

切削刀具的表面强化技术

成都工具研究所 (四川 610051)

罗德福

在金属切削领域,切削刀具是易耗品。古人云“工欲善其事,必先利其器”,因此刀具制造商和刀具使用者都十分关注刀具的耐用度。通常提高刀具耐用度的途径为合理的刀具结构设计、高性能的刀具材料和刀具的表面强化处理,并且刀具的表面强化技术更是充分发掘刀具材料的性能和提高刀具耐用度最有效的措施。

刀具的表面强化技术有几种,这里只介绍规模化用于生产的两大技术:一是 PVD 物理气相沉积技术;另一个就是 QPQ 盐浴复合处理技术。根据英国 Wolfson 热处理中心和日本热处理专家大和久重雄等权威报道,在欧洲、美国和日本高速钢刀具应用最多的表面强化技术是 QPQ 盐浴复合处理技术,它可以提高刀具耐用度 2~5 倍。近些年, PVD 物理气相沉积技术在刀具上的应用发展也很快,可以提高刀具耐用度 3~6 倍或更高,很适用于齿轮刀具等贵重、精密刀具,特别是应用于硬质合金刀具,发展非常迅速。

一、QPQ 盐浴复合处理技术

QPQ 盐浴复合处理技术是一种新的金属表面强化改性技术,金属在两种不同性质的低温熔融盐浴中作复合处理,以使多种元素同时渗入金属表面,形成由几种化合物组成的复合渗层,以使金属表面得到强化改性。

1. 工艺过程

刀具 QPQ 盐浴复合处理的主要工序有:预热 (350~400℃, 20~40min); 盐浴渗氮 (540~550℃, 5~45min); 盐浴氧化 (350~400℃, 15~20min)。

工艺过程为:装卡→去污清洗→预热→盐浴渗氮→盐浴氧化→去盐清洗→干燥→浸润滑油。

各主要工序的基本作用:

(1) 预热 预热的主要作用是使冷态刀具升温后再入盐浴渗氮,防止刀具入炉后渗氮温度下降太

多,同时刀具预热后在表面形成氧化膜,对渗氮有一定的催化作用,并且减少刀具变形和获得色泽均匀的外观也是预热的目的。

(2) 盐浴渗氮 盐浴渗氮是 QPQ 盐浴复合处理技术的核心工序,也是提高刀具耐用度的关键环节,它可使高速钢刀具表面硬度提高到 1050~1500HV0.1,渗层深度控制在 5~50μm。具体渗层性能由盐浴渗氮温度、渗氮时间和渗氮盐浴中氰酸根浓度(CNO⁻通常为 32%~38%)来控制。

(3) 盐浴氧化 盐浴氧化主要作用是彻底中和刀具从渗氮炉带出来部分渗氮盐中的微量氰根(CN⁻),做到无公害,同时在刀具表面形成黑色氧化膜,增加刀具抗蚀性和刀具商品性。

刀具采用 QPQ 盐浴复合处理技术进行表面强化时,要最大限度提高刀具的耐用度,还必须考虑以下两点影响因素。

(1) 刀具材料的影响 刀具材料不同,在 QPQ 盐浴复合处理后性能有所不同,如图 1、图 2 所示。

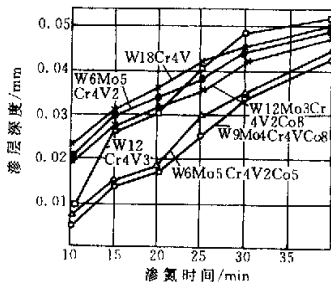


图 1 不同牌号高速钢的渗层深度

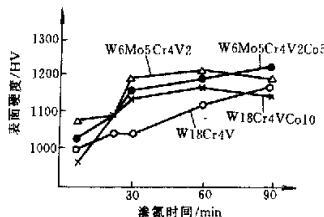


图 2 刀具材料与渗层硬度



(2) 刀具使用条件的影响 图3为切削加工条件对刀具 QPQ 处理后刀具寿命的影响。采用相同的 QPQ 技术规范处理刀具后, 由于 *a* 和 *b* 两种切削条件不同, 在 *a* 条件加工 220HBS 的碳钢时刀具寿命高, 在 *b* 条件加工 280HBS 的镍铬钢时刀具寿命大大降低, 即使同样在 *a* 条件下, 只有在某一特定的工艺规范下, 刀具才有最高的使用寿命。

