



## 钎焊、金属喷射成型和高温烧结用连续式网带炉

Scott K. Robinson - Centorr真空工业有限公司；新罕布什尔州纳舒厄

为了达到最佳物理性能，金属和陶瓷加工需要非常特殊的加热条件和操作环境。

图4. 处理先进金属和陶瓷材料的Centorr真空工业公司网带式炉

虽

然传统的真空/气氛间歇式和连续式网带炉或推送式炉对于大多数应用都有很好的效果，但有些特殊的材料(或工艺)需要超洁净的无氧环境、快速的升温和最短的保温时间。

尽管真空和气氛间歇式炉在业界很常用，但它们的周期时间往往很长，炉料之间容易出现偏差，尤其是在很大的炉室内处理大量小型部件时。

传统的网带式炉采用镍铬铁合金网带和耐火陶瓷(砖或纤维)绝热材料，每平方英尺网带面积能够处理数磅炉料。这类炉型通常在 $1,150^{\circ}\text{C}$  ( $2,100^{\circ}\text{F}$ ) 温度下连续使用，配备陶瓷网带时则可达 $1,288^{\circ}\text{C}$  ( $2,350^{\circ}\text{F}$ )。虽然大型网带式和推送式炉是高能应用(比如粉末冶金应用)的理想设备，但是，对于需要超洁净条件的小型部件( $0.25\text{--}$

$0.5$ 英寸或 $6\text{--}12$ 毫米以下)的小批量处理来说，它们不够经济。

这些传统的网带式炉需要在高温区使用昂贵的镍合金或陶瓷炉室，以帮助控制、保护和引导还原气体远离绝热衬和发热元件，并且保持需要的

炉内气氛。在不使用时，它们还必须使用替代炉料，以防止炉室过热。为了提高洁净度，有些炉型还采用了“驼峰”式设计，将网带和炉料提升到氢气气氛洁净度更高、露点更低的高温区上部。

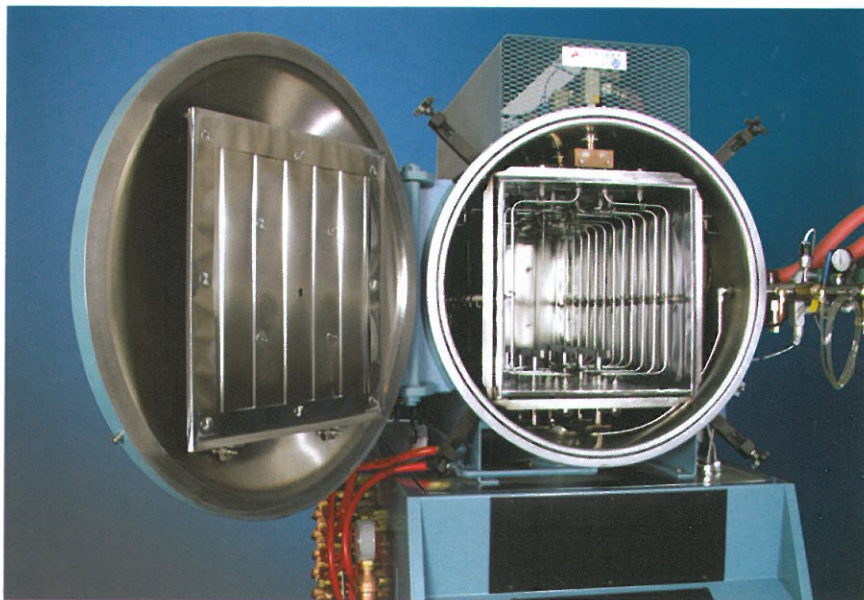


图1. 传统的真空炉高温带

## 高温连续式网带炉

为了解决上述问题,满足这些特殊的“小批量、快节奏”应用的需要,一种新的炉型设计应运而生。它兼具间歇式真空炉的优点以及连续式炉的处理速度和工艺稳定性。这种新型高温连续式网带炉如图2所示。

虽然这种独特的网带炉设计在上世纪90年代初期就已出现,但它直到最近5年间才得到推广,因为许多新的应用为它的普及创造了条件。这种炉型的结构类似于真空炉,采用了水冷不锈钢炉室,并在高温区安装难熔金属(比如钼或钨)发热元件和防护罩,或者在陶瓷处理应用中采用石墨绝热衬和石墨发热元件。

