

热喷涂层的金相制备

Application Notes

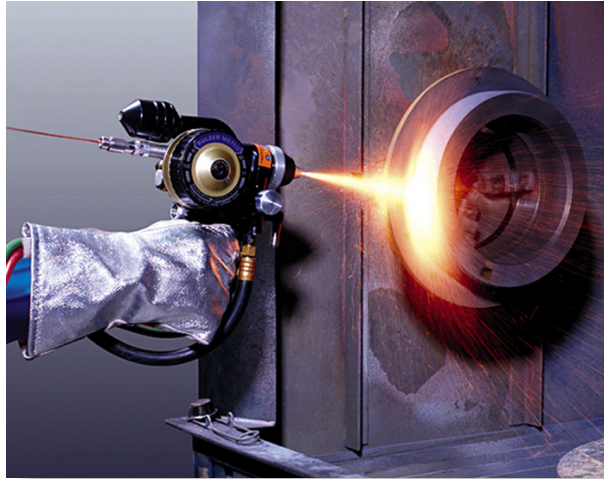
热喷涂发明于 20 世纪初期,当时使用锌对基板进行“金属化”,以获得防腐蚀保护。在 20 世纪 50 年代后期和 60 年代,等离子喷枪的出现使得使用陶瓷和难熔金属等高温材料作为涂层材料具备商业可行性。如今,除了火焰和等离子喷涂,热喷涂方法包括针对最多样化和严苛要求的应用,使用大量不同的喷涂材料进行高速和爆炸喷涂。

对基板应用热喷涂层可提供其原本不具备的特定表面质量。这样,零件的块体强度是通过基板赋予的,涂层则添加出色的表面质量,例如耐腐蚀、耐磨损和耐热。

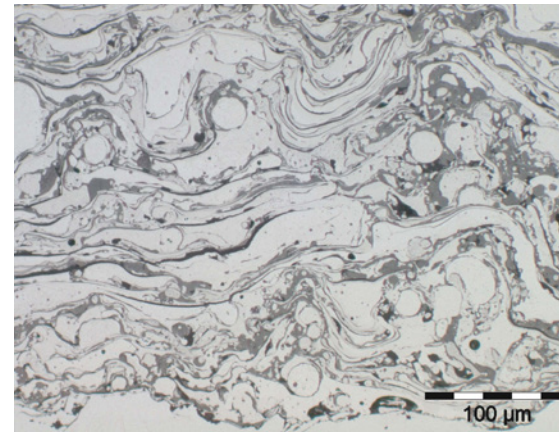
因此,热喷涂层广泛应用于航空航天和发电行业,为喷射引擎、燃气涡轮机、压缩机和泵提供全新和翻新的型材及零件。一些涂层的特性只能通过热喷涂获得,主要使用金属、陶瓷、碳化物和复合材料以及不同材料的混合物。

热喷涂层的金相学可具有多种用途:

- 定义、监控和控制喷涂条件,以实现质量控制
- 失效分析
- 开发新产品。



过程通常涉及涂覆测试取样片,以定义和优化待喷涂零件的流程。然后对该测试取样片的截面进行金相制备和检查,以评估涂层厚度、孔隙、氧化物和裂缝的尺寸与分布、对基底材料的附着性、交界面污染以及是否存在未熔颗粒。



电弧金属喷涂层,显示灰色氧化物和圆形未熔颗粒。

金相制备过程中的难点

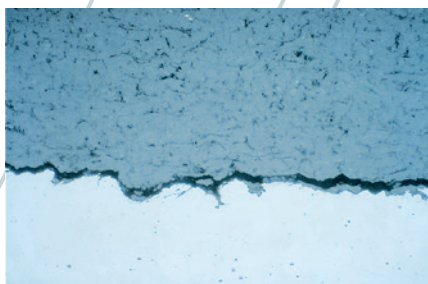
切割:因夹持样品和使用粗切割轮造成涂层中出现裂缝;
与基板层离

镶样:镶嵌树脂渗透不足

研磨和抛光:由于软材料拖尾和脆性材料凸起,难以确定和评估真实孔隙率

解决方法:

