国外焊接技术最新进展情况（三）

中国机械工程学会 （北京 100037） 苏晓鹰译 丁培璠校

编者按： 由于本刊第5期为“焊接调查暨第18届中国焊接博览会”特别策划专辑，所以本连载文章暂停了一期，从第6期起，继续刊登连载，请广大读者准时收看。

七、热喷涂技术

由于表面技术在将来具有光明的前景，所以在过去几年中，热喷涂技术的产值以7%～10%的速度增加，在欧洲市场2000年的产值约为9亿5千万欧元。正如在国际贸易展览会上大量展商所证实的那样，不仅氧－燃料火焰、电弧、等离子弧和高速氧－燃料火焰喷涂，而且PTA工艺，加上优化的控制系统，都继续站稳了市场。

冷气体喷涂工艺也获得了新的应用。冷喷涂时，所喷涂的材料不再完全被热能熔化，而是在颗粒以高速撞击母材时被塑化。通过对飞行物体进行的侵蚀的新研究表明，相反的效果是在一特定的粒子速度下，强烈加速的颗粒具有与去除作用相反的非常粘性的效果，致密涂层或结构的形成只是由于被喷材料的动能产生的。

热喷涂不仅可以喷涂金属，而且可以喷涂塑料和陶瓷的混合物，可加工的金属范围从低熔点的锌到高熔点的钛和铌。喷涂涂层除了在传统的防腐保护和耐磨方面的应用外，新工艺还在电工技术、机械工程和设备工程方面从事特殊的任务。例如，用铜喷出的涂层不仅具有很高的密度和硬度，而且可以达到纯铜约90%的导电性（IACS标准）。

热喷涂颗粒的温度和质量流对涂层的熔敷率、冷却和固化起着决定性的影响，为此，测量飞行中的颗粒是检查涂层粘接强度、微观结构和气孔率的基础方法。

如果在造纸和纺织行业中使用的卷筒采用铝而不是钢来制造，就必须保证它具有足够的耐磨损、防腐蚀和抵抗机械与热应力的能力。通过热喷涂制作的功能涂层（基体材料为AlMg5）被放在一个特制的测试台上，施加机械和热的负荷。最适合这一应用的涂层被证实为NiCr80/90和WC－Co88/12组成的，通过高速氧－燃料火焰喷涂的缓冲涂层体系。

在使用状态下，新式涡轮机的工作温度可达到1000℃以上。涂层零件的工作寿命主要由热绝缘涂层的结构稳定性决定，结构稳定性可以通过等离子弧喷涂氧化锆涂层得到改善，使用氧化钇可以达到部分稳定的作用。

制造铸铁汽缸套筒传统的方法是在按照压铸工艺制造铝合金汽缸曲轴箱的过程中浇铸的。由于这些铸铁套筒都有一定的壁厚，这就会在每个汽缸的轴孔之间产生较大的距离，从而导致发动机尺寸过大，重量过重，如果在汽缸的轴孔处适当的加衬可以消除这些缺点。为此，德国大众汽车公司和Sulzer－Metco公司开发了“旋转等离子弧喷涂工艺”，使用10000℃的热等离子弧喷射技术将钢和钼的复合材料喷到汽缸壁上。

文献中介绍了热喷涂纳米晶体陶瓷涂层方面的进展；另外，还推出一种新的热喷涂咨询系统（SpriWare），为用户介绍如何选择喷涂消耗材料、工艺变量、焊炬粉末的组成和喷涂参数等。

八、钎焊

由于焊接的热输入是可选择的，所以为激光束

钎焊在电子行业的封装陶瓷玻璃外壳应用开辟了新的途径。在氧化铝基体材料上、在 D263 窗玻璃（硼硅酸玻璃）平块窗玻璃上和两块平块窗玻璃上用膨胀系数相当的玻璃钎料进行的钎焊试验表明，钎焊接头没有任何裂缝，气孔率低，密封性好，不漏氦气。

电弧螺栓钎焊（ASB）已经达到适合作为制造业连接技术的阶段。例如：现在它已经应用于连接高碳钢的钢板和螺栓，在普通焊接中，零件会变得更硬且脆，甚至对于直径为 16mm 的螺栓，熔深实际为零。而 ASB 则大大减少了氢致裂缝，由于金属间相的存在，提高了硬度，因此能够在非合金钢和合金 Cr－Ni 钢之间进行螺栓连接。

