

解决方案简讯

工业燃气轮机使用的高压涡轮可磨耗涂层
可以提高效率，减少排放

SF-0015.1 – 2021年12月



现在所面临的状况

受不断上升的燃料价格和日益严苛的减排法规驱使，工业燃气轮机制造商在提高效率方面正承受着亘古未有的压力。即便是特别小的效率增加都会带来显著结果：全球2500 GW装机电力基地的效率只需提高1%，即可减少3亿公吨（6.6亿磅）二氧化碳排放，并节省1亿公吨（2.2亿磅）的矿物燃料。

可以实现这种效率提高的一个区域就是通过减小气体路径中转动和静止部件之间的间隙。在压缩机段，通过热喷涂可磨

耗涂层进行间隙控制特别成功，并且广泛用于航空和工业燃气轮机。但是，在压缩机内使用的传统涂层无法耐抗涡轮的高温。

陶瓷材料特别适用于热段间隙管理；但稳定氧化锆等标准陶瓷涂层应用会引起严重损坏，甚至会对cBN镶刀叶片的损坏。

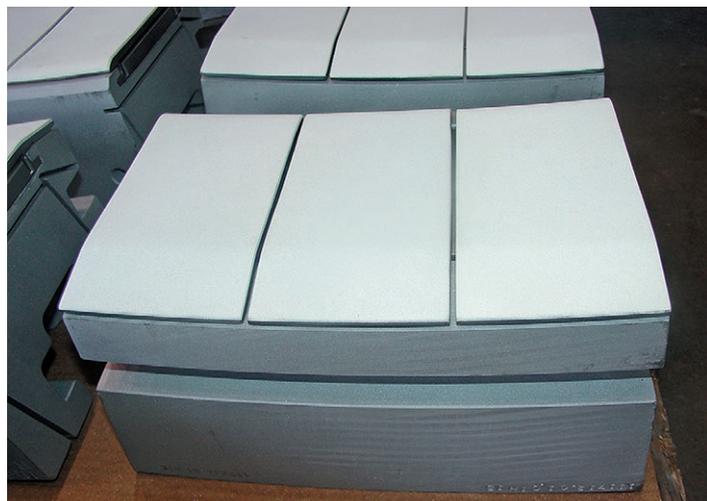
欧瑞康美科解决方案

欧瑞康美科，IGT与航空压缩机应用中可磨耗解决方案的带头供应商，开发了一系列用于热段应用的陶瓷可磨耗材料。在欧瑞康美科的解决方案设计中，可磨耗涂层被镶刀叶片整齐剪切，在一些应用中，可用于与不镶刀叶片摩擦。

经过测试和事实证明，这种可磨耗解决方案在涂覆于工作温度高达1150 °C (2100 °F) 的1级HPT护罩上可使发动机总效率提高> 1%。并且，这种涂层解决方案的抗腐蚀性在大修间隔期间可持续有效，继续展现其设计的功能。

此外，欧瑞康还提供全套解决方案包，包括材料和喷涂系统，或者为客户提供零件涂覆涂层的服务。我们还有材料技术专家，可针对具体需求提供咨询服务，以及特别接近实际使用条件的部件测试设备，可进行顶端速度、侵蚀速率和工作温度测试。

先进的涡轮机OEM已经在涡轮机生产中采用了欧瑞康美科的HPT可磨耗技术，并获得了特别满意的效果。这些解决方案成本效益特别高，并且在将其用于不镶刀叶片时，成本效益更高，因为无需进行费用高昂的镶刀处理。



