

复合高温烧结设备

Ingo Cremer, Dipl - Ing

(克莱默热处理设备有限公司, Auf dem Flabig, D - 52355, Dueren, 德国)

摘要:介绍了高温烧结设备的开发,描述了哪些工艺步骤可以被结合起来,各个独立的部分之间如何工作以及需要考虑的问题。

关键词:高温烧结;步进梁;快速冷却;气氛控制;MIM

中图分类号:TF124.5 **文献标识码:**B

文章编号:1006 - 6543(2003)05 - 0029 - 04

Collected By
Chinatungsten Online

COMPLEX HIGH - TEMPERATURE SINTERING EQUIPMENT

Ingo Cremer, Dipl - Ing

(Cremer Thermoprozessanlagen GmbH, Auf dem Flabig, D - 52355, Dueren, Germany)

Abstract: The following article is intended as an introduction to high - temperature sintering, describing which process steps can be combined, how the individual sections operate and which problems have to be accounted for.

Key words: high temperature Sintering, Walking beam, Rapid cooling, Atmosphere control; MIM

高温烧结作为一个提高粉末冶金零部件力学性能的工艺方法正变得越来越流行。在 1 250 ~ 1 350℃ 的温度下进行烧结不但会加速合金元素的均匀化,而且允许使用像 Mn、V 和 Cr 等对氧很敏感的合金元素。与此同时,整合几个工艺步骤的趋势也更显著,一个热门话题就是在烧结之后的直接快速冷却,又叫“直接硬化”。

高温烧结炉正在变得越来越重要,因为该炉的工艺温度远比传统网带式烧结炉要高,所以必须开发特殊的烧结工艺设备。本文介绍了复合高温烧结设备,描述了哪些工艺步骤可以被结合起来,各个独立的部分之间如何工作以及需要考虑的问题。

该设备的基本组成部分及功能:

1 装料料舟

料舟用来承载粉末冶金零件,是一种消耗品。

因为不同的工艺步骤和所遇到的温度,粉末冶金零件必须被放置在特殊的料舟上通过炉子。我们避免使用“烧结舟”一词,因为对于料舟的要求远比对于“烧结舟”要复杂。一个合适的装料料舟应有下列特征:

(1) 在保护气氛和还原性气氛下应能耐温到 1 300℃ (2 400°F)。

(2) 满足加热速率应有高的抗热冲击性,特别是在快速冷却阶段。

(3) 材料的热容要尽可能小,热稳定性要好。

(4) 低的制造成本与长的使用寿命上应有可接受的平衡。

(5) 在零件、气氛和料舟之间的反应应当匹配。

很明显,一个复合高温烧结设备的设计受到所能得到装料料舟的上述条件限制。炉子应当从内部开始设计,如果在传送系统已经确定之后再去看用何种料舟,那么会导致错误。

收稿日期:2002 - 10 - 10

作者简介: Ingo Cremer(1968 -), 德国人, 硕士工程师, 克莱默公司姊妹公司 POLYFOUR 工业炉研究所总经理, 专事粉末冶金专用设备研究与开发。

我们的开发瞄准金属料舟,它们几乎或很少与零件发生反应。根据零件的形状,有时需要在料舟内用陶瓷托块。这些托块应尽可能小,以保证一个较满意的抗热冲击性能。这些陶瓷托块的材料通常是“高铝红柱石”或更好些的刚玉材料,碳化硅或氟氯化碳(CFC),它们都有良好的抗热冲击性能,并且在与零件接触时都不发生相互反应。

料舟内部应与零件相适应,而外部尺寸可以保持稳定,这样可以保持高度的通用性。

2 脱蜡段

在经过具有双重密封门的进料排气室之后,第一个工艺步骤是去除零件内的润滑剂。这个工艺步骤就是在脱蜡段完成的。脱蜡段应符合下面的要求:

(1)适用于脱除不同种类的润滑剂(硬脂酸锌、乙烯-bisstearamide、用于温压的 Dens-Mix 或金属注射成形 MIM 工艺的剩余粘结剂)。

(2)根据对流原理设计合理的气体流动方向。

(3)盛放制品料舟的机械传送振动最小。

(4)气氛控制。

(5)通过控制添加反应组分(湿氢、二氧化碳)减少积碳。

2.1 积碳

区分外部积碳与内部积碳非常重要。在外部积碳中,残余物沉积在炉壁上和零件表面上。在内部积碳中,碳沉积在零件内部,这种情况更糟糕。内部积碳会导致形成裂纹、起泡或麻点,并降低抗拉强度。

