

EB2PVD热障涂层皱曲问题研究进展*

何伶俐^{1,2}, 张 坤¹, 陈光南¹

(1 中国科学院力学研究所 先进制造工艺力学重点实验室, 北京 100190 2 中国科学院 研究生院, 北京 100190)

摘 要:热障涂层皱曲是指在高温循环载荷下陶瓷表层 粘结层界面甚至陶瓷层表面发生的凸起或凹陷现象。综合国内外最新的有关皱曲现象的报道, 系统地介绍了电子束物理气相沉积 (EB2PVD)热障涂层皱曲行为。综述了皱曲的特点、研究历史和研究进展, 从微观机理、研究方法和皱曲对涂层性能影响 3个方面进行了分析, 指出了可行的研究发展方向。

关键词:热障涂层; 皱曲; 电子束物理气相沉积 (EB2PVD); 柱状晶

中图分类号: TB 35 **文献标志码:** A

Investigation and Development of Rump ling of EB2PVD Thermal Barrier Coatings

HE Lingrong^{1,2}, ZHANG Kun¹, CHEN Guangnan¹

(1. Key Lab of Mechanics in Advanced Manufacturing Institute of Mechanics Chinese Academy of Sciences Beijing 100190, China 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100190, China)

Abstract Rump ling of thermal barrier coatings is the roughening phenomenon on the interface of ceramic top coat and bond coat or on the surface of top coat those are all under thermal cycling The rump ling behavior of electron beam2physical vapor deposition (EB2PVD) thermal barrier coatings was systematically introduced based on corresponding up to date reports at home and abroad The characteristics researching history and progress of rump ling were synthetically stated from aspects of micromechanism, researching methods and influence on the performance of coatings were also introduced The feasible studying trend was provided

Key words Thermal barrier coatings Rump ling Electron beam2physical vapor deposition (EB2PVD), Columnar grains

热障涂层 (Thermal Barrier Coatings, TBCs)是对处于高温环境下工作的构件表面覆盖一层具有一定强度和结合力的热障物质, 以保持构件的工作强度和高温抗腐蚀性能, 提高构件的使用寿命和工作效率^[1]为目的。TBC大量应用于航空航天领域, 在汽车、轮船等其他领域也有着广泛的应用前景。热障涂层有双层、多层和梯度层等结构形式, 目前广泛使用双层结构, 由缓解基体与表面涂层较大线膨胀系数差异的起过渡作用的粘结层 (Bond Coat, BC)和表面起隔热作用的陶瓷层 (Top Coat, TC)组成^[24]。在制备和使用过程中, BC和 TC之间会生成热氧化层 (Thermally Grown Oxide, TGO)。TBC系统的陶瓷层主要是 Y₂O₃稳定的 ZrO₂ (Ytria2Stabilized Zirconia, YSZ), 其中 Y₂O₃的质量分数为 0% ~ 8%, 粘结层采用 NiCrAlY、NiCoCrAlY等合金。

电子束物理气相沉积 (electron beam2physical vapor deposition, EB2PVD)和等离子喷涂 (plasma spray, PS)是热障涂层的 2种主要制备方法^[45]。为提高涂层与基体的结合性能, 在对 PS TBC进行喷涂之前需要通过喷砂、宏观粗化等方法对基体表面进行粗化处理。这种界面凹凸不平的形貌在结构服役之前已经存在, 而 TBC皱曲 (Rump ling)是在高温循环载荷下 TC/BC界面甚至 TC表面发生的凸起或

