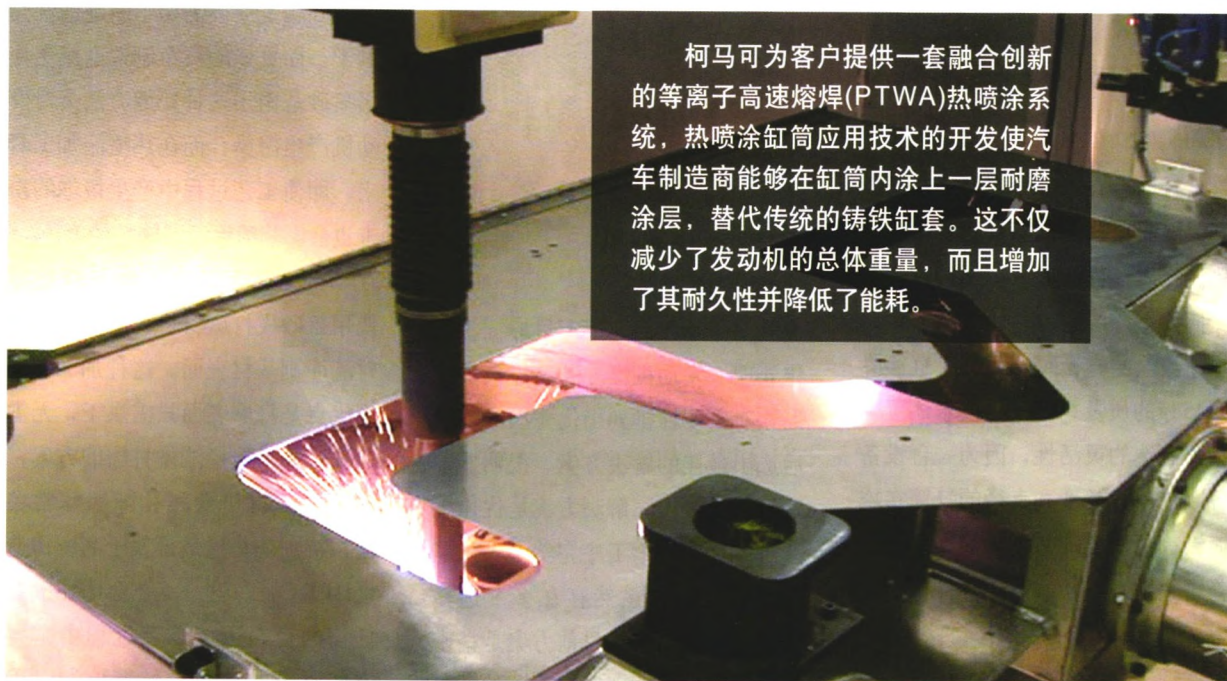


自动热喷涂缸筒涂层 降低发动机重量与摩擦

□ 柯马美国 产品经理/Paulo Rosa



柯马可为客户提供一套融合创新的等离子高速熔焊(PTWA)热喷涂系统，热喷涂缸筒应用技术的开发使汽车制造商能够在缸筒内涂上一层耐磨涂层，替代传统的铸铁缸套。这不仅减少了发动机的总体重量，而且增加了其耐久性并降低了能耗。

如今的汽车制造商面临的众多挑战之一就是在动力总成中降低车体质量和摩擦损耗以改善整车效率，这成为采用铝合金发动机缸体替代传统的铸铁缸体的一个重要驱动力。铝合金的一大优点就是能降低整体重量。但铸铁缸套仍在使用，因为铸铁拥有普通铝合金所不具备的重要的摩擦学特征。因此，众多的汽车制造商花费了大量的时间研究如何用铝合金汽缸体解决摩擦学不足的工程解决方案。

PTWA工艺

其中一个较早的方案是在铝合金缸体的缸筒上加铸铁缸套。总的来说，这一方案比较容易使生产概念化，而且相比Nikasil[®]、Lokasil[®]等缸筒解决方案它比较经济，在当时这一方案比较可行。灰铸铁缸套（GCI）的其中一大缺点在于缸套与缸体之间的封装与其重量。灰铸铁缸套（GCI）相比铝合金还有一个显著的缺点在于其热力学特征。

这不仅体现在其热传导性上，还表现在物理特征妨碍了其维持最佳燃烧所需要的活塞效率和内径温度。根据嵌入类型，还可能进一步造成缸套与缸体材料之间的接合不理想，并在缸套与缸体之间形成绝缘点。根据这些不理想接合点的位置分布，可能使发动机生产的击倒抗性产生重大改变。如今，热喷涂缸筒应用技术的开发使汽车制造商能够在缸筒内涂上一层耐磨涂层，替代传统的铸铁缸套。柯马可为客户

