新型刀具材料的研究现状*

杨 军,张海燕,樊俊珍

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要:文章分别介绍了涂层刀具和陶瓷刀具使用材料及使用过程中的注意事项,并对两种超硬刀具材料进行了简单描述,总结了我国刀具材料的发展方向。

关键词:涂层刀具;陶瓷刀具;超硬材料刀具

中图分类号:TG711 文献标识码:B 文章编号:1009-5438(2021)03-0082-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.023

Research Status of New Cutter Materials

Yang Jun, Zhang Hai-yan, Fan Jun-zhen

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the materials of coated tool and ceramic tool as well as matters needing attention in the process of using them, described the materials of two superhard material tools as well as summarized the development direction of cutter materials in our country.

Key words: coated tool; ceramic tool; superhard material tool

切削加工是工业生产中最基本和最重要的方法之一,大多数机械零件的最终形状是通过切削加工技术实现。它直接影响工业生产的效率、成本和能源消耗。随着制造技术向高效率、高精度、高柔性和环境保护等方向发展,且机械加工中的辅助工时越来越短,提高加工效率的关键就在于缩短加工工时。高速切削是降低加工工时、提高效率的主要方法,高速切削的发展不仅取决于高速机床的发展,更取决于高速切削刀具的发展。在切削加工中,刀具材料直接影响加工过程的效率、成本和能源消耗;另外,随着现代制造技术的发展,各种新型的难加工材料在产品中大量应用,传统的刀具已经难以满足生产需要。因此,研究和开发适用于各种高速切削、干切削和各种难加工材料的切削的刀具,有着极为重要的意义。而涂层刀具、陶瓷刀具和各种超硬材料刀具是解决以上问题的研究热点。

1 涂层刀具

经过表面涂层的高速钢刀具和硬质合金刀具已得到广泛应用。近年在工业发达国家中,涂层刀具占全部刀具使用量的一半以上。在刀具材料表面涂覆高硬、耐磨的薄层,可以有效解决刀具材料的硬度、耐磨性和抗弯强度、冲击韧性之间的矛盾。刀具经过涂层后,与未涂层刀具相比,允许采用更高的切削速度,从而提高了加工效率;能在同样的切削速度下大幅度地提高刀具使用寿命;减小刀具与工件材

* 收稿日期:2021-05-06

作者简介:杨 军(1982-),男,内蒙古卓资县人,技师,主要从事石油管生产、质量管理工作。

料之间的摩擦系数，从而减小切削力，能改善被加工零件的表面质量，还能使涂层刀具有较宽的适用范围。

1.1　刀具涂层方法及主要涂层材料[1]

常用刀具涂层工艺一般为化学气相沉积法和物理气相沉积法，近来又有一些新的涂层工艺出现，且具有很好的应用前景。化学气相沉积(CVD)属于原子沉积类，其基本原理是沉积物以原子、离子、分子等原子尺度的形态在材料表面沉积，形成外加覆盖层。如果覆盖层通过化学反应形成，则称为化学气相沉积。CVD 涂层方法是在 1 000 ℃以上的温度下，将 TiC、TiCN 和 Al_2O_3 或它们的复合材料气相沉积在刀具工作表面上。在涂层硬质合金刀具中，CVD 方法用得最多。这种方法具有涂层与基体结合强度高，涂层在刀具各面上沉积均匀，涂层工艺稳定可靠等优点。物理气相沉积法(PVD)是利用蒸发或溅射等物理形式把材料从靶源移走，然后通过真空或半真空空间使这些携带能量的蒸气离子沉积到基片或零件表面以形成膜层。PVD 涂层硬质合金刀具的涂层材料多用 TiN、TiCN、TiAlN、AlTiN 等，因受硬度或工作温度的限制，TiN 和 TiCN 对于硬质合金刀具较少单独使用，而与其他材料组成复合涂层，如 TiAlN/TiN 等。日本东芝公司还有 Ti(C、N、O)涂层硬质合金刀具产品。刀具 PVD 涂层技术存在两种发展趋势：一是涂层越来越硬，如立方氮化硼涂层、多晶氮化物超点阵涂层和氧化铝涂层等；二是涂层越来越软，如 WS_2、MoS_2 等硫族化合物，主要用来切削钛合金等。

金刚石涂层是近几年研究成功的新型刀具涂层材料，这种涂层具有极高的硬度、极高的抗磨损性、极高的抗氧化性和极高的排屑能力，其韧性属于中度。这种涂层刀具特别适用于加工非黑色金属及纤维材料。金刚石涂层的硬质合金刀片及整体硬质合金多刃刀具在加工印刷线路板和硅铝合金等方面已取得很大的成功，工具寿命比未涂层硬质合金刀具提高数十倍。金刚石涂层刀具应用在高磨损和难切削材料的切削，同时适合有色金属材料的加工。

