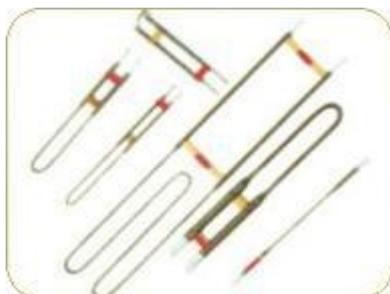


Электронагревательные элементы

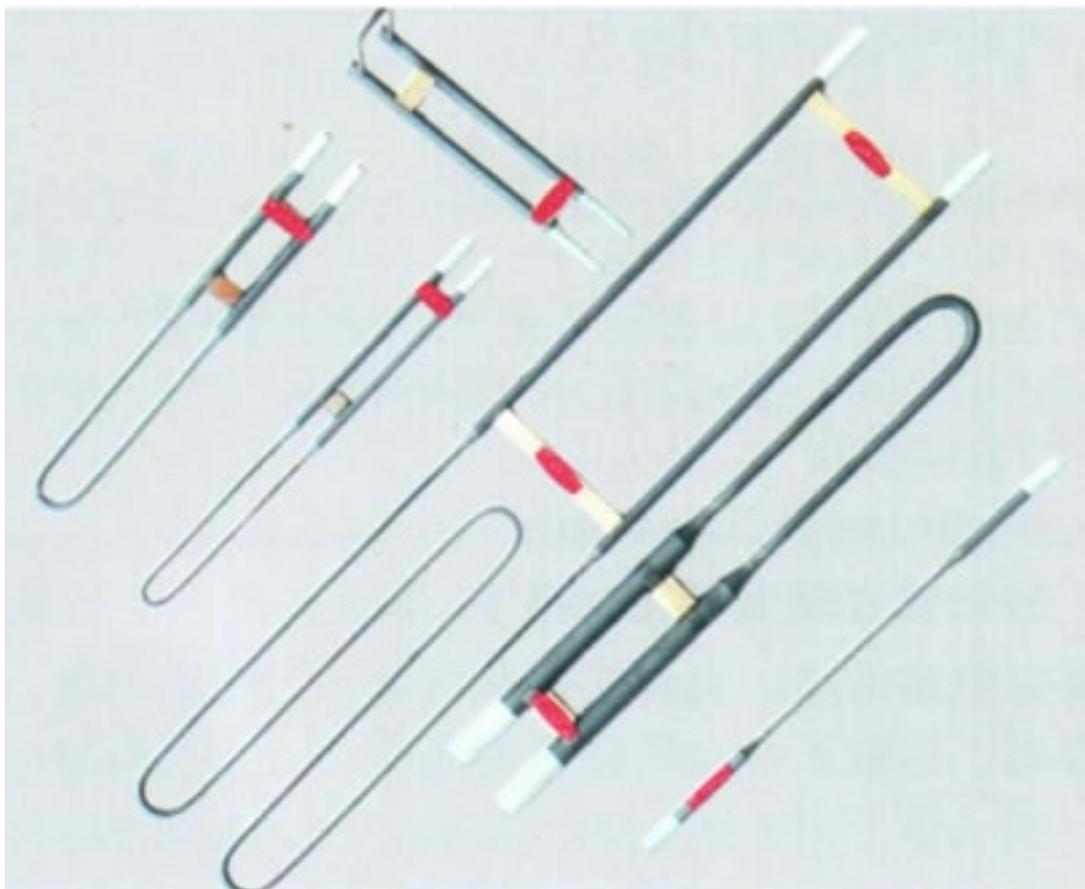


Кремне-молибденовые (MoSi_2) электронагреватели

(дисилицид молибденовые, силицид молибденовые)

Кремне-молибденовые (MoSi_2) электронагреватели

(дисилицид молибденовые, силицид молибденовые)



Кремне-молибденовый (дисилицид молибденовый, силицид молибденовый) электронагревательный элемент это устойчивый теплообразующий элемент, изготовленный в основном из высокочистого дисилицида молибдена. Он используется при высоких температурах в окислительных средах и, вследствие высокотемпературного окисления, на поверхности нагревательного элемента образуется тонкая защитная пленка из стеклообразного диоксида кремния, которая позволяет защитить элемент от дальнейшего окисления. Таким образом этот вид элемента при высоких температурах уникально устойчив к окислению и используется в высокотемпературных электропечах сопротивления с различными атмосферами при температуре от 1300°C до 1700°C . Электронагреватели надежно работают в следующих средах: в воздухе, окислительных и инертных газах - до 1700°C , а также в восстановительных средах - до 1500°C .