最初的试验表明，甚至能将 Cr－Ni 螺栓与铝板钎焊到一起。使用与螺栓焊相同的设备技术也可进行电弧螺栓钎焊，特别是短时间抬起起弧的方案极其适合。在电弧螺栓钎焊中，不象螺栓焊那样电弧在被连接的零件之间产生通常的熔池。

下面的实例表明了 ASB 应用的可能性。

例如：对于 0.81% 的 9ISZV 的铁轨材料，用箔钎料进行 ASB 焊接达到了很好的效果，在拉伸和折弯试验中，试件被损坏，螺栓未受影响，而且可以被折弯到 90°；另一项是在建筑监管部门使用的电弧螺栓钎焊也获得了良好的结果。使用 ASB 技术，甚至可以将 ϕ16mm 的“黑色”螺栓钎焊到“白色”的钢板上（Cr－Ni，厚度为 2.5mm）。当板材厚度达到 1.5mm 时，ASB 接头的强度要低于螺栓的焊缝，但高于普通火焰钎焊的接头。当板厚 >1.5mm 时，在同样的材料之间，ASB 接头的强度与螺栓焊的接头相同。对这两种焊接进行比较，电弧螺栓钎焊所需的热量输入大大降低，大大减少了熔深，并且强度高，甚至对于对硬度增加敏感的钢材也是如此。

随着镁作为制造材料的增加，钎焊技术也得到相应的发展，AZ91A 和 AZ31 是作为基体材料的。根据漫流实验的测试结果，Mg－Zn 合金可以用来作为钎焊钎料，不同的纯金属箔用来作为点钎焊试验的消耗材料。研究表明，用 Mg－Zn 钎焊焊料可以连接钎焊 AZ91A 材料。对于点钎焊来说，铝箔是最适合的消耗材料。

为了进行氧化铝和金属的钎焊，还开发了钯基高温钎焊合金。它除了高熔化温度（1555℃）和抗氧化特性外，钯可以与许多元素形成晶体，这就有可能根据需要开发钎料，铬、钒、钛和钇可作为合金元素加入。在钎焊氧化铝（Al 300 含有 97.6% 的 Al_2O_3，并把 CaO 和 SiO_2 作为冶金粉末加入；Al 997含有 99.7% 的 Al_2O_3）的过程中，对钯钎焊合金的浸润特性和钎接特性进行了实验研究。为此，不仅使用 Pd－6Cr、Pd－10Cr 和 Pd－6V 钎焊合金制作金属箔，而且也使用纯的钯、钛、钇、钒和铬元素钎焊合金制作金属箔。

由于氧化的问题，不可能清楚地认识合金金属箔的浸润特性。似乎 Al 997 可以浸润，而 Al 300 不能。与此形成鲜明对照的是，在现场用 Al 300 制作的合金却表现出良好的浸润特性，所有的钎焊合金在室温下都能获得较高的连接强度。用 Pd－6Cr 焊制的接头其强度可以耐 1000℃的高温。

九、微连接技术

对装有 256 至 400 个连接点的配线盒需要使用细铜线的连接技术，这里主要的问题是氧化和小的工艺窗口。使用金代替铜也是比较理想的，原因是金的导电性及散热性均更好。此外，由于快速氧化的问题，因而在铜片上进行连接对于大规模系列生产不是一种合适的方案。较好的方案是 Kulicke & Soffa 公司的专利“防止氧化工艺”，可以使金线与铜的表面连接在一起。

在该工艺中，电路片在圆板上被清洗，去除铜氧化物，并在电路片上覆盖上一层保护膜，然后将一个金球焊接到铜端子表面，使用超声波能穿透保护层与铜端子压焊到一起，可以使用 OP2－Gold60 连接 60μm 网线的铜端子。现正在试验铜板上焊接细铜线的技术，已在 2003 年被采用。

另一项新的连接技术可以应用在包装技术和半导体基片技术领域。NCS（纳米端子连接系统）技术的基础是涂了一层导电材料的金字塔形的颗粒。这些颗粒面积大的一面放在基片上，颗粒底面承受的压力低，使颗粒顶部的压力与其截面积的成反比例地增加，然后颗粒的尖部压到连接物上（如：集成线路基片），并插入到变形材料中，以此来实现