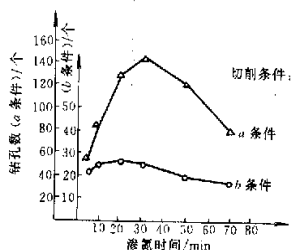


图3 切削条件与渗氮时间对钻头寿命的影响

2. 应用实例

国内外 QPQ 盐浴复合处理技术在刀具上的应用都相当广泛。一是专业工具厂把 QPQ 技术作为制造刀具的工序之一, 二是刀具用户为了提高刀具的耐用度而进行附加的 QPQ 盐浴复合处理。高速钢刀具经 QPQ 盐浴复合处理后, 均可提高耐用度。

(1) 钻头 不同规格钻头 QPQ 处理前后的寿命见表1。

表1 QPQ 处理前后钻头寿命比较

钻头规格	钻头状态	钻头编号	钻孔个数	平均 钻孔数	钻头规格	钻头状态	钻头编号	钻孔个数	平均 钻孔数	钻头规格	钻头状态	钻头编号	钻孔个数	平均 钻孔数
φ8mm	未复合处理	1	10	63.6	φ9mm	未复合处理	1	5	34.4	φ7.5mm (锥柄)	未复合处理	1	18	36.8
		2	23				2	7				2	19	
		3	38				3	20				3	26	
		4	43				4	64				4	37	
		5	208				5	76				5	84	
	复合处理	1	18	203.2		复合处理	1	106	142.4		复合处理	1	90	129.6
		2	170				2	113				2	121	
		3	178				3	117				3	121	
		4	184				4	160				4	133	
		5	336				5	210				5	184	

(2) 铣刀 立铣刀 QPQ 处理前后寿命见表2。

表2 QPQ 处理前后立铣刀寿命比较

生产厂家	铣刀规格	铣刀状态	铣刀编号	加工件数	平均加工数
431 机床厂 刀具分厂	φ50mm× 110mm× 270mm	未复合 处理	B1-1	2	4.2
			B1-2	5	
			B1-3	4	
			B1-4	6	
			B1-5	4	

(续)

生产厂家	铣刀规格	铣刀状态	铣刀编号	加工件数	平均加工数
431 机床厂 刀具分厂	φ50mm× 110mm× 270mm	复合处理	B2-1	12	14
			B2-2	13	
			B2-3	14	
			B2-4	12	
			B2-5	15	
			B2-6	15	
			B2-7	15	
			B2-8	16	

(3) 其他刀具 拉刀、滚刀、铰刀、丝锥等刀具, 经 QPQ 盐浴复合处理后, 寿命均提高 2 倍以上, 特别是加工不锈钢、耐热钢效果更加显著, 刀具寿命可提高 5 倍以上。另外, QPQ 盐浴复合处理技术还可以作为高速钢刀具淬火硬度偏低、表面脱碳、脱元素等缺陷的补救办法, 变废品为成品。

二、PVD 物理气相沉积技术

PVD 物理气相沉积技术是利用热蒸发或辉光放电、弧光放电等物理过程在一种材料表面上沉积另一种材料薄膜的技术。其工艺分类方法如表3所示。

真空蒸镀是发展较早、应用也最广的一种 PVD 技术, 目前仍占全世界 40% 左右的市场, 但应用范围日趋减少; 离子镀是一种应用较多的超硬材料镀膜技术,

目前广泛用于切削刀具的涂层; 阴极溅射因其固有的优点, 其发展引起了物理气相沉积技术的深刻变革, 它不但可以进行金属、合金、硬质合金、超硬材料和非导电性材料的涂层, 而且所有材料可进行单层、多层或纳米级涂层, 特别是近几年来在切削刀具上的涂层应用取得了巨大的发展。

1. 高速钢刀具的 PVD 涂层

大量的实践和现场试验比较, 利用 PVD 物理气相沉积技术对高速钢进行氮化钛涂层最为理想。氮化钛层能保证高速钢刀具在更高的切削速度、更大的进给量下切削, 并使刀具的耐用度延长。

(1) 切削速度 由于氮化钛涂层具有很好的耐热性和很低的摩擦因数, 因而可以在很高的切削速度下进行切削加工, 如日本规定氮化钛涂层滚刀,

切削速度可提高到 90 ~ 150m/min, 而未涂层滚刀, 切削速度须限制在 30 ~ 40m/min。

(2) 切削硬材料的能力 一般高速钢刀具切削硬度在 220HBS 以下的工件, 其耐用度较高, 如工件硬度提高, 刀具耐用度迅速下降, 但是涂上氮化钛涂层后, 同样的刀具材料, 却可以切削硬度达 300 ~ 400HB 的工件, 并能保持一定的耐用度。