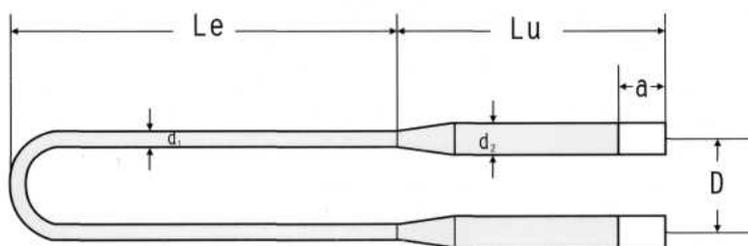
Дисилицид молибденовые электронагреватели широко применяются при спекании и обжиге специальной керамики и металлокерамики, термообработке ферритов, выращивании кристаллов, варке специального стекла, то есть в металлургической, стекольной, керамической, огнеупорной промышленности, а также в производстве кристаллов для электронных приборов, производстве печей и т. д. Это идеальный теплообразующий элемент, в производствах, где продукция агломерируется при высоких температурах.

В соответствии с Вашими требованиями наша компания может производить нагревательные элементы в форме U, W, I, U-прямоугольной формы и другие.

По сравнению с карбид кремневыми, нагреватели на основе дисилицида молибдена обладают рядом преимуществ: более высокой рабочей температурой на активной части нагревателей (1650-1700 °С) за счет образования защитной оксидной пленки из стеклообразного SiO₂ и оксидов молибдена; способностью к быстрому разогреву за счет роста электрического сопротивления с повышением температуры; стабильностью электрического сопротивления в течение всего срока службы нагревателей, что позволяет соединять их последовательно и заменять вышедшие из строя нагреватели без учета их начального электрического сопротивления. Отличительной особенностью нагревателей на основе дисилицида молибдена является способность выдерживать большую энергетическую нагрузку при высоких температурах, что позволяет концентрировать большое количество энергии в малом объеме печи. К недостаткам нагревателей из дисилицида молибдена относятся: низкая механическая прочность; низкая термостойкость; низкое начальное электрическое сопротивление, обуславливающее необходимость использовать мощное силовое оборудование; высокая начальная пластичность в интервале температур 1400-1650°С.

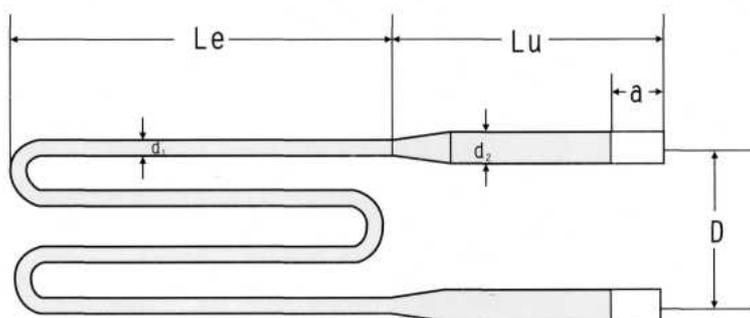
Структура и маркировка кремне-молибденового (дисилицид молибденового) электронагревательного элемента

Тип U



- Le Длина нагреваемой части
- Lu Длина холодного вывода
- d1 Диаметр нагреваемой части
- d2 Диаметр холодного вывода
- D Расстояние между выводами
- A Расстояние между выводами
- B =Lu-6 см
- a Алюминиевое покрытие

