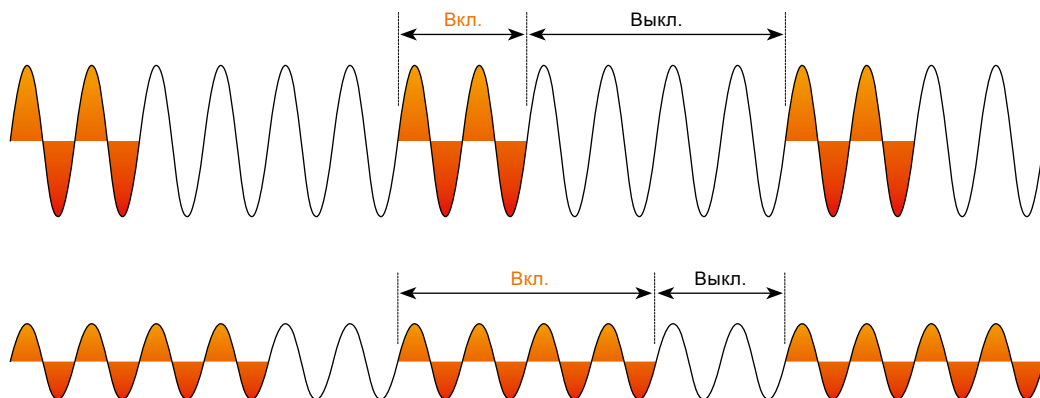


Рис. 19 Импульсное регулирование (быстрый цикл)

определенный процент ограничения, даст необходимую расчетную мощность.

Т.е. если напряжение питания 200 В и электросопротивление цепи элементов $4\ \Omega$, то мощность при 200 В будет $\frac{200^2}{4} = 10,000$ Вт. Если требуемая мощность 5 кВт, то необходимо установить тиристоры с выходом $\frac{5,000}{10,000} = 50\%$

Резистивные нагрузки, регулируемые импульсными быстроциклическими тиристорами, обладают единым коэффициентом мощности, т.к. на нагрузку действуют только полные циклы главной цепи, в этом случае кумулятивного искажения питания главной цепи не наблюдается. Однако при больших нагрузках падение напряжения при включенном регуляторе может вызвать «фликкер-эффект» и оказать воздействие на чувствительное оборудование. Это также необходимо иметь в виду при выборе типа и вида источников электропитания.

Контроль мощности – быстрый цикл

Очень трудно найти вольтметры и амперметры, которые бы четко реагировали на быстроциклическое регулирование нагрузки при применении импульсных регуляторов, и, как большинство других приборов, они покажут величины, значительно заниженные, чем у действительного выхода тиристора. Необходимо внимательно следить за тем, чтобы электронагревательные элементы в этом случае не были чрезмерно перегружены. Можно производить расчеты требуемых выходных параметров, как указано выше, основываясь на известном сопротивлении элементов. Если существуют какие-либо сомнения на счет настройки, тогда вначале регулировку необходимо установить на самую низкую величину и очень медленно увеличивать, регулируя до тех пор, пока не установится минимальная достаточная мощность для достижения заданной температуры печи. Регулировка должна быть остановлена в этом положении до тех пор, пока, из-за «старения» элементов, мощность не станет недостаточной для поддержания температуры печи в заданных пределах или для достижения температуры при циклическом режиме работы электропечи. В данном случае настройка регулировки должна быть несколько увеличена до тех пор, пока выделяемая электронагревателями мощность опять не станет достаточной.

3. Трансформатор + тиристор

Из-за ограничений, наложенных на использование тиристорного управления (см. пункты 2.1 и 2.2) иногда становится невозможным создать адекватный запас напряжения, поэтому может быть

целесообразным прибегнуть к комбинированному источнику питания: тиристорный регулятор/ступенчатый трансформатор. Это необходимо для обеспечения адекватного срока службы элементов. Тиристоры могут быть настроены как на основной, так и на второстепенный контуры трансформатора, хотя необходимо принять меры предосторожности особенно для основного соединения. В большинстве случаев трансформаторы снабжаются только 2 или 3 ступенями, так как промежуточные ступени могут исходить от тиристора. Если предполагается использование такой системы, то производители как тиристора, так и преобразователя должны быть проинформированы об этом еще на стадии конструирования электропечи для обеспечения совместимости оборудования. При получении необходимой информации по элементам, требуемой мощности и температуре, а также местному напряжению питания, компания Kanthal может предложить возможные решения по проектированию оборудования.

