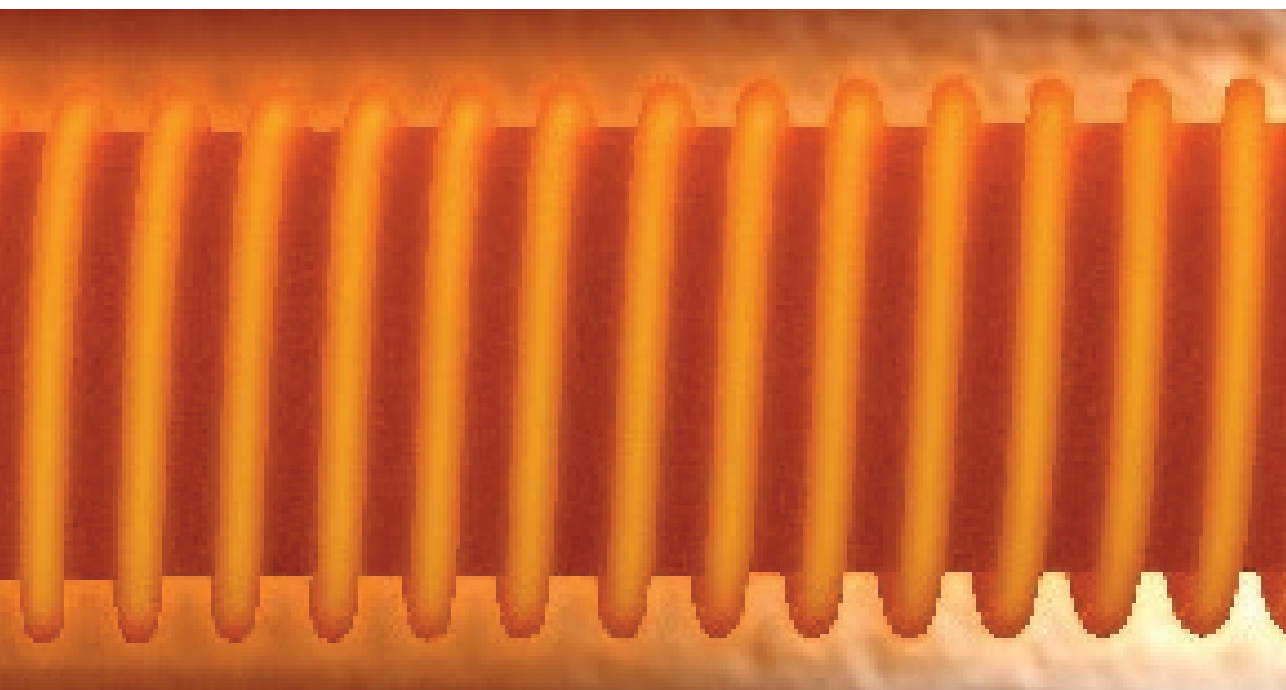


# **Сплавы с высоким электрическим сопротивлением и системы нагрева для промышленных печей**



**KANTHAL**



# Содержание

<b>Металлические нагревательные элементы Sandvik</b>	4
<b>Kanthal или Nikrothal?</b>	5
<b>Сплав сопротивления Kanthal APM™</b>	6
<b>Основные преимущества Kanthal APM™</b>	6
<b>Физические и механические свойства</b>	7
<b>Удельная нагрузка на поверхность элемента</b>	8
<b>Срок службы и максимальная допустимая температура</b>	10 – 11
<b>Ключевые данные для элементов Kanthal®</b>	12
<b>Tubothal® – наиболее мощный металлический нагревательный элемент</b>	14 – 15
<b>Таблицы, ассортимент</b>	17
<b>Kanthal® A-1 и Kanthal APM™</b>	17
<b>Kanthal® AF</b>	18
<b>Kanthal® D</b>	19
<b>Nikrothal® 80</b>	20
<b>Nikrothal® 70</b>	21
<b>Справочные данные</b>	22



## Kanthal или Nikrothal ?

Компания Sandvik предлагает два основных вида сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Никель-хром (например: 80 Ni, 20 Cr), называемый Nikrothal, был разработан в начале XX века и вскоре стал использоваться как материал для изготовления нагревательных элементов как в промышленных печах, так и в электрических бытовых приборах.

В тридцатых годах XX века фирма Kanthal представила новый сплав, названный Kanthal, с высоким электрическим сопротивлением из железа, хрома и алюминия, обладающий большим сроком эксплуатации и более высокой максимальной рабочей температурой, чем у нихрома. Фирма Kanthal производит оба вида сплавов под названиями Nikrothal (никель-хром) и Kanthal (железо-хром-алюминий)

Эти два основных вида сплавов имеют свои специфические свойства, преимущества и недостатки и поставляются в различных формах.

В целом Kanthal превосходит Nikrothal по эксплуатационным характеристикам и срокам службы. Поэтому, когда речь идет о выборе материала для металлических нагревательных элементов для промышленных печей, выбор обычно падает на Kanthal.

Сплав Nikrothal имеет свои преимущества в тех случаях, когда необходимо использовать элементы с очень хорошими механическими свойствами в горячем состо-

### Наиболее важные преимущества сплава Kanthal:

- Более высокая максимальная рабочая температура элемента до 1425°C (1250°C для Nikrothal)
- Более длительный срок службы (до 4х раз)
- Более высокая удельная нагрузка
- Более высокое удельное сопротивление
- Меньший удельный вес
- Более высокая адгезия оксидного слоя, предотвращающая загрязнение печи и обрабатываемой продукции

янии. Однако, Kanthal APM™ имеет предел текучести при повышенных температурах на том же уровне, что и Nikrothal.

Для потребителя использование элементов Kanthal дает уменьшение расхода материала, а также более длительный срок эксплуатации. В таблице ниже показан пример экономии материала при использовании элементов Kanthal вместо нихромовых сплавов. Меньший вес элементов также приводит к снижению стоимости системы подвески за счет уменьшения количества поддерживающих крюков.

### Печь 120 кВт, оборудованная зигзагообразными элементами на подвесках. 3 элемента по 40 кВт каждый, 380 В

Данные элемента	Nikrothal®	Kanthal®
Температура печи, °С	1000	1000
Температура элемента, °С	1068	1106
Эл.сопротивление в горячем состоянии, $R_w$	3.61	3.61
Температурный коэффициент электросопротивления, $C_1$	1.05	1.06
Эл.сопротивление в холодном состоянии, $R_{20}$	3.44	3.41
Диаметр проволоки, мм	5.5	5.5
Удельная нагрузка, $W/cm^2$	3.09	3.98
Длина проволоки 3 элемента, м	224.9	174.6
Вес проволоки 3 элемента, кг	44.4	29.6

Экономия веса:

$$\text{кг: } \frac{44.4 - 29.6}{44.4} = 33\%$$

# Сплав сопротивления Kanthal APM™

Kanthal APM™ - это материал с высоким электрическим сопротивлением, который может использоваться для улучшения эксплуатационных свойств при высоких температурах, где использование обычных металлических элементов может привести к возникновению проблем (таких как провисание, отслаивание окисной пленки) и применяться в новых областях, где металлические элементы сегодня не используются.