这种独特的连续式炉在使用难熔金属高温带和惰性气氛或氢气氛时的额定工作温度最高为 $2,000^{\circ}\text{C}$ ( $3,630^{\circ}\text{F}$ ),而在使用石墨高温带和惰性气氛时更能达到 $2,800^{\circ}\text{C}$ ( $5,075^{\circ}\text{F}$ )。为了能够快速升温 and 冷却,在炉室末端设置了双层水套和冷却通道。

对于材料输送,该炉根据处理温度和炉料重量而配备多种不同材质的网带,包括额定使用温度为 $1,550^{\circ}\text{C}$ ( $2,822^{\circ}\text{F}$ )的钼制网带或 $2,000^{\circ}\text{C}$ ( $3,630^{\circ}\text{F}$ )的钨制网带,二者均为专利设计。对于装料量更大的应用则采用碳化硅链带,使用温度为 $1,800^{\circ}\text{C}$ ( $3,270^{\circ}\text{F}$ )。温度高于 $2,200^{\circ}\text{C}$ ( $3,990^{\circ}\text{F}$ )时,网带材质可以选择柔性石墨。这种炉型有许多规格和产量等级,网带额定宽度在2 - 8英寸(50 - 200毫米)之间。

产能和工艺的重现性,使得该炉型成为了诸如精密钎焊、金属喷射成型(MIM)、难熔金属和陶瓷的高温烧结以及部件金属化和陶瓷-金属接合等应用的可靠而成功的装备。到目前为止,已