- 精密切割
- 使用环氧树脂进行真空浸渍
- 热喷涂层的标准化可再现制备方法



等离子涂层与基板之间的裂缝。裂缝源于切割 500x

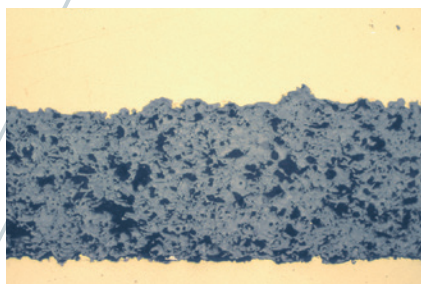


图 1:陶瓷喷涂层,抛光不足 200x

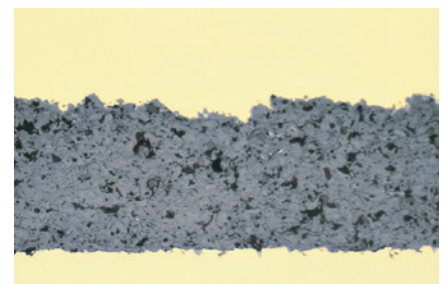
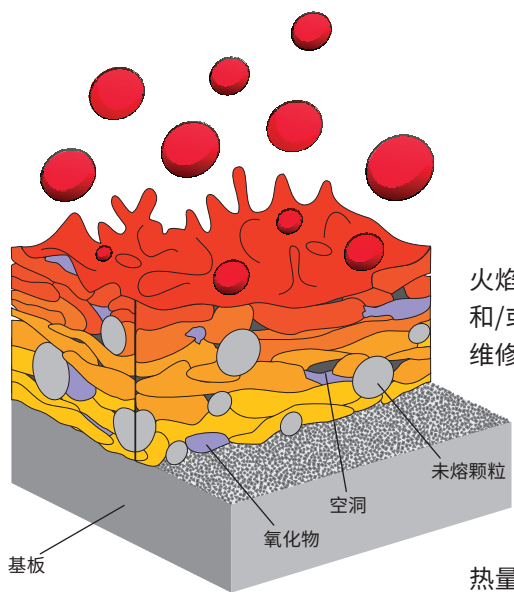


图 2:与图 1 相同的涂层,正确抛光 200x

热喷涂层的喷涂方法和应用



在喷涂工艺中,涂层材料(线材或粉末)在喷枪的高温热源下熔化,通过火焰或等离子射流加速,然后投射到基板上。熔融和半熔融的颗粒流撞击到基板上,从而形成涂层。当颗粒击中工件时,便以机械方式固定到表面上,快速变形并冷却。单个颗粒通过机械互锁进行结合,在一些情况下通过冶金结合或扩散进行结合。高速颗粒可得到更好的结合效果并提高涂层密度。为了良好地附着到基板上,必须通过喷砂处理使表面变粗糙并进行彻底脱脂和清洁,之后才能进行喷涂。

不同喷涂技术显示出不同的热源温度和不同的颗粒速度,对于具体应用,需要将这两方面与经济因素综合考量。下文简要描述了主要的喷涂技术,并介绍了所产生涂层的一些最常见应用:

火焰喷涂是最古老的热喷涂层应用方法。涂层材料是被送入氧燃气体火焰中的线材或粉末。熔融和雾化的颗粒通过喷枪喷嘴以定向流的方式喷出。由于颗粒速度相对较低,氧暴露增加,因此这些涂层中的氧化物含量相对较高(图3);附着性和密度适中(可以通过后续熔合来提高密度)。

火焰喷涂层用于结构和元件的防腐蚀和/或防磨损保护,表面堆积和磨损轴维修,以及涂覆小零件和点状物。

电弧喷涂使用两个由涂层材料制成的连续可消耗丝状电极之间电弧的热量来熔化线材。线材在压缩空气的射流前方相交。随着电弧的热量熔化线材,压缩空气将涂层材料的熔融液滴吹到基板上。

高电弧温度和颗粒速度为该涂层提供优于火焰喷涂层的粘结强度和密度。然而,由于使用压缩空气,因此电弧喷涂层所含的氧化物比例更高(图4)。

弧线喷涂的优势在于高沉积率,因此该方法适合大面积或大量生产应用:喷涂具有抗腐蚀锌或铝涂层的桥梁和近海结构等大型结构、工程构件回收再利用以及喷涂具有铜或铝导电涂层的电子元件。

在爆炸喷涂中,少量碳化物粉末、可燃气体和氧气被引入密闭管道并爆炸。爆炸以多倍声速的速度喷出粉末,并以极高的动能将粉末射到工件上。这些涂层具有出色的密度、完整性和基板附着性。鉴于工艺条件,该方法仅限于施加碳化物涂层,主要在航空航天工业中作为耐磨损涂层。

