



高性能 Pfinodal[®] 铜合金带材

AMETEK Specialty Metal Products (SMP) 采用粉末冶金锻压工艺生产Pfinodal[®] (C72900) 铜合金带材。

主要优点包括：

- 抗收缩、抗翘曲能力强
——比BeCu高10倍。
- 优异的可焊性和高温下抗金属间化合物形成性。
- 优异的耐腐蚀性和易清洗性。
- 低的初始成本和工艺成本。

高性能Pfinodal®铜合金带材

Spinodal冶金

- 在时效处理过程中，该材料会自发地产生Spinodal强化作用，这是由亚微观化学成分波动引起的。
- 对于Pfinodal®来说，由于采用了粉末冶金锻压工艺，整个带材的合金元素在时效处理前是均质的。
- Spinodal硬化是一种截然不同的冶金工艺。
- 冷轧量、时效温度和时间都会影响Pfinodal®的强度和成形性。

Pfinodal®的性能和好处

- 优异的抗高温应力松弛性能。
- 强度高，成形性好。
- 时效处理过程中不变形。
- 可供应多种硬化状态或时效硬化状态。
- 优异的可焊性和高温下抗金属间化合物形成性。
- 优异的耐腐蚀性和易清洗性。其在40°C潮湿氨气中的抗腐蚀性能可维持500小时以上。
- 低的初始成本和工艺成本。

Pfinodal® 化学成分

镍	14.5 - 15.5%
锡	7.5 - 8.5%
铜	Balance
铜及指定元素	99.90%
其他元素	最大0.10%

C72900为Cu-15 Ni-8 Sn合金的 CDA-UNS牌号。
ASTM B-740 (铜镍锡Spinodal合金带材标准规范)

Pfinodal® C72900物理性能

导电率 68°F (20°C)	7.8	% IACS
导电率 392°F (200°C)	7.3	% IACS
导热系数	0.09 (30 x 10 ³)	BTU / lb° at 68° (J/Kg K)
热导率	17 29	BTU / ft•HR•°F at 68° w/m°K at 20°C
热膨胀系数	9.1 x 10 ⁻⁶	ln/ln/°F 68°F - 572°F
	16.4 x 10 ⁻⁶	Per °C, 20°C - 200°C
弹性模量 (拉伸)	18.5 x 10 ⁶ (127 x 10 ³)	Psi (MPa)
刚性模量	7.5 x 10 ⁶ (52 x 10 ³)	Psi (MPa)
密度	0.323 (8.95)	lb/in ³ (gm/cc)

时效硬化状态

Pfinodal® 合金C72900机械性能 可作时效硬化（退火和冷加工）

标准牌号	状态	0.2% 屈服强度 ksi (MPa)	UTS ksi (MPa)	延伸率 (%)	硬度 VHN	最小弯曲半径	
						90° (平行于轧制方向)	180° (平行于轧制方向)
TB00	固溶热处理	25 - 45 (172 - 310)	64 - 85 (441 - 586)	32 - 60	100 - 150	0	0
TD01	¼ 硬度	52 - 75 (358 - 517)	75 - 100 (517 - 689)	18 - 35	150 - 235	0	0
TD02	½ 硬度	75 - 100 (517 - 689)	85 - 110 (586 - 758)	8 - 20	190 - 275	0 - 0.5t	0.5 - 1t
TD03	¾ 硬度	90 - 115 (620 - 793)	95 - 120 (655 - 827)	3 - 12	210 - 290	0.5 - 1t	1.5 - 2t
TD04	硬度	95 - 125 (655 - 862)	100 - 130 (689 - 896)	1 - 10	220 - 300	2 - 3t	3 - 4t

Pfinodal® 合金C72900机械性能 时效硬化（退火和冷加工、零件时效硬化）

标准牌号	Spinodal 硬化处理	0.2% 屈服强度 (MPa)	UTS ksi (MPa)	延伸率 (%)	硬度 (VHN)
TX00	700°F/2 h (370°C/2 h)	100 - 130 (619 - 896)	120 - 150 (827 - 1034)	6 - 20	275 - 350
TS01	700°F/2 h (370°C/2 h)	115 - 145 (793 - 1000)	130 - 160 (896 - 1103)	4 - 16	290 - 365
TS02	700°F/2 h (370°C/2 h)	135 - 165 (931 - 1138)	145 - 175 (1000 - 1206)	3 - 12	315 - 390
TS03	700°F/2 h (370°C/2 h)	145 - 175 (1000 - 1206)	155 - 185 (1069 - 1275)	2 - 9	325 - 400
TS04	675°F/2 h (360°C/2 h)	155 - 185 (1069 - 1275)	165 - 195 (1138 - 1344)	2 - 6	335 - 410