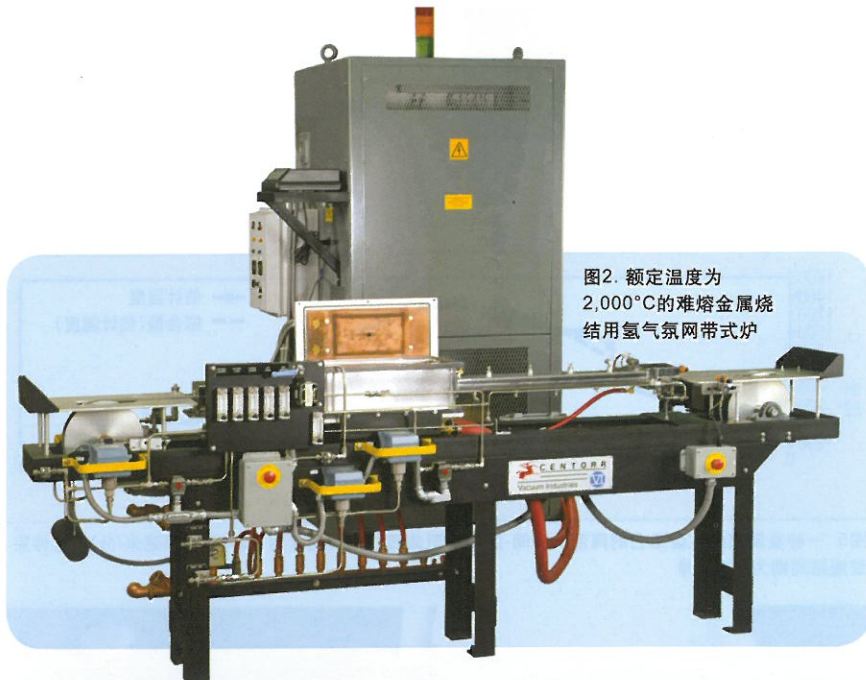


图2. 额定温度为  
 $2,000^{\circ}\text{C}$ 的难熔金属烧  
结用氢气氛网带式炉

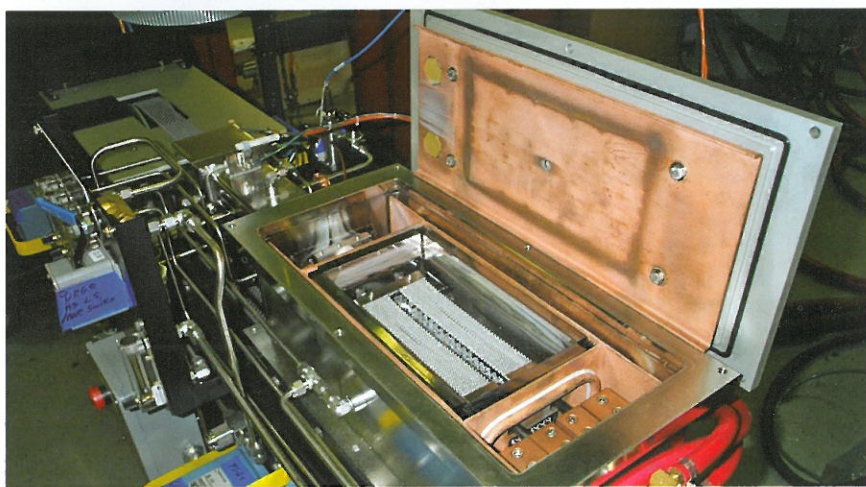


图3. 难熔金属网带式炉的高温带

经提供的该炉型主要用于氢气钎焊、高温烧结、微滴喷射成型和氮化硅部件烧结。以下介绍3个应用实例。

## 钎焊

传统的钎焊工艺包括了许多方法和材料,可以使用许多炉型。不过,对于一些特殊的钎焊材料,则需要使用间歇式真空炉或者氢气氛网带式或推送式炉。

## 医疗设备

比如,体积小、重量轻的医疗部件的精密钎焊,就需要这样的特殊工艺。在这样的情况下,确保钎焊质量的秘诀可以归纳为“快速升温,短暂保温,快速降温。”这种要求的首要原因是,

希望尽可能减少钎料与基体金属之间的高温反应,而这种反应发生在两种材料在液相线以上温度长时间接触时。第二个原因是,整个周期时间越短,基体金属受污染的可能性越小。基体金属污染会导致钎焊缺陷,比如基体金属和钎料之间接合不牢和焊接性能变差。

为了达到上述钎焊要求,希望气氛“像真空一样”极其洁净,以确保基体金属几乎甚至根本不发生氧化。这意味着,传统的网带式或推送式炉无法使用,因为它们的设计无法加快工艺周期,也难以达到某些钎焊工艺的洁净度和露点要求,比如在使用活泼金属或钨-铜-银/钨-铜-镍等钎料时。

