

乾加工和微量潤滑加工

大連組合機床研究所 李如松 天潤曲軸有限公司 劉洪福 叢建滋

繼高速加工（HSC）在 20 世紀 80 年代中期取得突破和應用領域不斷擴大之後，工業發達國家在 90 年代中期把切削工藝研究和開發的重點轉向了乾加工。例如在德國，其聯邦教育、科學、研究和技術部在 1995 年制定和啟動了研究和開發稱之為“21 世紀工業生產戰略”的乾加工工藝科研框架專案“生產 2000”，並為此提供了 4 億 5 千萬馬克的研究開發經費，組織了包括機床、刀具和汽車廠在內的 18 家企業和 9 個高校研究所協同攻關。經過（4-5）年的開發，和隨後乾加工在工業生產中逐漸的成功應用，表明不用冷卻潤滑液或採用微量潤滑液的切削加工（准乾加工）技術已進入推廣應用階段。

乾加工在金屬加工工業中的應用，其重要意義首先是經濟性。採用濕式加工時，與冷卻潤滑液相關的費用要占到零件製造成本的（12-17）%（表 1），因此，採用乾加工存在著降低產品成本的巨大潛力。其次是改善生態環境。冷卻液的使用是造成環境污染、破壞生態平衡的重要因素。

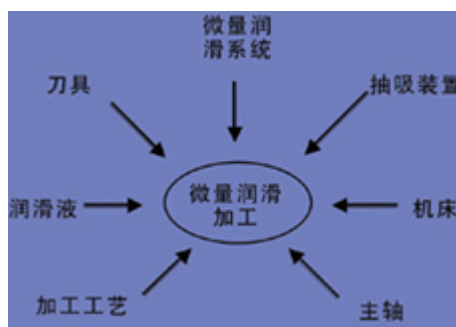


表 1: 汽车零件加工的单件费用

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)

圖一：與微量潤滑加工(准乾加工)相關的組成要素

第三是提高加工效率，在採用冷卻潤滑液進行加工時，由於在刀刃上出現較高的溫度梯度，會使刀具提前失效。當提高切削用量時，在刀具與工件切削區上的溫度就會增加，熱衝擊的危險也隨之增加，這就限制了濕式加工時切削參數的進一步提高。而乾加工由於沒有冷卻潤滑液的冷卻作用也就顯著減少了熱衝擊危險，採用乾切削，有望進一步提高切削參數。基於高效切削基礎上的乾加工，無疑將打開切削工藝嶄新的應用前景。研究開發乾加工的目標是在機床上實現完全的乾加工或准乾加工（在供給微量潤滑油情況下進行加工）。實現乾加工或准乾加工涉及刀具、塗層和機床等諸多要素（圖 1），是一項系統研究開發工程，需要多方面的協同配合。

在傳統的濕式加工中，冷卻液的主要任務是：（1）潤滑切削區，減少刀具與工件間的摩擦和粘結；（2）吸收切削區的熱量和把熱量帶走，並冷卻工件；（3）用作輸送介質，把切屑從機床加工區排出，在乾加工時，由於在切削過程中缺少了冷卻潤滑液的潤滑、冷卻和沖屑作用，會導致刀具與工件間的摩擦增大、切削濕度升高、粘結加劇和切屑堵塞，從而造成刀具壽命、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 ₂ 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

為克服由於缺少了冷卻潤滑液而造成的困難，需要通過開發和應用耐熱的硬刀具材料，合適的刀具幾何形狀和微量潤滑材料及其供給裝置，以及通過採用適合於乾切削的機床和選擇相應的切削參數來解決，確保乾切削過程的可靠進行。

表 3: 几种干钻削的效果

硬質合金鑽頭鑽孔	涂层	TiAlN		
直徑	5.05	14		8.6/11.0
工件材料	鋼	球墨鑄鐵		球墨鑄鐵
	Si37	(GGG70)QT700-2		(GGG40)QT400-18
切削速度 m/min	317	100		86/110
進給量 mm/r	0.4	0.3		0.3
孔深	15	30		42
微量潤滑/干加工	微量潤滑	微量潤滑		干加工
刀具耐用度 m	7	35		280

實現乾加工的最重要的前提條件是刀具（刀具材料）。由於乾切削時會產生強烈的摩擦和極高的溫度，需開發和採用耐高溫磨損的刀具材料。在目前，用於乾加工的主要有立方氮化硼（CBN）、陶瓷刀具材料、鈦基硬質合金

（Cermets）、聚晶金剛石（PCD）和硬質合金等。其中 CBN 是淬硬鋼和鑄鐵乾加工最常用的刀具材料；而氮化矽（Si₃N₄）陶瓷特別適合於在斷續切削和鑄件有砂皮情況下對鑄件和球墨鑄鐵進行乾切削；Cermets 在硬度是介於陶瓷刀具材料和硬質合金之間的刀具材料，是高速乾切削鋼件的合適材料。