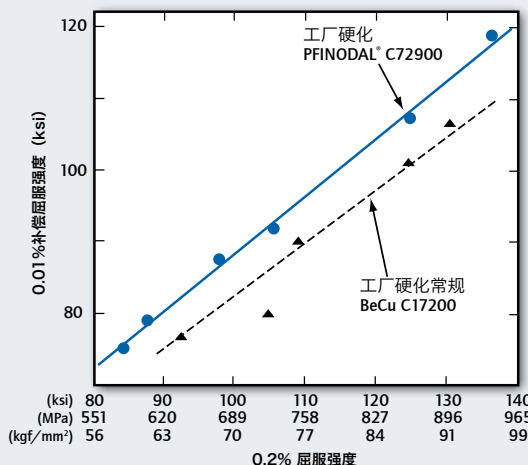
工厂硬化状态

Pfinodal® C72900的不同冶炼硬化状态 (冷加工和硬化)

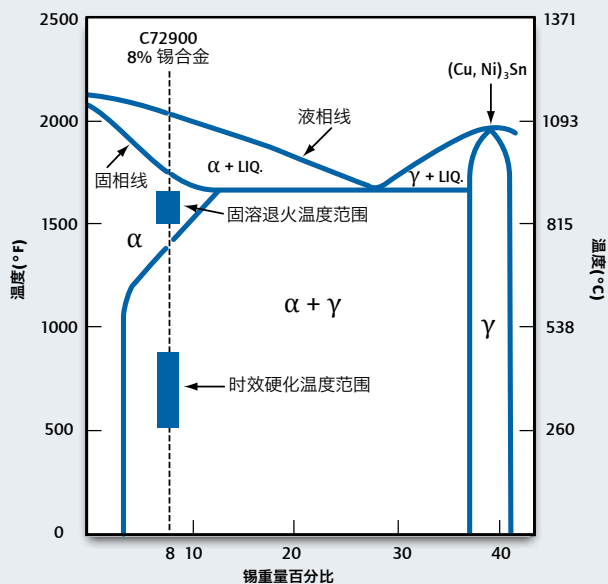
标准牌号	0.01% 屈服强度 ksi (MPa)	0.2% 屈服强度 ksi (MPa)	UTS ksi (MPa)	延伸率 (%)	硬度 VHN	最小弯曲半径	
						90° (平行于轧制方向)	180° (平行于轧制方向)
TM00	65 - 90 (448 - 620)	75 - 95 (517 - 655)	95 - 115 (655 - 792)	22 - 36	190 - 290	0	0 - 0.5t
TM02	75 - 100 (517 - 689)	90 - 110 (620 - 758)	105 - 125 (723 - 862)	15 - 30	215 - 315	0 - 0.5t	0.5 - 1t
TM04	90 - 115 (620 - 729)	105 - 125 (723 - 862)	115 - 135 (792 - 930)	10 - 24	245 - 345	0 - 1t	0.8 - 1.5t
TM06	100 - 125 (689 - 862)	120 - 145 (827 - 999)	130 - 150 (896 - 1034)	6 - 16	270 - 370	0.5 - 6.0t	2 - 3t
TM08	115 - 140 (792 - 965)	140 - 170 (965 - 1171)	150 - 178 (1034 - 1226)	2 - 10	305 - 405	*—	—

