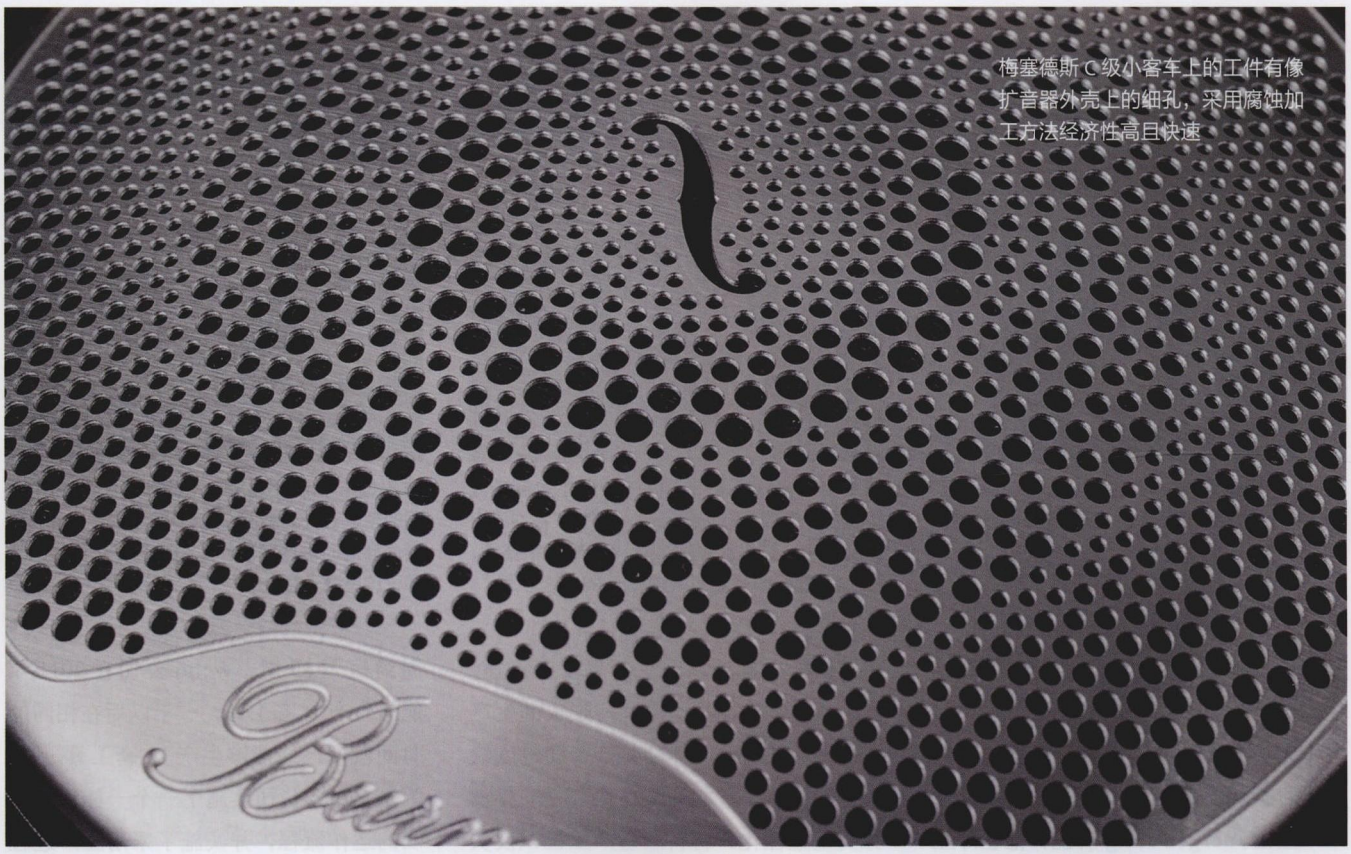

梅塞德斯C级小客车上的工件有像扩音器外壳上的细孔，采用腐蚀加工方法经济性高且快速

腐蚀加工

低成本和高效腐蚀加工技术

除了传统的加工方法如冲模加工，腐蚀加工技术也是金属加工的方法之一。腐蚀加工技术不再只是在加工样品件中应用，而是在采取综合设计中应用，并发挥其在较薄金属件批量加工中的优势。