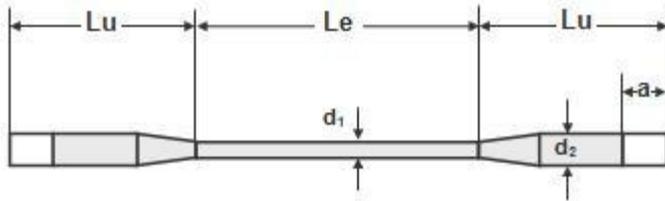
Тип W



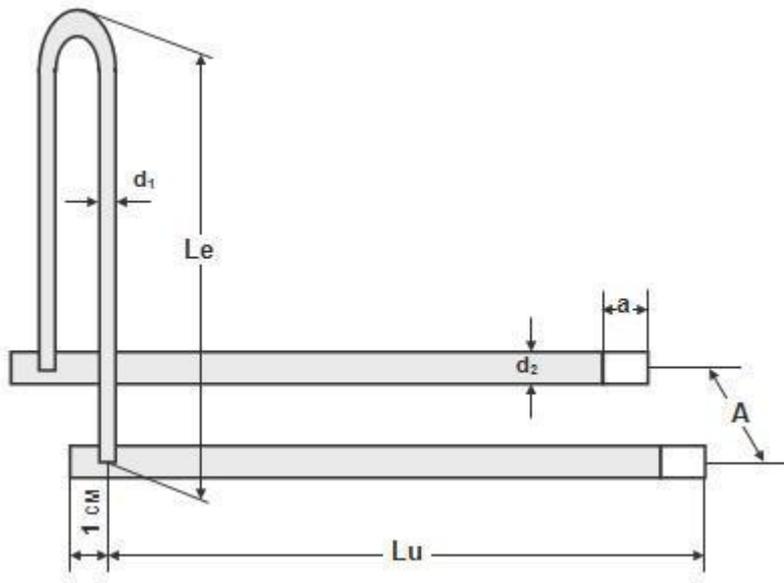
Производственная марка:

d₁ x Le x Lu x D (мм)

Тип ROD



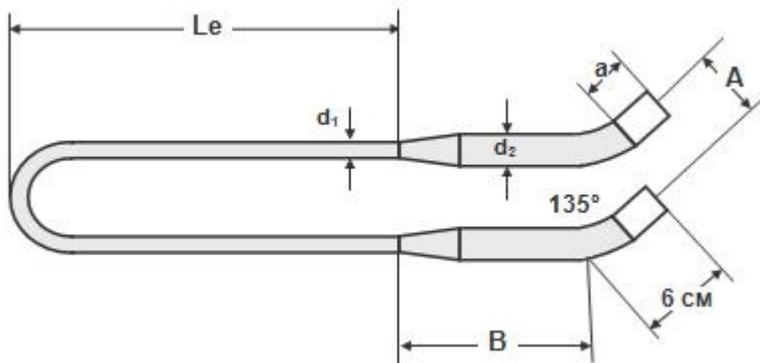
Тип L



- Le Длина нагреваемой части
- Lu Длина холодного вывода
- d1 Диаметр нагреваемой части
- d2 Диаметр холодного вывода
- D Расстояние между выводами
- A Расстояние между выводами
- B = Lu - 6 см
- a Алюминиевое покрытие

Производственная марка:
d1 x Le x Lu x D (мм)

Тип ARC



Физические и химические характеристики кремне – молибденового (дисилицид молибденового) электронагревательного элемента

1. Физические характеристики.

Объемная плотность	Изогнутость	Твердость	Коэффициент газопроницаемости	Коэффициент влагопоглощения	Коэффициент теплового расширения
5.5 г/см ³	15~25 кг/см ³	(HV)570 кг/мм ²	7.4 %	1.2 %	4 %

2. Химические характеристики.

Кремне-молибденовые нагревательные элементы используются при высоких температурах в кислородосодержащей среде.