电的连接。一般用尺寸为 4～25μm，外表涂有镍的金刚石粉末作为这种颗粒物。

关于将集成线路连接到硅基片上，通过氩离子轰击连接表面可以获得很好的质量，轰击不会对电子特性产生影响。尽管连接处还有些不完美，但因热导电性与基体材料的相同，所以它也可以在低温和低压下进行连接。

在大多数情况下，可使用 TLP 连接把用微系统技术制造的零件组装成组合微系统。为此，连接各部分成员要使用铜或镍等高熔点元件和锡或铟等低熔点元件的多层系统。TLP 钎焊系统可以采用“磁控管溅射离子喷镀 PVD 工艺”，同时调整基片的温度。使用特定元素的基片温度可以保证为晶粒结构和均匀地利用各个 TLP 层。除了通过电阻加热回火，基片还可以通过一系列的中间冷却和蚀刻工艺回火。但是，基片温度绝对不能与特定元素的熔点相同，以避免在工艺中形成金属中间相。

当今，使用激光辐射可以进行金属微系统的各种微制造工艺，目前的制造精度为 10μm。由于从原理上说，它们的聚焦能力更好，基本上短波激光器（Nd:YAD 激光器和受激准分子激光器）适合于微加工；Nd:YAD 激光器通过反射镜或光导纤维把射线传到加工位置。为了获得最小的聚焦直径，要求光束的质量很高，这是由激光器谐振器的设计决定的。使用专门的多透镜聚焦系统和望远镜，得到的聚焦直径最接近理论可获得的最小焦点直径。使用 CNC 系统可以将微加工的过程编程。

下面是用 Nd:YAG 激光器进行激光微加工的应用例子：

（1）带有 10μm 切缝的电子接触弹簧。

（2）大面积特种钢箔的高速打孔（孔径为 100μm）。

（3）微型雕刻。

（4）特种钢箔的轨迹焊接（焊缝宽度约为 70μm）和激光微折弯。

在电子元件的导线连接方面，同步激光束钎焊工艺是一项新的进展，激光器可同时将所有的导线连接点都曝光。同步激光束钎焊的系统技术先决条件与光束形成元件有关，它能均匀地将激光传到各个连接点。例如，通过将光线投射到元件各个侧面就可以实现这些要求。这种方案采用固定的长度的准确的光线，正在得到工业应用。

这种方法的一种改进方式是，使产生的光束适合于待焊零件的几何形状和网格尺寸。每个光点均应完全与一个零件的连接相一致，从而使整个吸收的激光能量都用于加热连接物体，此外在使用光线时基板不会受到辐射。

十、机械连接技术

用重量轻的材料，如铝和镁代替钢材来减轻结构重量是一种发展趋势，同时也使得机械连接技术得到了进一步的发展，以简化接头的制造。车辆重量的减轻间接地减少了燃料的消耗和排放。从使用多种材料制造轻结构的原理来说，其目的就是通过优化组合各种不同的材料，来保证整个产品结构的坚固，从而获得最佳的轻结构。

在多种材料的制造中，越来越多地把高强度钢、铝、镁和塑料结合使用，纯钢材的概念已不适应将来轻重量结构的要求，因为它们只能减轻 5%～10%的重量。

铝是最重要的轻型材料，并且具有重量轻和良好的力学特性。例如：Audi A8 汽车，通过专门的技术，重量可以减轻 30%～50%。MgAlMn（AM20－AM60）镁材料，由于其具有很高的延展性和抗弯强度，因而得到了广泛应用。

由于塑料具有重量轻、耐腐蚀，可以任意成形和价格低等优点，所以也得到了广泛的应用。在人们要求重量轻这一需求的推动下，使连接方法得到了不断的调整。机械连接技术，如自切式铆接、镦锻和粘接也是传统“电阻点焊”连接技术的合适替代手段。

铆接和镦锻与点焊和凸焊相比具有以下优点：

（1）材料的连接方式灵活。

（2）用塑料做中间层适宜加工。

（3）投资相对小，操作成本低。

（4）连接时无需加热零件。

（5）无需前处理和后处理工艺。

多种材料制造的概念可能就是将来轻型制造的原理。

（待续）（20040324）