表 3 物理气相沉积 (PVD) 工艺方法分类

分类	真空蒸镀			离子镀			阴极溅射				
工艺方法	电阻加热蒸镀	电子束加热蒸镀	激光加热蒸镀	高频感应加热蒸镀	高频离子镀	低压等离子镀	空心阴极放电离子镀	感应加热离子镀	活化蒸发离子镀	二极溅射	三极溅射
										磁控溅射	对置溅射
											离子束溅射
											吸收溅射

(3) 耐用度 在正常切削条件下, 与未涂层刀具相比, 涂层刀具具有很高的耐用度, 如图 4 所示。

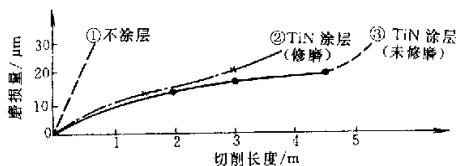


图 4 TiN 涂层插齿刀的耐用度

2. 硬质合金刀具的 PVD 涂层

在硬质合金刀具上沉积超硬涂层首先采用的是 CVD 化学气相沉积技术, 目前约有 80% 的硬质合金刀具采用 CVD 技术进行超硬材料涂层, 但 CVD 的沉积温度高达 1000 ~ 1100℃, 且 CVD 涂层材料的种类较少, 大大影响了涂层的应用范围。随着 PVD 物理气相沉积技术的工艺装备、涂层与基体结合力、涂层与涂层结合力等问题的较好解决, 世界各主要切削刀具制造商纷纷推出了 PVD 涂层牌号的切削刀具。

由图 5 到图 7 可以看出, 无论在何种切削条件下, 应用 PVD 物理气相沉积技术涂层的硬质合金刀具的切削力随进给量、切削深度、切削速度的变化规律与未涂层硬质合金刀具切削力的变化规律是相同的, 但涂层硬质合金刀具的切削力明显小于未涂层硬质合金刀具的切削力。

过去一种涂层刀具, 适应各种加工场合, 现在随着汽车、石油、冶金等行业的发展以及数控机床性能的不提高, 就要求切削刀具进行硬材料加工、干式切削加工和高速切削加工, 这给 PVD 物理气相沉积技术提供了广泛的应用前景。各种

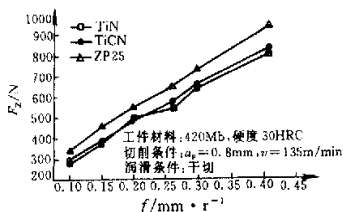


图 5 三种刀具的切削力随进给量变化的对比

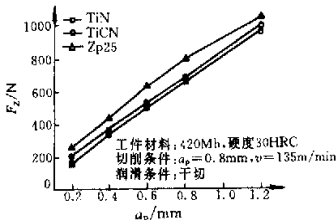


图 6 三种刀具的切削力随进给深度变化的对比

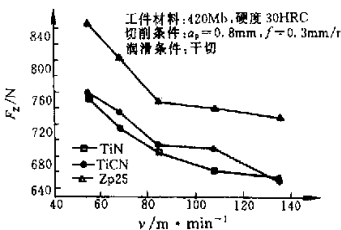


图 7 三种刀具的切削力随速度变化的对比

PVD 涂层材料的切削应用范围见表 4。

表 4 各种 PVD 涂层材料的切削应用范围

被切削材料	涂层				
	纳米级 TiN	TiN + TiAlN	TiB2	TiAlN	TiAlN + C
高合金钢	▲	■●		◆	■
低合金钢	▲	■●		◆	■
铝、铝合金			■●		
不锈钢	▲	■●			
铸铁		■●		◆	
塑料等		■●			

注: ▲良好的适应性 ■干式切削 ●高速度切削 ◆高负荷切削。

QPQ 盐浴复合处理技术和 PVD 物理气相沉积技术都是切削刀具高效、实用的表面强化技术。莫斯科机床工具院认为: QPQ 盐浴复合处理技术成本低, 强化效果显著, 性能稳定, 适用于量大、面广的通用刀具和其他各种刀具; PVD 物理气相沉积技术强化效果更好, 只是前处理要求较严, 成本高, 适用于贵重、精密的高速钢刀具以及硬质合金刀具; 两者应分工、配合使用, 即针对具体的切削加工对象和切削加工条件, 使用不同表面强化处理的切削刀具。

(20030818)