层形成原理

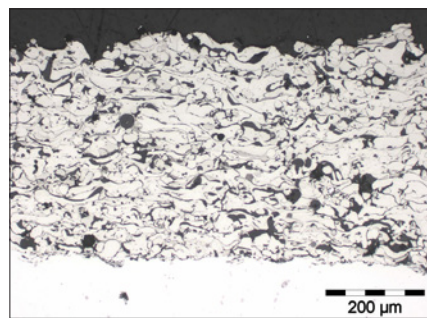
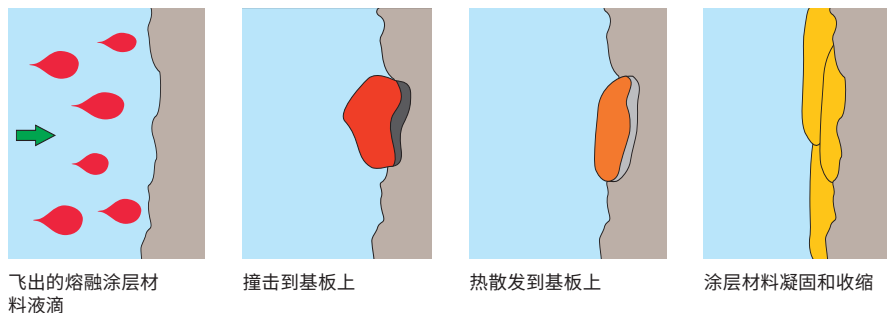


图3: 火焰喷涂层;Ni5Al



使用钨进行火焰喷涂的黄铜同步环,以提高耐磨性

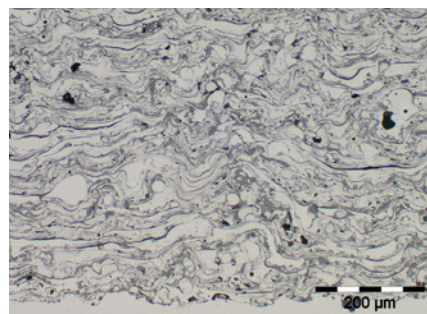


图4: 电弧丝喷涂金属涂层 FeCrSiNi 和 Mn

在高速氧燃料喷涂(HVOF)中,可燃气体和氧气被送入腔室,在其中燃烧产生超音速火焰,迫使喷嘴向下,从而提高其速度。涂层材料粉末被送入该气流,当击中基板时颗粒的超快速度形成非常密集、牢固的涂层(图5)。击打基板时,即使颗粒没有完全熔融,颗粒的超高动能也可确保足够的机械结合。因此该喷涂方法尤其适合喷涂带有碳化物的涂层。

热喷涂层的制备难点

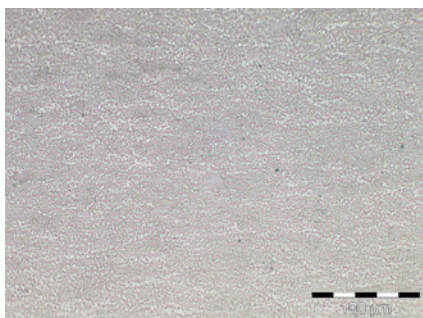


图 5: WC/12Co 的 HVOF 涂层



具有 APS 热障涂层、粘结涂层 NiCrAlY、表面涂层 ZrO₂+Y₂O₃ 的燃烧室

典型应用包括空气引擎涡轮机部件和阀门上的碳化钨涂层, 以及具有抗氧化性能的镍铬涂层。

等离子喷涂是最常见的热喷涂方法, 作为大气等离子喷涂 (APS) 应用或在受控的大气条件下喷涂。阴极与喷枪的环列喷嘴之间形成电弧。沿着电极的高流速气体混合物被电弧电离, 从而形成等离子。该等离子流被推出喷嘴, 涂层材料粉末在喷嘴中被注入等离子射流。等离子射流的热量和速度使颗粒快速熔化并加速, 从而将颗粒推进到基板上并形成涂层。等离子涂层的结构密度比火焰喷涂层大 (比较图 3 和图 6)。等离子喷涂的优势在于可以喷涂陶瓷或难熔金属等高熔点材料。这是一种通用型喷涂方法, 可产生高质量涂层, 适

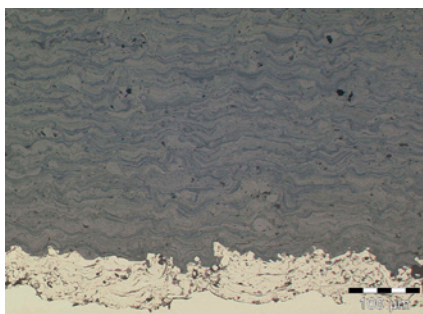
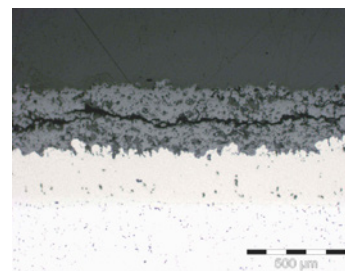


