

干加工和微量润滑加工

大连组合机床研究所 李如松 天润曲轴有限公司 刘洪福 丛建滋

继高速加工 (HSC) 在 20 世纪 80 年代中期取得突破和应用领域不断扩大之后, 工业发达国家在 90 年代中期把切削工艺研究和开发的重点转向了干加工。例如在德国, 其联邦教育、科学、研究和技术部在 1995 年制定和启动了研究和开发称之为“21 世纪工业生产战略”的干加工工艺科研框架项目“生产 2000”, 并为此提供了 4 亿 5 千万马克的研究开发经费, 组织了包括机床、工具和汽车厂在内的 18 家企业和 9 个高校研究所协同攻关。经过 (4-5) 年的开发, 和随后干加工在工业生产中逐渐的成功应用, 表明不用冷却润滑液或采用微量润滑液的切削加工 (准干加工) 技术已进入推广应用阶段。

干加工在金属加工工业中的应用, 其重要意义首先是经济性。采用湿式加工时, 与冷却润滑液相关的费用要占到零件制造成本的 (12-17)% (表 1), 因此, 采用干加工存在着降低产品成本的巨大潜力。其次是改善生态环境。冷却液的使用是造成环境污染、破坏生态平衡的重要因素。

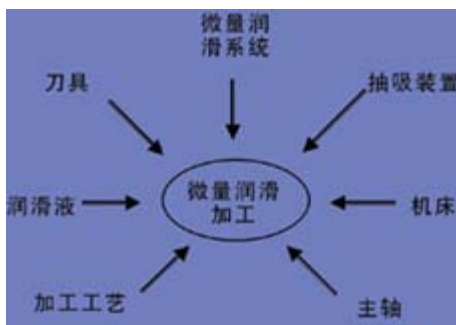


表 1: 汽车零件加工的单件费用

被加工零件	刀具费用	与冷却润滑液有关的费用	其它生产费用
缸盖 (铝合金)	4.0%	16.8%(10%的乳化液)	79.2%
		13.6% (7.5%的乳化液)	82.4%
变速箱体(铝合金)	2.4%	11.8% (10%的乳化液)	85.8%
驱动锥齿轮(合金钢)	9%	1.4%	89.6%
汽车零件	5%	17%	78%

(摘自:Daimler Benz AG, Mercedes Benz AG, BMW AG和VW AG的资料)

图一：与微量润滑加工(准干加工)相关的组成要素

第三是提高加工效率, 在采用冷却润滑液进行加工时, 由于在刀刃上出现较高的温度梯度, 会使刀具提前失效。当提高切削用量时, 在刀具与工件切削区上的温度就会增加, 热冲击的危险也随之增加, 这就限制了湿式加工时切削参数的进一步提高。而干加工由于没有冷却润滑液的冷却作用也就显著减少了热冲击危险, 采用干切削, 有望进一步提高切削参数。基于高效切削基础上的干加工, 无疑将打开切削工艺崭新的应用前景。研究开发干加工的目标是在机床上实现完全的干加工或准干加工 (在供给微量润滑油情况下进行加工)。实现干加工或准干加工涉及刀具、涂层和机床等诸多要素 (图 1), 是一项系统研究开发工程, 需要多方面的协同配合。

在传统的湿式加工中，冷却液的主要任务是：（1）润滑切削区，减少刀具与工件间的摩擦和粘结；（2）吸收切削区的热量和把热量带走，

并冷却工件；（3）用作输送介质，把切屑从机床加工区排出，在干加工时，由于在切削过程中缺少了冷却润滑液的润滑、冷却和冲屑作用，会导致刀具与工件间的摩擦增大、切削湿度升高、粘结加剧和切屑堵塞，从而造成刀具寿命、加工精度和切削效率的下降。

表 2: 几种常用硬涂层和软涂层的性能

	涂层名称	涂层厚度(mm)	显微硬度(HV0.05)	耐热性℃	摩擦系数
硬涂层	TiN	1-5	2100-2600	450-600	-0.4
	TiCN	1-5	2800-3200	350-400	0.25-0.4
	TiAlN	1-5	2600-3000	700-800	0.3-0.4
	TiAlC:YN	1-5	2600-3000	-950	0.3-0.4
软涂层	WC/C	1-4	-1100	-300	< 0.2
	MoS ₂	0.2-0.5			< 0.2

为克服由于缺少了冷却润滑液而造成的困难，需要通过开发和应用耐热的硬刀具材料，合适的刀具几何形状和微量润滑材料及其供给装置，以及通过采用适合于干切削的机床和选择相应的切削参数来解决，确保干切削过程的可靠进行。

表 3: 几种干钻削的效果

硬质合金钻头	涂层	TiAlN		
直径	5.05	14		8.6/11.0
工件材料	钢	球墨铸铁		球墨铸铁
	S137	(GGG70)QT700-2		(GGG40)QT400-18
切削速度 m/min	317	100		86/110
进给量 mm/r	0.4	0.3		0.3
孔深	15	30		42
微量润滑/干加工	微量润滑	微量润滑		干加工
刀具耐用度 m	7	35		280

实现干加工的最重要的前提条件是刀具（刀具材料）。由于干切削时会产生强烈的摩擦和极高的温度，需开发和采用耐高温磨损的刀具材料。在目前，用于干加工的主要有立方氮化硼（CBN）、陶瓷刀具材料、钛基硬质合金

