干式、半干式和低温冷风切削加工技术

重庆成田低温加工技术有限公司 (400030) 张昌义
重庆大学热力学院 (400030) 童明伟

切削热是伴随金属切削过程中必然的一种物理现象，对工件质量、刀具寿命有不可忽视的影响。低速切削时，机械磨损是刀具磨损的主要原因；而高速切削时，切削高温诱导刀具的磨损，由机械磨损为主转化为扩散磨损、相变磨损和炭化磨损为主要磨损机理，并引发刀具表面的粘结磨损。切削热还使刀具和工件热膨胀，加剧后刀面摩擦与磨损，引起工件表面粗糙度上升，故超精加工工艺特别强调必须及时、有效地控制切削热在工件、刀具内的传导。控制刀具、工件温升对数控加工有十分重要的意义。

要控制金属的切削热及刀具、工件的温升，必须综合考虑多方面因素，除了根据金属材料的特性、机制技术指标，合理选择刀具、切削工艺参数以外，最直接的措施是利用各种冷却介质，迅速带走刀具和工件上的切削热量、降低温度。

一、干式、半干式切削的发展

1. 当代金属切削加工业的重大课题

在金属切削加工技术诞生的那一天起，就有了干式切削和湿式切削的两种方法。在低于 180 m/min的切削速度下，湿式切削方法能够获得理想的切削效果，已被广泛运用。在切削过程中，切削液主要具有降温、润滑、排屑等三个作用。随着数控化的普及、刀具制造技术的提高，金属切削机床的切削速度越来越快、加工效率越来越高，随之所产生的切削热和刀尖温升也越来越快、越来越高。由于机床主轴高速回转（8 000～60 000r/min）会在刀具周围产生离心高速、高压气流，依靠常规加大切削液流量、降低切削温升的办法已不能达到理想的效果。

20 世纪 90 年代初，发达国家的专家们围绕金属切削加工过程对环境的影响问题，进行了认真的研讨，各国政府都拨专款资助以代替油剂湿式切削、清洁加工为目的干式切削加工工艺的研究。1996 年 9 月，ISO14000 环境标准在欧洲通过以后，各国政府都加大了因切削剂污染环境的处罚力度，制定了非常严格的切削废液管理、限制使用措施，因此，开发不使用（或少使用）切削液的加工技术就成为发达国家金属切削加工业所面临的重大课题；科技界努力创造、研究既能改善加工环境、节约能源，又能提高效率、降低成本的干式加工工艺方法。

2. 干式切削加工法

现代干式切削技术，就是要研究、找到不使用（或少使用）切削液，能起到上述三个作用，改善切削条件、满足加工要求的方法。

目前，国际上流行的不使用切削液的切削方法主要有：

完全不使用切削液的——全干式切削（高速干式切削法）；用气体混合微量润滑剂代替切削液的——半干式切削。

3. 全干式切削法的特点

全干式切削法，也叫高速干式切削法。机床主轴高速回转（通常在 20 000～60 000r/min），使用高强度刀具，小切深、大走刀，进行超高速切削加工。切削热 90% 以上被切屑带走，通过切削工艺条件的改变来实现无切削液化加工，其效率高、成本低，而机床、刀具投入的技术与成本很高。目前，欧、美国家较为流行，德国处于国际领先水平。据 2001 年统计，德国已有 8% 左右的企业采用了这一技术，预计到 2003 年德国将有 20% 以上的企业采用这一技术。

4. 半干式切削法的特点

半干式切削法是用气体加微量无害油剂代替切削液的降温、润滑、排屑的切削方式。常见的有：MQL（微量润滑）切削、氮气流切削、超低温冷却切削和低温冷风切削。日本用得较多，据统计：第 19 届（1998 年）东京国际机床展览会上，日本参展的 69 台机床中有 43 台具有半干式切削功能。