2000 年，超氮涂层引起了金属加工领域极大的关注，这种涂层具有非常高的韧性和抗氧化性，适合普通加工、高速切削、硬切削和干式切削。一些以前似乎无法解决的难题，现在通过这种新型涂层纳米结构中铝的分布而得以解决。超氮涂层刀具和超硬涂层刀具相比，使用寿命明显增加，并可以承受更高的切削应力。超氮涂层刀具适合用于各种不同的金属加工，可以在较宽的应用范围根据特殊的加工条件进行优化。在高速切削中超氮涂层具有显著的优势。

1.2　涂层刀具使用中应注意事项

(1) 加工各种钢材、铸铁、高温合金、有色金属等，应根据有关公司的样本或指导性文件，正确选用按 P、M、K、H、S、N 分类的涂层刀片(刀具)。

(2) 加工含钛元素的金属材料，不宜采用含钛的涂层材料。

(3) 涂覆金刚石与类金刚石的涂层刀具，只能加工有色金属，绝对不能加工黑色金属。

(4) 根据涂层材料所能承受的工作温度，决定涂层刀具的用途。

(5) 涂层刀具的切削速度可比未涂层刀具提高 20%，背吃刀量和进给量不变。

(6) PVD 的高速钢和硬质合金涂层刀具，其涂层材料应首选 TiAlN 或 AlTiN。

(7) 尽量选用 2 ~ 4 层涂料的涂层刀具，多层的使用效果优于单层。

2　陶瓷刀具

陶瓷刀具具有高的硬度、红硬性和耐磨性，在高速切削和干切削时表现出优异的切削性能，是一类极具发展前途的刀具材料。但是限制其进一步应用的障碍是其脆性，即断裂韧度较低，所以陶瓷刀具材料研究的核心是提高其在室温和高温下的断裂韧度。常用的增韧手段有颗粒增韧、晶须增韧、相变增韧、纳米复合增韧和几种增韧手段的协同增韧。常用的陶瓷刀具材料有 Al_2O_3 基、Si_3N_4 基和Ti(C,N)基金属陶瓷刀具材料。

2.1　Al_2O_3 基陶瓷刀具

根据添加相的不同，Al_2O_3 陶瓷刀具可以分为 Al_2O_3 - 碳化物系、Al_2O_3 - 氮化物系、Al_2O_3 - ZrO_2 系以及多元多尺度的 Al_2O_3 复合陶瓷刀具。碳化物主要有 TiC 微纳米颗粒、SiC 微纳米颗粒、SiC 晶须等；氮化物一般为 Si_3N_4 和 TiN。具体的材料组分和力学性能见表 1。

表1 国产 Al_2O_3 陶瓷刀具的牌号及性能

牌号	成分	密度/(g·cm^{-3})	硬度 HRA	抗弯强度/MPa	生产单位
P_1	Al_2O_3	≥39.5	≥96.5	500~550	成都工具研究所
P_2	$Al_2O_3+ZrO_2$	4.34	≥96.5	700~800	
T_2	$Al_2O_3+TiC+ZrO_2$		≥96.5	900~1 000	
M16	Al_2O_3+TiC	4.50	≥97.0	700~850	
M4	Al_2O_3 + 碳化物 + 金属	5.00	96.5~97.0	800~900	
M5	Al_2O_3 + 碳化物 + 金属	4.94	96.5~97.0	900~1 150	
M6	Al_2O_3 + 碳化物 + 金属		96.5~97.0	800~950	
M8-1	Al_2O_3 + 碳化物 + 金属	5.20	96.5~97.0	800~1 050	
SG3	Al_2O_3 +(W、Ti)C	5.55	94.5~94.8	825	山东工业大学
SG4	Al_2O_3 +(W、Ti)C	≥6.65	94.7~95.3	800~1 180	
SG5	Al_2O_3+SiC		94.0	700	
LT35	$Al_2O_3+SiC+Mo+Ni$	≥4.75	93.5~94.5	900~1 100	
LT55	$Al_2O_3+SiC+Mo+Ni$	≥4.95	93.7~94.8	1 000~1 200	
JX-1	Al_2O_3,SiC 晶须		94.0~95.0	700	
AT6	Al_2O_3+TiC + 金属		93.5~94.5	880~930	冷水江陶瓷工具
AG2	Al_2O_3+TiC	4.55	93.5~95.0	800	
FD22	Al_2O_3 + Ti(NC)	4.75	94.5	850	清华紫光方大高技术陶瓷有限公司
FD10	Al_2O_3	3.92	93.0	800	
FD12	Al_2O_3+TiC	4.74	94.0	850	