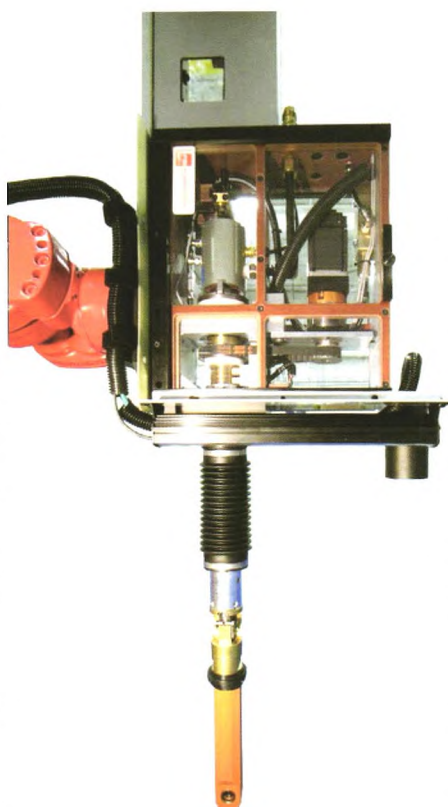
提供一套融合创新的等离子高速熔焊(PTWA)热喷涂系统。PTWA工艺采用高速离子化熔焊技术,使钢粒子在铝合金缸筒上形成一层涂层。喷涂了涂层后的铝合金缸体依旧是一体式缸体,不再因嵌入一个灰铸铁(GCI)缸套而需要忍受缸筒变形问题,也不再具有灰铸铁缸套所有的热力学缺点。用等离子热喷涂缸筒取代灰铸铁缸套,不仅减少了发动机的总体重量,而且增加了其耐磨性并降低了能耗。

热能改进:缸孔温度降低

目前已有不少报道说明热喷涂涂层缸套比铸铁缸套具有更多的优势。在发动机质量上,根据缸体的几何构造并综合改善后的耐久性,热喷涂涂层缸套可以为每个缸筒降低454g的质量。热喷涂技术还可以增强制造的灵活性,因为一台设备可以为不同长度和直径的缸筒实施喷涂。更重要的是,热喷涂涂层改善了热力学特性、散热性、机械效率,并可以提高整体的燃油效率。

工艺配置

成功运用热喷涂涂层方案的一个关键是工艺配置。就灵活性和优化整合方面,Greenfield现场的运用优势显著,而根据喷涂工序所处的位置,也存在生产制造出现受限的情况(Brownfield现场)。如果Brownfield现场的一家制造商企图尽量减少新设备的投入,例如只想增加一台热喷涂设备,则典型的应用应该是将该设备尽量置于工艺上游,但这一做法对成本投资和发动机性能影响显著。因此,汽车制造



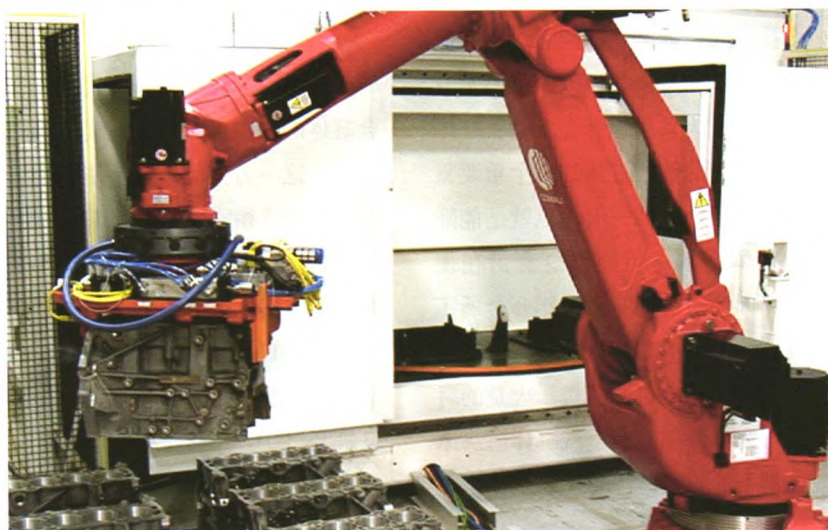
处理基材表面

处理基材表面,使缸筒内壁无任何涂层,是成功进行热喷涂处理的第一个关键工序。目前普遍使用的表面处理技术有很多,在粘结强度、喷涂难易以及成本方面区别也很明显,使用最普遍的有喷砂、水刀和机械粗加工。