## Основные преимущества Kanthal APM:

### Улучшенная механическая прочность при высоких температурах дает:

- значительно лучшую стабильность формы нагревательного элемента;
- уменьшение потребности в подвесных элементах;
- более медленное изменение сопротивления (старение)
- более долгий срок службы элемента

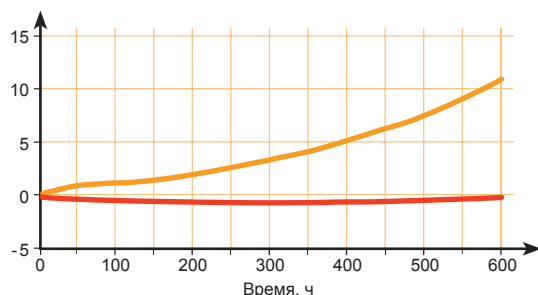
### Превосходный защитный слой (окисная пленка) позволяет:

- обеспечить хорошую защиту в различных средах, особенно в коррозионной среде;
- избежать отслаивания и появления загрязнения
- продлить срок службы элемента

Сравнение элемента из Kanthal APM (слева) и из обычного FeCrAl сплава (справа) после 1250 часов при макс. температуре элемента 1225°C (2240°F)

## Удлинение при температуре на элементе 1300°C

Удлинение, %



■ Kanthal APM™ ■ Kanthal® A-1

## Предел ползучести для промышленной проволоки диаметром 4 мм

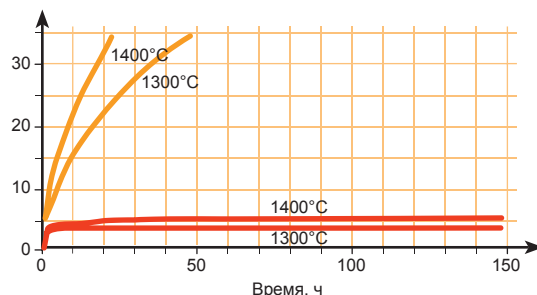
Время, ч	Температура 1000°C, МПа
100	5.6
1000	3.4
10000	2.2

Время, ч	Температура 1200°C, МПа
100	3.3
1000	1.6
10000	0.7

Время, ч	Температура 1400°C, МПа
100	1.3
1000	0.5
10000	0.2

## Тест на прогиб проволоки диаметром 9,5 мм, при 1300°C и 1400°C, 300 мм между подвесками

Прогиб, мм



■ Kanthal APM™ ■ Kanthal® A-1

## Физические и механические свойства

Сплавы Kanthal® и Nikrothal® обычно изготавливаются в форме проволоки или ленты. Физические и механические свойства сплавов представлены в таблице ниже. Коэффициент Ст приведен на стр. 17.

### Kanthal и Nikrothal основные данные

	Kanthal	Kanthal®			Nikrothal®				
	APM™	A-1	AF	D	80	70	60	40	
Максимальная непрерывная температура эксплуатации, °C	1425	1400	1300	1300	1200	1250	1150	1100	
Химический состав, %	Cr	22	22	22	22	20	30	15	20
	Al	5.8	5.8	5.3	4.8	–	–	–	–
	Fe	ост.	ост.	ост.	ост.	–	5%	ост.	ост.
	Ni	–	–	–	–	ост.	ост.	60	35
Удельное электрическое сопротивление при 20°C, Ом·мм <sup>2</sup> ·м <sup>-1</sup>	1.45	1.45	1.39	1.35	1.09	1.18	1.11	1.04	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7.10	7.10	7.15	7.25	8.3	8.1	8.2	7.9	
Температурный коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup>	20–750°C	14 × 10 <sup>-6</sup>	14 × 10 <sup>-6</sup>	14 × 10 <sup>-6</sup>	14 × 10 <sup>-6</sup>	16 × 10 <sup>-6</sup>	16 × 10 <sup>-6</sup>	16 × 10 <sup>-6</sup>	18 × 10 <sup>-6</sup>
	20–1000°C	15 × 10 <sup>-6</sup>	15 × 10 <sup>-6</sup>	15 × 10 <sup>-6</sup>	15 × 10 <sup>-6</sup>	17 × 10 <sup>-6</sup>	17 × 10 <sup>-6</sup>	17 × 10 <sup>-6</sup>	19 × 10 <sup>-6</sup>
Теплопроводность при 20°C, Вт·м <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>	13	13	13	13	15	13	13	13	
Удельная теплоемкость при 20°C, КДж·кг <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.50	
Точка плавления, °C	1500	1500	1500	1500	1400	1380	1390	1390	

механические свойства (приблизительно)\*

Предел прочности на растяжение, Н мм <sup>-2</sup>	680	680	680	650	810	820	730	675
Предел текучести, Н мм <sup>-2</sup>	470	475	475	450	420	430	370	340
Твердость по Виккерсу, Hv	230	230	230	230	180	185	180	180
Удлинение при разрыве, %	20	18	18	18	30	30	35	35
Предел прочности на растяжение при 900°C, Н мм <sup>-2</sup>	40	34	37	34	100	120	100	120
Предел ползучести при 800°C при 1000°C	11	6	8	6	15	15	15	20
	3.4	1	1.5	1	4	4	4	4
Магнитные свойства	магнитный (точка Кюри)				нет	нет	незначительно	нет
Излучающая способность в условиях полного окисления	0.70	0.70	0.70	0.70	0.88	0.88	0.88	0.88

\* Показатели даны для проволоки диаметром 4 мм из сплавов Kanthal и 1 мм из сплавов Nikrothal

## Удельная нагрузка на поверхность элемента

Так как сплавы Kanthal® могут использоваться при более высоких температурах, чем сплавы Nikrothal®, можно достигать большей удельной нагрузки без ущерба для срока эксплуатации элемента. Также очень важна конструкция элемента. Чем свободнее элемент излучает, тем больше может быть удельная нагрузка на поверхность. Поэтому элемент типа ROV (зигзагообразный элемент из проволоки большого сечения), установленный на поверхности стенки печи, имеет самую высокую удельную нагрузку.

Спиральные элементы на керамических трубках могут быть загружены больше, чем спиральные элементы в пазах. На странице 9 приведены значения для следующих типов элементов:

### **Элементы типа а (проволока большого сечения) и в (лента):**

Минимальная толщина ленты 2,5 мм. Минимальный диаметр проволоки 5 мм. Минимальный шаг 50 мм при максимальной длине зига и максимальной удельной нагрузке.

Максимальная рекомендованная высота зига:

< 900°C	300 мм
1000°C	250 мм
1100°C	200 мм
1200°C	150 мм
1300°C	100 мм

Для элементов из проволоки с меньшим диаметром и более тонких элементов из ленты необходимо выбирать более низкую удельную нагрузку и более короткую длину зига во избежание деформации элемента, что приводит к существенному уменьшению срока его эксплуатации.

### **Элемент типа с:**

Элемент из проволоки на керамической трубке. Минимальный диаметр проволоки 3 мм.

