

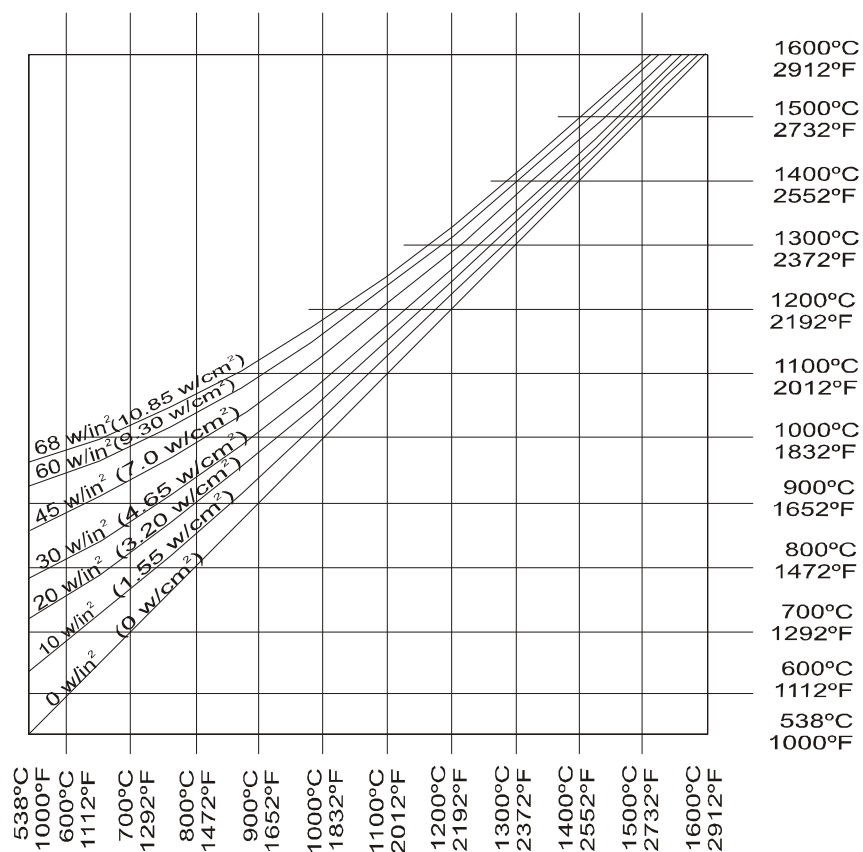
Факторы, влияющие на срок службы нагревателей Starbar

Сопротивление карбидокремниевых нагревателей увеличивается в течение их срока службы. На скорость проявления старения влияют многие факторы, такие как удельная поверхностная нагрузка, рабочая температура, атмосфера, режим работы (циклический или постоянный) и метод контроля температуры.

Удельная поверхностная мощность и рабочая температура

Нагревательный элемент с более высокой удельной поверхностной мощностью будет работать при более высокой температуре, как показано на рис. 1. Эта высокая температура напрямую имеет отношение к скорости набора сопротивления нагревателем. Для оптимального срока службы следует рассчитывать элемент на наименьшую удельную поверхностную мощность (3-8 ватт на см²).

Температура на поверхности нагревателя Starbar в зависимости от температуры печи при разных значениях удельной поверхностной мощности



Температура на поверхности элемента Starbar

Температура атмосферы печи

Рис. 1

Атмосфера

В воздушной или инертной атмосфере аргона или гелия элементы Starbar типа SE, SER и одноэлементные RR могут работать при контролируемой температуре печи до 1600°C. Трехэлементные RR или тип U ограничены работой до температуры 1425°C. В восстановительной атмосфере 1370°C является максимальной рабочей температурой.

На карбиде кремния образуется защитный слой из диоксида кремния. Водород уменьшает этот слой и вызывает разрушение элемента Starbar. Очень сухой или очень влажный водород пагубно влияет на срок службы нагревателей.

Применение в атмосфере азота ограничено температурой 1370°C и значением максимальной удельной поверхностной мощности от 3,1 до 4,6 ватт на см². Результатом слишком высокой температуры поверхности будет реакция образования нитрида кремния. Термически изолирующий слой образуется на элементе Starbar, что приводит к очень высоким температурам на поверхности элемента, которые его разрушают.

Режим работы

Нагревательные элементы Starbar используются и при постоянных, и при циклических режимах работы. Для наиболее длительного срока службы при температурах выше 1300°C рекомендуется непрерывный режим работы. Причиной этому служит то, что новый элемент по существу состоит из карбида кремния 100% чистоты и очень маленького количества оксида кремния. По мере использования карбид кремния окисляется и формируется больше оксида кремния и диоксида кремния. Это и является причиной увеличения сопротивления в течение всего срока службы нагревателей. На рис. 2 показано как эти различные формы оксидов кремния - кварц, кристобалит и тридимит - имеют значительные изменения в размерах по мере того, как они проходят через разные фазы.