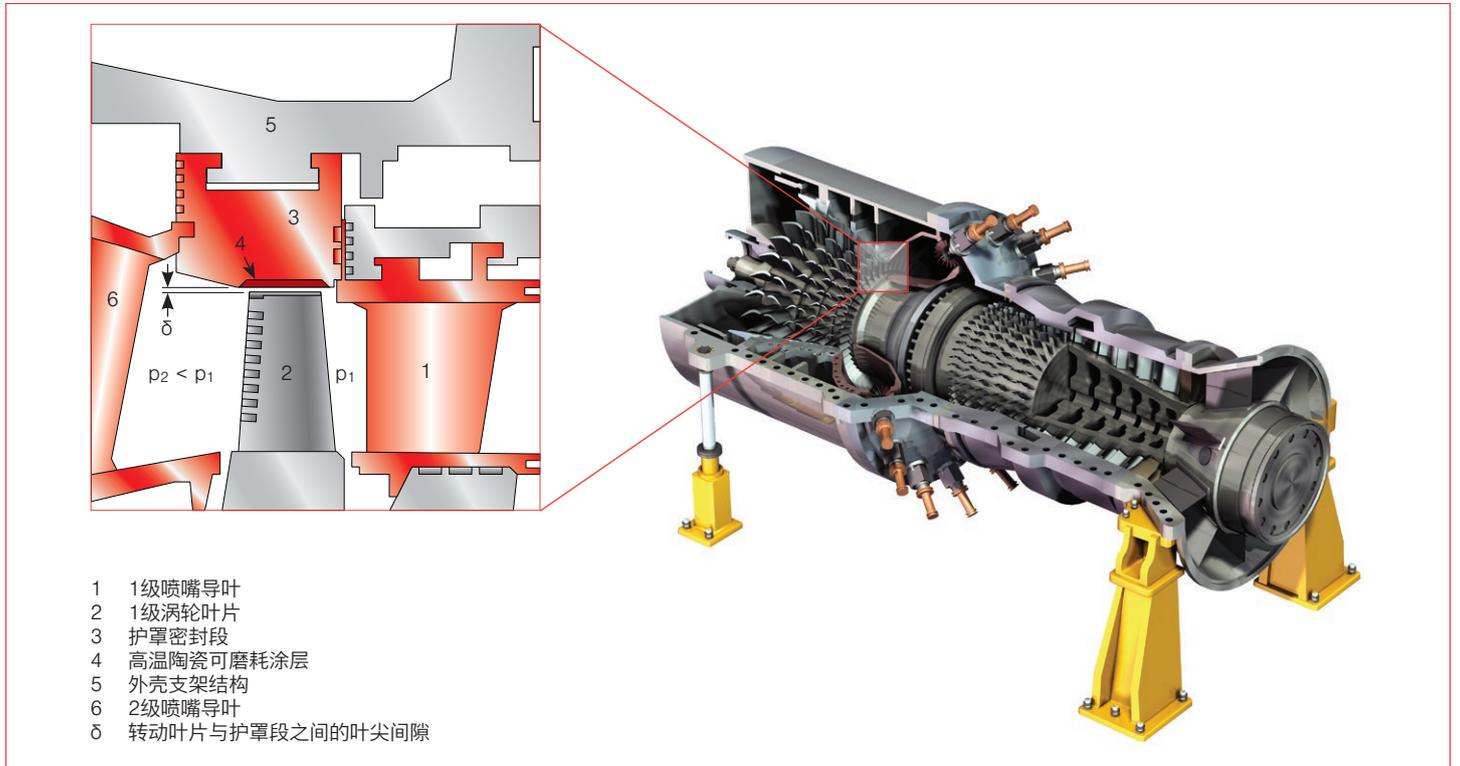
事实证明，欧瑞康美科的陶瓷可磨耗解决方案，应用于1级HPT护罩段时，可使整体效率提高> 1%

¹ 欧洲燃气和蒸汽轮机制造商协会发布的《信息手册》，由VDMA主办；EUTurbines (2008)。

² “燃气涡轮机的效率提高”，苏尔寿技术评论，2/2008版，D. Sporer, A. Refke, M. Dratwinski, M. Dorfman, I. Giovannetti, M. Giannozzi, M. Bigi