文 | Markus Retting

冲模技术是用较薄金属片加工制造工件的常用方法。作为替代加工方法还有激光穿透加工法和水射流加工法。在相当短的一段时间内，人们开始采用光化学腐蚀加工技术生产制造样品工件。而近年来，越来越多的实践表明，这种金属加工技术也适用于金属工件的批量生产。但是，不是所有的技术设计人员和研发人员都了解光化学腐蚀金属加工技术。为了排除误解，必须对具体的金属加工方法加以区别判定。Precision Micro 公司使用光化学腐蚀技术、电蚀成形技术和线腐蚀技术这些加工制造方法生产高精度金属工件迄今已有 50 多年的历史。

在生产新产品时，往往出现这样的问题，那就是采取什么样的加工方法才最符合生产加工的具体要求。要根据所要加工制造的金属工件的外形尺寸、所加工的金属工件的类型和厚度、所要求的切削质量以及加工速度等方面的因素，综合考虑选择正确的加工技术。由此，在设计流程中就要一并将加工方法的经济性和技术性考虑在内。每个加工工件的成本和质量是考虑加工方法的决定因素。最后，客户还要对产品今后在金属部件中的应用作出判断，从而判断所选择的加工方法是否合适。

对工件轮廓和表面精度进行比较

目前，医疗行业、航天业、汽车制

造业、化学或电子工业越来越需要更小、更复杂和更精密的金属件。所有金属件的加工方法首先要考虑到客户对工件精度要求的提升。如果要加工制造精密金属件，那么只能选择确保加工所允许的误差，且便于加工外形复杂的工件的加工方法。腐蚀加工技术是一种化学加工流程，不适宜加工最小达到标准允许公差为 ±25μm 的金属件。腐蚀加工是通过精准的腐蚀流程使金属件生成平滑且无飞刺的技术。这种金属件轮廓的精准性是腐蚀加工的优点，这种方法特别适用于生产加工精密工件，如汽车车身内饰件。

采用冲模加工技术，通常是将金属板安置在辊子上，沿着两侧的定位孔进行进一步的加工。金属件虽没有进行加热，但通过机械的力使之成形。由于工件在加工过程中进行张紧和叠置，会导致工件的边缘上有飞刺。此外，还有水射流切割方法，该加工方法也不需要对工件进行加热，但是这种加工方法在确保工件的允许公差方面远不及腐蚀加工方法，且无法保证所加工的工件边上 100% 无飞刺。

激光穿透加工法在加工作业时，须往工件导入热。有些金属件在导入热的过程中，结构会发生变化。原则上，采用激光穿透技术可确保工件能够严格达到允许公差的要求，但是热负荷会导致加工工件特性的不准确性。因为采用激光切割技术加工工件的清洁程度低，所以与冲压技术这样的分离式加工方法相比有很多优点。采用激光切割技术加工方法，工件的切割边不会受涂敷材料的污染，但是在进行激光切割作业时，由于热的作用，工件切割边的材料结构会发上变化。在进行激光切割时，会形成热影响区（HAZ）。与采用腐蚀加工方法相比，采用激光切割方法加工金属件无法 100% 保证工件边上无飞刺出现。