图 6: APS 涂层与 NiCr 粘结涂层和氧化钛表面涂层

合多种应用, 包括牵引表面上的涂层, 涡轮机燃烧室、叶轮和叶片上的热障涂层, 植入物的生物相容羟基磷灰石涂层以及印刷辊上的陶瓷涂层。

切割: 夹持带有喷涂层的工件以将其切开可导致脆性涂层出现裂缝或压缩非常柔软的涂层。

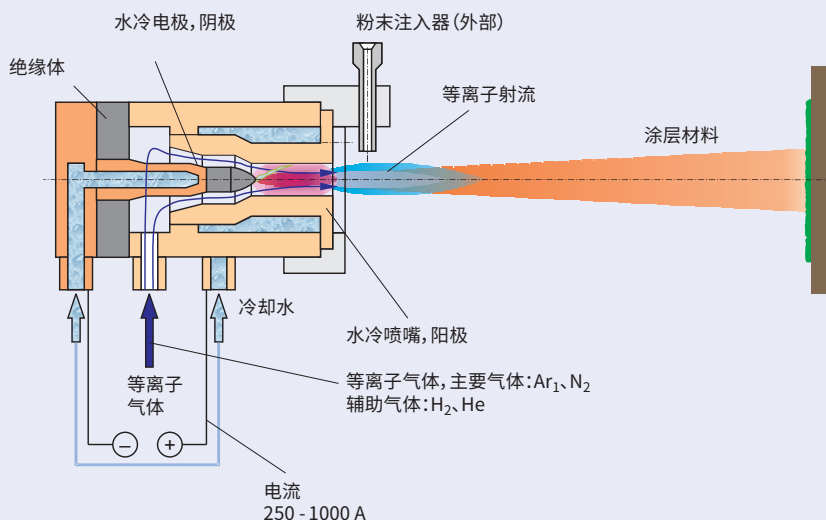


切开时出现裂缝

镶样: 具有高收缩率的冷镶嵌树脂可导致涂层损坏且基板附着性较差; 由于收缩间隙, 树脂不支持涂层, 从而可导致涂层在研磨和抛光过程中层离。

研磨和抛光: 倒角可导致抛光不均匀, 从而在后续错误地解读涂层密度 (图 7)。涂层与基板之间的起伏形成这可能被错误解读的阴影 (图 8)。

对于以金相方式制备的喷涂层, 如何评估真实的孔隙率仍然有争议, 因为如果未正确执行金相研磨和抛光, 可能引入不应在涂层结构中出现的人为失误。例如, 在金属或金属/陶瓷涂层中, 较软的



等离子喷枪的示意图

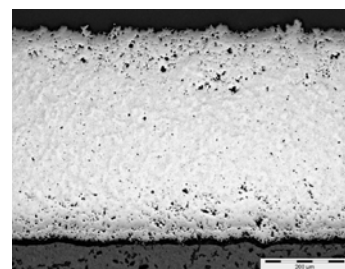


图 7: 不正确的抛光导致涂层中间的孔隙率较小

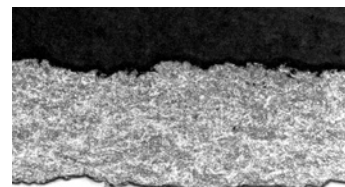
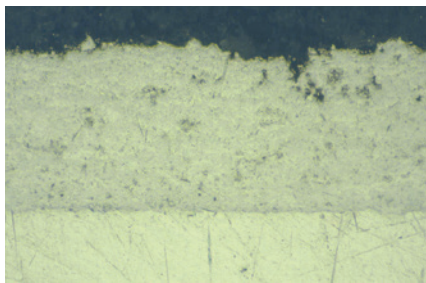
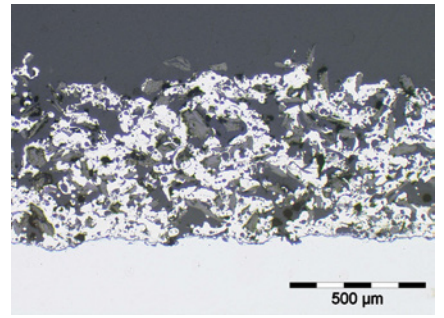
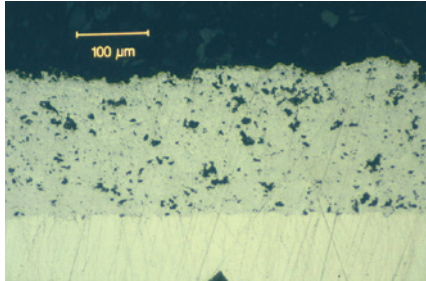