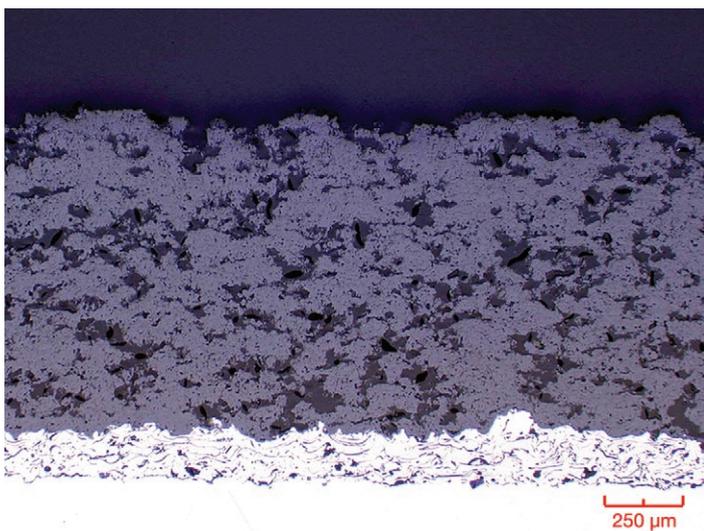
认证

应用区域和可磨耗机理

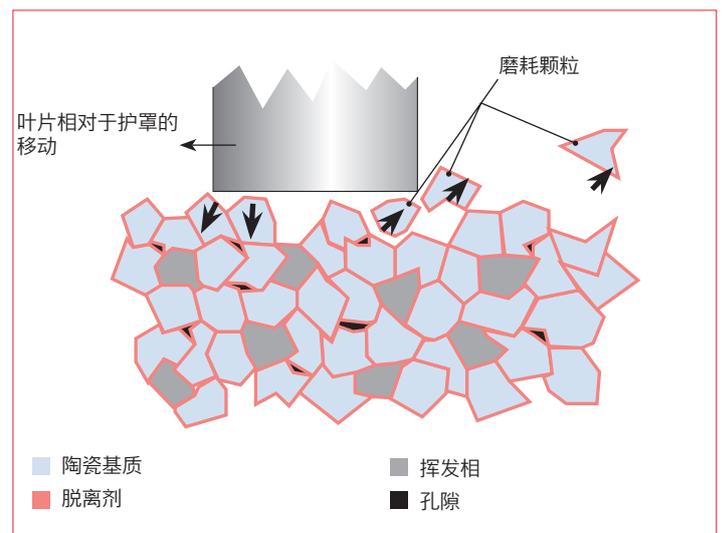


可磨耗陶瓷密封材料由陶瓷基质、控制孔隙率的挥发相和提高可磨耗性的脱离剂组成。使用大气等离子喷涂工艺涂覆，以便控制孔隙率、耐腐蚀性和硬度。陶瓷涂层涂覆于可兼容

的MCrAlY粘合层材料上。欧瑞康美科提供多种MCrAlY粘合层材料。



高温陶瓷可磨耗涂层的典型微观结构，图中所示涂覆于MCrAlY粘合层材料上。

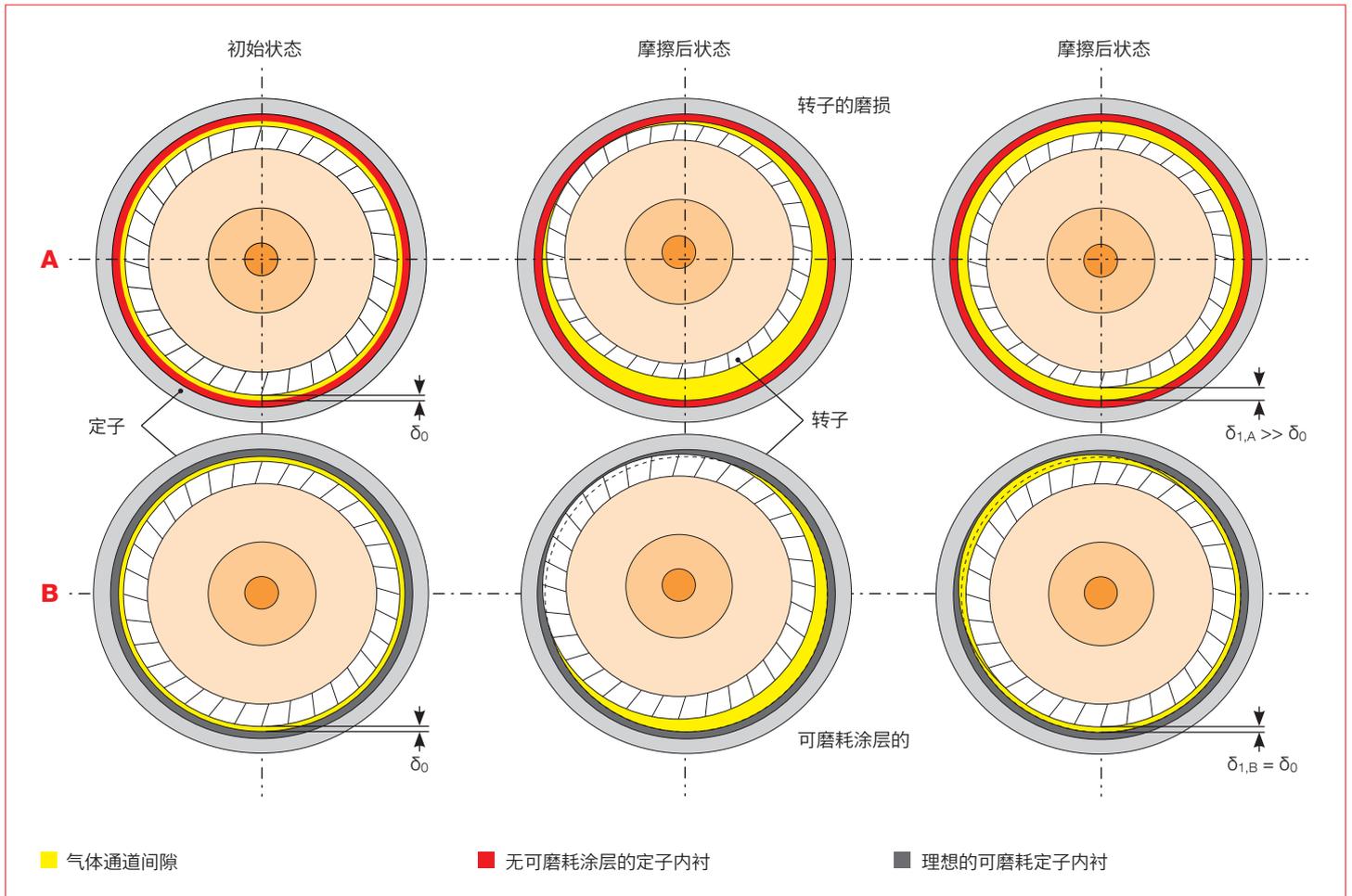


使用过程中可磨耗机理示意图

转子摩擦

若无可磨耗涂层的发动机（案例A）发生摩擦，则可能发生叶片磨损和损坏。结果，气体通道间隙变得比设计间隙大。

而在带可磨耗涂层的发动机上（案例B），叶片整齐切入可磨耗涂层。对叶片的磨损和损坏极小，气体通道间隙保持不变。由于可磨耗涂层控制间隙，热磨合间隙远远小于无可磨耗涂层，从而提高了效率。



欧瑞康美科陶瓷可磨耗材料

欧瑞康美科用于高温HPT应用的陶瓷可磨耗材料系列在多种不同的摩擦条件下久经考验。事实证明，采用这种材料制备的涂层具有出色的可磨耗性能，使叶片磨损极小。涂层参数

可进行调整，以控制孔隙率、硬度和抗腐蚀性（孔隙率越高，硬度和抗腐蚀性越低）。并且，还可以根据需要，通过涂覆后热处理轻松清除聚合物挥发相。这些产品的标准成分如下表所示。

材料	ZrO ₂	Y ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	聚合物	粘合剂	hBN	制造工艺
Durabrade 2192	Bal.	-	9.5	4.5	-	0.7	HOSP & 混合
Metco 2395	Bal.	7.5	-	4.5	-	0.7	HOSP & 混合
Metco 2460	Bal.	7.5	-	4.0	4.0	-	喷雾干燥