混入 Ni 粉会使积碳的趋势加剧,因为 Ni 在固体碳(炭黑)的形成中具有催化剂的作用。含金属的润滑剂,如硬脂酸锌,比乙烯-bisstearamide 基的润滑剂更容易产生炭黑。压制密度越高,加热速率应当越低,以防止积碳,同时也可有效防止对零件的热冲击。现代炉子的脱蜡段较前一代相比都要更长一些。

积碳可以通过以下方法减少,甚至防止:

(1)通过减少炉膛截面得到高的气氛流动速度;

(2)增加气氛中氢气的含量;

(3)增加气氛水蒸气含量(提高露点);

(4)增加气氛中 CO₂ 的含量;

(5)逐渐加温到 650℃。

通常脱蜡段与高温烧结带的结合方式有 3 种,现介绍如下:

2.2 推舟式脱蜡段

料舟一个挨一个地被推送通过脱蜡段。由于脱蜡段安装有钢马弗,在内部会得到一个反向的不会紊乱的气体流动。

此脱蜡段能够与烧结带直接相连,或者通过一个横向传送带相连。当一个料舟被推入炉内的时候,它就会推动其它料舟在脱蜡带内前进。因此,这种方式是最适合于较小的炉子。在大型的炉子上,这种脱蜡段会太长。而且,推舟的方式不会完全没有震动,也就不太适合一些工艺,如金属注射成形产品的生产。这种推舟系统经常被用于产量在 600 kg/h 以下的高温烧结炉。

这种系统允许安装多个进气点,用于注入湿氮气或“催化”气(天然气与空气的合成气体)。到目前为止,湿氮气经常被使用。但是从技术角度看,没有任何理由反对使用“催化”气。“催化”气的大致组成为:

氮气	63%
氢气	20%
CO	12%
CO ₂	4%

Collected By
Chinatungsten Online

防止“催化气”进入高温段非常重要。

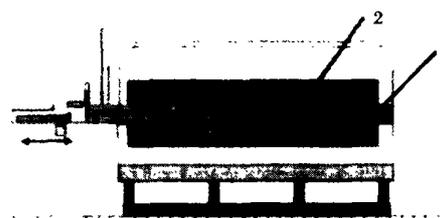


图 1 推舟式脱蜡段侧视图

1-料舟;2-加热元件

2.3 网带式脱蜡段

在这种系统中,网带穿行于马弗之中。料舟放置在网带上,它们之间留有一定间隙。在网带末端,安装有一个网带回转装置。网带回转装置应有一个冷却部件,以保证网带的使用寿命较长。在炉子入口处不采用双门密封系统。因此在脱蜡段的末端应安装一个气体净化密封室,根据对流原理控制气压的办法,以保证所有的气体都流向脱蜡段入口处。

安装在两直线功能段之间的气体净化室不是保险的,因此最好安装一个横向传送系统。在这个系统内,所有的机械部件都是常温态,因此这会造成零

件温度的一些降低是非常重要的。但是从目前的使用情况看,这并未对零件产生影响。

此传送系统非常平稳,由于网带与净化密封室的结合使用,保证了在脱蜡段与烧结段之间气氛相互独立。两段炉体——脱蜡段与烧结段可以布置成“U形”,或者同向布置,但中间用横向传送带隔开,我们叫它“Z形”。

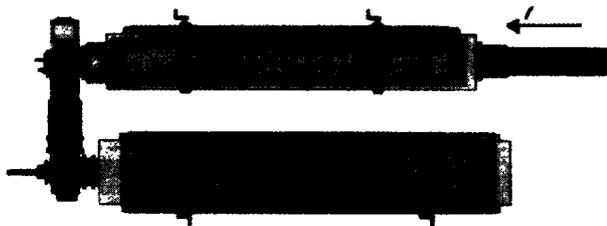


图2 脱蜡炉(上)与烧结炉(下)
1-进料方向

2.4 步进梁式脱蜡段

“马弗”式步进梁是一个新的技术发明。脱蜡段的步进梁与烧结段的步进梁直接相联。在第3节,对步进梁传送机构会作详细描述。

通过使用特殊的陶瓷板块,使在制品一侧的气氛与加热元件与机械装置一侧的气氛得到有效分隔。“马弗”式步进梁使推杆式炉的高能源使用效率与步进梁的无震动传送方式得到了有效结合。这种形式的脱蜡段可以直接与烧结段联接,也可以通过净化室联接。