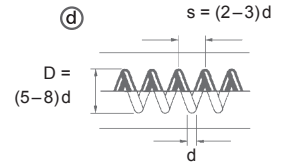
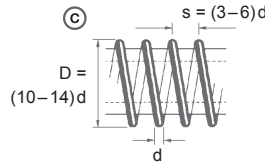
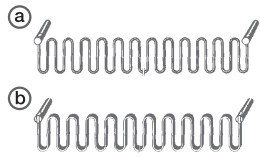
### **Элемент типа d:**

Элементы из проволоки и ленты в пазах. Минимальный диаметр проволоки 3 мм, минимальная толщина ленты 2 мм.



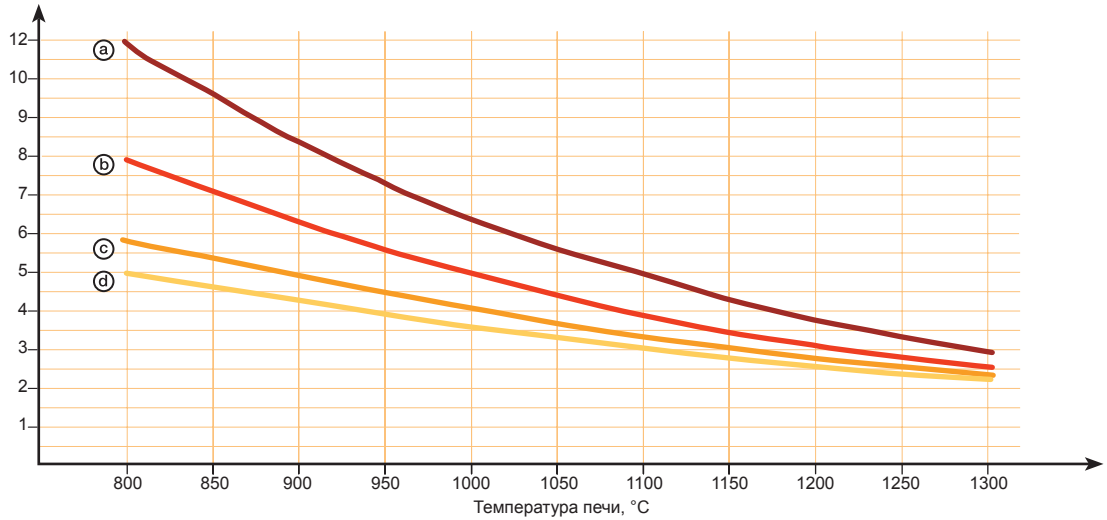


**Обратите внимание:**  
 Диаграмма действительна для тиристорного регулирования. Для контакторного (вкл./выкл.) регулирования необходимо выбирать меньшую удельную мощность (приблизительно на 20%).



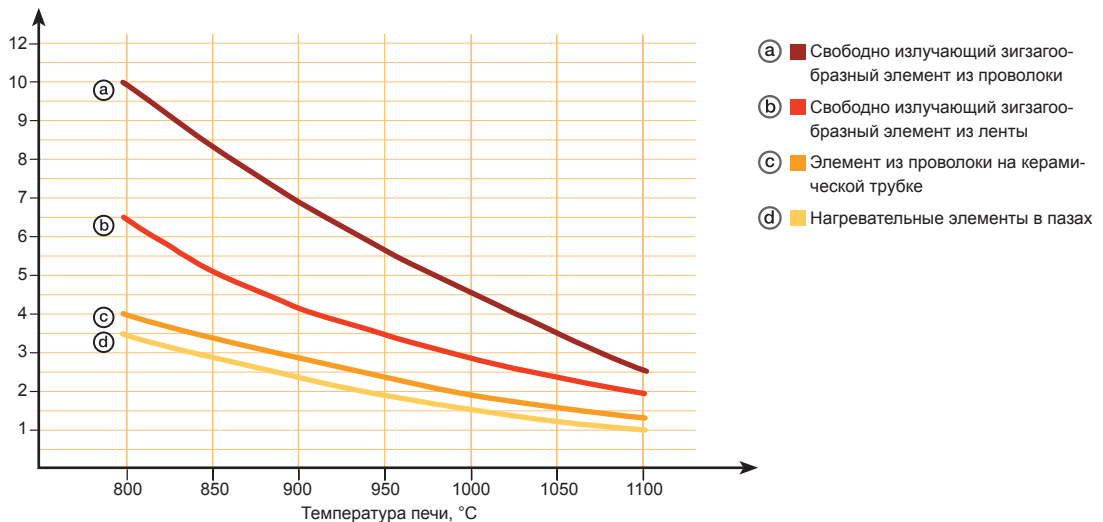
**Максимально рекомендуемая удельная нагрузка на поверхность элемента для сплавов Kanthal A-1, Kanthal AF and Kanthal APM в промышленных печах**

Удельная нагрузка на поверхность элемента, Вт/см<sup>2</sup>



**Максимально рекомендуемая удельная нагрузка на поверхность элемента для сплавов Nikrothal в промышленных печах**

Удельная нагрузка на поверхность элемента, Вт/см<sup>2</sup>



- (a) ■ Свободно излучающий зигзагообразный элемент из проволоки
- (b) ■ Свободно излучающий зигзагообразный элемент из ленты
- (c) ■ Элемент из проволоки на керамической трубке
- (d) ■ Нагревательные элементы в пазах

# Срок службы и максимальная допустимая температура

При нагреве на поверхности жаростойких сплавов образуется окисный слой, который предотвращает дальнейшее окисление материала. Он должен быть плотным и непроницаемым для газовой диффузии, а также тонким и прочно прилегающим к металлу при колебаниях температуры.

В этом отношении слой оксида, образованный на поверхности сплава Kanthal®, значительно лучше, чем слой, формируемый на поверхности сплавов Nikrothal®, что приводит к продлению срока службы нагревательных элементов Kanthal. На графике ниже представлены сравнительные сроки эксплуатации нагревательных элементов.

В этом разделе приведены общие рекомендации по продлению срока эксплуатации элементов.

## Используйте сплавы Kanthal

Срок службы нагревательных элементов из сплавов Kanthal в 2–4 раза больше, чем нагревательных элементов из материала никель-хром. Чем выше температура, тем больше различие.