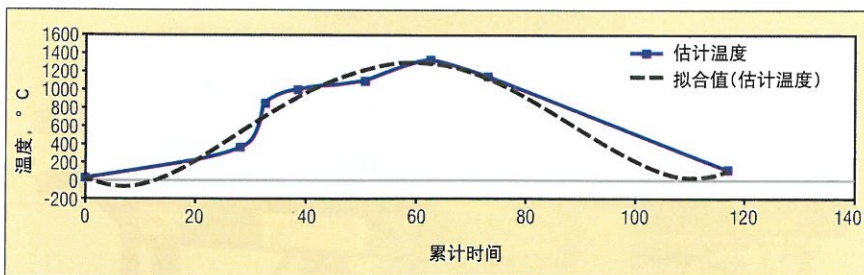


图5. 一种金属喷射成型工艺的网带炉时间-温度模型曲线，网带速度为1英寸/分(25毫米/分)，部件完整烧结周期为120分钟

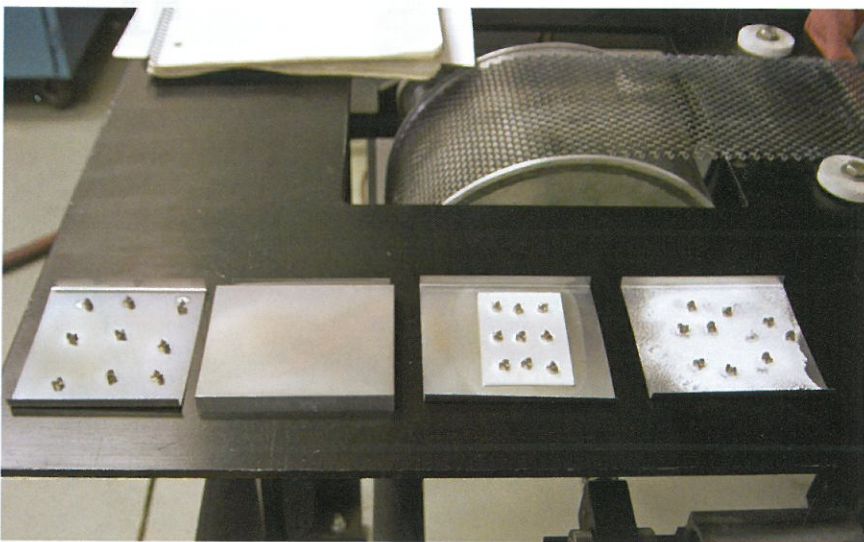


图6. 小型转轴的料盘，采用不同的陶瓷垫料，包括蓝宝石、陶瓷纸和氧化铝粉

第一家客户面临着困难的钎焊要求，它需要在1,100°C (2,012°F)温度下使用极少量钎料焊接一种小型医疗部件。在试验了多种间歇式真空炉和间歇式氢气氛炉后，它决定尝试使用网带式炉，并在氢气氛下进行部件钎焊，以保证清洁无氧的环境。虽然使用间歇式炉处理的部件也可以接受，但由于每个部件所处的热条件不同，同一批炉料的钎焊效果存在着波动。另外，无论炉内是否装满炉料，每次处理都需要3-4小时。

在改变网带速度和分区温度进行了两天的测试后，这家客户使用6英寸宽和36英寸长的网带在氢气氛下得到了表面质量出色的部件。不仅外表光亮，而且接合效果极佳。测试时，网

带炉的速度定为3英寸/分(75毫米/分)，使整个处理周期仅为40分钟。

出于预算的考虑和总产能的需要，这家客户最后选择了一台宽4英寸、高温带长8英寸的网带式炉。网带速度采用0.5英寸/分(13毫米/分)时能够达到与36英寸网带炉测试相近的高温带停留时间，但客户在一开始同样采用了3英寸/分(75毫米/分)的速度，发现所有部件都像长型网带炉测试时一样光亮洁净。

尽管并非所有应用都是如此，但这家客户发现，它的部件由于非常小，几乎都能够高温区的低露点氢气氛下瞬间加热。由于钎料的用量非常少，在数秒钟内即可完成无污染的接合。该应用借鉴了间歇式感应钎焊的速度，

但能够连续而且安全地保持清洁的氢气环境。

在生产现场，唯一遇到的操作问题是环境条件。由于这台网带炉的内腔尺寸很小，如果入口或出口通道靠近装料架或窗户，气幕和工艺气体烟道的流动会受到干扰，导致气体控制盘频繁调节流量。

客户还发现，该炉最好使用装满部件的料舟，以保持气流模式的稳定性。否则，引入主炉室和入口/出口通道的工艺气体容易从炉内排出，显著缩短在炉膛内部的停留时间。不过，客户也注意到了该炉的优点：采用水冷的炉壳几乎不对周围环境产生热辐射(迥异于传统砖砌炉衬的大量放热)，不影响工厂的供暖和空调设施。

### 金属喷射成型(微滴MIM)

第二家客户大批量处理相对较小的部件，希望能够灵活地每周多次启动和停止工艺。这些部件的材质为不锈钢(比如17-4PH和316L)，用途包括矫治牙套和托槽、手机凸轮转轴和单件重量小于5克的各种小零件。

与之前的应用不同，该客户需要通过一个胶粘剂低温烧除步骤将金属喷射成型部件常用的1-3%聚合物基胶粘剂去除，增大了工艺难度和复杂性。在这种情况下，网带炉的直通式氢气氛为胶粘剂链的分解提供了一种出色的手段，使废气能够安全地从部件处排走，减少了入口通道内的气态和固态胶粘剂残留。在某些情况下，比如金属化应用或湿度有利于胶粘剂去除的工艺，可以增加一套气体加湿系统，以满足对于较高氢气露点的要求(通常从-20°C/-4°F提高到20°C/68°F以上)。

在这里,网带式炉截面小和产量大的特点对于充分和均匀的胶粘剂脱除十分有利,而这一步被视为间歇式烧结应用的限制环节,因为大量部件必须在中间温度下间歇保温若干次,以便将胶粘剂缓慢脱除。