Защитная оксидная пленка из SiO₂, образующаяся на поверхности рабочей части нагревателя при его нагреве выше 1000 °С, особенно при температуре выше 1400°С, за счет высокой плотности предохраняет нагреватель от дальнейшего окисления. Пленка сохраняется до температуры 1650 °С, а при более высокой температуре, свыше 1700°С, начинает плавиться, собираясь в капли, что приводит к ускоренному окислению и выходу из строя нагревателя. Плотная и прочная оксидная пленка, полученная в результате предварительного окисления стержней рабочей части при изготовлении нагревателей, сохраняется на нагревателях. Она предохраняет нагреватель от интенсивного окисления при его разогреве от комнатной до рабочей температуры. В случае отсутствия защитной пленки при разогреве такого нагревателя происходит интенсивное его окисление и разрушение через несколько часов выдержки, особенно в интервале температур 400-700 °С. Поэтому при разогреве нагревателей интервал температур до 1000 °С рекомендуется проходить по возможности, быстро, а при охлаждении после длительной выдержки в условиях высокой температуры, ввиду возможности отслаивания образовавшейся толстой оксидной пленки, нагреватели не рекомендуется охлаждать, ниже 1000°С, поскольку при охлаждении до комнатной температуры они обнаруживают низкую термостойкость. Если электронагревательный элемент используется в первый раз, он должен быть нагрет быстро до температуры 1000-1400 °С в воздушной среде, после чего (в течение примерно получаса) на поверхности нагревателя образуется защитный слой и он сможет работать при любой низкой температуре, пока этот слой существует. При использовании элемента в нейтральной или восстановительной среде, элемент следует подвергать такому нагреву в воздушной среде периодически для поддержания и восстановления защитного слоя.

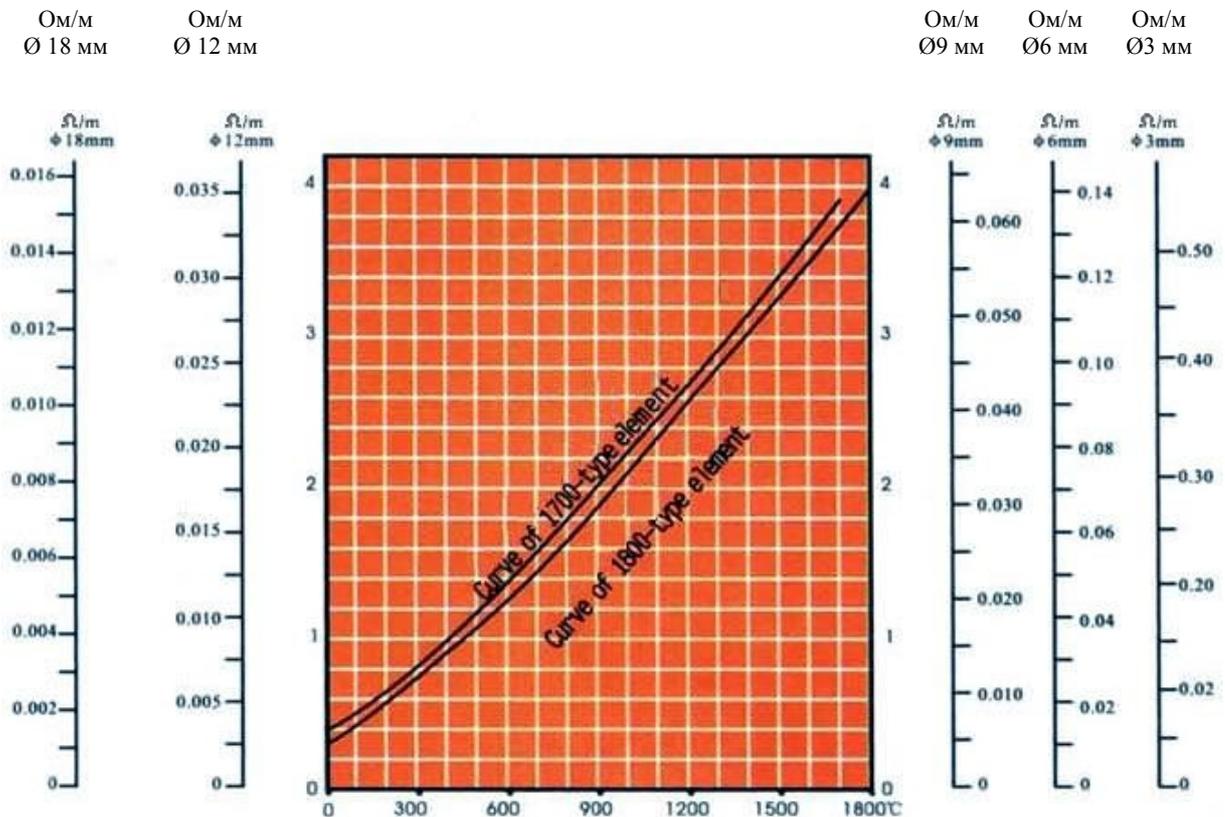
3. Возможности использования нагревательного элемента в различных температурных средах.