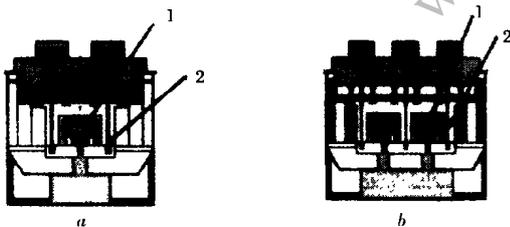


图3 步进梁式脱蜡段截面
a-单步进梁式;b-双步进梁式
1-“马弗”步进梁;2-加热元件

3 高温烧结段

Collected By
Chinatungsten Online

复合高温烧结炉的关键部分是烧结段。在烧结段,料舟与制品被加热到 $1\ 150^{\circ}\text{C}$ ($2\ 100^{\circ}\text{F}$), $1\ 280^{\circ}\text{C}$ ($2\ 333^{\circ}\text{F}$) 甚至 $1\ 400^{\circ}\text{C}$ ($2\ 550^{\circ}\text{F}$)。产量达 $1\ 200\ \text{kg/h}$ ($2650\ \text{lb/h}$) 的这种设备在用户处已经运行了多年。例如,高温烧结 Fe-Mo-Cr-Cu 合金零件有以下的好处:

- (1)合金成分更均匀;
- (2)更高的密度;
- (3)内部孔隙更小,减少缺口效应;
- (4)更高的屈服强度;
- (5)极限抗拉强度 UTS 提高;
- (6)硬度提高。

除了提高力学性能,在 $1\ 280^{\circ}\text{C}$ ($2\ 333^{\circ}\text{F}$) 比 $1\ 120^{\circ}\text{C}$ ($2\ 058^{\circ}\text{F}$) 烧结还可以更容易地还原对氧敏感的合金成分。这样就可以更广泛地烧结合 Cr、V 或 Mn 等合金成分的粉末冶金零件。

在高温烧结段使用步进梁传送机构,此机构分步运动:

- (1)步进梁向上运动,提升料舟。
- (2)步进梁向前运动,料舟前进。
- (3)步进梁向下运动,将料舟放置在梁两侧的固定床砖上。
- (4)步进梁在没有料舟的状态下向后运动。
- (5)步进梁回升到初始位置,直到下一次循环开始。

通常步进梁向前运动的距离略大于一个料舟的长度,但在一些需要仔细控制升温速率的应用时,如 MIM(金属注射成形),这种运动能够被分为更小的步骤。它可以通过运动 4 步来将料舟前移一个料舟长度的位置。这样,在一个料舟内前面的零件能够得到与后面的零件相同的升温速率。

绝热与支撑材料用陶瓷制成,在关键部位使用高纯 Al_2O_3 材料($>98\%$)。

步进梁的工作原理已经被很好地确立。但如今,用户提出了在尽可能小的占地面积上得到更高的产量的要求。为此,我们开发了“双步进梁”结构。这种炉子的英文别称是“Twin-runner”。

烧结段使用钼丝束作为加热元件。在料舟内,零件可以分层码放。通过陶瓷温度控制环测试,显示出在一个装载尺寸为 $330\ \text{mm} \times 330\ \text{mm} \times 80\ \text{mm}$ 的料舟内,没有检测到任何系统性的温度不均匀的情况。在烧结温度为 $1\ 280^{\circ}\text{C}$ ($2\ 333^{\circ}\text{F}$) 时,偶然性的温度分布为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$,这在测量手段的精度之内。

现在的烧结段的各个加热组均使用可控硅独立控温,这样就可以根据需要设置特定的温度曲线。

烧结气氛通常由氮气与氢气的混合气组成。氨分解气($75\% \text{H}_2 + 25\% \text{N}_2$)也可以作为替代品使用,但推荐使用罐装的气体以得到最佳的均匀性。为烧结不脱碳的含碳制品,气氛中的氢气含量应低于