通过减轻炉料重量和减小网带炉截面,部件能够在进入烧结段前快速脱除胶粘剂。这家客户在网带炉入口和出口处采用了特殊设计的密封气幕,保证了炉内(甚至通道末端)环境的清洁性,也保证了工艺氢气被顺利导入两端的烧除烟道。

部件的最终烧结在主炉室完成。通过对3个分区进行单独调节,能够执行期望的升温、保温和降温制度。这样,能够以120分钟的周期时间使316L部件达到理论密度的97%。金属喷射成型方面的下一步工作是确定周期时间对于碳控制的作用,并且以降低运行成本为目标开展混合气氛研究。

## 陶瓷加工

在1993年,Centorr真空工业公司同南伊利诺伊斯大学Dale Wittmer教授合作进行了一项研究,开发出一种满足汽车工业大批量生产需要的氮化硅部件烧结的经济型方案。虽然这些部件能够采用间歇式工艺可靠地生产,但成本是氮化硅部件推广使用的主要障碍。

研究的主要内容是对低成本原料粉末和烧结工艺进行分析。Wittmer和Miller曾经指出,在连续网带式炉内流动的氮气氛下,能够将100 - 150克的大型氮化硅盘烧结到全密度。采用相同的时间和温度分别在一台连续式网带炉和一台间歇式炉内进行了烧结试验,并对结果进行了比较。<sup>[1]</sup>网带炉烧结氮

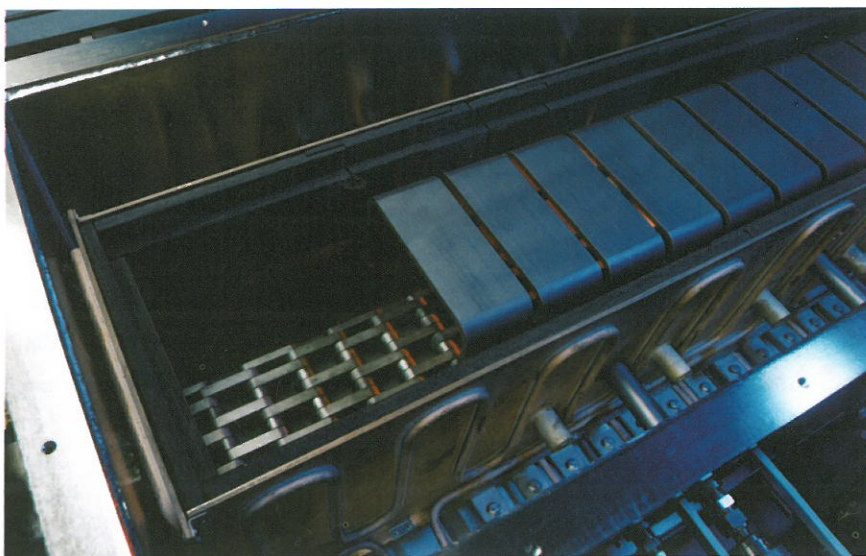


图7. 陶瓷烧结网带炉的石墨高温带和碳化硅网带

化硅的四点法挠曲强度测量值平均高出35%,断裂韧性高出22%。

特别要提到的是,连续式工艺的总周期时间为3.5 - 4.5小时,同间歇式工艺的18 - 24小时形成鲜明对比。这意味着,连续式工艺将部件处于烧结温度下的时间从间歇式工艺的超过3小时缩短到30 - 60分钟。经确定,缩短部件处于流动氮气氛下的时间,是连续式炉能够提高材料物理性能的主要原因之一。连续式炉相比于无压烧结炉甚至高压炉对于改善部件性能效果更好的另一个原因是,网带炉的加热和冷却速度更快和更加均匀(有效加热区通常为4英寸x4英寸见方),对于材料结构十分有利。

根据配方的不同,部件在处理时可以盛放在石墨、氮化硼或氮化铝料盒中,使用或不使用粉末填料均可。初期的研究使用了钨制高温带,但炉料释放出的氧化硅蒸气对这种难熔金属造成了影响。南伊利诺伊斯大学后来改用了全石墨高温带、硬质石墨板绝热层和石墨电阻发热元件。

虽然碳化硅陶瓷对于石墨高温带是一个问题,但新式网带炉的高温带寿命大大超过了间歇式炉的石墨或钨制高温带。对于石墨高温带可能产生碳反应层的担忧也被消除,因为使用钨制和石墨高温带处理的材料性能没有差别。

