

材料

采用 Duplex 钢材制作精密部件

迄今为止，Duplex 钢材除了已经被应用于石化和海洋石油等腐蚀性领域之外，现在也越来越多地被应用于汽车工业。尤其是在高精密部件制造上，材料会给切削技术提出新的挑战。

文 | Markus Pfofzer

Duplex 钢材加工的特点在于其精密性。如果说 Duplex 材料在以往只用于较大型部件生产中的话，而如今这种材料越来越多地被应用于那些非常精细的生产链之中。被发现于 20 世纪 30 年代的 Duplex 钢材，自 1970 年代以来因其优越的阻抗性而被特别用于化工、石化、海水淡化设备和海洋石油等工业。迄今为止，Duplex 钢材已经被用于连接管道和容器的制造中。切割、轧制、弯曲和接合是常见的加工工艺。而越来越多的材料进入到切削加工技术范畴里，

但在高精切削工艺方面，材料向加工单位提出了更高的挑战。

这种发展趋势的龙头是汽车工业，而汽车企业采用 Duplex 钢材，无论从经济角度还是设计角度，都意在提高生产效益。其背后原因便是用户对精密部件的要求和安全规范的要求越来越高。主要用于燃料注入的此类精密部件在今天的应用条件越来越苛刻，有一部分部件所受到的压力高达 200 bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)，因此在敏感系统中采用更加安全的燃料管道是一项不可或缺的条件。

良好的采购条件和更少的材料消耗可以确保更高的效益

设计人员都愿意从一开始就降低部件的磨损程度，因此材料特性是最基本的考虑因素。通过采用特种材料，汽车制造厂家旨在排除责任风险。以往普遍采用常规的铬镍钢材，现在设计人员采用 Duplex 钢材，所注重的不仅是其特殊的材料特性，同时也鉴于其采购条件更好，材料消耗更低，经济效益更佳。

Duplex 钢材结合了不锈钢钢和高强度建筑钢的良好特性：它以韧性好、机械负荷高和耐腐蚀性强而见长。Duplex 钢材的另一个优点在于其极好的可焊接性能，它适应于各种常规的焊接工艺。其特殊之处便在于他的成分，即双相结构由比例对等的铁素体和奥氏体构成，且铬的含量高，镍的含量低。但这种特性容易导致切削难度加大。此外，与纯奥氏体钢材相比，Duplex 钢材几乎不含硫。原则上会加剧材料切屑断裂的倾向，从而又会减轻切削加工的难度。因此，在正确切削 Duplex 钢材方面需要具备更多的知识。

在经过对 Duplex 钢材精密部件的多次加工问询之后，Leipold 公司于 2013 年年中把 Duplex 钢材切削的可行性检验工作提上了日程。迄今为止，整个行业

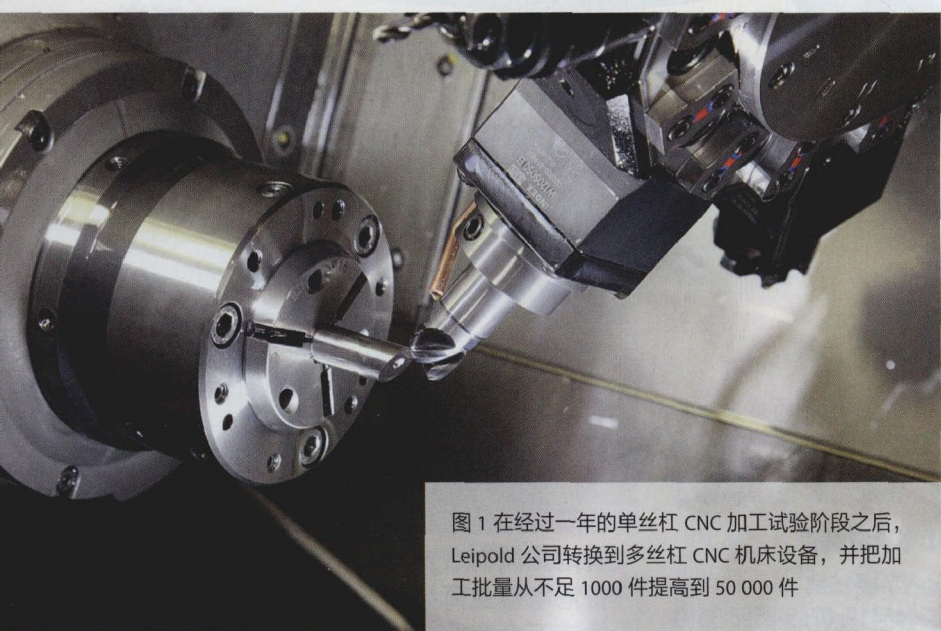


图 1 在经过一年的单丝杠 CNC 加工试验阶段之后，Leipold 公司转换到多丝杠 CNC 机床设备，并把加工批量从不足 1000 件提高到 50 000 件

对基于 Duplex 钢材的加工仍显得比较保守。由于 Leipold 公司已经尝试了相对简单的工件生产，因此它想进一步掌握这种材料的高精加工步骤。

市场需求推动 Duplex 材料切削的可行性试验

尽管在加工黄铜和不锈钢基材料方面知识不足，这家位于黑森林 Wolfach 地区的精密部件制造厂家还是要着手一个试验项目。该公司的目标便是在竞争激烈的全球精密部件市场上获得比印度低成本制造厂商更大的竞争优势。总之，该制造厂商逐步深入到精密技术领域，以便脱离原先的简易切削部件制造厂商的行列。