*模具无支撑三点弯曲试验中测得的最小弯曲半径

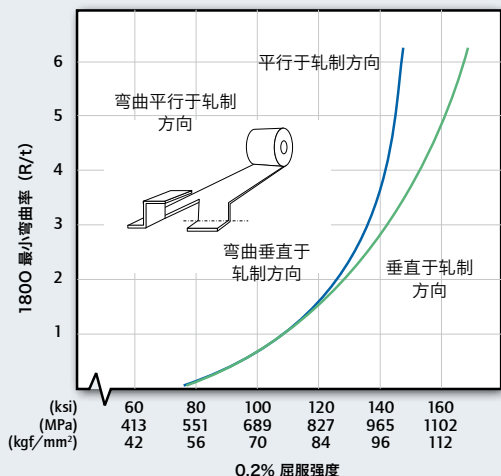
Pfinodal®和BeCu带材的0.01%与0.2%屈服强度



铜镍锡伪二元相图



Pfinodal® 180° 最小弯曲率与 0.2%屈服强度

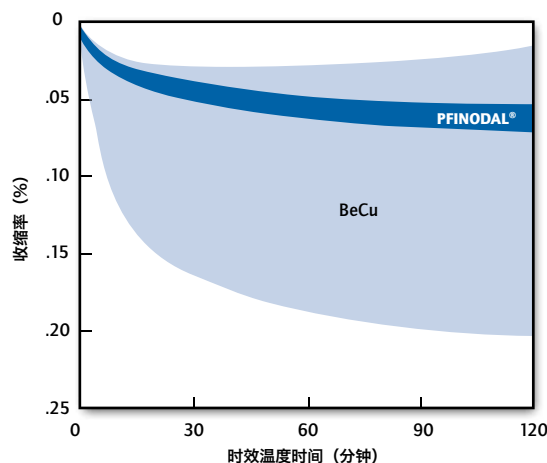


无变形

Pfinodal®零件可通过简单的热处理进行时效硬化，不会发生变形。不需要使用夹具。对于要求具有最高强度和优异成形性的零件形状，推荐使用时效硬化Pfinodal®。

铍铜等其他时效硬化合金在硬化热处理过程中会发生严重变形。这种变形是由不同的收缩率引起的，会导致零件的尺寸精度变差。在某些情况下，铍铜零件的热处理可用于抑制这种变形，但会增加工艺成本。

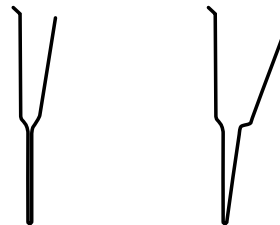
时效硬化过程中Pfinodal®和BeCu的尺寸变化



注：两种合金纵向和横向0-40%的冷加工量，时效温度如下：
Pfinodal® - 700°F (371°C) BeCu - 600°F (316°C)

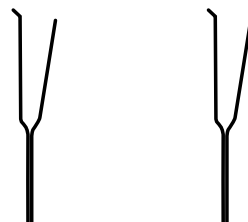
BeCu零件变形

BeCu零件
发生变形



时效处理之前和之后的BeCu Alloy C17200

Pfinodal®
零件无变形



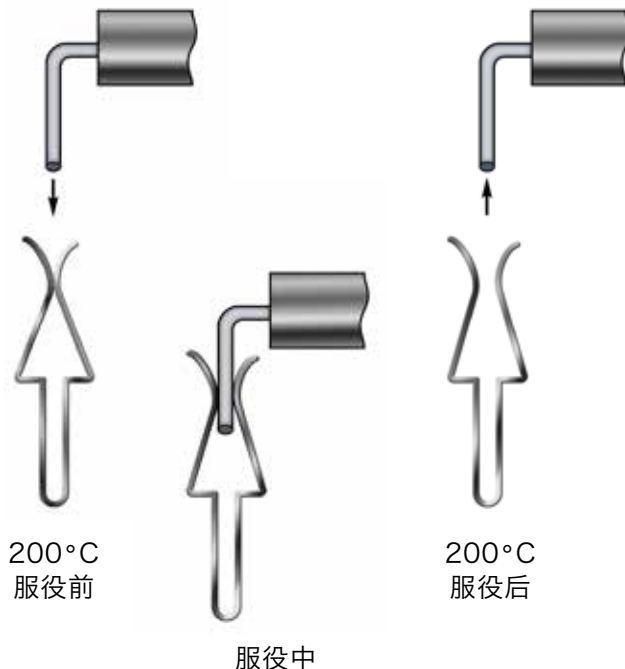
时效处理之前和之后的Pfinodal® Alloy C72900

应力/热松弛

Pfinodal®高温下优异的抗应力热松弛性的意义在于可在高温下长期保持好的弹性接触压力。

工件接触配合件后，在两侧梁的长度方向上会产生相应的变形和弹性应力应变。室温下长期保存后，这些应力基本没有衰减。但当温度升高后，一般合金会发生应力松弛，弹性变形会转变成永久变形。随着温度升高和时间延长，永久变形量会进一步增加。