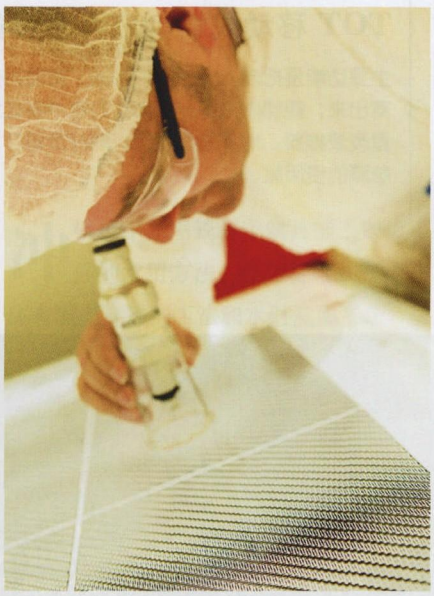

图 1 光化学腐蚀技术是一种精密的加工方法

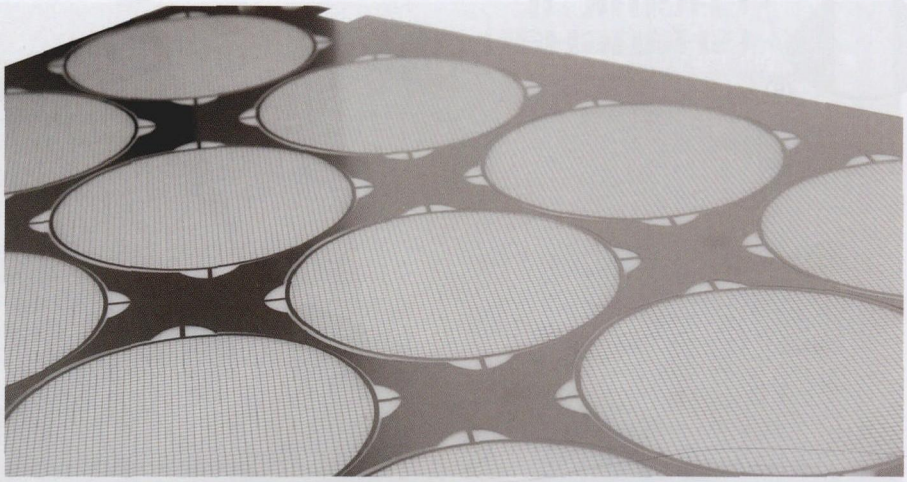

图 2 采用腐蚀技术适合加工数量大的如钛金属材料的精密过滤器

具体采用哪种加工方法，应根据所加工的金属件的材料性能而定。水射流切割法的优点是适用于加工各种不同的金属件。当采用水射流切割法加工作业的压力大于 6000 bar（1 bar=0.1 MPa）时，可加工碳素钢、铝、铜或优质钢等金属件，也可以加工塑料、木材、玻璃或石材这样的非金属件。

腐蚀加工法适用于难加工的部件

光化腐蚀加工法适用于加工各种不同的金属材料件，例如含铁和不含铁的金属件的加工，其中包括奥式体和马式体钢、铜、黄铜和镍等金属件。光化学腐蚀加工法适用于加工如 Sanvik 7C27Mo2 优质钢这样的硬金属，也适合用于加工铝或铜这样的软金属件。这种方法同样也适用于加工高温合金如因康镍合金、有色金属，其中包括银以及难切割的金属钛以及钛合金部件。Precision Micro 公司投资设置了一条新的腐蚀技术加工生产线。新的腐蚀技术加工生产线可用来加工各种各样的钛金属部件。Precision Micro 公司成为了欧洲第一家采用腐蚀技术加工钛金属部件的企业。腐蚀技术对于厚度为 10 μm~1.5 mm 之间、板材外形尺寸最大为 700 mm × 1500 mm 的金属件来说是最理想的加工方法。而较厚的金属件采用腐蚀技术方法进行加工，耗时较长，因而经济性较低。

较厚的材料可采用冲模加工方法和激光切割方法进行加工。总的说来，硬度较大的金属采用冲模加工方法比较快。在采用激光切割方法进行加工时，金属工件的厚度会影响工件的切削质量。薄的材料采用激光切割方法进行加工时，切削缝薄，不会产生问题。而较厚的材料采用激光切割方法进行加工时，由于材料加热，切削线填有金属熔化物或熔渣，这样便影响工件加工的精度。因此必须在第二道工序时清除切削线填有的金属熔化物或熔渣。