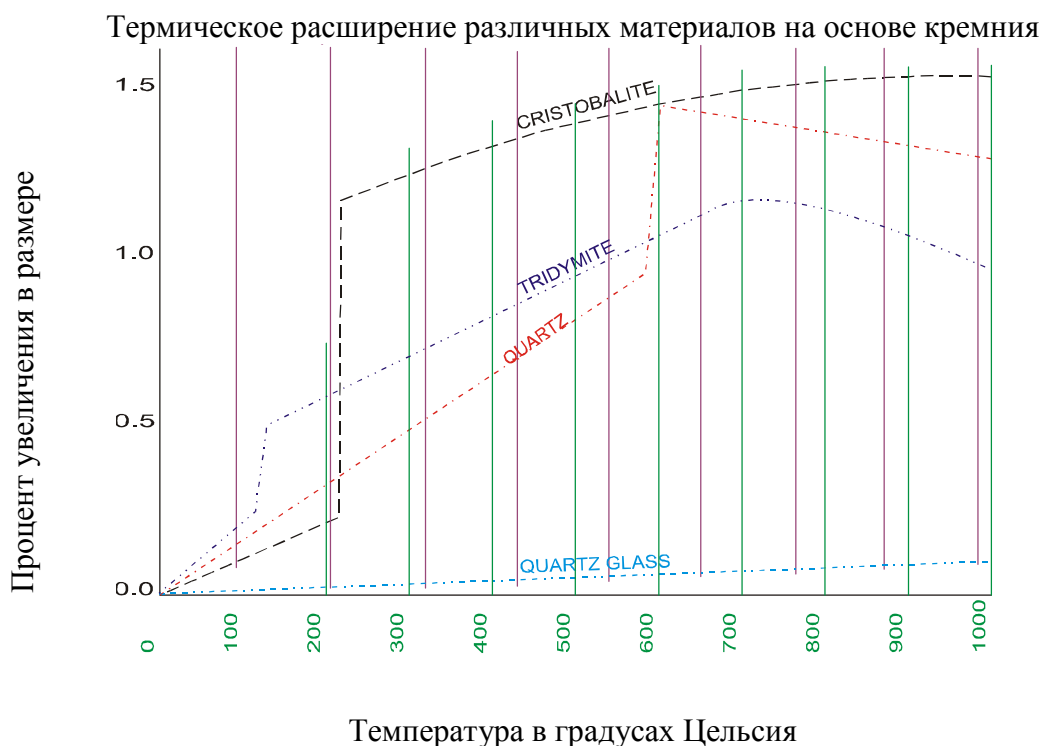


Рис. 2

Когда диоксид кремния на элементе охлаждается или работает в циклическом режиме, он проходит несколько фаз превращений. Превращение при 570°C приводит к значительному изменению объема, которое может привести к растрескиванию массы, содержащей большое количество кварца.

В то время, как элементы Starbar проходят через различные значения температур, сжатие и расширение оксида кремния может разрушить кристаллическую решетку карбида кремния, что приводит к увеличению электрического сопротивления и может вызвать разрушение элемента.

Значение температуры 570°C является теоретическим и точное значение температуры элемента очень приблизительно. По этой причине мы рекомендуем минимальную температуру режима холостого хода 705°C, чтобы оставаться выше температуры фазовых превращений.

Некоторые заказчики предпочитают более экономичный режим с точки зрения расхода энергии и получают более короткий срок службы нагревательных элементов. Другие заказчики предпочитают более долгий срок службы элементов и расходам на электроэнергию. Так как каждый случай применения различен, выбор остается за самим заказчиком.

Подача мощности

Сопротивление нагревателей Starbar увеличивается постепенно в течение всего их срока службы. Для достижения желаемой температуры требуется поддерживать подаваемую к печи мощность на достаточно высоком уровне. Исторически дорогие трансформаторы с ответвлениями использовались для поддержания мощности при старении элемента. Преимущества контроля мощности кремниевыми выпрямителями сделали их очень популярными.

Нагревательные элементы Starbar могут быть использованы при прямом включении (при условии сохранения постоянного напряжения) при температурах до 1315°C. Для компенсации уменьшения выходной мощности по мере увеличения сопротивления нагревателей (старения) на печь изначально подается на 25-50% больше мощности. Такой метод хорошо зарекомендовал себя во многих применениях.