图 8: 通过起伏抛光的 WC/Co 喷涂层, 树脂/涂层界面出现暗线。可导致错误解读。

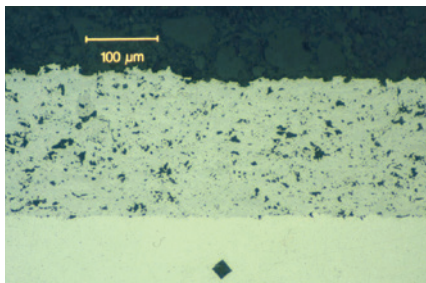
具有 15% 石墨的镍火焰
喷涂层



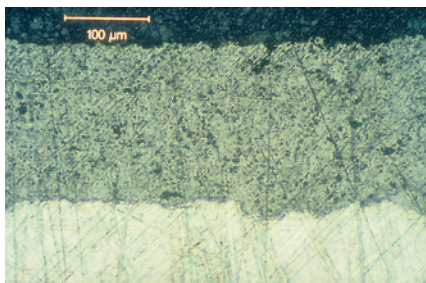
a) 精磨后的金属喷涂层



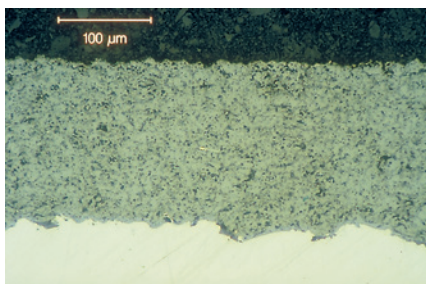
b) 与 a) 相同的涂层, 使用 3 μm 工具进行抛光



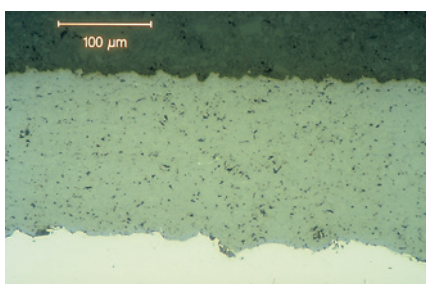
c) 与 b) 相同的涂层, 最终抛光之后



d) 精磨后的陶瓷喷涂层



e) 与 d) 相同的涂层, 使用 3 μm 工具进行抛光



f) 与 e) 相同的涂层, 最终抛光之后

金属在研磨过程中进入孔隙, 如果未适当抛光, 可能掩盖真实的孔隙率(参见图 a-c)。相比之下, 陶瓷涂层较脆, 颗粒在研磨过程中离开表面。如果未彻底抛光, 这些离开的颗粒将给人留下孔隙率高的错误印象(参见图 d-f)。

关于热喷涂层的制备建议

由于存在许多不同的喷涂材料并且有时材料的组合不同寻常, 因此了解正确的喷涂和基板材料十分重要。这有助于评估材料在经历机械磨损时的行为。由于不同喷涂工艺产生不同的涂层密度和结构, 因此为了预估预期的孔隙度和氧化物含量, 了解在具体样品使用的喷涂方法将有所帮助。

切割: 切割轮的选择基于基板材料, 基板材料通常为金属。较松散结合(软)的切割轮优于密集结合(硬)的切割轮, 因为硬切割轮将拖出涂层的脆性颗粒。在切割具有陶瓷涂层的零件时, 这一点尤为重要。即使涂层为陶瓷, 其仅构成总横截面积的一小部分, 不需要使用金刚石切割轮进行切割。通常可使用较软的氧化铝切割轮切开。如果陶瓷涂层非常厚且密集, 则可使用树脂粘结金刚石切割轮作为替代工具。

夹具与样品之间具有一片薄的聚苯乙烯泡沫有助于保护脆性涂层和极软涂层免遭损坏。



在切割除测试取样片以外的工件时, 例如用于失效分析的样品, 务必确保将工件夹持到切割机上, 以使切割轮朝基板方向切入涂层, 而不是从基板方向切入涂层。由于涂层结合主要是机械结合, 因此切割轮的拉力可导致涂层与基板层离。

尤其对于脆弱或薄的涂层, 首先可使用冷镶嵌环氧树脂对涂层进行真空浸渍, 然后切割并重新镶嵌微观切片以进行研磨和抛光。这将确保在切开过程中对涂层提供最大支持。

涂层在最终抛光之后出现的裂缝不一定是由于切割造成的。建议重新研磨和抛光样品。如果裂缝是由于切割造成的, 通常将消失, 如果是涂层中固有的, 将重新出现或出现在涂层的其他部分。