还有一个观点是从经济性的角度来看，不能忽视工件加工制造的速度问题。除此之外，机床的组装和拆卸也直接影响到机床设备的生产作业成本，这些因素在选择工件加工方法时也要一并考虑在内。

工件加工速度决定成本效益

简单工件原则上采用激光切割制造

的速度高，作业时间短。加工作业的速度主要是由于工件材料的厚度、材料本身以及所采用激光的样式不同而发生明显变化。总的说来，复杂设计的程序化时间会比较长，工件的每条边和每个开孔都得另行进行切削加工，这样便加长了加工作业的时间。

采用激光切割制造时，另一个影响加工成本的因素是能源成本。与其他加工作业方法相比，激光切割作业方法耗电量多。由于采用激光切割制造时需要更换工具，因此更换工具的成本也要考虑在内。尽管需要更换工具，但是这种加工方法的自动化程度仍很高。与水射流切割加工相比，激光切割的速度较高。激光切割的速度与腐蚀加工的速度相似。而采用水射流加工方法，成本主要取决于工件的材料。采用水射流加工方法加工硬度较低的材料件如铝材料件，比硬度高的材料件如优质钢材料件要容易得多。

腐蚀技术的一个优点是，如果每个批次工件数量少，那么采用这种方法经济性好。光化腐蚀加工法的工具是数字化的。这种方法不比冲模加工法经济性差，而且适合加工那些难以加工的钢制工件。也就是说，大量的工件可以进行再生产，而且，再生产不会出现导致工（刀）具磨损的问题。由此可以确保加工生产的第一个工件与第一百万个工件的质量相同。由于腐蚀技术的工具成本低，所以被用作加工制造样品件的替代方法。采用腐蚀技术，工件复杂也不会导致成本变化。也就是说，工件上加工一个孔与加工许多个孔，其加工成本不会出现变化。

图 4 为采用腐蚀加工方法进行加工做好准备的分层，并印上纹理的材料薄板

腐蚀技术加工方法使用工具时间短，仅短短几个小时不会影响加工成本。这样便可以采用腐蚀技术进行样品件的加工制造，也可以采用这种方法进行批量生产。这样，产品批量生产不会增加产品的设计成本。采用腐蚀技术加工的工件具有重复精准性，所加工的工件能够达到所要求的公差。腐蚀技术加工工件的作业时间是同类工件采用冲模加工作业时间的 90%。

冲模加工作业工具整备时间长，适合于加工复杂工件。冲模加工作业一旦设置好了工具，真正进行加工作业的时间短。装备工件耗时又费钱。所以，冲模加工作业适用于批量加工作业。但是冲模加工作业的设备成本及维修保养成本高，所以，这些是降低冲模加工作业方法经济效益的因素。

腐蚀加工技术对于加工复杂设计的工件来说更加经济。与传统的加工方法如冲模加工方面或是激光切割方法相比，光化学腐蚀加工法的加工作业成本较低、灵活性好，适用于加工复杂设计的工件。采用这种方法加工的精密金属工件有一个决定性的优点是，因为工件没有受到高温和压力的影响，所以加工出的工件无飞刺。

复杂的工件在加工时需要一个综合性成形工具，而采用多层的工具又会增加加工成本。也有工具失灵的风险，这样会导致准备工具的时间变长。对于光化学腐蚀加工法来说这是无关紧要的。加工几何尺寸比较复杂的工件时，数字化设置工具既不影响加工成本，又不影响工具的准备时间。采用光化学腐蚀加工复杂的工件比采用冲模方法进行加工所得到的工件更加精美。与冲模方法相反，光化学腐蚀加工法适用于加工平的工件。光化学腐蚀加工法的优势是适用于一批次任意数量的复杂工件加工，而不受工件数量的限制。MM

图 3 采用腐蚀加工方法加工的铝制板即将下线