凹陷现象, 是塑性变形的积累, 如图 1、图 2 所示^[629]。

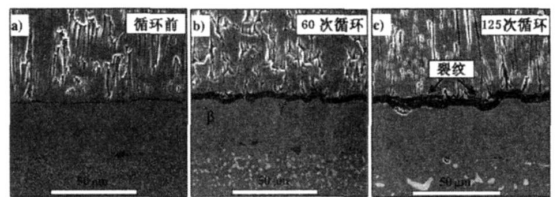


图 1 1150 °C热循环下 TBC 皱曲横截面图片

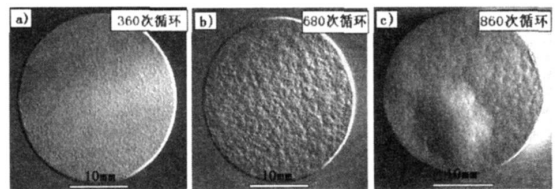


图 2 1100 °C热循环下 TBC 表面皱曲形貌变化

1985年 T. Manley针对涂层在热循环下表面变形提出皱曲 (rump ling)这一概念, 1987年 M. S. Farrell和 D. H. Boone在 1100 e 的循环试验中也得到了大量涂层表面皱曲的显微照片^[10]。在同一时期, Esteban P. Busso等运用 ABAQUS软件对 EB2PVD TBC进行的数值模拟^[11]对后来针对皱曲的数值分析具有重要指导意义。V. K. Topygo在 2000年首

次对循环氧化下皱曲行为进行了详细的分析^[12]。皱曲现象随着 20 世纪 80 年代电子束物理气相沉积在热障涂层上的应用备受关注, 由于 EB-PVD TBC 的皱曲直接影响了涂层的性能, 目前对此现象国内外已有大量的研究^[13216]。

1 EB-PVD TBC 皱曲的微观机理

EB-PVD 制备的陶瓷涂层组织为柱状晶结构, 柱状晶粒之间的孔隙为纳米尺寸分布, TC 层能在一定程度上顺应 BC 表面的变化, 从而容易出现皱曲。柱状晶生长方向与热梯度方向平行, 使导热系数略高, 但与等离子喷涂制备的层状结构相比, 这种结构能极大地提高热应变容限和抗热震性能, 抗剥落寿命能提高 7 倍以上, 同时成本较高。

大量试验对 EB-PVD TBC 皱曲的微观形貌以及影响因素进行了研究。粘结层表面皱曲之前, TC 柱状晶垂直于界面整齐排列, 部分柱状晶优先生长到达结构表面, 界面处晶粒变细变短, 仍然垂直于 TC/BC 界面^[17]。在多次高温热循环以后, TBC 粘结层表面出现曲率随机变化的凸起凹陷情况, 氧化层增厚, 皱曲振幅在 7 μm 以上^[18], 波长达到 130~345 μm^[14]。陶瓷层柱状晶不再全部垂直于界面, 晶粒出现不同角度的倾斜, 部分晶粒出现细化或折断, 同时可能出现表面裂纹和界面裂纹, 如图 3 所示。

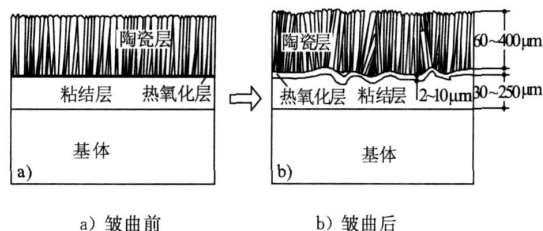


图 3 EB-PVD TBC 皱曲横截面示意图

这种在热循环作用下形成波动表面的行为也被称之为起皱 (Wrinkling)^[1920] 或棘轮效应 (Ratcheting)^[21]。前者主要针对小扰动下基体上薄涂层或薄膜的小波动行为, 一般情况下振幅很小, 波长小于自由状态薄膜屈曲 (Buckling) 波长。而棘轮效应是各种形式皱曲 (Rumpling) 内在机制的一种描述方式, 是指塑性性质随着温度循环在同一方向的积累。棘轮效应能诱导小皱褶或皱曲, 但由于 TBC 皱曲的幅值和涂层内部应力不会无限连续增长, 棘轮效应并不能完全解释这种现象。

皱曲的形成与构件几何参数、材料性能、使用工况等多方面因素有关。高温氧化和热循环是明显皱曲形成的前提条件^[22], 当结构置于恒温 1150 e 环境若干小时后不会发生明显皱曲。热循环最大温度高于 1100 e 时皱曲明显, 皱曲程度与热循环时间、