4. Прямые включения непосредственно в электросеть

Группы электронагревательных элементов могут присоединяться и непосредственно к напряжению основной электросети, при условии, что электросопротивление сети достаточно высокое, чтобы защитить элементы от перегрузки при колебаниях ее напряжения. Электросхема соединения элементов должна быть сконструирована так, чтобы выход начальной мощности был выше, чем пределы электропечи для создания резерва мощности, необходимого для компенсации «старения» элементов. Хотя благодаря этому методу общие затраты питания с меняющимся напряжением сохраняются, может быть создан только минимальный запас мощности, и, кроме того, может понадобиться большее количество элементов для распределения начальной излишней мощности.

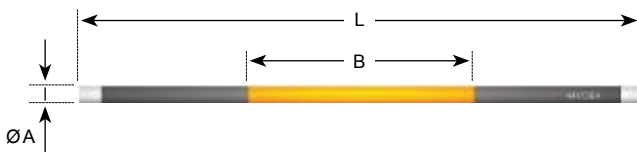
Можно создать дополнительный запас мощности, если изменить электросоединение элементов, после того, как элементы «постарели» (например: из 2-х параллельных ветвей 3-х последовательно соединенных элементов в 3 параллельные ветви из 2-х последовательно соединенных элементов; или из 2-х последовательно соединенных элементов в треугольнике (дельте) в 2 параллельно соединенные элемента в звезде. Из-за таких неудобств прямые соединения обычно ограничены областью применения при относительно низких температурах (около 1100°C) или в редко использующихся циклических печах при температурах до 1300°C .

Информация, необходимая для размещения заказа

При размещении заказа на нагревательные элементы Kanthal GLOBAR SD необходим следующий минимум информации:

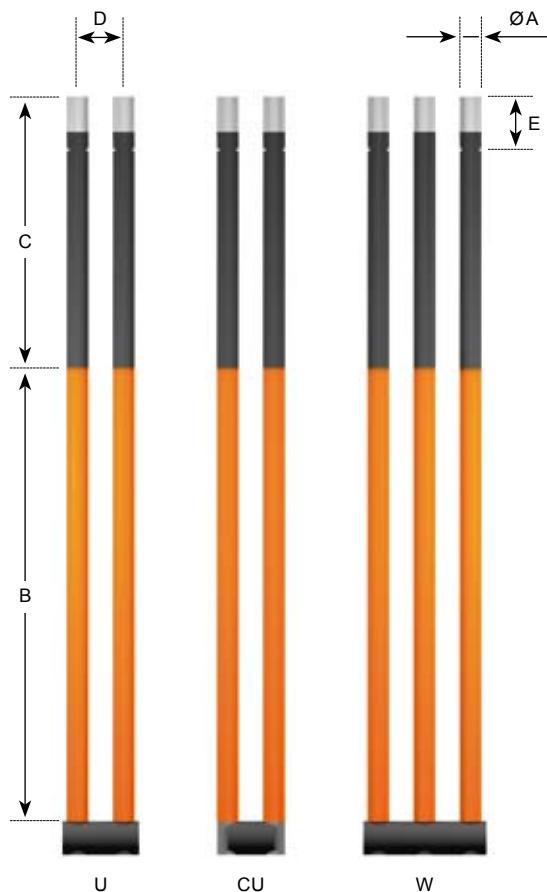
Для элементов с одним стержнем

- Тип элемента (Kanthal GLOBAR SD)
- Диаметр, мм ($\varnothing A$)
- Длина горячей зоны, мм (B)
- Общая длина, мм (L)
- Номинальное сопротивление, Ω



Для элементов с несколькими соединенными между собой стержнями

- Тип элемента (GLOBAR SD-U/CU/W)
- Диаметр, мм ($\varnothing A$)
- Длина горячей зоны, мм (B)
- Длина «холодных» выводов, мм (C)
- Расстояние между центрами стержней, мм (D)
- Расположение пазов* (E)
- Номинальное сопротивление, Ω



*Примечание:

если заранее не оговорено, то элементы производятся со стандартным расположением пазов (см. Рис 2)

Аксессуары

Аксессуары, которые можно заказать дополнительно к нагревательным элементам.
(По запросу может быть предоставлен полный список размеров).