近年来,此项研究已经转向了传统上采用间歇式烧结炉处理的其他陶瓷类型,在晶片退火和LED加工用蓝宝石配方的烧结以及金属卤素灯用多晶氧化铝的烧结等方面做了大量工作。采用这种独特的网带炉设计的优点是,增大了密度,降低了分解造成的重量损失,能够获得希望的晶体结构。

## 结语

Centorr真空工业公司自1954年以来专业化开发、设计并制造真空炉和可控气氛炉,业务范围从温度控制和材料输送大大扩展。公司的小批量高产能网带炉设计采用惰性气氛或工艺氢气氛提供超纯环境,适

用于1,000°C(1,832°F) – 2,800°C(5,072°F)的极宽温度范围。

尽管这种连续式炉设计并非适合于所有应用,但如果用在合适的工艺上,它能够带来在无氧气氛中快速处理的优点。IH

### 参考文献

1. D. E. Wittmer, J. J. Conover, V. A. Knapp - Southern Illinois University, Carbondale, IL; C. W. Miller Jr.; Centorr Vacuum Industries, Inc.; "Economic Comparison of Continuous and Batch Sintering of Silicon Nitride"
2. D. E. Wittmer and G. Goransson, Southern Illinois University, Carbondale, IL; Tn. Tieg and J. Schroeder, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN - "Comparison

of Batch and Continuous Sintering of Aluminide-bonded Titanium Carbide"

欲了解更多资料,请联系: Scott K. Robinson,  
Centorr真空工业有限公司陶瓷/粉末金属市场经理,  
55 Northeastern Blvd., Nashua, NH 03062; 电话:  
603-595-7233; 传真: 603-595-9220; 电子邮箱:  
srobinson@centorr.com; 网址: www.centorr.com.

### 国际化的热处理专业杂志



中文版



巴西版



英文版



## 检测仪器 专业制造商



HCH-3000系列超声波测厚仪



MC-3000系列涂(镀)层测厚仪



YD系列金属里氏硬度计



TM系列红外测温仪

科电检测仪器公司成立于2002年,属于国家认证批准的高新技术企业,是中国领先的检测仪器生产制造商。公司集研发、生产、销售和服务为一体,专业提供一流的检测仪器与全面的技术解决方案。总部坐落于山东省济宁市,公司厂区占地面积18800多平方米。公司技术力量雄厚,拥有完善的生产工艺、精湛的技术开发及生产实力。

科电公司多年来始终坚持“用心制造、成就精品”的产品开发目标,秉承“科学管理、精心制造、优质服务、追求卓越”的质量方针,全面建立质量管理体系,经过10年的不懈努力,目前已发展壮大成为资产过亿、员工上百,并拥有3家控股公司及多家办事处的企业,产品涉及超声检测、涂装检测、埋地管线检测、红外检测、气体检测等多个领域的高科技产业型经济实体。公司目前生产产品有: HCH系列超声波测厚仪、MC系列涂镀层测厚仪、MCW涡流测厚仪、FJ系列埋地管线检测仪、DJ系列电火花检漏仪、TM系列红外线测温仪、YD系列里氏硬度计等。

“科技成就未来、用心制造精品”,科电公司将与时俱进,为民族工业品牌走向世界而不懈奋斗!

山东公司:  
地址: 济宁市任城开发区济东矿外路6号  
邮编: 272000  
电话: 0537-2884797 2882840 2636876  
传真: 0537-2255887  
邮箱: scang@kedian.net

北京公司  
地址: 北京市朝阳区五里桥二街中弘北京像素  
北区7号楼401室 邮编: 100024  
电话: 010-57572796 51299466  
传真: 010-57571286  
邮箱: bjkdsc@163.com

上海公司  
地址: 上海市杨浦区眉州路381号·华谊星城大厦1112室  
邮编: 200090  
电话: 021-65201012 65201013  
传真: 021-65201013  
邮箱: qingrui888@Gmail.com

敬请致电: 400-054-3339让我们为您效力!

**KEDIAN**

了解更多详情,请登录... [www.bjkedian.net](http://www.bjkedian.net)