高温热保持时间密切相关, 波长随热循环次数增加而减小。界面初始不平整、涂层厚度、TGO 的生长厚度等几何因素都影响皱曲幅值和波长。粘结层厚度为 100 μm 左右时皱曲幅度达到最大, 而皱曲波长随粘结层厚度变化较小。但是表面几何不平整不是发生皱曲的必要条件, 而且皱曲行为也能在没有氧化的真空条件下发生, 因此氧化层厚度不是影响皱曲的主要因素。另外, 粘结层内应力驱动表面扩散等机制都将引起皱曲。

2 皱曲研究方法

2.1 计算几何模型

由于热障涂层皱曲后粘结层表面特殊的几何形貌, 在对 TBC 皱曲问题进行研究时必须建立合理的分析模型。如图 4 所示, 广泛采用的计算模型分为 3 类。

1) 圆柱壳模型^[2325]: 这是在理论分析时大量使用的简化模型, 如图 4a 所示, 最里层为实心或空心。考虑氧化层且界面形貌为凸起时, 由外到内各层分别代表陶瓷层 (TC)、氧化层 (TGO)、粘结层 (BC) 和基体 (substrate); 界面凹陷时, 由外到内各层分别代表基体、粘结层、氧化层和陶瓷层。这类模型对温度场、应力场和位移场的计算更简便, 能从理论上定性地预估界面形貌对结构的影响。

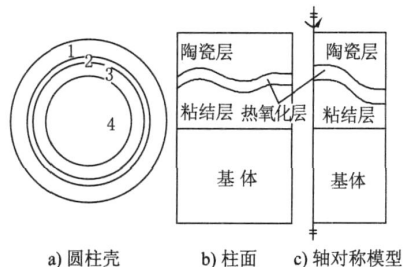


图 4 TBC 皱曲计算的典型模型

2) 皱曲表面为柱面^[2628]: 如图 4b 所示, 假设皱曲表面为凹凸的柱面, 横截面为正弦、余弦曲线、圆弧、方波或各类曲线的组合, BC/基体界面、TC 表面仍为平面。这是在数值模拟中最典型的二维简化模型, 在计算中采用平面应变假设, 能有效模拟带状皱曲特征。根据平面应变假设, 在垂直于横截面的方向上应变为零, 这与实际情况有一定差距, 误差较大。

3) 轴对称模型^[2930]: 这种模型针对单个皱曲微观结构, 如图 4c 所示, 虽然不能从整体上分析皱曲时各微观结构的相互作用, 但模型与实际存在的对称凹凸形貌比较接近, 能够较准确地模拟微观特性。

2.2 试验分析与数值模拟

采用第 3 代 EB-PVD 工艺的 TBC 系统大量用

于导向叶片、涡轮叶片等高温动态部位,在服役 15 000 h 以后发生明显蠕变和皱曲^[31]。对皱曲现象的研究大量采用试验方法,通过改变各种试验条件进行分析。同时可以通过 X 射线衍射 (XRD)、钻孔法、悬臂梁法、拉曼光谱法 (MicroRaman Spectroscopy)^[32]、PLPS (PhotoStimulated Luminescence Piezo Spectroscopy)^[33] 等测量涂层内残余应力,采用超声波测定法、粘强拉伸法、界面压入法、悬臂梁法和三点弯曲法测量结合强度。热震试验 (Thermal Shock Test)^[34] 和声发射监测能够有效跟踪皱曲行为的发展、裂纹的发生及整个失效历程,也可以通过四点弯曲等方法研究涂层力学性能。