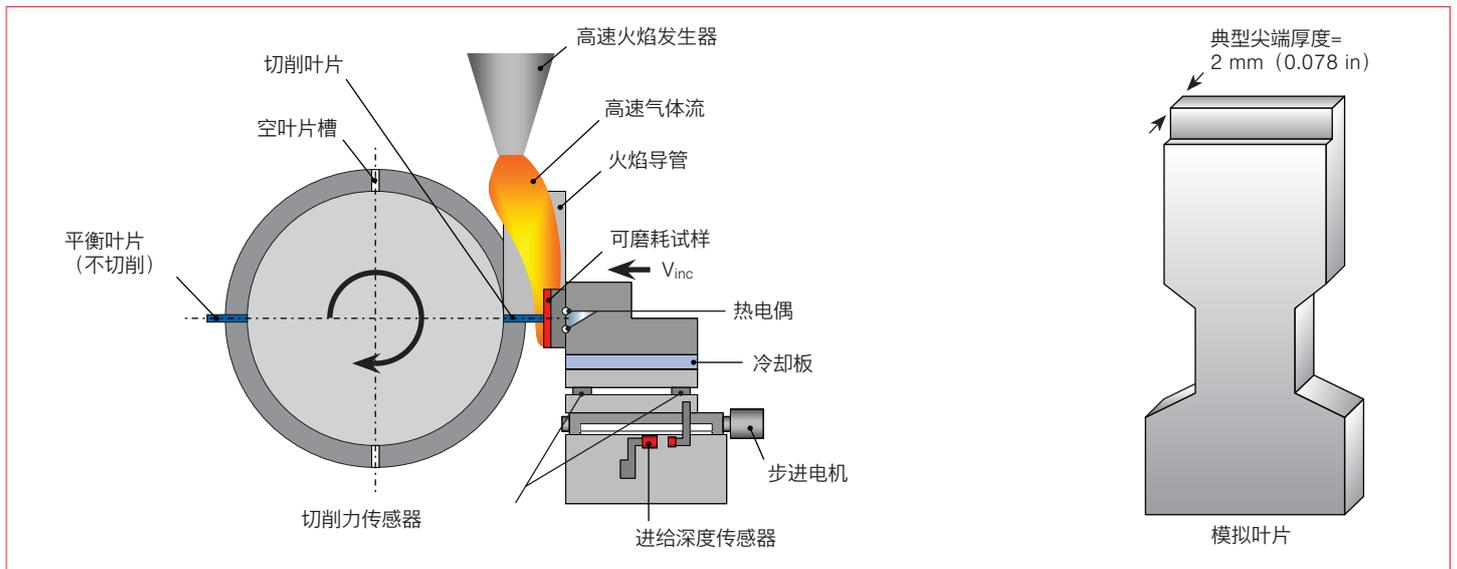
使用欧瑞康高温耐磨试验装置对耐磨体系进行的部件测试

使用我们的部件测试设备，欧瑞康美科可以验证在一定测试条件范围内正确的可磨耗性并生成磨损图，包括顶端速度、进给速率和温度。

试验台由转动的测试叶片（镶刃或不镶刃）和涂覆可磨耗体系的静止测试护罩段组成。对于每种试样，均对摩擦机制进行评估，并生成磨损图。

试验台参数范围：

- 叶片顶端速度：最大值410 m/s (1345 ft/s)
- 进给速率：1 – 2000 $\mu\text{m/s}$ (39 – 78740 $\mu\text{in/s}$)
- 护罩温度：20 – 1200 $^{\circ}\text{C}$ (68 – 2192 $^{\circ}\text{F}$)