5% (即使使用 100% 的氮气, 也可以得到合适的烧结条件)。不锈钢通常在纯氢气氛下进行烧结, 但如果设备安装了快速冷却装置 (Rapid Cooling), N_2/H_2 混合气也可以使用。快速冷却可以防止零件内部过量氮的析出, 保证可控的硬化且不丧失耐腐蚀性。

4 碳的恢复

根据用途, 有时需要在烧结后提高制品中碳的含量。这可以通过提高气氛中的碳势来得到, 吸热性气氛很适合此目的。碳的恢复应该在可能的最低温度进行, 如 860°C (1580°F)。这样可以在得到一个较高的碳含量的同时, 将积碳 (sooting) 的危险减少到最小。但有些合金材料因为成分、所要求的密度和硬度而要求较高的复碳温度。如含 3.5% Mo 者要求复碳温度高于 1000°C 。

5 快速冷却

在高温段或复碳段后面可以安装一个快速冷却装置。此装置可以使制品通过可控制的方式根据 TTT 曲线冷却下来 (如使用含 25% N_2 的氨分解气氛烧结不锈钢零件不会产生氮化; 烧结 Fe-C 制品会得到高密度。)

此装置内安装有带轴的辊子。风机用来循环工艺气体, 并通过水冷热交换器将气体冷却下来。冷却后的气体喷向料舟与制品。

使用辊子作为传动方式的好处在于料舟可以独立于步进梁的运动而运动。料舟将快速进入高速气流循环中, 并且, 如果需要, 料舟可以随时快速运动离开循环气流。这样就可以控制冶金转变, 以形成

不同的特定微观结构, 如贝氏体、马氏体或它们的混合组织。

快速冷却装置后面还可以配备一个退火段, 以形成以下的工艺:

- (1) 高温烧结;
- (2) 渗碳, 形成含 0.5% C 的组织;
- (3) 快速冷却, 边缘形成马氏体;
- (4) 中断冷却并且在一固定温度保温, 发生等温转变使其它组织形成贝氏体。

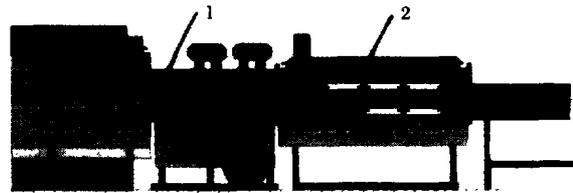


图 4 高温段或复碳段的尾部, 包括快速冷却与退火装置
1- 快速冷却装置; 2- 退火段

6 结论

复合高温烧结设备代表了烧结设备发展的先进水平。由于其独特的设计结构, 无论是从烧结温度、产量、气体消耗还是自动化程度来说, 都具有传统网带式炉及推杆式炉不可比拟的优势。它还提供了整合多个工艺步骤的灵活性, 不但可以用于传统粉末冶金制品的烧结, 而且可以用于粉末冶金不锈钢制品的烧结和金属注射成形制品的脱粘与烧结。

参考文献 (略)

[本文承德国克莱默热处理设备有限公司惠赠, 由德国克莱默有限公司北京办事处范晓钧高级工程师译, 特致谢意]

· 国外信息 ·

意大利粉末冶金平面齿轮组件在美获奖

中图分类号: TF125

文献标识码: D

美国粉末冶金总会于 2002 年 6 月 19 日在美国佛罗里达州奥兰多市举行的年会上颁发杰出成就奖予意大利微齿公司, 以表扬该公司在开发用于滚齿机, 带螺旋齿的粉末冶金平面齿轮组件的成就。

该项目由微齿公司独力开发, 有效替代传统磨床使用的直齿伞齿轮组件, 并大大地减低了机械中装配失误情况。该奖项肯定了粉末冶金技术在机械元件大批量生产方面的重要作用, 并表明了世界对微齿公司不断开发此专门齿轮技术的认可。今天, 微齿公司在全球中小型齿轮的大批量生产中有着举足轻重的作用。它凭藉其独特的经验, 将传统的钢材切割技术和最新的粉末冶金技术揉合、引发潜力, 在此范畴中实现了独一无二的效果。除了多年经验之外, 微齿公司有此成绩, 也归功于其研发部门致力测试粉末冶金齿轮的新用途。

耀星摘自《机械零部件世界》2003, (12)