開發乾切削刀具，除了正確選擇刀具材料、切削參數和優化刀具幾何參數外，大力發展刀具塗層具有特別重要的意義。通過在刀具上的硬塗層和硬、軟複合塗層可以彌補由於放棄冷卻潤滑液而失去的某些功能。塗層的作用在於在刀具與被切削材料之間築起一道屏障，以阻攔大部分切削熱向刀體傳導。由於塗層摩擦係數小，減小了摩擦並由此降低摩擦熱。在目前已可以通過一系列高溫耐

表 4: 干、湿攻丝的效果

	濕式/干式	濕式 (5% 乳化液)	干式 (涂层: TiCN)
攻絲	工件材料	經製造的調質鋼	
	M12-6H, 攻深 mm	12	
	切削速度 m/min	12	
	絲錐加工螺孔的數量	1400	2000

磨的硬塗層和潤滑性好的軟塗層滿足各種乾切削的不同要求（表 2）。例如，由於 TiAlN 塗層具有很高的高溫硬度和抗氧化性能，所以是最常用的“隔熱”塗層，特別適用於乾切削鑄鐵、鋼和不銹鋼等零件。而 TiCN 在較低溫度下具有較高的硬度和較好的韌性，故很適合於用作絲錐的塗層，用於乾式攻絲。硬塗

層和軟塗層的組合，例如 TiAlN+Me-C:H 及 TiAlN+MoS₂，可以減小摩擦和熱擴散，改善滑動性能，從而有利於排屑。這種複合塗層適合於進行乾鑽削。

通過刀具塗層實現多種乾加工工藝已有很多成功的實例（表 3、表 4、表 5）。

表 5: 干、濕滾銑效果

工件	加工工藝	濕式加工	干加工	單件加工費用降低
變速齒輪		高速鋼+TiN Vc=110m/min	硬質合金 290m/min	43%
齒輪(模數<4 抗拉強度<1100N/mm ²)	滾銑	高速鋼 (60-100)m/min	高速鋼+TiAN 160m/min	50%

目前，越來越認識到微量潤滑技術在乾加工中的重要作用。對於長切屑的工件材料進行純粹的乾切削還不能獲得所要求的工件品質和刀具壽命。如在乾切削鋁件時，由於切削刀具與鋁件切屑間易產生粘結，在刀刃上形成積屑瘤。然而當給切削刀刃噴射極少量的潤滑油進行准乾切削時則會獲得良好的效果。

微量潤滑技術是利用壓縮空氣與潤滑液混合後由噴嘴將其噴射到刀刃上進行潤滑的一種技術，潤滑材料的消耗量通常在（5-100）m/min，並大多採用對環境無公害的潤滑材料。

微量潤滑的主要作用是潤滑，借此起到減小摩擦、降低切削熱和改善切屑的流動。

在這裡應提及的是，在傳統的濕式加工中，所用的冷卻潤滑液（乳化液）通常含有（90-97）%的水，因此實際的潤滑作用是很小的，所以在加工時刀具與工件間的摩擦和刀具的磨損還是相當大。

採用微量潤滑技術進行准乾加工可以採用成倍高於濕式加工時的切削用量，從而可以顯著地縮短加工時間（表 6）。目前，准乾加工已在許多加工領域中獲得成功應用，在大批量生產中，例如在 BMW（寶馬）汽車廠的一條加工曲軸箱缸孔的自動線上，採用了微量潤滑技術加工缸孔而獲十分顯著的技术經濟效益。自動線由於省去了冷卻潤滑系統和清洗設備而使設備的投資減少了 22%，設備折舊費降低 22%，以及能源、人員和設備運行等費用節省了 11%。

目前，在機床市場上已有適合於乾加工和准乾加工各種機床（特別是加工中心）可供選用。這標誌著乾加工技術已進入實用化階段，隨著刀具、塗層和微量潤滑等技術的進一步開發和不斷完善，乾切削技術的應用領域將會不斷擴大。（完）

表 6: 微量潤滑加工的效果

工件名稱:壳体 工件材料:16MnCr 刀具	濕式加工 (乳化液)		微量潤滑加工 (合成酯)	
	切削速度 m/min	進給速度 mm/min	切削速度 m/min	進給速度 mm/min
中心鑽 φ10	70	80	80	250
硬質合金鑽頭 φ4	63	100	90	760
硬質合金鑽頭 φ9.8	77	450	77	860
階梯鑽 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
硬質合金鑽頭 φ9	80	450	80	665
錐度鉗鑽 φ6/30°	8	40	38	225
絲錐 M12×1	11	300	87	200
絲錐 M14×1.5	19	300	87	240
絲錐 M12×1.5	17	300	87	240
總加工時間	15.42 分		6.36 分	
節省時間:58.7%				

（摘自 Willy Vogel AG 的資料）

轉載文章