LB-осадочный кирпич



SL-керамическая втулка



CT1 (Малый
вспомогательный
инструмент для
клипс)



CT2 (Большой
вспомогательный
инструмент для
клипс)



HC-клипса



CC-клипса



G-зажим



D-зажим



D1-контактный
проводник



D2-контактный
проводник



S1-контактный
проводник



S2-контактный
проводник



Q1-контактный
проводник



Q2-контактный
проводник

Офисы продаж и технической поддержки Kanthal по всему миру

EUROPE

Bulgaria

Kanthal Representative Office
SOFIA
Phone +359 2 870 4297
Fax +359 2 971 4813

Denmark

Kanthal AB
BRØNDBY
Phone +45 4346 5270
Fax +45 4346 5271

England

Kanthal Ltd.
STOKE-ON-TRENT
Phone +44 1782 224 800
Fax +44 1782 224 820

Finland

Sandvik Tamrock Oy - Kanthal
VANTAA
Phone +358 9870 66440
Fax +358 9852 1651

France

SANDVIK SAS - Division Kanthal
COLOMBES
Phone +33 1 4786 5660
Fax +33 1 4781 5661

Germany

Kanthal ZN der Sandvik GmbH
MOERFELDEN-WALLDORF
Phone +49 6105 40010
Fax +49 6105 400188

Italy

Sandvik Italia S.p.A Divisione Kanthal
MILANO
Phone +39 02 300 981
Fax +39 02 300 98605

Norway

Kanthal AB
LILLESTRØM
Phone +47 6484 3560
Fax +47 6484 3565

Poland

Sandvik Polska Sp. z o.o. - Kanthal
WARSAW
Phone +48 22 647 3880
Fax +48 22 843 0588

Россия

ООО «Сандвик», отдел «КАНТАЛ»
127018, Москва, ул. Полковая д.1
Тел. +7 495 689 8385
Факс +7 495 745 8720

Scotland

Kanthal Ltd.
PERTH
Phone +44 1738 493 300
Fax +44 1738 493 301

Spain

Sandvik Española S.A.
Kanthal Division
MARTORELLES
Phone +34 93 571 7540
Fax +34 93 571 7586

Sweden

Kanthal AB
HALLSTAHAMMAR
Phone +46 220 21000
Fax +46 220 16350

Turkey

Sandvik Endüstriyel Mamüller San. ve
Tic. A.S
KARTAL-ISTANBUL
Phone +90 216 453 0700
Fax +90 216 453 0707

NORTH & SOUTH AMERICA

United States

Kanthal Corporation
BETHEL, CT
Phone +1 203 744 1440
Fax +1 203 748 2229

Kanthal Heating Systems AMHERST, NY

Phone +1 716 691 4010
Fax +1 716 691 7850

Kanthal Palm Coast

PALM COAST, FL
Phone +1 386 445 2000
Fax +1 386 446 2244

MRL Industries Inc.

SONORA, CA
Phone +1 209 533 1990
Fax +1 209 533 4079

Brazil

Sandvik do Brasil S.A. - Kanthal
VINHEDO
Phone +55 19 3826 7400
Fax +55 19 3826 7416

ASIA

Hong Kong

Kanthal Electroheat HK Ltd.
KOWLOON
Phone +852 2735 0933
Fax +852 2735 7238

India

Sandvik Asia Ltd. - Kanthal
TAMIL NADU
Phone +91 4344 275 490
Fax +91 4344 277 244

China

Kanthal China (Shanghai office)
%o Sandvik Int. Trading Co., Ltd.
SHANGHAI
Phone +86 21 5869 8969
Fax +86 21 5869 6155

Japan

Sandvik KK - Kanthal Division
TOKYO
Phone +81 3 6420 1070
Fax +81 3 6420 1071

Singapore

Kanthal Electroheat (SEA) Pte. Ltd.
SINGAPORE
Phone +65 6 266 0300
Fax +65 6 266 0600

South Korea

Kanthal in Korea
%o Sandvik Korea Ltd.
SEOUL
Phone +82 2 761 0432
Fax +82 2 761 0435

OCEANIA

Australia

Sandvik Australia Kanthal Division
DANDENONG
Phone +61 3 9238 7216
Fax +61 3 9238 7165

New Zealand

Sandvik New Zealand Ltd.
AUCKLAND
Phone +64 9 273 5888
Fax +64 9 273 5897

AFRICA

South Africa

Sandvik Ltd. Kanthal Division
EAST RAND
Phone +27 11 570 9618
Fax +27 11 570 9693

KANTHAL

Kanthal – a Sandvik brand

Kanthal Limited, Inveralmond Ind. Est., Перт, PH1 3ED, Шотландия тел. +44 (0)1738-493 300 факс +44 (0)1738-493 301
info.ukperth@sandvik.com www.kanthal.com