数值模拟是对 EB-PVD TBC 皱曲进行研究的另外一个重要方面,通常利用 ANSYS、ABAQUS 等 CAE 软件进行分析。模型建立、塑性参数、蠕变、疲劳参数、基本假设的使用等是数值计算结果能否有效模拟实际皱曲行为的关键因素,其中,BC 采用弹塑性模型,TC 设置各向异性参数能更准确地模拟实际情况^[35]。由于有弹塑性、裂纹、随温度变化的材料性能等的影响,计算量大,计算时间长,因此往往要对数值计算模型和受载过程进行简化,通常设置初始界面形貌,改善 TGO 膨胀选项,模拟少量的热循环次数或单调的降温过程。

3 皱曲对热障涂层性能的影响

热障涂层在热循环作用下发生皱曲对涂层性能的影响主要表现在微观结构、隔热性能、应力分布、变形、疲劳寿命、蠕变、裂纹萌生和扩展、涂层剥落等方面。当整体结构受热循环载荷时,如果 TC 强度较弱,则抑制不住 BC 表面的膨胀或收缩,易发生皱曲现象;当 TC 强度太大时,皱曲现象减弱的同时在界面更易出现开裂。

TBC 皱曲使得界面出现凹凸,界面不平整将引起沿涂层厚度方向的应力,涂层内应力分布不均匀,最大等效应力发生在凸起最高点或凹下最低点附近,如图 5 中箭头所示

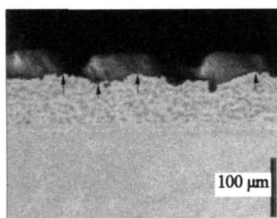


图 5 TBC 陶瓷层脱落

区域。TBC 中应力应变随几何尺寸、初始条件等变化较大,且在热循环之前涂层内必然存在工艺引起的初始残余应力^[36]。TGO 中平均压应力随热循环次数增加而减小,最大值达到 2 GPa 以上。

一般认为 EB-PVD TBC 系统失效是由于 TGO 内部或 TGO/BC 界面裂纹扩展引起涂层剥落,且由残余压应力引起,残余拉应力只导致横向裂纹,不导

致涂层脱落。陶瓷层经循环高温氧化后变得疏松,柱状晶粒间空隙增大形成微裂纹并不断扩展。随热循环次数增加裂纹增多汇合,最终导致大尺度屈曲和脱落,在 TGO/TC 界面和 TGO/BC 界面都将出现裂纹,粘结层表面不规则形貌的形成将导致在界面裂纹处出现空洞,使陶瓷层脱落^[3728]。图 5 为 TC 部分剥落的典型图片。

研究表明,基体合金对 TBC 寿命起重要作用^[39]。热震条件下,温度低于 1 050 e 时热障涂层不易剥落。温度越高,结构寿命越短。可以通过对粘结层退火或表面精加工延长 TBC 寿命。

4 结语

EB-PVD 热障涂层 (EB-PVD TBC) 皱曲是一个复杂的热、力学过程,涉及到几何参数、材料参数、塑性性能参数、蠕变参数、微观结构等多方面的影响。前提条件不同可能导致不一致的结论,例如对于 TGO 中的应力分布,有研究表明皱曲的加剧使 TGO 中应力随循环次数增加单调减小,同时 Swetha Sridharan 等认为 TGO 内失效力不受热循环时间和温度的影响。对于微观晶粒对涂层性能的影响,氧化层中出现的 NiO 及尖晶石对陶瓷层的抗剥落能力的影响也有着大量的研究。氧化层微观变化可能引起应力集中,氧化物长大应力、相变应力等因素会导致热障涂层失效^[40],同时 TGO 中局部的尖晶石并不会影响 TBC 寿命。

目前对皱曲行为的认识也在逐步深化,但是现有的研究还不够完善,有待从以下几个方面进行深入研究以提高 EB-PVD 热障涂层的性能。

1) 皱曲过程中应力应变状态对 EB-PVD TBC 陶瓷层柱状晶形貌变化和皱曲的影响。

2) 建立完善的分析模型,从系统表面能、化学势等角度深入研究,通过试验对比校正理论分析。

3) 由于涂层制备时沉积厚度及基体旋转速度等都对 TC 层微观形貌有重要影响^[41],已有文献主要集中在不考虑陶瓷层时皱曲的研究。因此进行数值模拟时需要合理确定复杂的参数形式,区分 EB-PVD 与 APS、CVD 等其他工艺引起皱曲的差别,考虑初始残余应力等其他复合因素的影响。