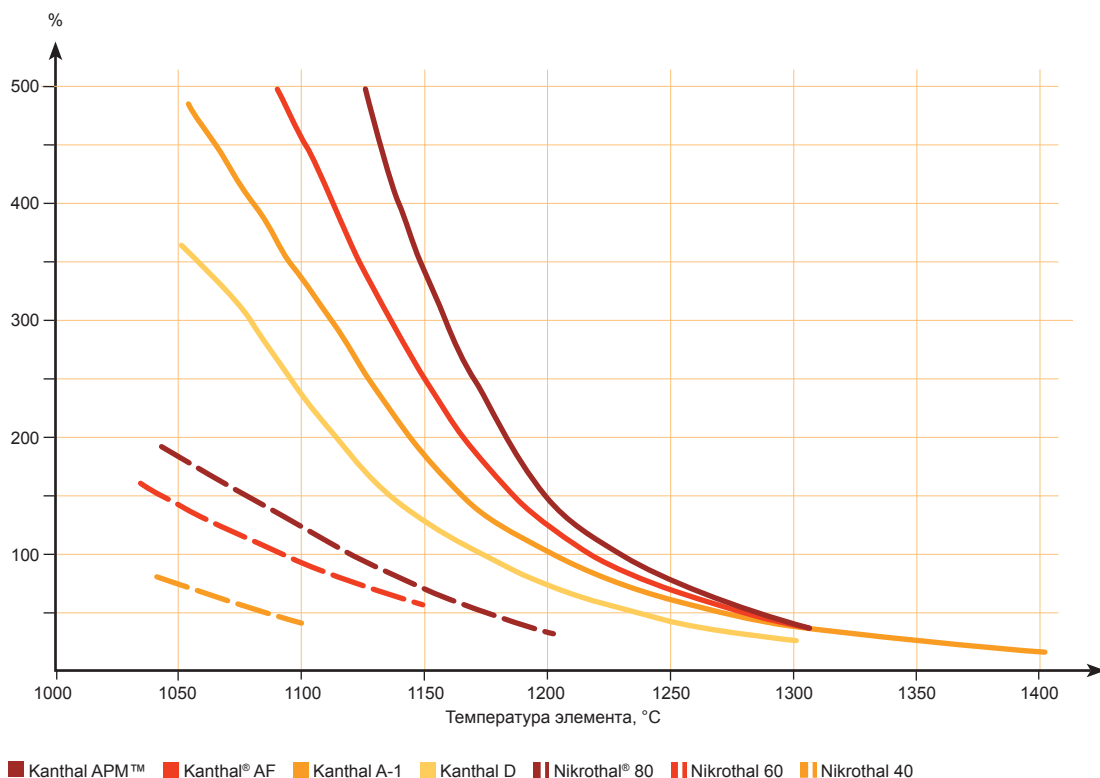
## Избегайте температурных колебаний

Срок службы нагревательных элементов сокращается при сильных колебаниях температуры. Поэтому желательно использовать оборудование для контроля и управления температурой, которое обеспечит наиболее устойчивую температуру, например, тиристоры.

## Используйте для элементов материал большего сечения

Сечение материала непосредственно связано со сроком эксплуатации элемента, т.к. при увеличении диаметра проволоки больше легирующего материала из расчета

Сравнительный срок службы (Kanthal A-1 при 1200°C = 100%)



на единицу поверхности может использоваться для формирования новой окисной пленки. Поэтому при одной и той же температуре элементы из проволоки большего сечения будут обладать более длительным сроком эксплуатации, чем элементы из проволоки тонкого сечения. Соответственно для элементов из ленты увеличение толщины приводит к продлению срока службы. Как правило, мы рекомендуем минимальный диаметр для проволоки 3 мм и минимальную толщину для ленты 2 мм.

### Контролируйте температуру элемента в соответствии с атмосферой печи

В таблице представлены наиболее распространенные среды печи и их влияние на максимальную операционную температуру нагревательных элементов. Nikrothal не должен использоваться в печах, защитная атмосфера которых содержит CO, из-за риска возникновения «зеленой коррозии» 800–950°C.

В таких случаях рекомендуется использовать сплавы Kanthal, при условии, что нагревательные элементы предварительно окислены при температуре 1050°C

в течение 7–10 часов. Необходимо производить регулярное окисление нагревательных элементов.

### Избегайте коррозии от твердых материалов, жидкостей и газов.

Примеси в атмосфере печи, например, масло, пыль, испарения или углеродные отложения могут повредить нагревательный элемент.

Сера вредна для всех никелевых сплавов. Хлор в разных состояниях влияет как на сплавы Kanthal, так и на Nikrothal. Брызги расплавленного металла или солей могут повредить нагревательный элемент.

### Максимальная допустимая температура в различных средах

	Kanthal® A-1 и Kanthal APM™ °C	Kanthal AF °C	Kanthal D °C	Nikrothal® 80 и 70 °C	Nikrothal 60 °C	Nikrothal 40 °C
<b>Окислительная:</b>						
Воздух, сухой	1400 <sup>a)</sup>	1300	1300	1200 <sup>d)</sup>	1150	1100
Воздух, влажный	1200	1200	1200	1150	1100	1050
<b>Нейтральная:</b>						
N <sub>2</sub> , Азот <sup>b)</sup>	1200	1250	1150	1250	1200	1150
Ar, Аргон	1400 <sup>a)</sup>	1300	1300	1250	1200	1150
<b>Экзотермическая:</b>						
10 CO, 15 H <sub>2</sub> , 5 CO <sub>2</sub> , 70 N <sub>2</sub>	1150	1150	1100	1100 <sup>c)</sup>	1100	1100
<b>Восстановительная:</b>						
<b>Эндотермическая:</b>						
20 CO, 40 H <sub>2</sub> , 40 N <sub>2</sub>	1050	1050	1000	1100 <sup>c)</sup>	1100	1100
H <sub>2</sub> , Водород	1400 <sup>a)</sup>	1300	1300	1250	1200	1150
<b>Диссоциированный аммиак<sup>e)</sup>:</b>						
75 H <sub>2</sub> , 25 N <sub>2</sub>	1200	1200	1100	1250	1200	1150
<b>Вакуум:</b>						
10 <sup>-3</sup> сухой	1150	1200	1100	1000	900	900

a) Макс 1425°C для Kanthal APM

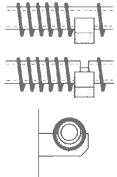
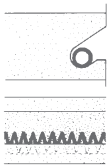
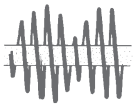
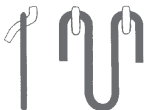
b) Показатели даны для предварительно окисленных материалов

c) Пожалуйста, обратите внимание на риск образования «зеленой коррозии». Используйте Kanthal AF или Nikrothal 70

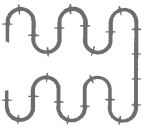

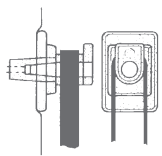
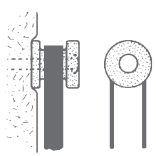
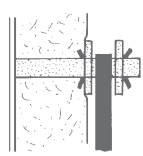
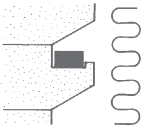
d) 1250°C для Nikrothal 70

e) Если атмосфера – смесь диссоциированного и недиссоциированного аммиака, максимально допустимая температура понижается

## Ключевые данные для элементов Kanthal®

Элементы из проволоки				
Конструкция элемента	Спираль	Спираль	Тип «еж»	Зигзагообразные на крюках
Подвеска	Керамические трубки	Пазы	Керамические трубки	Металлические крючки
				
Материал	Силлиманит	Шамот 28	Силлиманит	Kanthal APM™
Макс. температура печи, °С	1300	1250	800	1300
Макс. нагрузка на стену при температуре печи 1000°С, кВт/м <sup>2</sup>	40	35	–	50
Макс. нагрузка на стену при температуре печи 1000°С, Вт/см <sup>2</sup>	3–4	3–4	–	5–6
Диаметр проволоки, d, мм	2.0–6,5	2.0–5.0	1.0–6.5	≥5.0
Толщина ленты, t, мм	–	–	–	–
Ширина ленты, w, мм	–	–	–	–
Внешний диаметр спирали, D, мм	12–14 d	5–6 d	–	–
Макс. длина витка при температуре печи 1000°С, мм	–	–	–	250
Мин. шаг при макс. длине витка, мм	3d	2d	3d	40