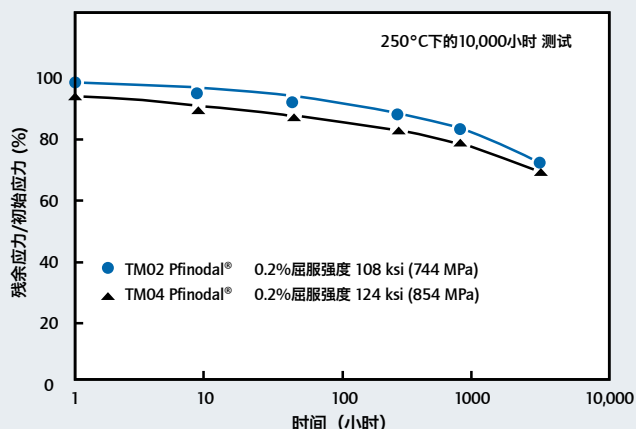
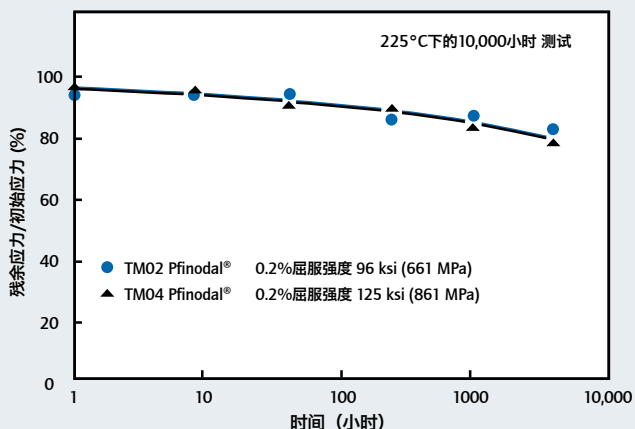
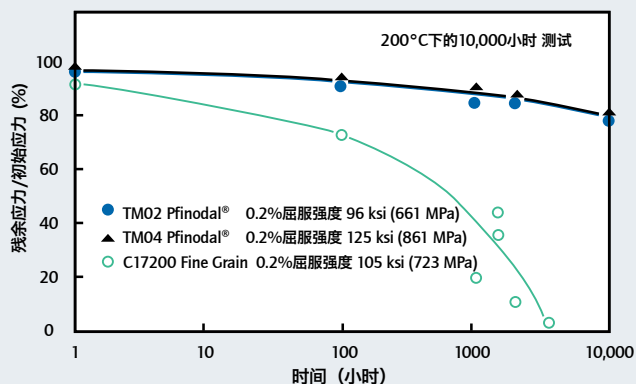
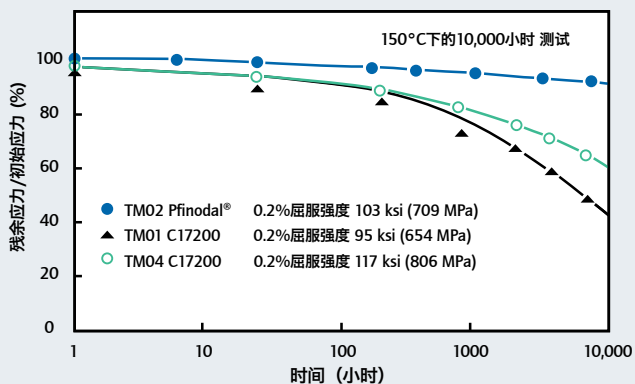
取出配合件后，工件不再恢复原来的形状，而是两侧分开。重新插入配合件后，因为弹性变形少了，弹性接触压力会减小。小的弹性压力会导致彼此间连接的不稳定或电连接中断。



一般合金（非Pfinodal®材料）应力松弛示意图

应力（热）松弛

所有测试的初始应力为0.2%屈服强度的80%



设备和气氛

Pfinodal®的时效处理最好在温度均匀性极佳的循环炉中进行。可使用真空炉或马弗炉，与所有的炉子或烤箱一样，应考虑到炉子的载荷和温度控制，以确保所有部件均达到适当的温度。

任何普通的惰性气氛或还原气氛均可以使用。为了利用Pfinodal®的优良表面特性，最好使用轻微的还原性气氛，如氮气-3%氢气（混合气体）。这种做法通常会使热处理后的零件表现出优异的可焊性，而不需要进行表面清洗或酸洗。