镶样: 建议使用环氧树脂

(ProntoFix、EpoFix、CaldoFix-2) 进行冷镶嵌, 因为在热压缩镶样过程中, 喷涂层极易受损(图 9 和图 10)。

一般来说, 建议对所有涂层进行真空浸渍。由于开口孔隙度和孔洞之间的相互连接程度不同, 浸渍深度也不尽相同。多孔涂层比高密度涂层更易浸渍, 孔隙度小于 10% 的涂层无法成功浸渍。由于很难将填充有透明或半透明镶嵌树脂的空洞与涂层的结构元素区分开来, 因此将荧光染料(Epodye)混入冷镶嵌树脂是有帮助的。在显微镜下使用长通蓝色滤光器和短通橙色滤光器观察时, 荧光染料将这些已通过浸渍填充有树脂的空洞染成黄色(图 11 和图 12)。

遗憾的是, 该方法并非总是适用于陶瓷涂层, 因为陶瓷呈半透明, 整个涂层呈荧光色。



研磨和抛光: 一般

情况下, 平面研磨应首先使用尽可能精细的碳化硅箔/砂纸, 以避免因脆性颗粒破裂而形成人为孔隙。如果陶瓷涂层非常密集或厚, 则属例外情况, 此时使用金刚石(例如 MD-Piano 220)进行平面研磨将更有效。对于需要整体检查

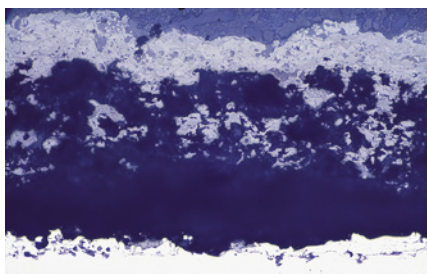


图 9: 由于热压缩镶样对陶瓷喷涂层造成的损坏 200x

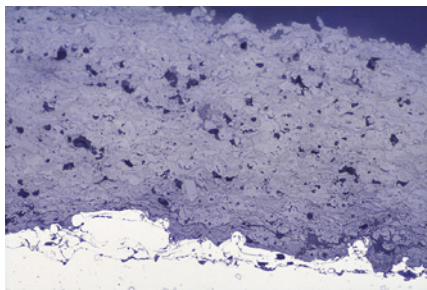


图 10: 与图 9 相同的涂层, 冷镶嵌 200x

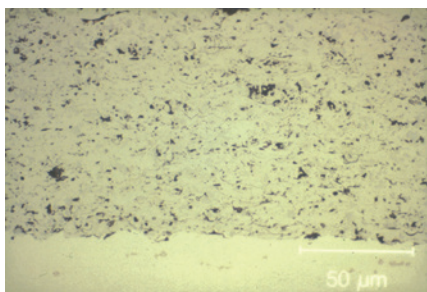


图 11: 明场中的 WC/Co 等离子涂层

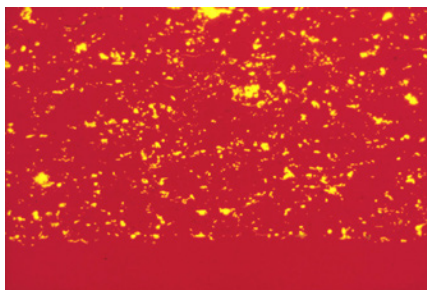


图 12: 与图 11 相同的涂层, 在荧光灯下

的大量样品或大型零件, 优选使用石头进行平面研磨, 因为该方法更快。无论使用哪种方法, 必须始终清楚一点, 即第一个制备步骤的目的是去除因切割产生的裂缝且不因粗磨引入新损伤。

为保持平整度并确保良好的材料去除率, 优选使用金刚石在复合精磨盘上进行精磨。对于陶瓷涂层, 建议使用精磨盘 MD-Allegro, 对于金属涂层, 建议使

用 MD-Largo。通过在丝绸 (MD-Dur 或 MD-Dac) 上进行彻底抛光, 将保持样品平整度并确保去除拖尾金属。



可使用 1 μm 的金刚石或硅胶 (OP-U 不干型悬浮液) 在软布上对金属涂层进行精细抛光。不建议使用硅胶 OP-S 不干型悬浮液抛光金属喷涂层, 因为将产生过多起伏。然而, OP-S 不干型悬浮液适合对陶瓷涂层进行最终抛光, 因为能够与结构形成良好对比。

在制定制备方法的试验阶段, 可尝试碳化硅和金刚石两种研磨, 以找出更适合平面研磨方法的材料。这同样适用于最终抛光步骤, 在一些情况下, 1 μm 金刚石可能优于硅胶。