早期的发动机制造商采用的是喷砂处理,柯马认为这种处理方法有太多的内在问题需要考虑。最显著的问题是喷砂需要不断地清洗与烘干。而更多的汽车制造商避免使用喷砂是由于这种处理方法会对发动机产生污染,而在热喷涂加工看来,即使工艺过程中产生极细的粉末也会影响喷涂涂层的粘结度。

相比之下,高压水刀打磨不使用粗砂或打磨材料,而采用液体射流冲刷基材表面。这种加工方法的优点是打磨表面只需烘干,无需清洗。如果选择液体打磨的方案,则评估基材质量和孔隙率非常关键,特别是基材是否属于高压铸造(HPDC)。这一工艺会明显改变缸筒内径,因为工艺过程中需要安装监控并引入机械臂控制以确保涂层粘结度,然而统计过程控

商需要仔细权衡其生产目标,将简化处理、发动机性能和整体投资按照相对重要性排列出优先次序,然后选出最佳的解决方案。很明显,这里的“最佳”解决方案是优化生产次序并将新增工序完美融入当前工艺的设计。虽然存在多个选择项,但柯马建议的目前方案是精密镗孔结合表面处理、喷涂,然后粗糙打磨缸筒加工。



制(SPC)中难以测量基材表面各种系数,又使其难于很好地监控工件,一旦得知并计算出这些系数,整个工艺往往能变得稳定而具有很好的可重复性。另外,加工后的表面粗糙度相值相对较低,大约十几微米,这意味着基材表面已经相当平滑,因此也可以通过降低喷涂涂层的表面粗糙度值改善涂层工艺。这一工艺可能产生的问题是,一旦结合高压铸铁就会产生本质上的收缩,因而这种工艺实际上使各种缺陷更显著化,包括加深已有孔隙或加剧收缩。加之与铸造缺陷相互作用,可能使缺陷扩大。

喷砂处理和水刀打磨的一个替代方法是机械表面精镗加工处理(机械粗加工)。根据所使用的工具工艺,打磨可以通过切割打碎基材原有表面、切割锻造螺纹牙形使之形成方槽,或通过不规则锻造产

生同心凹槽来完成。另一个选择是只采用简单螺纹牙形,用燕尾切割直接切削基材表面,如果使用设备适当,这一过程可以轻易监控。相比喷砂处理,机械粗加工的一个优点是无污染物并且可重现。而相比水刀打磨,它的关键优势在于可以轻易处理孔隙和铸件完整性上的变化,根据所用的类型,孔隙可以处理到1.25mm。机械粗加工更稳定且易于实施,因为主要是机械切割,质量控制和测量变得直截了当。

柯马认为,机械粗加工最大的优势在于,能够执行干燥或微量润滑(MQL)加工处理,制造商能够从精镗加工直接过渡到涂层工艺。这样就减去了生产线上一个工序,节约了时间并精简了整个系统。另一个优势是能够保持高粘结强度。要知道,所有的发动机镗孔应用都要求持久的粘结强度。根据这方面

的制造参数,粘结强度往往一般是35~50 MPa,虽然只要高于20MPa就足够。通过在标准镗车或加工中心中采用机械粗加工,制造商可以用最低程度的加工和投资成本达到最强的表面处理。

目前流行的机械粗加工标准要求槽深最低在0.125mm左右,以达到粘结强度的最低接受标准。柯马公司经亲自测试发现,槽深大于槽宽(深度/宽度>1)的机械切割可以产生足够的粘结强度,多个槽口经过塑性变形可以形成一个切口,附着力显著增强。因此,公司将其Urane25高速水平加工中心改装成为双通道MQL混合单元,并带有温度控制功能和节能特征,可以帮助顶级汽车制造商更方便地展开高性能低成本的热喷涂加工,优化粘结强度同时减少整体能耗和乳化剂消耗。几大制造商和加工企业都已开发出各自的机械粗加工技术,试图将缸筒涂装工艺引入当前生产线时尽量做到最小化。

提高生产力

最新的发动机设计典范是热喷涂涂层缸筒,不论是设计新生产线还是改装现有生产线,本质方案都是为了高级轻型铝合金发动机的生产。在柯马,我们综合了自动化、机械加工、涂装及测试系统等方面的全球领先设计和专业集成技术,帮助客户找到适用于其设备和生产战略的最佳解决方案。不论什么样的操作环境,柯马都致力于帮助企业提高生产力并确保产量最大化,这是如今竞争日趋激烈的国际化市场环境中关键的成功因素。 **AME**