4) 当 TC 较薄时,BC 层的皱曲会导致 TC 表面形貌改变。同时由于 TC 的抑制作用,皱曲发生一段时间后趋于稳定。因此需要对 EB-PVD TBC 皱曲和失效的影响因素和机制进行综合评估。

5) 通过皱曲行为对 TBC 性能影响的深入分析,力求从材料、工艺、结构等方面入手抑制或延缓有害的皱曲现象的发生。

参考文献

- [1] 范兵, 张津, 易树平. 热障涂层及其热应力的研究现状 [J]. 重庆工学院学报, 2003, 17(4): 16218
- [2] 张红松, 徐强, 王富耻, 等. ZrO_2 基热障涂层陶瓷材料研究进展 [J]. 宇航材料工艺, 2007 (3): 125
- [3] 王利强, 阎殿然, 何继宁, 等. 热障涂层研究状况及进展 [J]. 新技术新工艺, 2002(3): 34236
- [4] 刘海浪, 王宝健, 刘永丹, 等. 热障涂层的研究现状与进展 [J]. 新技术新工艺, 2008(5): 92295.
- [5] 梁波, 陈煌. 氧化锆涂层 (薄膜) 的应用与研究 [J]. 硅酸盐通报, 2003(6): 63267
- [6] Madhwal M, Jordan E H, Gell M. Failure mechanisms of dense vertically cracked thermal barrier coatings [J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 384(122): 1512161.
- [7] Tolpygo V K, Clarke D R. On the rump ling mechanism in nickel alum inide coatings Part I an experimental assessment [J]. Acta Materialia 2004 52(17): 511525127
- [8] WEN Mei, Jordan E H, Gell M. Effect of temperature on rump ling and thermally grown oxide stress in an EB2PVD thermal barrier coating [J]. Surface & Coatings Technology 2006 201(6): 328923298
- [9] Yanar N M, Pettit F S, Meier G H. Failure characteristics during cyclic oxidation of yttria2stabilized zirconia thermal barrier coatings deposited via electron beam physical vapor deposition on platinum alum inide and on NiCoCrAlY bond coats with processing modifications for improved performances [J]. Metallurgical and Materials Transactions 2006 37A: 156321580.
- [10] Farrell M S, Boone D H. Oxide adhesion and growth characteristics on platinum2modified alum inide coatings [J]. Surface and Coatings Technology 1987 32(124): 69284
- [11] Busso E P, McClintock F A. Stress2strain histories in coatings on single crystal specimens of a turbine blade alloy [J]. International Journal of Solids and Structures 1988 24(11): 111321130
- [12] Tolpygo V K, Clarke D R. Surface rump ling of a (Ni Pt)Al bond coat induced by cyclic oxidation [J]. Acta materialia 2000, 48(13): 328323293.
- [13] Woodruff D P, Robinson J. Some structural issues in surface alloys and alloy surfaces rump ling stacking faults and dislocation order [J]. Applied Surface Science, 2003, 219(122): 1210.
- [14] Panat R, ZHANG Suli, Hsia K J. Bond coat surface rump ling in thermal barrier coatings [J]. Acta Materialia 2003 51(1): 2392249.
- [15] Tolpygo V K, Clarke D R. Rump ling induced by thermal cycling of an overlayer coating the effect of coating thickness [J]. Acta Materialia 2004, 52(3): 6152621.
- [16] 刘云川, 李志华, 李爱明. 热障涂层皱曲的力学模型研究进展 [J]. 材料导报, 2008, 22(9): 61264