### Элементы из ленты

Зигзагообразные	Петлевидные	Зигзагообразные	Зигзагообразные	Зигзагообразные	Зигзагообразные
Металлические гвозди	Керамические трубки	Керамические зажимы	Керамические втулки	Керамические трубки	Пазы
					
Гвозди Kanthal U-образной формы U	Силлиманит	Кордиерит или муллит	Кордиерит или муллит	Силлиманит	Шамот 28
1300	1300	1300	1300	1300	1300
50	60	60	60	60	20–40
3–6	5–6	5–6	5–6	5–6	3–4
2.0–5.0	≥5.0	–	–	–	–
–	–	2.0–3.0	2.0–3.0	2.0–3.0	1.5–3.0
–	–	8–12 t	8–12 t	8–12 t	8–12 t
–	–	–	–	–	–
100	250	250	250	250	2–3 w
40	40	50	50	50	1.5 w

# Tubothal® – наиболее мощный металлический нагревательный элемент

Tubothal® – идеальный электрический нагревательный элемент, используется в сочетании с трубами из порошкового сплава из-за его многочисленных преимуществ, таких как: очень высокая мощность, долгий срок службы, низкий вес, возможность приспосабливать элемент к существующему электропитанию. Если система нагрева сконструирована правильно, то в сочетании с трубой Kanthal APM™ она очень надежна и не требует обслуживания - извлечения элементов, очистки или переворачивания труб.

Область применения систем Tubothal очень обширна. Это термообработка, промышленные печи в производстве стали и алюминия, утилизация отходов.

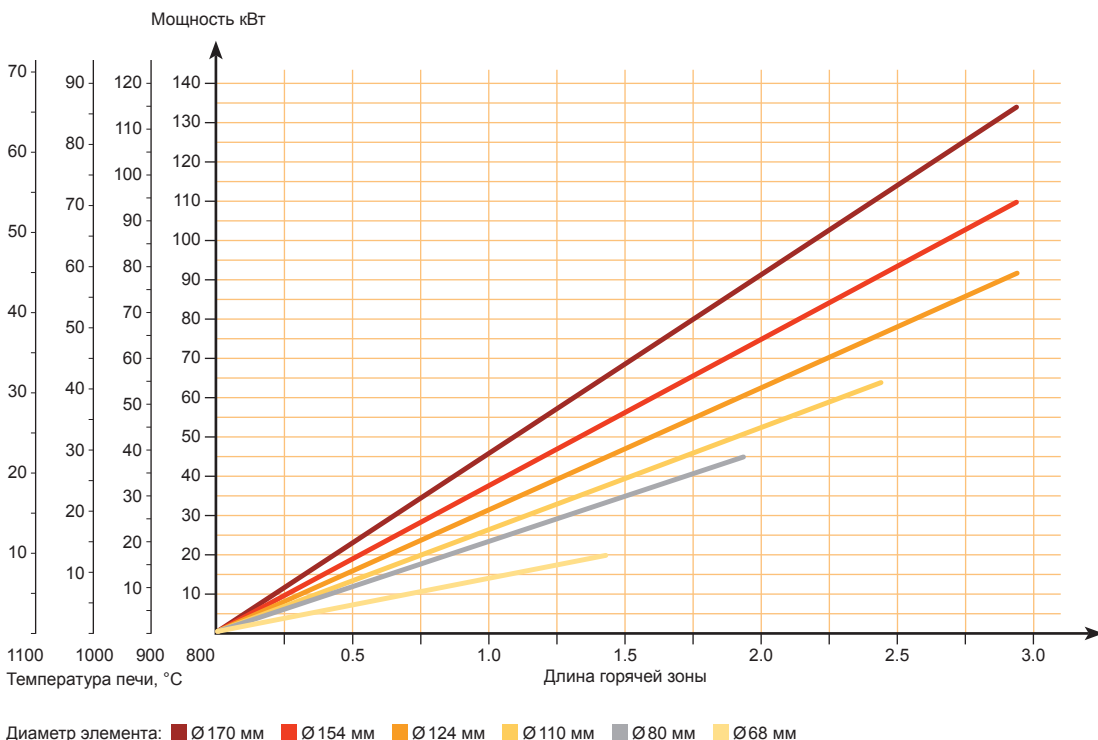
Способность элементов Tubothal и труб Kanthal APM переносить более высокие нагрузки лучше всего видна при использовании их в новых печах и при переходе от традиционных конструкций радиационных труб. В обоих случаях можно достичь более высокой мощности

и/или более высокой температуры или такой же мощности, с использованием меньшего количества нагревателей, что позволяет достичь большей универсальности печного оборудования и снижает затраты. Более долгий срок службы систем Tubothal обеспечивает высокую надежность производства и бесперебойную работу печи.

Нагревательные элементы Tubothal представлены широким рядом типоразмеров, которые соответствуют производимому размерному ряду труб. В принципе, длина элемента не ограничена, но упаковка, транспортировка и установка все же могут наложить ограничения. Нагревательные элементы Tubothal подходят как для горизонтальной, так и для вертикальной установки.

Обычно горизонтальные трубы просто поддерживаются на обоих концах. Для очень длинных радиационных труб может потребоваться поддержка по длине трубы. Прутки Kanthal APM идеально подходят для изготовления подвесок, крюков и т.д.

## Максимально возможная мощность для элементов стандартного диаметра при различных температурах печи



### Высокая мощность

Элементы Tubothal имеют гораздо более высокую мощность, чем стандартные конструкции элементов радиационных труб. Один элемент Tubothal способен заменить до трех нагревательных элементов традиционного дизайна, что приводит к значительной экономии при замене и техническом обслуживании.

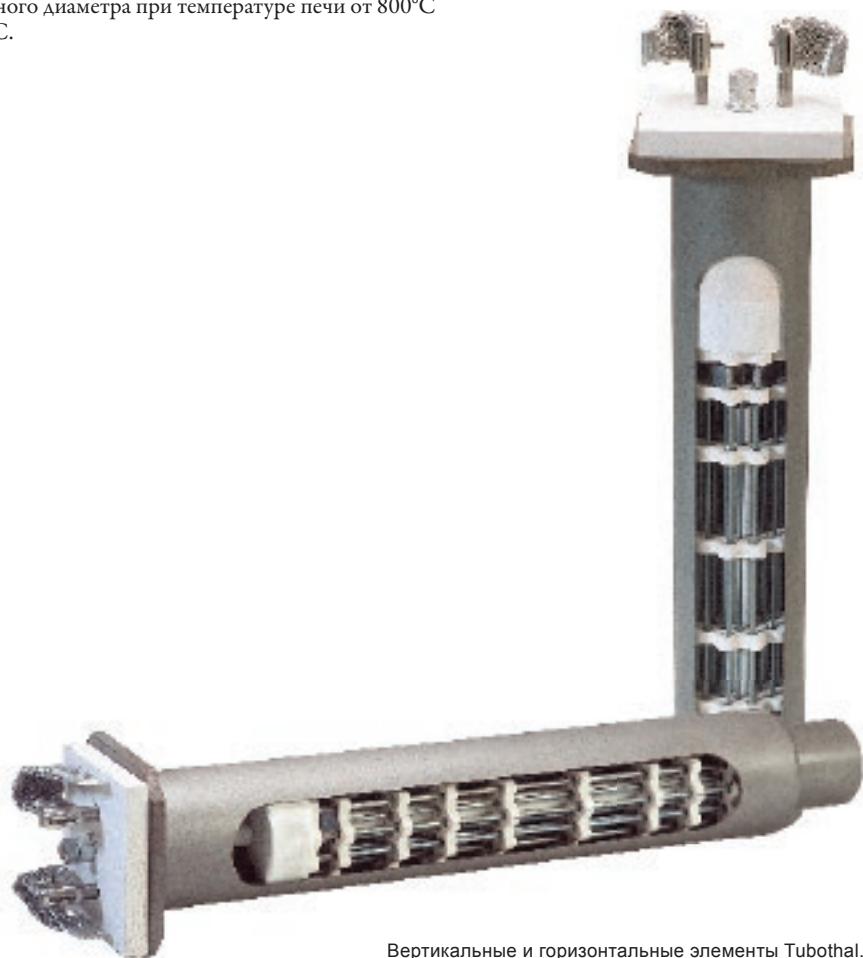
В других случаях переход на нагревательные элементы Tubothal в сочетании с увеличением мощности существующих печей приводит к повышению их производительности при более низкой стоимости по сравнению с новой печью.