由于需要对所有铜基合金进行后清洗，不建议使用盐浴炉。如果使用盐浴炉，则需要彻底清洗，以去除零件上的所有残留盐分。

Pfinodal®零件热处理参数

为了实现Pfinodal®的峰值强度或近峰值强度，推荐的时效参数范围如下表所示：

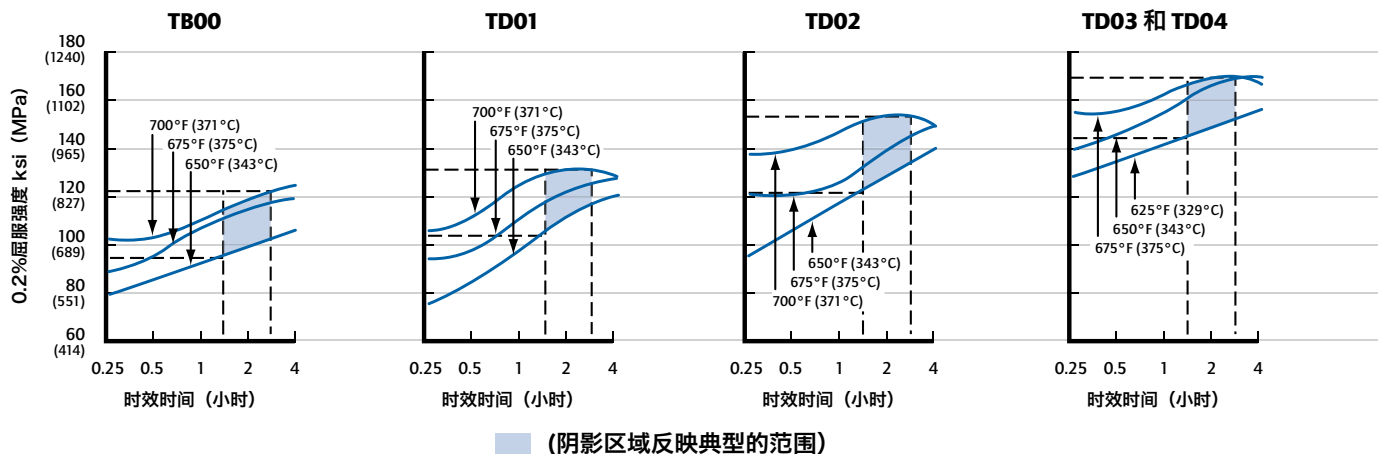
Pfinodal® 峰值/近峰值时效参数

状态	温度/时间
TB00 TD01 TD02	675° - 700°F (357° - 371°C) / 2h
TD03 TD04	650° - 675°F (343° - 357°C) / 2h

在保持良好机械性能的前提下，可根据具体要求采用其他的时间、温度参数。

建议在取出零件之前，将炉温降至93°C (200°F)，以避免表面变色。

Pfinodal®零件热处理曲线



Pfinodal®零件热处理特殊考量

为了优化任何特定应用中Pfinodal®的性能，可以考虑使用其他替代热处理方案。

- 对于最大受力区已大幅成型加工的零件，建议采用低25°F (14°C) 的时效温度，从而使关键的受力局部达到强度峰值。
- 为了适应有限的成形加工（弯曲、扭曲、卷边等），有些零件需要在进行时效处理后具备一定的延展性。这种情况下，建议采用低25°F (14°C) 的时效温度。这种热处理会导致时效强度略有下降，但会增加延展性。
- 对于在经过时效处理后需要进行大幅成形加工的零件（例如重新冲压或90° 焊锡尾扭曲），可能需要更低的时效温度[比时效峰值温度低50°F (28°C) 或更多]。
- 不建议进行过时效处理。如果进行了过时效处理，强度和延展性的损失可能很大。在给定的延展性要求的情况下，欠时效会导致比过时效更高的强度和延展性。
- 如需了解具体建议，请咨询AMETEK SMP。

老化和高温应用

对于常温和高温应用，Pfinodal® C72900铜镍锡Spinodal合金以经济的成本提供了高的可靠性。对于125°C-225°C范围内的老化和高温应用，除了可以简化加工过程的优良表面特性外，Pfinodal®还具有卓越的抗应力松弛性，可实现较长的使用寿命。Pfinodal®具有良好的保质期和可焊性，易于电镀或镶嵌。对于电镀和焊接，可以使用较温和的清洗液和腐蚀性较低的助焊剂。

在焊接高温部件时，为了去除助焊剂残留物，需要仔细清洗，这一点非常重要。

焊接

所有铜基合金在高温下都能与含锡焊料中的锡发生反应，形成金属间相。

为了确保在高温下长期具备良好的焊点性能，需要正确选择焊料。

良好的工程实践表明最好使用熔点高于被焊零件工作温度约50°C的焊料。

对于150°C以上的温度

在这些非常高的温度下，为了尽量减少任何铜合金可能出现的金属间相的形成，必须使用含锡量最高为10%的高铅焊料。10%Sn-88%Pb-2%Ag焊料已经在作业现场得到广泛应用。实验室数据也显示，这种焊料在225°C下与Pfinodal®具备优秀的相容性。不建议将10%Sn-90%Pb焊料用于200°C以上的温度。