- [17] Kim S S, Liu Yufu, Kagawa Y. Evaluation of interfacial mechanical properties under shear loading in EB2PVD TBCs by the pushout method [J]. Acta Materialia 2007, 55(11): 377123781
- [18] Balint D S, XU T, Hutchinson JW, et al. Influence of bond coat thickness on the cyclic rump ling of thermally grown oxides [J]. Acta Materialia 2006, 54(7): 181521820
- [19] In SH, HUANG R. Ratcheting2induced wrinkling of an elastic film on a metal layer under cyclic temperatures [J]. Acta Materialia 2004, 52(12): 370723719.
- [20] HUANG R. Kinetic wrinkling of an elastic film on a viscoelastic substrate [J]. Journal of Mechanics and Physics of Solids 2005 53(1): 63289
- [21] Mumm D R, Evans A G, Spitsberg IT. Characterization of a cyclic displacement instability for a thermally grown oxide in a thermal barrier system [J]. Acta Materialia 2001, 49(12): 232922340
- [22] Tolpygo V K, Clarke D R. Morphological evolution of the thermal barrier coatings induced by cyclic oxidation [J]. Surface and Coatings Technology 2003, 1632164: 81286
- [23] ZHOU Y C, Hashida T. Coupled effects of temperature gradient and oxidation on thermal stress in thermal barrier coating system [J]. International Journal of Solids and Structures, 2001, 38(2425): 423524264
- [24] ZHANG X C, XU B S, WANG H D, et al. Effects of oxide thickness, Al_2O_3 interlayer and interface asperity on residual stresses in thermal barrier coatings [J]. Materials and Design, 2006 27(10): 9892996
- [25] Bas M. Finite element analysis of stress distribution in thermal barrier coatings [J]. Surface & Coatings Technology 2008 202(24): 600226010
- [26] Bhatnagar H, Ghosh S, Walter M E. Parametric studies of failure mechanisms in elastic EB2PVD thermal barrier coatings using FEM [J]. International Journal of Solids and Structures 2006 43(14215): 438424406
- [27] 高西亚, 徐颖强, 柳卫东. 热障涂层在多次热循环作用下残余应力的模拟 [J]. 机械设计与制造, 2007(6): 77279.
- [28] 王洪, 张坤, 陈光南. 界面形貌对热障涂层界面残余应力影响的数值模拟 [J]. 金属热处理, 2001, 26(9): 44246
- [29] Martena M, Botto D, Fino P, et al. Modelling of TBC system failure Stress distribution as a function of TGO thickness and thermal expansion mismatch [J]. Engineering Failure Analysis 2006, 13(3): 4092426
- [30] Ranjbar2Far M, Absi J, Mariaux G, et al. Simulation of the effect of material properties and interface roughness on the stress distribution in thermal barrier coatings using finite element method [J]. Materials and Design, 2010, 31(2): 7722781.
- [31] Bose S, Demas2Marcin J. Thermal barrier coating experience in gas turbine engines at Pratt & Whitney [J]. Journal of