Установка нескольких элементов Tubothal в существующие печи может увеличить производительность в некоторых случаях более чем на 50%.

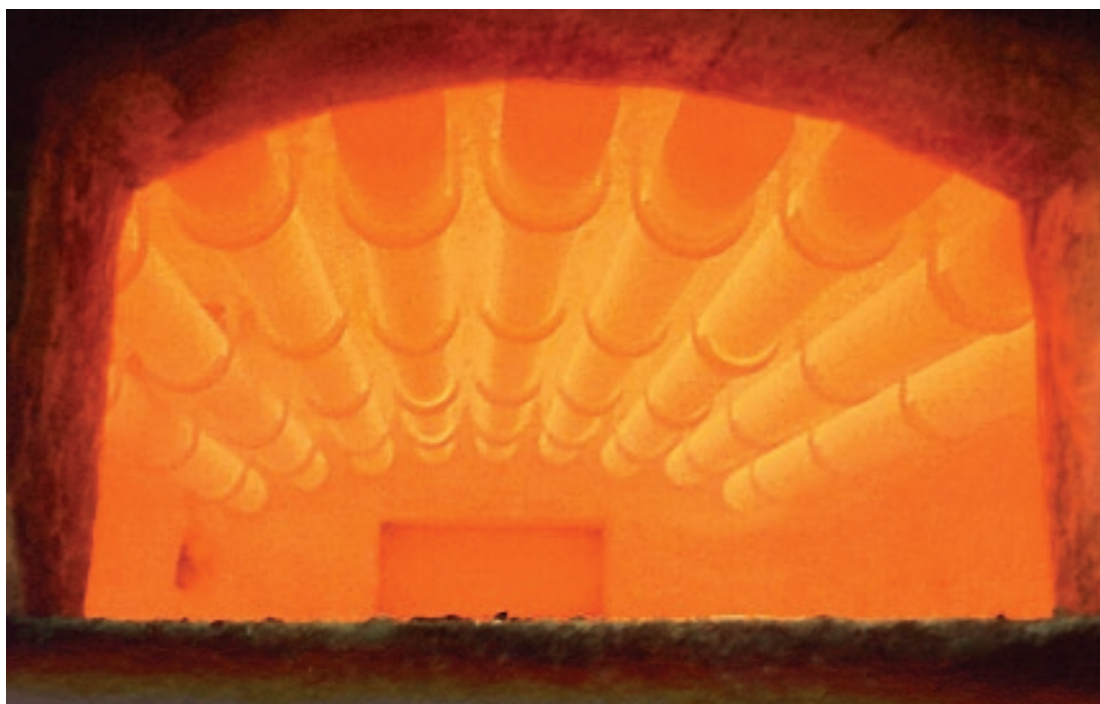
Мощность стандартных элементов Tubothal зависит от диаметра элемента, длины горячей зоны и рабочей температуры печи. На графике (стр.14) показана максимально возможная мощность для элементов стандартного диаметра при температуре печи от 800°C до 1100°C.

### Источник питания

Отдельные элементы могут работать при напряжении, меньшем, чем у источника питания. При установке нескольких элементов, группы этих элементов могут быть подключены последовательно напрямую к основному источнику питания без использования трансформатора. Элементы Kanthal APM практически не подвержены старению, поэтому нет необходимости в регулировании напряжения источника питания. Можно использовать регулирование вкл./выкл., но для обеспечения стабильности температуры элемента, продления его срока службы, а также лучшего контроля температуры печи предпочтительней использовать тиристорные регуляторы с импульсным режимом работы.



Вертикальные и горизонтальные элементы Tubothal.



#### Преимущества элементов Tubothal®

- Очень высокая мощность
- «Система без обслуживания»,  
долгий межсервисный период
- Медленное старение
- Меньший вес элемента
- Низкая термическая масса
- Стандартизированный продукт  
для быстрой поставки
- Различные модификации
- Трубы Kanthal® из порошкового  
сплава также могут использоваться  
в печах с газовым нагревом





# Kanthal® A-1 и Kanthal APM™

Удельное сопротивление 1.45 Ом·мм<sup>2</sup> м<sup>-1</sup>. Удельный вес 7.1 г см<sup>-3</sup>. Чтобы получить удельное сопротивление при рабочей температуре, умножьте на коэффициент  $C_t$  в данной таблице.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
$C_t$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05

## Проволока. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Диаметр мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
10.0	0.0185	17017	558
9.5	0.0205	14590	503
8.25	0.0271	9555	380
8.0	0.0288	8712	357
7.35	0.0340	6790	300
7.0	0.0377	5837	273
6.5	0.0437	4673	236
6.0	0.0513	3676	201
5.5	0.0610	2831	169
5.0	0.0738	2127	139
4.75	0.0818	1824	126
4.5	0.0912	1550	113
4.25	0.102	1306	101
4.0	0.115	1090	89.2
3.75	0.131	897	78.4
3.5	0.151	730	68.3
3.25	0.175	584	58.9
3.0	0.205	460	50.2
2.9	0.220	416	46.9
2.8	0.235	374	43.7
2.6	0.273	299	37.7
2.5	0.295	266	34.9
2.4	0.321	235	32.1
2.3	0.349	207	29.5
2.2	0.381	181	27.0
2.0	0.462	136	22.3
1.8	0.570	99.2	18.1
1.7	0.639	83.6	16.1