在试验项目中，Leipold 公司采用了一家汽车零部件供应商提供的管接头。此前，Leipold 公司一直采用 1.4301 号不锈钢材来加工管接头，而现在则选用 1.4462 号 Duplex 材料来制造管接头。在位于 Tübingen 的 Walter 公司技术中心，Leipold 公司于 2013 年 8 月开始了试验进程。仅两个月之后，该企业即在 CNC 单丝杠机床上加工出第一批样件。在此之后，Leipold 公司继续制造出批量小于 1000 件的多批样件。该企业想通过这种方法来达到在 CNC 单丝杠机床上的批量加工成熟度。在经过大约一年的试验阶段之后，Leipold 公司的加工作业完全转移到 CNC 单丝杠机床上来。在加工完成最初小于 1000 件的批量样件之后，该制造厂商于 2015 年 2 月把生产批量提高到 50 000 件。一旦用户需要一定的数量，Leipold 公司即可达到年产 500 000 件管接头的生产能力。在此情况下，CNC 单丝杠机床即可处于全年满负荷工作状态。

表面凝固现象带来负面影响

为了确保定额任务的完成，在项目执行阶段需要对工艺流程作出精细的协调。材料特性在很大程度上增加了加工过程的难度。在采用排屑式加工工艺时，

由于产生了压力和温度，从而在材料表面上容易出现一种凝固现象。这种现象应对 Duplex 材料带来很大的消极影响。Leipold 公司依据 Duplex 材料的需求，对整个切削流程进行了优化。由于热量渗入程度高，Leipold 公司采用了一种辅助的高压冷却技术，以便掌控切屑的生成和排放。

在 MS 40 型 CNC 多丝杠机床上，制造商可以把所有加工工艺引用到对 Duplex 钢材的批量加工中，从镗削和成型铣削，一直到外轮廓车削和切断等全过程。如果说在单丝杠机床上每个工件的加工时间大约为 120 s 的话，那么现在的批量加工每件只需 28 s。但是，对于 Duplex 材料的加工需要较大的人力投入。由于材料的切屑生成不太理想，刀具存在被折断的风险，因此操作人员必须对加工过程进行近乎 100% 的监控。

同时，像 Leipold 公司等部件制造厂商在加工 Duplex 材料时，必须接受一个不足：尽管加工流程对所加工的材料进行了匹配，但材料会把刀具引向负荷的边缘。材料里很高的铬含量会极大磨损刀具的硬质涂层。铬镍基钢材通常含有 18%~19% 的铬，而 Duplex 材料的铬含量可高达 27%。与以往常见的材料相比，这种材料会加剧刀具的磨损程度并导致更长的停机时间。与普通钢材相比，Leipold 公司在加工 Duplex 材料时刀具使用寿命平均会缩短 40%。

尽管存在材料损耗和人员费用较高的问题，但是对 Duplex 材料的加工总体上还是值得的。这一方面是因为材料采购成本较低（材料中镍和钼的含量较低，镍在钢材中属于高费用项）；另一方面是因为由 Duplex 材料制造得出的精密部件可以实现小型化。出于材料特性的原因，在与常规材料的同等条件下，Duplex 钢材只需较低的质量即可经受住各种负荷。此外，部件的良好焊接性能对于设计来说也是一种优势。例如，由此可以省去

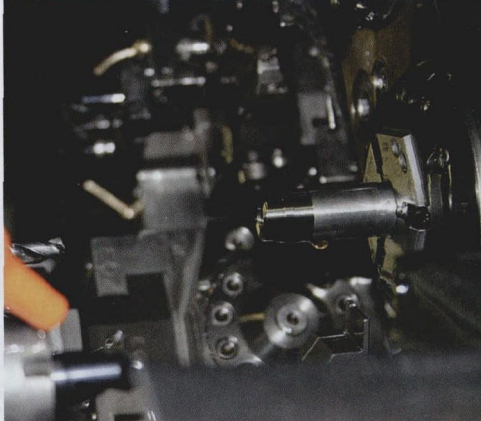


图 2 在 MS 40 型多丝杠 CNC 机床设备上，Leipold 公司在试验阶段结束之后实现了大约五十万件的年产量

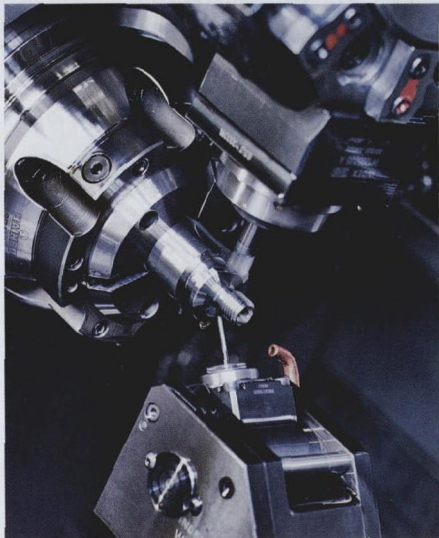


图 3 与图中所示的常规钢材的切削工艺相比，Duplex 材料对刀具提出更高的要求

在材料上打螺栓孔的工序。

年产可达五十万件

对于 Leipold 公司来说，对 Duplex 材料基的切削研究已经得到回报。除了管接头之外，该制造厂商如今还从这种材料中加工出其他三种部件（两件为管外件，一件为管心件）。每年产量可以达到五十万件。

在企业看来，这种需求还会上涨：不仅仅在汽车行业，同时也会在航空行业（其精密部件的高阻抗性是最基本的）领域，Duplex 钢材都将会继续成为精密部件的重要材料。MM