一般而言, 建议尽可能始终针对所有涂层使用标准流程。借助自动制备设备, 可以控制制备参数, 从而确保一致的结果和出色的再现性。通过保持恒定的制备条件, 我们可以假设在大部分情况下, 微观结构中的突然差异反映了喷涂工艺中的差异而非制备过程中的差异。

上表中的制备方法已成功应用于最常见的涂层。数据来自 6 个直径为 30 mm 且夹持在夹具座中的镶嵌样品。DiaPro 金刚石悬浮液可分别替换为与蓝色润滑剂一同应用的 9 μm、3 μm 和 1 μm DP-悬浮液。

蚀刻: 一般而言, 建议用于特定材料的蚀刻剂也可用于该材料的喷涂层。可以

热喷涂层的标准制备方法

研磨

步骤		PG	FG
表面		箔/砂纸	MD-Largo
磨料	类型	碳化硅	金刚石
	规格	#220	9 μm
悬浮液/润滑剂		水	DiaPro Allegro/Largo 9*
转速		300	150
力 [N]/试样		30	30
时间 (分钟)		直到成平面为止	5

抛光

步骤		DP 1	DP 2**
表面		MD-Dac	MD-Nap
磨料	类型	金刚石	金刚石
	规格	3 μm	1 μm
悬浮液/润滑剂		DiaPro Dac 3*	DiaPro Nap B 1
转速		150	150
力 [N]/试样		30	20
时间 (分钟)		5	1

根据 6 个直径为 30 mm 且夹持在夹具座中的镶嵌样品。

备注:

*或者, DiaPro 金刚石悬浮液可分别替换为与蓝色润滑剂一同应用的 9 μm、3 μm 和 1 μm DP-悬浮液 P。

**或者, 该金刚石抛光步骤可替换为使用硅胶 (对金属涂层使用 OP-U 不干型悬浮液, 对陶瓷涂层使用 OP-S 不干型悬浮液) 的抛光步骤, 时间 30-60 秒。

预期的是, 基板与涂层材料越相似, 蚀刻侵蚀将越均匀。

在受控大气条件下喷涂的涂层含有很少或不含氧化物, 难以识别涂层结构。因此, 需要将这些类型的涂层与化学蚀刻进行对比。

Struers ApS

 Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk
 www.struers.com

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

NORWAY
Struers ApS, Norge
 Sjøskogenveien 44C
 1407 Vinterbro
 Telefon +47 970 94 285
 info@struers.no

AUSTRIA
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Betriebsgebiet Puch Nord 8
 5412 Puch
 Telefon +43 6245 70567
 Fax +43 6245 70567-78
 austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Jasnogórska 44
 31-358 Kraków
 Phone +48 12 661 20 60
 Fax +48 12 626 01 46
 poland@struers.de

ROMANIA
Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
 Str. Preciziei nr. 6R
 062203 sector 6, Bucuresti
 Phone +40 (31) 101 9548
 Fax +40 (31) 101 9549
 romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnstraße 41
 CH-8903 Birmsdorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Fax +41 44 777 63 09
 switzerland@struers.de

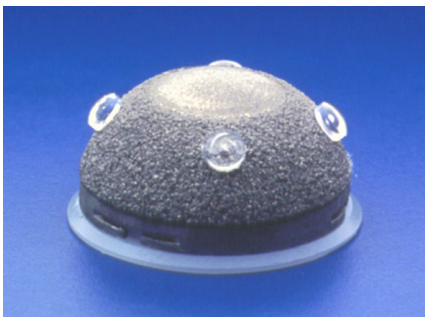
SINGAPORE
Struers Singapore
 627A Aljunied Road,
 #07-08 BizTech Centre
 Singapore 389842
 Phone +65 6299 2268
 Fax +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk

SPAIN
Struers España
 Camino Cerro de los Gamos 1
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón
 CP 28224 Madrid
 Teléfono +34 917 901 204
 Fax +34 917 901 112
 struers.es@struers.es

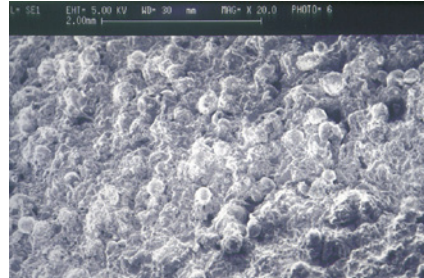
FINLAND
Struers ApS, Suomi
 Hietalahdenranta 13
 00180 Helsinki
 Puhelin +358 (0)207 919 430
 Faksi +358 (0)207 919 431
 finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
 Box 20038
 161 02 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.se

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

USA
Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Phone +1 440 871 0071
 Fax +1 440 871 8188
 info@struers.com