## Лента. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Ширина мм	Толщина мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
50	3.0	0.001	109655	1065
40	3.0	0.012	71172	852
30	3.0	0.016	40966	639
25	3.0	0.019	28966	533
20	3.0	0.024	19035	426
15	3.0	0.032	11172	320
50	2.5	0.012	90517	888
40	2.5	0.015	58621	710
30	2.5	0.019	33621	533
25	2.5	0.023	23707	444
20	2.5	0.029	15517	355
15	2.5	0.039	9052	266
50	2.0*	0.015	71724	710
40	2.0*	0.018	46345	568
30	2.0*	0.024	26483	426
25	2.0*	0.029	18621	355
20	2.0*	0.036	12138	284
15	2.0*	0.048	7035	213
50	1.5*	0.019	53276	533
40	1.5*	0.024	34345	426
30	1.5*	0.032	19552	320
25	1.5*	0.039	13707	266
20	1.5*	0.048	8897	213
15	1.5*	0.064	5121	160
50	1.0*	0.029	35172	355
40	1.0*	0.036	22621	284
30	1.0*	0.048	12828	213
25	1.0*	0.058	8966	178
20	1.0*	0.073	5793	142
15	1.0*	0.097	3310	107

\* Толщина только для Kanthal

Для дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Сандвик. Контактная информация на сайте [www.kanthal.com](http://www.kanthal.com)

# Kanthal® AF

Удельное сопротивление 1.39 Ом·мм<sup>2</sup>·м<sup>-1</sup>. Удельный вес 7.15 г·см<sup>-3</sup>. Чтобы получить удельное сопротивление при рабочей температуре, умножьте на коэффициент C<sub>t</sub> в данной таблице.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
C <sub>t</sub>	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07

## Проволока. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Диаметр мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
8.25	0.0260	9968	382
8.0	0.0277	9089	359
7.5	0.0315	7489	316
7.35	0.0328	7048	303
7.0	0.0361	6089	275
6.5	0.0419	4875	237
6.0	0.0492	3834	202
5.5	0.0585	2953	170
5.0	0.0708	2219	140
4.75	0.0784	1902	127
4.5	0.0874	1618	114
4.25	0.0980	1363	101
4.0	0.111	1136	89.8
3.75	0.126	936	79.0
3.5	0.144	761	68.8
3.25	0.168	609	59.3
3.0	0.197	479	50.5
2.9	0.210	433	47.2
2.8	0.226	390	44.0
2.6	0.262	312	38.0
2.5	0.283	277	35.1
2.4	0.307	245	32.3
2.3	0.335	216	29.7
2.2	0.366	189	27.2
2.0	0.442	142	22.5
1.9	0.490	122	20.2
1.8	0.546	104	18.2
1.7	0.612	87.2	16.2

## Лента. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Ширина мм	Толщина мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
50	3.0	0.009	114389	1073
40	3.0	0.012	74245	858
30	3.0	0.015	42734	644
25	3.0	0.019	30216	536
20	3.0	0.023	19856	429
15	3.0	0.031	11655	322
50	2.5	0.011	94425	894
40	2.5	0.014	61151	715
30	2.5	0.019	35072	536
25	2.5	0.022	24730	447
20	2.5	0.028	16187	358
15	2.5	0.037	9442	268
50	2.0	0.014	74820	715
40	2.0	0.017	48345	572
30	2.0	0.023	27626	429
25	2.0	0.028	19425	358
20	2.0	0.035	12662	286
15	2.0	0.046	7338	215
50	1.5	0.019	55576	536
40	1.5	0.023	35827	429
30	1.5	0.031	20396	322
25	1.5	0.037	14299	268
20	1.5	0.046	9281	215
15	1.5	0.062	5342	161
50	1.0	0.028	36691	358
40	1.0	0.035	23597	286
30	1.0	0.046	13381	215
25	1.0	0.056	9353	179
20	1.0	0.070	6043	143
15	1.0	0.093	3453	107

Для дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Сандвик. Контактная информация на сайте [www.kanthal.com](http://www.kanthal.com)

# Kanthal D

Удельное сопротивление 1.35 Ом·мм<sup>2</sup> м<sup>-1</sup>. Удельный вес 7.25 г см<sup>-3</sup>. Чтобы получить удельное сопротивление при рабочей температуре, умножьте на коэффициент C<sub>t</sub> в данной таблице.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
C <sub>t</sub>	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08

## Проволока. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Диаметр мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
10.0	0.0172	18277	569
8.0	0.0269	9358	364
7.5	0.0306	7711	320
7.0	0.0351	6269	279
6.5	0.0407	5019	241
6.0	0.0477	3948	205
5.5	0.0568	3041	172
5.0	0.0688	2285	142
4.75	0.0762	1959	128
4.5	0.0849	1665	115
4.25	0.0952	1403	103
4.0	0.107	1170	91.1
3.75	0.122	964	80.0
3.5	0.140	784	69.8
3.25	0.163	627	60.1
3.0	0.191	493	51.2
2.8	0.219	401	44.6
2.6	0.254	321	38.5
2.5	0.275	286	35.6
2.3	0.325	222	30.1
2.0	0.430	146	22.8
1.8	0.531	107	18.4
1.7	0.595	89.8	16.5
1.6	0.671	74.9	14.6

## Лента. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Ширина мм	Толщина мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
50	3.0	0.009	117778	1088
40	3.0	0.011	76444	870
30	3.0	0.015	44000	653
25	3.0	0.018	31111	544
20	3.0	0.023	20444	435
15	3.0	0.030	12000	326
50	2.5	0.011	97222	906
40	2.5	0.014	62963	725
30	2.5	0.018	36111	544
25	2.5	0.022	25463	453
20	2.5	0.027	16667	363
15	2.5	0.036	9722	272
50	2.0	0.014	77037	725
40	2.0	0.017	49778	580
30	2.0	0.023	28444	435
25	2.0	0.027	20000	363
20	2.0	0.034	13037	290
15	2.0	0.045	7556	218
50	1.5	0.018	57222	544
40	1.5	0.023	36889	435
30	1.5	0.030	21000	326
25	1.5	0.036	14722	272
20	1.5	0.045	9556	218
15	1.5	0.060	5500	163
50	1.0	0.027	37778	363
40	1.0	0.034	24296	290
30	1.0	0.045	13778	218
25	1.0	0.054	9630	181
20	1.0	0.068	6222	145
15	1.0	0.090	3556	109

Для дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Сандвик. Контактная информация на сайте [www.kanthal.com](http://www.kanthal.com)

# Nikrothal® 80

Удельное сопротивление 1.09 Ом·мм<sup>2</sup>·м<sup>-1</sup>. Удельный вес 8.30 г см<sup>-3</sup>. Чтобы получить удельное сопротивление при рабочей температуре, умножьте на коэффициент C<sub>t</sub> в данной таблице.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
C <sub>t</sub>	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.06	1.07

## Проволока. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Диаметр мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
10.0	0.0139	22601	652
8.0	0.0217	11590	417
7.0	0.0283	7764	319
6.5	0.0328	6217	275
6.0	0.0386	4890	235
5.5	0.0459	3766	197
5.0	0.0555	2830	163
4.5	0.0685	2063	132
4.25	0.0768	1738	118
4.0	0.0867	1449	104
3.75	0.0987	1194	91.7
3.5	0.113	971	79.9
3.25	0.131	777	68.9
3.0	0.154	611	58.7
2.8	0.177	497	51.1
2.6	0.205	398	44.1
2.5	0.222	354	40.7
2.3	0.262	275	34.5
2.2	0.287	241	31.6
2.0	0.347	181	26.1
1.8	0.428	132	21.1