Среда	Самая высокая температура использования	
	(1700)	(1800)
NO ₂ , CO ₂ , O ₂ (воздух)	1700°C	1800°C
He, Ar, Ne	1650°C	1750°C
SO ₂	1600°C	1700°C
CO, N ₂	1500°C	1600°C
(жидкий) H ₂	1400°C	1500°C
(газообразный) H ₂	1350°C	1450°C

Наиболее благоприятной средой для MoSi₂-нагревателей являются: воздух, CO₂, Ar, N₂, CO, He, углеводороды. Следует избегать контакта MoSi₂ с Cl, SO₃, серой, а также работы при высоком вакууме.

Электрические характеристики кремне-молибденового (дисилицид молибденового) электронагревательного элемента

1. Характеристики сопротивляемости.



Кривая температурного сопротивления

Электрическое сопротивление нагревателей, низкое при комнатной температуре, с повышением температуры резко возрастает (см. график выше) и далее в процессе эксплуатации при постоянной температуре практически не меняется. При низком начальном сопротивлении нагревателей требуется плавное или ступенчатое повышение питающего напряжения до рабочего значения. При этом ток, протекающий через каждый нагреватель, не должен превышать допустимого для данного нагревателя, так как иначе возможно механическое разрушение нагревателя за счет электромагнитных сил. Высокая горячая пластичность материала нагревателей, проявляющаяся при их первоначальном нагреве, может привести к деформации рабочей части нагревателей за счет электромагнитных сил, возникающих при протекании тока по нагревателям. Поэтому электрическое соединение двух соседних нагревателей должно обеспечить взаимно противоположное направление протекающего по ним тока, а расстояние между нагревателями рекомендуется выбирать не менее расстояния между ветвями U-образного нагревателя выбранного типоразмера. Поэтому старые и новые нагревательные элементы могут быть использованы вместе.

Нагреватели на основе дисилицида молибдена имеют более длительный срок службы при их эксплуатации в установившемся непрерывном режиме. При циклических режимах работы электропечей на срок службы нагревателей влияют все параметры цикла: время разогрева, рабочая температура, время выдержки, время охлаждения и температура, до которой, производится охлаждение. По сравнению со сроком службы нагревателей, работающих в непрерывном режиме при температуре 1650 °С, срок службы нагревателей, работающих в циклическом режиме, при охлаждении до 1000°С снижается в 3 раза.

К основным факторам, определяющим срок службы нагревателей, относятся: температурно-временной режим работы электропечи, значение удельной поверхностной мощности нагревателей, способ регулирования температуры печи, тип атмосферы. При длительной работе нагревателей в установившемся режиме все отказы нагревателей являются внезапными в результате перегорания или механического разрушения, так как сопротивление нагревателей практически не увеличивается.

Интегральная нормальная излучательная способность дисилицида молибдена при температуре применения 1650 °С близка к 0,7.

2. Поверхностная нагрузка

Ключевым фактором оптимальной службы электронагревательного элемента является правильный выбор поверхностной нагрузки элемента в соответствии со структурой печи, средой и температурой печи. Схема ниже представляет соотношения между температурой печи, температурой элементов и поверхностной нагрузкой, когда электронагревательные элементы не загораются. Теневая часть это поверхностная нагрузка при использовании обычных температурных ограничений.

Значение удельной поверхностной мощности определяет не только температурное поле по сечению нагревателя, но и значения термических напряжений и динамических нагрузок от электромагнитного поля, возникающего от тока, протекающего по нагревателям. Превышение максимально допустимых значений удельной мощности приводит к преждевременному выходу нагревателей из строя в результате механического и термического разрушения.