（Cermets）、聚晶金刚石（PCD）和硬质合金等。其中 CBN 是淬硬钢和铸铁干加工最常用的刀具材料；而氮化硅（Si₃N₄）陶瓷特别适合于在断续切削和铸件有砂皮情况下对铸件和球墨铸铁进行干切削；Cermets 在硬度是介于陶瓷刀具材料和硬质合金之间的刀具材料，是高速干切削钢件的合适材料。

开发干切削刀具，除了正确选择刀具材料、切削参数和优化刀具几何参数外，大力发展刀具涂层具有特别重要的意义。通过在刀具上的硬涂层和硬、软复合涂层可以弥补由于放弃冷却润滑液而失去的某些功能。涂层的作用在于在刀具与被切削材料之间筑起一道屏障，以阻拦大部分切削热向刀体传导。由于涂层摩擦系数小，减小了摩擦并由此降低摩擦热。在目前已可以通过一系列高温耐

表 4: 干、湿攻丝的效果

	湿式/干式	湿式 (5% 乳化液)	干式 (涂层: TiCN)
攻丝	工件材料	经锻造的调质钢	
	M12-6H, 攻深 mm	12	
	切削速度 m/min	12	
	丝锥加工螺孔的数量	1400	2000

磨的硬涂层和润滑性好的软涂层满足各种干切削的不同要求（表 2）。例如，由于 TiAlN 涂层具有很高的耐高温硬度和抗氧化性能，所以是最常用的“隔热”涂层，特别适用于干切削铸铁、钢和不锈钢等零件。而 TiCN 在较低温度下具有较高的硬度和较好的韧性，故很适用于用作丝锥的涂层，用于干式攻丝。硬涂

层和软涂层的组合, 例如 TiAlN+Me-C:H 及 TiAlN+MoS₂, 可以减小摩擦和热扩散, 改善滑动性能, 从而有利于排屑。这种复合涂层适合于进行干钻削。

通过刀具涂层实现多种干加工工艺已有很多成功的实例 (表 3、表 4、表 5)。

表 5: 干、湿滚铣效果

工件	加工工艺	湿式加工	干加工	单件加工费用降低
变速滚铣轮		高速钢+TiN Vc=110m/min	硬质合金 290m/min	43%
齿轮(模数<4 抗拉强度<1100N/mm ²)	滚铣	高速钢 (60-100)m/min	高速钢+TiAlN 160m/min	50%

目前, 越来越认识到微量润滑技术在干加工中的重要作用。对于长切屑的工件材料进行纯粹的干切削还不能获得所要求的工件质量和刀具寿命。如在干切削铝件时, 由于切削刀具与铝件切屑间易产生粘结, 在刀刃上形成积屑瘤。然而当给切削刀刃喷射极少量的润滑油进行准干切削时则会获得良好的效果。

微量润滑技术是利用压缩空气与润滑液混合后由喷嘴将其喷射到刀刃上进行润滑的一种技术, 润滑材料的消耗量通常在 (5-100) m/min, 并大多采用对环境无公害的润滑材料。

微量润滑的主要作用是润滑, 借此起到减小摩擦、降低切削热和改善切屑的流动。

在这里应提及的是, 在传统的湿式加工中, 所用的冷却润滑液 (乳化液) 通常含有 (90-97) % 的水, 因此实际的润滑作用是很小的, 所以在加工时刀具与工件间的摩擦和刀具的磨损还是相当大。

采用微量润滑技术进行准干加工可以采用成倍高于湿式加工时的切削用量, 从而可以显著地缩短加工时间 (表 6)。目前, 准干加工已在许多加工领域中获得成功应用, 在大批量生产中, 例如在 BMW (宝马) 汽车厂的一条加工曲轴箱缸孔的自动线上, 采用了微量润滑技术加工缸孔而获十分显著的技术经济效益。自动线由于省去了冷却润滑系统和清洗设备而使设备的投资减少了 22%, 设备折旧费降低 22%, 以及能源、人员和设备运行等费用节省了 11%。

目前, 在机床市场上已有适合于干加工和准干加工的各种机床 (特别是加工中心) 可供选用。这标志着干加工技术已进入实用化阶段, 随着刀具、涂层和微量润滑等技术的进一步开发和不断完善, 干切削技术的应用领域将会不断扩大。(完)

表 6: 微量润滑加工的效果

工件名称: 壳体 工件材料: 16MnCr	湿式加工 (乳化液)		微量润滑加工 (合成酯)	
	切削速度 m/min	进给速度 mm/min	切削速度 m/min	进给速度 mm/min
刀具				
中心钻 φ10	70	80	80	250
硬质合金钻头 φ4	63	100	90	760
硬质合金钻头 φ9.8	77	450	77	860
阶梯钻 φ23/ φ12.5	43	30	72	180
倒角(M14×1.5)	24	30	47	250
倒角(M12×1.5)	20	80	46	200
硬质合金钻头 φ9	80	450	80	665
锥度铰钻 φ6/30°	8	40	38	225
丝锥 M12×1	11	300	87	200
丝锥 M14×1.5	19	300	87	240
丝锥 M12×1.5	17	300	87	240
总加工时间	15.42分		6.36分	
节省时间: 58.7%				

(摘自 Willy Vogel AG 的资料)

转载文章