## Лента. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)

Ширина мм	Толщина мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
50	3.0	0.007	145872	1245
40	3.0	0.009	94679	996
30	3.0	0.012	54495	747
25	3.0	0.015	38532	623
20	3.0	0.018	25321	498
15	3.0	0.024	14862	374
50	2.5	0.009	120413	1038
40	2.5	0.011	77982	830
30	2.5	0.015	44725	623
25	2.5	0.017	31537	519
20	2.5	0.022	20642	415
15	2.5	0.029	12041	311
50	2.0	0.011	95413	830
40	2.0	0.014	61651	664
30	2.0	0.018	35229	498
25	2.0	0.022	24771	415
20	2.0	0.027	16147	332
15	2.0	0.036	9358	249
50	1.5	0.015	70872	623
40	1.5	0.018	45688	498
30	1.5	0.024	26009	374
25	1.5	0.029	18234	311
20	1.5	0.036	11835	249
15	1.5	0.048	6812	187
50	1.0	0.022	46789	415
40	1.0	0.027	30092	332
30	1.0	0.036	17064	249
25	1.0	0.044	11927	208
20	1.0	0.055	7706	166
15	1.0	0.073	4404	125

Для дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Сандвик. Контактная информация на сайте [www.kanthal.com](http://www.kanthal.com)

# Nikrothal 70

Удельное сопротивление 1.18 Ом·мм<sup>2</sup> м<sup>-1</sup>. Удельный вес 8.10 г см<sup>-3</sup>. Чтобы получить удельное сопротивление при рабочей температуре, умножьте на коэффициент C<sub>t</sub> в данной таблице.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
C <sub>t</sub>	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06

**Проволока. Изготавливается только по специальному заказу (при 20°C)**

Диаметр мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
9.0	0.0185	15244	515
8.25	0.0221	11741	433
8.0	0.0235	10706	407
7.5	0.0267	8822	358
7.35	0.0278	8303	344
7.0	0.0307	7172	312
6.5	0.0356	5742	269
6.0	0.0417	4517	229
5.5	0.0497	3479	192
5.0	0.0601	2614	159
4.75	0.0666	2241	144
4.5	0.0742	1905	129
4.25	0.0832	1605	115
4.0	0.0939	1338	102
3.75	0.107	1103	89.5
3.5	0.123	897	77.9
3.25	0.142	718	67.2
3.0	0.167	565	57.3
2.8	0.192	459	49.9
2.6	0.222	368	43.0
2.5	0.240	327	39.8
2.2	0.310	223	30.8
2.0	0.376	167	25.4
1.9	0.416	143	23.0
1.8	0.464	122	20.6
1.7	0.520	103	18.4
1.6	0.587	85.6	16.3
1.5	0.668	70.6	14.3
1.4	0.767	57.4	12.5
1.3	0.889	45.9	10.8
1.2	1.04	36.1	9.16
1.1	1.24	27.8	7.70
1.0	1.50	20.9	6.36

**Лента. Стандартный ассортимент продукции (при 20°C)**

Ширина мм	Толщина мм	Сопротивление Ом/м	Удельное сопротивление см <sup>2</sup> /Ом	Вес г/м
50	3.0	0.008	134746	1215
40	3.0	0.001	87458	972
30	3.0	0.013	50339	729
25	3.0	0.016	35593	608
20	3.0	0.020	23390	486
15	3.0	0.026	13729	365
50	2.5	0.009	111229	1013
40	2.5	0.012	72034	810
30	2.5	0.016	41314	608
25	2.5	0.019	29131	506
20	2.5	0.024	19068	405
15	2.5	0.031	11123	304
50	2.0	0.012	88136	810
40	2.0	0.015	56949	648
30	2.0	0.020	32542	486
25	2.0	0.024	22881	405
20	2.0	0.030	14915	324
15	2.0	0.039	8644	243
50	1.5	0.016	65466	608
40	1.5	0.020	42203	486
30	1.5	0.026	24025	365
25	1.5	0.031	16843	304
20	1.5	0.039	10932	243
15	1.5	0.052	6292	182
50	1.0	0.024	43220	405
40	1.0	0.030	27797	324
30	1.0	0.039	15763	243
25	1.0	0.047	11017	203
20	1.0	0.059	7119	162
15	1.0	0.079	4068	122

Для дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Сандвик. Контактная информация на сайте [www.kanthal.com](http://www.kanthal.com)

# Справочные данные

## Сопротивление и вес

### Kanthal® A-1 и Kanthal APM™

Размер, мм	Сопротивление, Ом/м	Вес, г/м
8	0.0288	357
10	0.0185	558
12	0.0128	803
16	0.0072	1428
20 (Kanthal APM™ только)	0.0046	2231
30 (Kanthal® A-1 только)	0.0021	5019
39 (Kanthal APM только)	0.0012	8922

### Kanthal D

Размер, мм	Сопротивление, Ом/м	Вес, г/м
8	0.0269	364
10	0.0172	569
12	0.0119	820
16	0.0067	1460
20	0.0043	2280

### Nikrothal® 80

Размер, мм	Сопротивление, Ом/м	Вес, г/м
8	0.0217	417
10	0.0172	652
12	0.0119	939
16	0.0067	1670
20	0.0043	2610

### Nikrothal 40

Размер, мм	Сопротивление, Ом/м	Вес, г/м
8	0.0207	397
10	0.0132	620
12	0.0092	893

**Sandvik Group**

The Sandvik Group is a global high technology enterprise with 47,000 employees in 130 countries. Sandvik's operations are concentrated on three core businesses: Sandvik Tooling, Sandvik Mining and Construction and Sandvik Materials Technology – areas in which the group holds leading global positions in selected niches.

**Sandvik Materials Technology**

Sandvik Materials Technology is a world-leading manufacturer of high value-added products in advanced stainless steels and special alloys, and of medical implants, steel belt-based systems and industrial heating solutions.

Kanthal is a Sandvik owned brand, under which world class heating technology products and solutions are offered. Sandvik, Kanthal, Nikrothal, Tubothal and Kanthal APM are trademarks owned by Sandvik Intellectual Property AB.

**Quality management**

Sandvik Materials Technology has quality management systems approved by internationally recognized organizations. We hold, for example, the ASME Quality Systems Certificate as a materials organization, approval to ISO 9001, ISO/TS 16949, ISO 17025, and PED 97/23/EC, as well as product approvals from TÜV, JIS and Lloyd's Register.

**Environment, health and safety**

Environmental awareness, health and safety are integral parts of our business and are at the forefront of all activities within our operation. We hold ISO 14001 and OHSAS 18001 approvals.

Recommendations are for guidance only, and the suitability of a material for a specific application can be confirmed only when we know the actual service conditions. Continuous development may necessitate changes in technical data without notice.

This printed matter is only valid for Sandvik material. Other material, covering the same international specifications, does not necessarily comply with the mechanical and corrosion properties presented in this printed matter.



Sandvik Materials Technology  
Sandvik Heating Technology AB, Box 502, 734 27 Hallstahammar, Sweden Phone +46 220 21000 Fax +46 220 21166  
[www.kanthal.com](http://www.kanthal.com) [www.smt.sandvik.com](http://www.smt.sandvik.com)