Рекомендуемая поверхностная нагрузка

Температура печи °С	1400	1500	1600	1650	1700
Поверхностная нагрузка в рабочей части Вт/см ²	< 18	< 15	< 12	< 10	< 8

Установка кремне-молибденовых (дисилицид молибденовых) электронагревательных элементов

При нормальной (комнатной) температуре кремне-молибденовые (дисилицид молибденовые) электронагревательные элементы очень хрупкие, а при высоких температурах они становятся пластичными. Поэтому U-образный элемент лучше устанавливать вертикально. Если необходимо установить его горизонтально нужно выбрать подставку из высокотемпературного изолирующего материала. Коническая часть элемента должна быть внутри печи. Сначала фиксирующая часть не должна быть туго закреплена. Когда элемент нагреется до высокой температуры – закрепить крепче и тогда элемент не разрушится (для лучшей работы элементов используйте фиксаторы и провода предлагаемые нашей компанией). Верх печи должен иметь хорошую теплозащиту, температура верха печи не должна превышать 300°C. Напряжение должно быть ниже 0,1 В между фиксирующим проводом и элементом. Чтобы избежать потери тепла перенесите фиксирующий верх. Расстояние не менее 50 мм между нижним концом фиксатора и верхней поверхностью кирпича. Элемент диаметром 6/12 мм не может быть использован при токе свыше 170А длительно. Элемент диаметром 9/18 мм не может быть использован при токе свыше 300А.



Операции с печью

1. Сушка (подготовка) печи

Новая печь, или печь, которая долгое время не использовалась, должна быть высушена перед использованием. Температура сушки вызывает низкотемпературное окисление. Для печи маленького размера, которая сохнет долго, необходимо открыть ворота для проветривания. Ворота можно закрыть наполовину с повышением температуры сушки и закрыть полностью при температуре более 1000 °С.

2. Старт печи

Если печь была высушена, или не нуждается в сушке, можно начать подъем температуры. Чтобы избежать перегрузки по току и электрического удара, необходимо выполнить следующие шаги.

Маленькая печь (мощность < 100 кВт)		Большая печь (мощность 100 - 500 кВт)	
Температура печи, °С	Напряжение	Температура печи, °С	Напряжение
20 - 150	1/3 рабочего	20 - 300	1/3 рабочего
150 - 500	2/3 рабочего	300 - 700	2/3 рабочего
500 - Рабочая температура	полное рабочее	700 - Рабочая температура	полное рабочее

3. Замена элементов

Если один из нагревательных элементов поврежден при работе, то необходимо определить поврежденный нагреватель, и подготовить замену. При извлечении поврежденного нагревателя необходимо ослабить зажим и отсоединить провод от элемента до шины, убрать керамическую вату и извлечь нагреватель через кирпич. Позже, необходимо вставить новый элемент с верха печи, закрепить провод, заполнить промежуток керамической ватой и начать поднимать температуру.

Технические данные кремне-молибденовых (MoSi₂) электронагревателей
(дисилицид молибденовых, силицид молибденовых)

1. Ø6/12 мм 1700 кремне-молибденовые электронагревательные элементы

Горячая рабочая часть	150	180	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Холодные выводы											
150	868 0.044 6.2	994 0.051 7.1	1092 0.056 7.8	1330 0.068 9.5	1568 0.080 11.2	1806 0.092 12.9	Вт (W) – мощность Ом (Ω) – термическое сопротивление В (V) – рабочее напряжение				
200	882 0.045 6.3	1022 0.052 7.3	1120 0.057 8.0	1358 0.069 9.7	1582 0.081 11.3	1820 0.093 13.0	2058 0.105 14.7				
250	924 0.047 6.6	1064 0.054 7.6	1162 0.059 8.3	1386 0.071 9.9	1624 0.083 11.6	1862 0.095 13.3	2100 0.107 15.0	2338 0.119 16.7	2562 0.131 18.3		
270	924 0.047 6.6	1078 0.055 7.7	1162 0.059 8.3	1386 0.071 9.9	1624 0.083 11.6	1862 0.095 13.3	2100 0.107 15.0	2338 0.119 16.7	2562 0.131 18.3		
300	938 0.048 6.7	1092 0.056 7.8	1176 0.060 8.4	1414 0.072 10.1	1666 0.085 11.9	1876 0.096 13.4	2114 0.108 15.1	2352 0.120 16.8	2576 0.132 18.4	2828 0.144 20.2	3052 0.156 21.8
350	980 0.050 7.0	1120 0.057 8.0	1218 0.062 8.7	1456 0.074 10.4	1680 0.086 12.0	1919 0.098 13.7	2156 0.110 15.4	2394 0.122 17.1	2632 0.134 18.8	2856 0.146 20.4	3094 0.158 22.1
400	1022 0.052 7.3	1162 0.059 8.3	1260 0.064 9.0	1480 0.076 10.6	1722 0.088 12.3	1960 0.100 14.0	2198 0.112 15.7	2436 0.124 17.4	2660 0.136 19.0	2898 0.148 20.7	3136 0.160 22.4
450		1176 0.060 8.4	1274 0.065 9.1	1512 0.077 10.8	1750 0.089 12.5	1974 0.101 14.1	2212 0.113 15.8	2450 0.125 17.5	2688 0.137 19.2	2926 0.149 20.9	3150 0.161 22.5
500				1554 0.079 11.1	1778 0.091 12.7	2016 0.103 14.4	2254 0.115 16.1	2492 0.127 17.8	2730 0.139 19.5	2954 0.151 21.1	3192 0.163 22.8
550					1820 0.093 13.0	2058 0.105 14.7	2296 0.117 16.4	2534 0.129 18.1	2744 0.140 19.6	2982 0.152 21.3	3220 0.164 23.0
600					1848 0.094 13.2	2072 0.106 14.8	2310 0.118 16.5	2548 0.130 18.2	2786 0.142 19.9	3024 0.154 21.6	3248 0.166 23.2
650							2352 0.120 16.8	2590 0.132 18.5	2828 0.144 20.2	3052 0.156 21.8	3290 0.168 23.5
700								2604 0.133 18.6	2842 0.145 20.3	3108 0.159 22.2	3318 0.169 23.7