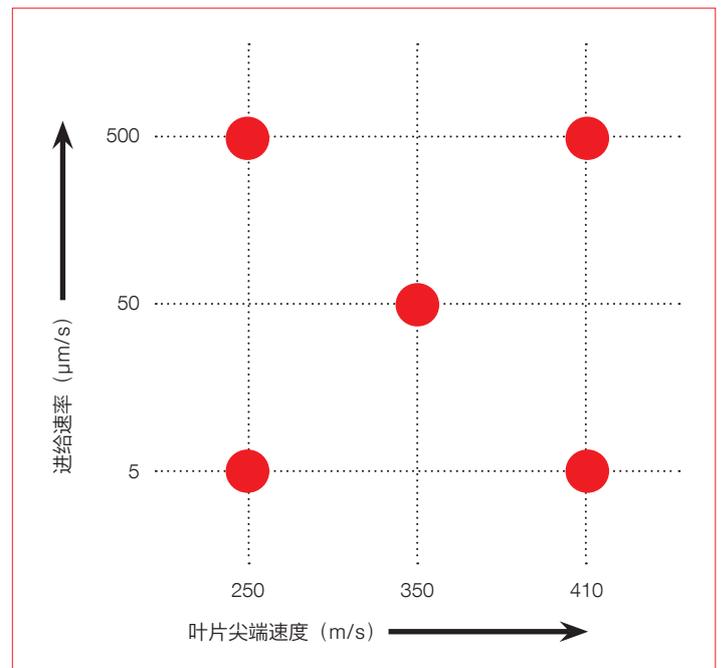


高温可磨耗性试验台

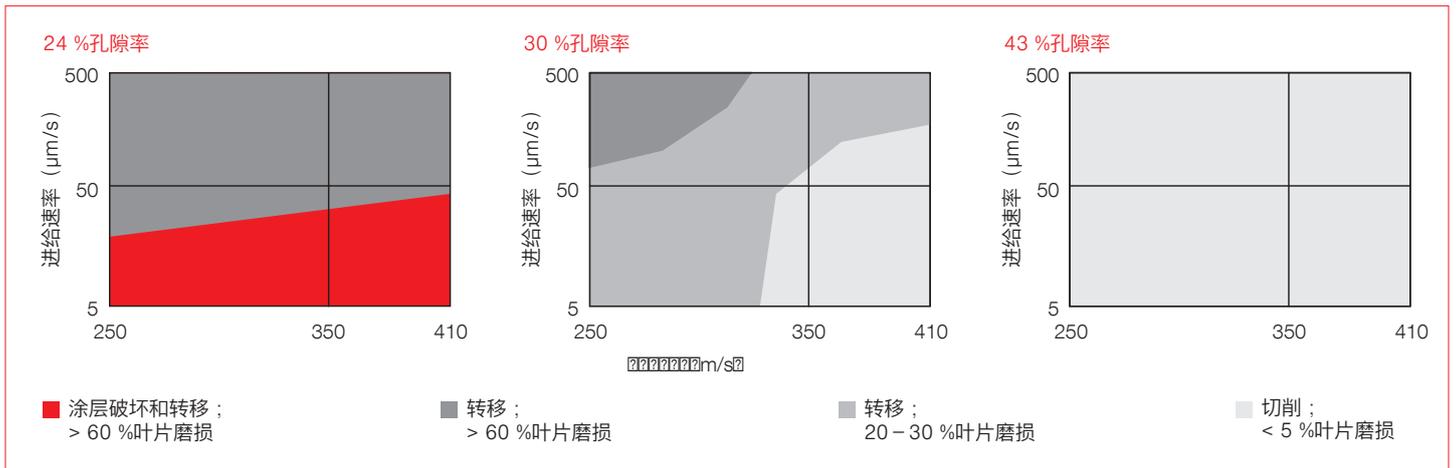
磨损图的生成

尽管可以对发动机内摩擦作用的预期叶片顶端速度进行估计，但相应的进给速率大多数情况下未知。因此，一般筛选试验使用由五对不同叶尖速度/进给速度组成的标准磨损图。

与各种涂层微观结构相结合时，磨损图的结果便成为一种确定满足特殊设计要求的理想磨耗性能的强大工具。



标准5点磨损图
总进给典型值 = 0.7 mm (0.028 in)
标准叶片材质IN 718 (无遮蔽/镶刃)