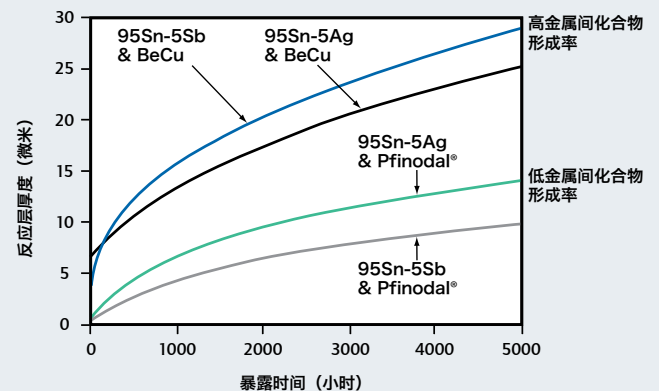
对于不高于150°C的温度

所有锡铅焊料都可以在该温度范围内使用。

普通焊料的使用

ASTM® 合金等级	成分	固相线		液相线		用于Pfinodal®时建议 使用的温度范围		
		°C	°F	°C	°F	不高于 150°C	150°C 200°C	200°C 以上
锡/铅								
Sn63	63Sn/37Pb	183	361	183	361	•		
Sn60	60Sn/40Pb	183	361	190	374	•		
Sn50	50Sn/50Pb	183	361	216	421	•		
Sn45	45Sn/55Pb	183	361	227	441	•		
Sn40A	40Sn/60Pb	183	361	238	460	•		
Sn30A	30Sn/70Pb	183	361	255	491	•		
Sn25A	25Sn/75Pb	183	361	266	511	•		
Sn15	15Sn/85Pb	225	437	290	554	•		
Sn10A	10Sn/90Pb	268	514	302	576	•	•	
Sn5	5Sn/95Pb	308	586	312	594	•	•	•
Sn2	2Sn/98Pb	316	601	322	611	•	•	•
含银								
Sn96	96.5Sn/3.5Ag	221	430	224	434	•		
—	95Sn/5Ag	221	430	241	465	•		
Sn10B	10Sn/88Pb/2Ag	268	514	299	570	•	•	•
Ag2.5	97.5Pb/2.5Ag	300	576	304	580	•	•	•
锡/铋								
—	100Sn	232	450	232	450	•		
Sb5	95Sn/5Sb	233	452	240	464	•		

与BeCu C17200相比，用于Pfinodal® C72900时，焊料的金属间化合物形成率更低



固相线：加热过程中材料开始熔化时的温度或冷却过程中凝固结束时的温度。

液相线：加热过程中材料完全熔化时的温度或冷却过程中开始凝固时的温度。

* 来自ASTM标准B32-83。其他未标有ASTM等级的合金来自《ASM金属手册》第9版第6卷。



关于 AMETEK 特种金属产品

AMETEK 特种金属产品 (SMP) 是AMETEK, Inc.的分支, 该集团是全球领先的电子仪器和机电设备制造商, 年销售额约为50亿美元。

AMETEK在全球建立了150多个营业点, 拥有18000名员工, 并在全球 30个国家建立了销售、服务和支持网点。

其特种金属部门包含了位于美国和英国的五家工厂, 他们都是先进冶金产品制造方面的专家, 包括精密金属带材、超薄箔材、异形线材、特种部件、热管理产品、高纯粉末、精密管材和多层金属复合板。

这些高性能的金属产品在全球范围内被广泛应用于航空航天、汽车、国防、医疗、电子、石油和天然气以及核能等行业。

ISO 9001

认证

www.ametek-ct.com

AMETEK®
SPECIALTY METAL PRODUCTS
WALLINGFORD

AMETEK Specialty Metal Products
21 Toelles Road
Wallingford, CT 06492
UNITED STATES

电子邮箱: wfd.sales@ametek.com

电话: +1 610.489.5260

传真: +1 610.489.5252

本文的数据可能会更改, 恕不另行通知。针对 AMETEK 产品, 本文提供的信息和建议可能会在超出我们控制的情况下使用。因此, AMETEK 对任何特定情况下我方产品的适用性、应用性和信息准确性所做出的的任何明示和暗示, 不做任何保证。用户应对判断 AMETEK 产品是否适合任意特定用途承担全部责任。