Условия:
 Температура
 Электрический ток
 Поверхностная нагрузка

1500°C
140 А
12.5
Вт/см²

2. Ø9/18мм 1700 кремне-молибденовые электронагревательные элементы.

Рабочая горячая часть	150	180	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	
Холодные выводы																
250	1350 0.0216 5.4	1550 0.0248 6.2	1675 0.0268 6.7	2025 0.0324 8.1	2375 0.0379 9.5	2725 0.0436 10.9	3050 0.0488 12.2	3400 0.0544 13.6	3750 0.06 15.0	4100 0.0656 16.4	4425 0.0708 17.7	4775 0.0764 19.1	5125 0.0819 20.5	5475 0.0876 21.9	5800 0.0928 23.2	
300	1375 0.022 5.5	1600 0.0256 6.4	1725 0.0276 6.9	2075 0.0332 8.3	2425 0.0388 9.7	2750 0.044 11.0	3100 0.0496 12.4	3450 0.0552 13.8	3800 0.0608 15.2	4125 0.066 16.5	4475 0.0716 17.9	4825 0.0772 19.3	5175 0.0828 20.7	5500 0.088 22.0	5850 0.0936 23.4	
350	1425 0.0228 5.7	1625 0.026 6.5	1775 0.0284 7.1	2125 0.034 8.5	2450 0.0392 9.8	2800 0.0448 11.2	3150 0.0504 12.6	3500 0.056 14.0	3825 0.0612 15.3	4175 0.0668 16.7	4525 0.0724 18.1	4875 0.078 19.5	5200 0.0832 20.8	5550 0.0888 22.2	5900 0.0944 23.6	
400	1475 0.0236 5.9	1675 0.0268 6.7	1825 0.0292 7.3	2150 0.0344 8.6	2500 0.0400 10.0	2850 0.0456 11.4	3200 0.0512 12.8	3525 0.0564 14.1	3875 0.0620 15.5	4225 0.0676 16.9	4575 0.0732 18.3	4900 0.0784 19.6	5250 0.0840 21.0	5600 0.0896 22.4	5950 0.0952 23.8	
450		1725 0.0276 6.9	1850 0.0296 7.4	2200 0.0352 8.8	2550 0.0408 10.2	2900 0.0464 11.6	3225 0.0516 12.9	3575 0.0572 14.3	3925 0.0628 15.7	4275 0.0684 17.1	4600 0.0736 18.4	4950 0.0792 19.8	5300 0.0848 21.2	5650 0.0904 22.6	5957 0.0956 23.9	
500			1900 0.0304 7.6	2250 0.036 9.0	2600 0.0416 10.4	2925 0.0468 11.7	3275 0.0524 13.1	3625 0.058 14.5	3975 0.0636 15.9	4300 0.0688 17.2	4650 0.0744 18.6	5000 0.0808 20.0	5350 0.0856 21.4	5675 0.0908 22.7	6025 0.0964 24.1	
550				2300 0.0368 9.2	2625 0.042 10.5	2975 0.0476 11.9	3325 0.0532 13.3	3675 0.0588 14.7	4000 0.064 16.0	4350 0.0696 17.4	4700 0.0752 18.8	5050 0.0808 20.2	5375 0.086 21.5	5725 0.0916 22.9	6075 0.0972 24.3	
600				2325 0.0372 9.3	2675 0.0428 10.7	3025 0.0484 12.1	3375 0.054 13.5	3700 0.0592 14.8	4050 0.0648 16.2	4400 0.0704 17.6	4750 0.076 19.0	5075 0.0812 20.3	5425 0.0868 21.7	5775 0.0924 23.1	6125 0.098 24.5	
650					2725 0.0436 10.9	3075 0.0492 12.3	3400 0.0544 13.6	3750 0.0600 15.0	4100 0.0656 16.4	4450 0.0712 17.8	4775 0.0764 19.1	5125 0.0820 20.5	5475 0.0876 21.9	5825 0.0932 23.3	6150 0.0984 24.6	
700					2775 0.0444 11.1	3100 0.0496 12.4	3450 0.0552 13.8	3800 0.0608 15.2	4150 0.0664 16.6	4475 0.0716 17.9	4825 0.0772 19.3	5175 0.0828 20.7	5525 0.0884 22.1	5850 0.0936 23.4	6200 0.0992 24.8	
750	Вт (W) – мощность Ом (Ω) – сопротивление В (V) – рабочее напряжение					3150 0.0504 12.6	3500 0.056 14.0	3850 0.0616 15.4	4175 0.0668 16.7	4525 0.0724 18.1	4875 0.078 19.5	5225 0.0836 20.9	5550 0.0888 22.2	5900 0.0944 23.6	5900 0.1 25.0	0.1 0.1 25.0
800	Условия: Температура элемента 1500 °С Электрический ток 140 А Поверхностная нагрузка 12,5Вт/см ²					3200 0.0512 12.8	3550 0.0568 14.2	3875 0.062 15.5	4225 0.0676 16.9	4575 0.0732 18.3	4925 0.0788 19.7	5250 0.084 21.0	5600 0.0896 22.4	5950 0.0952 23.8	6300 0.1008 25.2	6300 0.1008 25.2