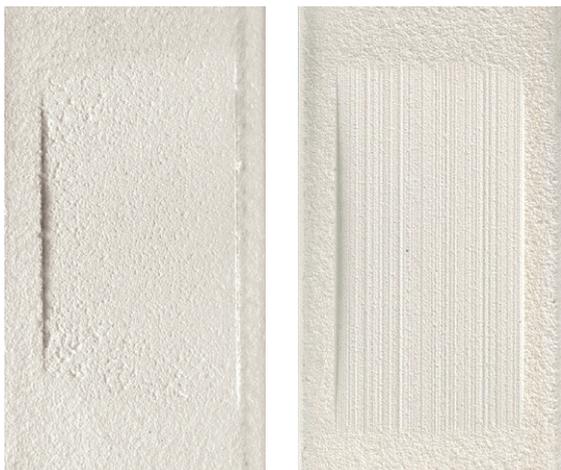


不同孔隙率条件下的不镶刀叶片试样可磨耗磨损图

良好的可磨耗性结果

证实良好可磨耗性的摩擦，显示叶片切入可磨耗涂层的运动，叶片磨损极小或无磨损（注：叶片磨损以总进给深度的百分比表示）。

另一个典型的陶瓷可磨耗材料的磨损机理就是材料由叶片向陶瓷密封的材料转移。被转移的金属在陶瓷表面形成硬的氧化沉积物，由于金属顶端这时候摩擦致密的金属层，通常会妨碍可磨耗材料的整齐切削。



整齐切削的陶瓷可磨耗涂层 [1100 °C (2012 °F) 时] 示例。
左图：不镶刀叶片，右图：cBN镶刀叶片



初始叶片材料转移后的严重涂层破坏

涂层破坏

轻微涂层破坏，伴有切削和一定量的叶片材料转移

较差的可磨耗性结果

叶片磨损严重通常表明可磨耗性能不佳，叶片磨损轻微不一定意味着理想的可磨耗性能，因为密封涂层可显现出宏观破坏。这种涂层破坏可引起大片密封在摩擦早期脱落，使得没有或很少材料供后续叶片经过时切削，从而造成叶片磨损较小的假象。



混合涂层破坏和叶片材料转移

严重的叶片材料转移

涂层孔隙率的影响

在使用中，在抗腐蚀性和抗热冲击性方面，涂层性能是可磨耗性与耐久性之间的平衡。符合可磨耗性设计要求的涂层可进行抗腐蚀性测试。满足两者的涂层被视为可磨耗解决方案的合格候选涂层。

不同的孔隙率可通过调整喷涂参数，以受控、可重复的方式达到。从下图中可以看出，所有材料均为镶刀叶片的良好候选。Durabrade 2192还是不镶刀叶片的良好候选。