（1）MQL（微量润滑）切削　一种国外较为流行的半干式切削方法，在常温压缩空气中混入微量的无公害油雾代替大量切削液，对切削点实施冷却、润滑和排屑。

（2）氮气流切削　日本オリオン公司的专利技术，方法是：专用氮气发生装置把空气中的氧气、二氧化碳和水排出，提取氮气，并将这些常温氮气喷入切削区，以缓解金属材料的氧化过程，并达到降低温升的目的。

（3）超低温冷却切削　在一定压力作用下，将－180℃的液氮或是－76℃的 CO_2 液体送入切削点，代替大量油剂的切削方法。但该方法技术难度大、成本高。

（4）低温冷风切削　将压缩空气的温度降低到－20～－30℃，混入微量润滑剂，对切削点实施冷却、润滑和排屑，这种方法与 MQL 切削不同之处是超低温风冷，使切削点低温化。

二、低温冷风切削法

1. 低温冷风对刀具寿命的影响

在切削过程中，刀尖切削点的温升对刀具寿命的影响很大，低温冷风切削法就是向刀尖的加工部位喷射零下 20℃～30℃甚至更低的低温气流，并混入微量的植物性润滑剂（10～20ml/h），产生低温气流降温、微量油雾润滑切削和排屑的作用。切削点低温化，不仅使工件材料局部冷脆，有利于切屑的剪切断裂和降低切削负荷，同时也防止了刀具自身的扩散磨损、相变磨损和粘结磨损，微量油雾润滑降低了刀具与工件、刀具与切屑间的摩擦力，使刀具寿命得到延长。低温冷风切削法尤其适合钛、镁、钼、高硅铝合金、不锈钢等难切削材料和薄壁材料的加工。

2. 低温冷风对加工质量的影响

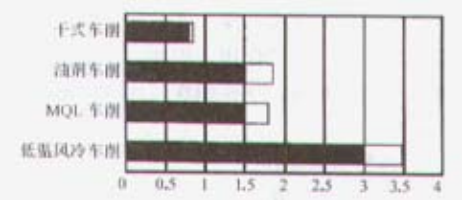
在金属切削加工过程中，工件温度的高低对表面加工尺寸的稳定影响很大。试验证明，低温冷风切削时，工件和刀具的温升低、变形小，刀具后端面切削阻力减小。而且，由于切削点的温度相对平稳，加工表面残余应力小，工件表面质量容易保证。在成都宁江机床厂最近进行的试验中，用金刚石刀具超精加工铝合金，使用低温冷风切削技术，工件表面粗糙度高达 $R_a0.05\mu m$，而在相同切削条件下使用油剂车削，表面粗糙度仅为 $R_a0.15\mu m$，显示出低温冷风喷射切削技术的优越性能，见图1。

3. 低温冷风切削的优点

干式、半干式切削被称为新世纪的切削技术，而低温冷风切削技术又是最适合我国国情、最为实用的一种，它有如下优点（几种车削方式切削性能的对比情况见图2）。



图1　成都宁江机床集团生产的五轴数控加工中心（主轴转速 40 000r/min,）使用低温冷风切削技术大大延长了刀具寿命



到刀具后隙面磨损0.2μm为止的切削长度/km

图2　干式、油剂、MQL 车削与低温冷风车削的切削性能对比情况

加工效率可成倍提高：据有关资料介绍，低温冷风车削可以提高效率1倍，低温冷风磨削可以提高效率3～4倍，低温冷风钻削（内冷方式）可以提高效率20倍左右；几乎无污染，改善生产条件；节约切削剂采购费，降低生产成本；切屑可以直接回收，增加经济效益；有利于自动加工、检测和监控；工件尺寸受加工温度影响很小，质量稳定；刀具寿命成倍延长，降低刀具成本、缩短机床准备时间；有利于钛、镁、镍铬合金等难切削材料的加工；有利于企业 ISO14000 和 ISO16000 标准的认证。

三、结语

通过几年时间的研究，我们认为：低温冷风切削技术可使刀具的切削效率更高、切削性能更好，其有广阔的运用前景，非常适合我国国情。我们相信，当“干式低温冷风切削技术研究”课题的推广应用取得突破以后，将进一步推进现代切削工程技术的发展。

（收稿日期：20030523）