3. Ø6/12 мм 1800 Кремне-молибденовые электронагревательные элементы.

Рабочая горячая часть Холодные выводы	150	200	250	300
200	0.054 Ом (Ω) 5.4 В (V) 538 Вт (W)	0.069 6.9 686	0.083 8.3 827	0.098 9.8 975
250	0.056 5.6 562	0.071 7.1 710	0.085 8.5 850	0.100 10.0 998
300	0.059 5.9 585	0.073 7.3 733	0.087 8.7 874	0.102 10.2 1022
350	0.060 6.0 601	0.075 7.5 749	0.089 8.9 889	0.104 10.4 1037
400	0.062 6.2 616	0.078 7.8 780	0.092 9.2 920	0.105 10.5 1053

4. Ø9/18 мм 1800 Кремне-молибденовые электронагревательные элементы.

Рабочая горячая часть Холодные Выводы	150	200	250	300
200	0.0244 Ом (Ω) 4.5 В (V) 827 Вт (W)	0.0311 5.7 1053	0.0375 6.9 1271	0.0440 8.1 1400
250	0.0251 4.6 850	0.0318 5.9 1076	0.0382 7.0 1295	0.0447 8.2 1513
300	0.0258 4.7 874	0.0323 5.9 1092	0.0389 7.2 1318	0.0453 8.4 1537
350		0.0329 6.1 1115	0.0396 7.3 1342	0.0461 8.5 1506
400		0.0336 6.2 1139	0.0405 7.5 1373	0.0468 8.6 1583



ООО «ТД «ЭлектроКерамика»
456910 г. Сатка Челябинской области, ул. Молодёжная д.1, офис 1
Тел./факс (35161) 3-35-59, (35161) 3-36-69

E-mail: ElectroKeramika@rambler.ru Интернет: <http://www.si-c.ru>

2010 г.