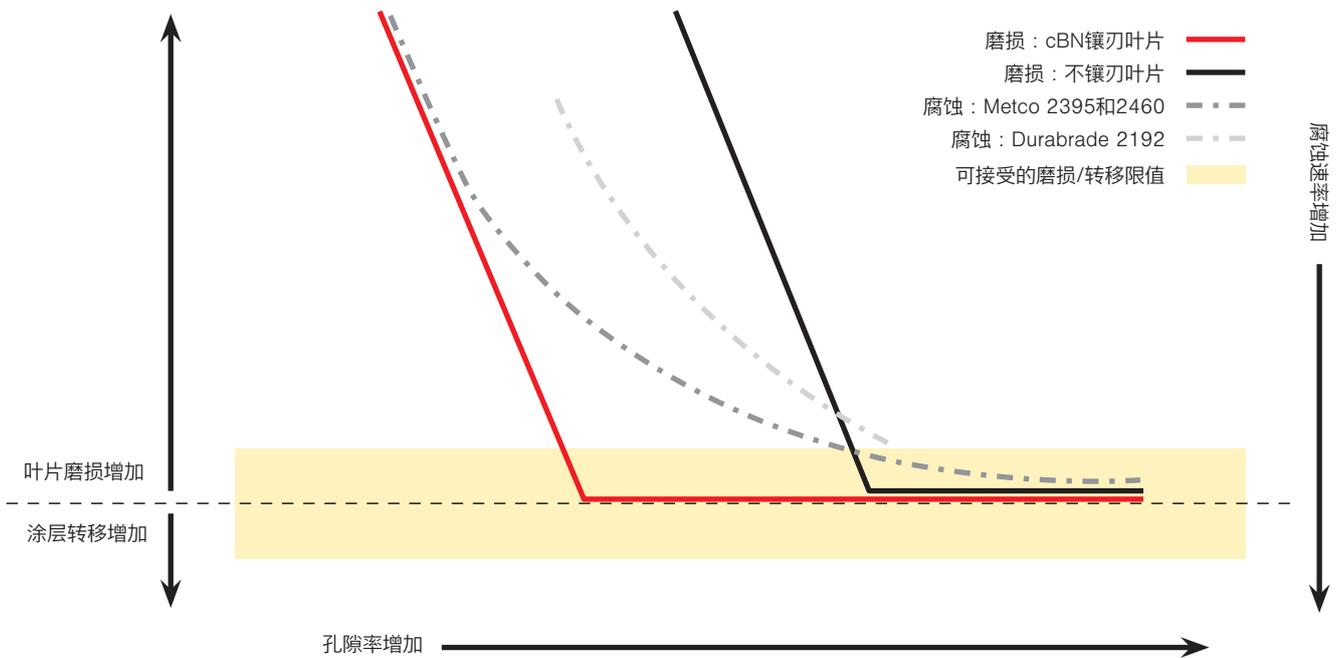
热性能

由于这些涂层具有耐高温、优质陶瓷基质，因此具有本质良好的耐热性。但是，对于所有可磨耗涂层而言，必须涂覆较厚的陶瓷面层，以适应可能出现的入侵深度。面层厚度通常超过1 mm (0.04 in)。这对于护罩的隔热具有有利影响，但却不利于热循环寿命。通常，涂层厚度增加会使周期寿命

显著减小。可通过提高孔隙率进行一定程度的均衡。研究表明，在极高温度条件下需要特别厚的涂层时，使用替代氧化锆稳定剂（如Durabrade 2192中的氧化镉）可使涂层的热冲击特性提高达4倍，尤其是在要求孔隙率大于25 %时。

自制或外购 – 由您决定

作为热喷涂技术的全球引导者，欧瑞康美科为客户的涂覆实施提供特别大的灵活性。欧瑞康美科可以提供可磨耗材料，或者由针对所喷涂部件定制的可磨耗材料和更先进高效喷涂系统以及包括培训和支持在内的全套涂覆解决方案，以实现更佳的、一致的加工结果。然而并非所有客户都想要这种解决方案。因此，我们通过我们的全球服务中心网络，提供专家涂层应用服务。这些服务中心以注重细节和生产质量而备受推崇。无论您作何决定，您的可磨耗涂层解决方案将超过您的预期。



客户利益

环保

- 显著减少发动机排放。

高效

- 涂覆于1级HPT护罩时，可使发动机总体效率提高> 1 %。
- 可为需要内部制备涂层的客户提供解决方案，或者为倾向于外购的客户提供涂层服务解决方案。。

经济

- 工艺运行经济，投资收益快。
- 隔热特性可延长护罩段的寿命或者允许使用低成本的护罩段材料。
- 叶片磨损极小，可延长叶片寿命。
- 根据设计方法不同，可省去费用昂贵的叶片镶刃。

实用

- 高性能可磨耗涂层体系，有效管理工业燃气轮机HPT段的间隙。
- 可在高达1150 °C (2100 °F) 的温度条件下运行的陶瓷可磨耗解决方案，优化热循环寿命。
- Durabrade 2192使用氧化镉稳定剂与高纯度陶瓷基质相结合，显著延长了涂层周期寿命。
- 材料选择与灵活、可重复的涂层参数相结合，允许设计满足特定操作要求的可磨耗系统。
- 更先进的涂层材料技术可更大限度减小摩擦过程中的叶片磨损，并保持热磨合气体通道间隙。