[32] Tanaka M, Kitazawa R, Tomimatsu T, et al Residual stress measurement of an EB2PVD $Y_2O_3/2ZrO_2$ thermal barrier coating by microRaman spectroscopy[J]. Surface & Coatings Technology 2009, 204(5): 6572660

[33] Sridharan S, XIE Liangde, Jordan E H, et al Stress variation with thermal cycling in the thermally grown α oxide of an EB2PVD thermal barrier coating[J]. Surface and Coatings Technology 2004, 179(223): 2862296

[34] 沈金文, 吕广庶, 马壮, 等. 在热震试验中热障涂层的裂纹形成和扩展 [J]. 新技术新工艺, 2002(4): 39241

[35] Hille T S, Suiker A S J, Turlettaub S M microcrack nucleation in thermal barrier coating systems[J]. Engineering Fracture Mechanics 2009, 76(6): 8132825

[36] Johnson C A, Ruud J A, Bruce R, et al Relationships between residual stress, microstructure and mechanical properties of electron beam2physical vapor deposition thermal barrier coatings[J]. Surface and Coatings Technology 1998, 1082109 (12 3): 80285.

[37] Vaidyanathan K, Jordan E H, Gell M. Surface geometry and strain energy effects in the failure of a (Ni Pt)Al/EB2PVD thermal barrier coating[J]. Acta Materialia 2004, 52(5): 11072

[38] LIH efei GUO Hongbo GONG Shengkai Failure mechanism of EB2PVD thermal barrier coatings on NiAl substrate[J]. Trans Non ferrous Met Soc China 2007, 17(4): 8112815.

[39] Schulz U, Fritscher K, Ebach2STAHL A. Cyclic behavior of EB2PVD thermal barrier coating systems with modified bond coats[J]. Surface & Coatings Technology 2008, 203(527): 4492455.

[40] 李美姮, 孙晓峰, 张重远, 等. EB2PVD热障涂层热循环过程中粘结层的氧化和相结构 [J]. 金属学报, 2002, 38(1): 79283

[41] JANG B K, Matsubara H. Microstructure of nanoporous yttria2stabilized zirconia films fabricated by EB2PVD[J]. Journal of the European Ceramic Society 2006, 26(9): 158521590.

* 国家自然科学基金重点项目 (50531060)及面上项目 (50471087)

作者简介: 何伶俐 (1985), 女, 硕士生, 研究方向为表面与界面改性。

收稿日期: 2009年 11月 16日

责任编辑 王亚昆

曼胡默尔携电火花滤清器亮相 CCMT 2010

2010年 4月 12日,曼胡默尔在南京国际博览中心举办的第六届中国数控机床展览会 (CCMT 2010)上展示了一系列电火花滤清器。凭借其在滤清行业的专业经验,曼胡默尔可以让机床能耗更低、寿命更长和维护成本更低。

曼胡默尔每年投入大量的人力和财力进行滤材研发,并与高端电火花加工机床厂结成了紧密的合作关系,这使得曼胡默尔可为客户提供适合行业应用的品种齐全、过滤效果好、稳定性高的滤清产品。

曼胡默尔的滤清器具有非常高的过滤效率,因此可以减少对机床的磨损,延长机床寿命,降低维护成本,从而大大降低了使用者的运营成本。此外,由于加工液中颗粒少、浊度低,导电率低,保证了放电的经济性和有效性,为提高机床的切割速度创造了条件。

尽管绝大部分机床厂商推荐更换过滤器的压差在 2.8巴以下,但曼胡默尔过滤器能够短暂承受 3巴的压差。过滤精度的稳定大大减轻了树脂的负荷,延长了树脂寿命,从而减少了机床对树脂的消耗量。此外,曼胡默尔先进而独特的粘胶工艺使滤芯可直接插入热熔塑料端盖成形,由此提高了成品的稳定性。由于曼胡默尔滤清器的初始压差非常小,可降低循环泵的负荷,有助于减少能源消耗。同时,曼胡默尔采用了现代的开发和制造工艺,注重环保性和可回收性。

曼胡默尔中国区董事总经理 Patrick Cudmore先生表示:“中国已经成为世界最大的机床生产国之一。作为滤清行业的领导者,曼胡默尔一直非常重视中国市场。我们为中国客户提供高性能产品和服务,并希望通过我们强大的技术创新能力为打造清洁环境做出积极的贡献。”

创新和环保是曼胡默尔的重要战略。该公司每年投入总销售额的 4%用于研发领域。此外,曼胡默尔认真履行环保制造商的职责,致力于环境管理系统的贯彻执行以持续改进产品。目前,曼胡默尔全球已经有 23个工厂通过了 ISO 14001环保标准认证。

自 1996年进入中国以来,曼胡默尔一直非常重视在中国市场的发展。曼胡默尔嘉定新厂在严峻的经济形势下依然于 2010年 1月如期竣工,位于上海浦东的办公室和宝山工厂已于日前正式搬入嘉定厂。这一全新、多功能的嘉定厂将成为曼胡默尔在中国的总部、生产基地和研发中心,体现了曼胡默尔对中国的长期承诺。