热喷涂钛白杯形件



钛白杯形件热喷涂表面的 SEM 显微照片

镍基和钴基超级合金上的真空喷涂层可使用与基板相同的溶液进行蚀刻, 或者使用 10% 的含水草酸进行电解。含钼涂层的结构可使用以下蚀刻剂展示:

- 50 ml 水
- 50 ml 过氧化氢 (3%)
- 50 ml 氨水

注意: 在处理化学试剂时, 始终遵守建议的安全防护措施。

总结

热喷涂层已广泛采用, 以改善工件的特定表面质量或功能。不同喷涂方法可产生不同的涂层特性, 主要用于获得耐腐蚀、耐热、耐摩擦性。对喷涂层进行的金相检查包括预估孔隙率、氧化物和未熔颗粒, 以及对基板的附着性。不正确的研磨和抛光过程可影响对真实孔隙率的评估, 因此务必以系统化方式来制备金相并确保结果可再现。建议使用正确的切割轮进行精密切割, 以避免涂层中出现裂缝。然后应使用环氧树脂进行镶嵌。粗磨对涂层的损伤最大, 应尽可能使用最精细的磨料进行粗磨。为避免出现起伏, 建议使用金刚石在刚性研磨盘上进行精磨, 然后使用金刚石在丝绸上进行彻底抛光。

金属涂层与陶瓷涂层以不同方式应对机械磨损并且金刚石抛光需要尽可能长的时间来展示真实孔隙率, 认识到这一点尤为重要。

建议的制备过程基于经验, 对于大部分常见的热喷涂层可提供出色的结果。然而, 应注意, 对于一些特定的专有涂层, 可能需要调整抛光时间。

应用说明

热喷涂层的金相制备

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen, Denmark
 Brigitte Duclos, Struers S.A.S., Champigny, France

鸣谢

感谢瑞士沃伦 Sulzer Metco AG 的全力配合, 感谢他们提供信息材料。特别感谢 J. Hochstrasser 和 P. Ambühl 分享自己的渊博知识并提供以下图片供复制: 第 1 页上的喷涂工艺图片和大显微图像; 第 2 页上的颗粒运动原理绘图、同步环照片和显微图像; 第 3 页上的绘图、燃烧室照片和所有显微图像; 以及第 4 页上的镍火焰喷涂层显微图像。感谢 Zimmer, Inc. USA 的 Richard Compton 提供第 6 页上的钛白杯形件图片和 SEM 显微照片。

参考文献

Metallographic preparation of thermally sprayed orthopaedic devices (热喷涂矫形设备的金相制备), Richard C. Compton, Zimmer, Inc., USA, Structure 28, 1995 Summary Report of the Plasma Spray Coatings Symposium at Struers (Struers 等离子涂层讨论会总结报告), Copenhagen, May 25th to 27th, 1988 Universal metallographic procedure for thermal spray coatings (热喷涂层的通用金相过程), S. D. Glancy, Structure 29, 1996 Materialographic characterization of modern multilayer coating systems used for hot-gas components in large gas turbines for static power generation (在用于静态发电的大功率燃气涡轮机中, 用于热气部件的现代多层涂层系统的材相特征), A. Neidel, S. Riesenbeck, T. Ulrich, J. Völker, Chunming Yao, Siemens Power Generation, Berlin, Structure 2/2004

AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
 27 Mayneview Street
 Milton QLD 4064
 Australia
 Phone +61 7 3512 9600
 Fax +61 7 3369 8200
 info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F- 94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5N 5M9
 Phone +1 905-814-8855
 Fax +1 905-814-1440
 info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
 No. 1696 Zhang Heng Road
 Zhang Jiang Hi-Tech Park
 Shanghai 201203, P.R. China
 Phone +86 (21) 6035 3900
 Fax +86 (21) 6035 3999
 struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka vědeckotechnický park Pílepská 1920,
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Phone +420 233 312 625
 Fax +420 233 312 640
 czechrepublic@struers.de
 slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
 D- 47877 Willich
 Telefon +49 (0) 2154 486-0
 Fax +49 (0) 2154 486-222
 verkauf@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
 Magyarországi Fióktelepe
 2040 Budaörs
 Szabadság utca 117
 Phone +36 2380 6090
 Fax +36 2380 6091
 Email: hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
 Via Monte Grappa 80/4
 20020 Arese (MI)
 Tel. +39-02/38236281
 Fax +39-02/38236274
 struers.it@struers.it

JAPAN
Marumoto Struers K.K.
 Takawawa Muse Bldg. 1F
 3-14-13 Higashi-Gotanda,
 Shinagawa
 Tokyo
 141-0022 Japan
 Phone +81 3 5488 6207
 Fax +81 3 5488 6237
 struers@struers.co.jp