Al_2O_3 陶瓷刀具的洛氏硬度 HRA 可达91~95，在高温下有较好的化学稳定性、耐磨性和耐热性，高温硬度高，在1 200 ℃高温仍能进行切削(此时硬度 HRA 为80)，如果加入一定的稳定剂并采用热压成形技术，可使刀具在1 800 ℃高温时与工件间不产生化学反应，月牙洼磨损率较低，表面粗糙度小。Al_2O_3 陶瓷刀具主要用于加工各种铸铁(灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、冷硬铸铁、高合金耐磨铸铁等)和各种钢料(碳素结构钢、合金结构钢、高强度钢、高锰钢、淬硬钢等)，也可加工铜合金、石墨、工程塑料和复合材料。由于铝元素的化学亲和作用，Al_2O_3 陶瓷刀具不适合加工铝合金和钛合金。Al_2O_3 陶瓷制造的滚刀、铰刀、成形车刀等刀具，不仅可用于普通车床加工，而且由于其稳定可靠的切削性能，特别适用于数控机床、加工中心和自动线加工，尤其对高精度、高硬度及大型工件的切削具有良好效果。

2.2 Si_3N_4 基陶瓷刀具[2]

这类陶瓷包括以 Si_3N_4 为主体的材料和赛隆($Si_3N_4+Al_2O_3$)，Si_3N_4 基陶瓷刀具材料具有较低的热膨胀系数和良好的耐热冲击性。Si_3N_4 系列陶瓷刀片的断裂韧性值优于其他系列陶瓷刀片，达到6~7 MPa/m^2，接近某些牌号的硬质合金刀片，因而具有良好的抗冲击能力。尤其在进行铣、刨及其它断续切削时，更能显示其优越性。

氮化硅陶瓷刀片的耐热性和抗高温氧化性特别好，即使在1 200~1 450 ℃切削时，仍能保持一定的硬度和强度进行长时间切削，因此允许采用远远高于硬质合金刀具的切削速度，实现高速切削，其切削速度可比硬质合金刀具提高3~10倍，因而能大幅度提高生产效率。与氧化铝陶瓷相比，它的缺点是在加工钢时化学稳定性不足。这类陶瓷刀具主要用来切削铸铁，也可用于高温合金的高速切削加工，还适于粗加工和断续切削。美国 Kennametal 公司的 Kyon2000 型 Si_3N_4 基陶瓷工具，高速切削镍基高温合金时金属切除率为涂层硬质合金的9倍，能采用较大的进给量及切削速度加工铸铁与高温合金。

2.3 Ti(C,N)基金属陶瓷刀具

Ti(C,N)基金属陶瓷是20世纪70年代出现的新型工具材料，与传统的硬质合金相比，具有较高的红硬性、耐磨性、耐热性、抗月牙洼磨损能力及较低

的摩擦系数，因此刀具寿命较长。作为刀具材料，其高温强度比 WC - Co 硬质合金高，而韧性又比 Al_2O_3 陶瓷刀具材料好，填补了二者之间的空白。世界主要工业国家都非常重视金属陶瓷技术的发展。在日本，对其研究特别多，到 20 世纪 90 年代初，Ti(C,N) 基金属陶瓷刀具材料已占其所有刀具材料市场份额的 30%。而我国也在“八五”期间和以后投入力量进行研究，合肥工业大学、华中理工大学和三峡大学等做了一些这方面的研究，科研机构和硬质合金厂，如株州硬质合金厂、自贡硬质合金厂等也有这方面的研究。

2.4　陶瓷刀具使用中应注意事项

(1) 陶瓷刀具使用时要求机床的精度好、刚性高和振动小，刀具或刀片的夹紧必须牢固可靠，夹紧力方向应使刀片紧靠定位面，不然容易引起刀具的破损或崩刃。

(2) 要根据被加工材料性质及加工特点正确选择陶瓷刀具材料的种类和牌号。不同种类的陶瓷刀具材料有着不同的应用范围。陶瓷刀具主要应用于车削、镗削和端铣等精加工和半精加工工序，最适于加工淬硬钢、高锰钢、高强度钢和高硬度铸铁，切削效果比硬质合金有显著提高; 加工一般硬度的钢材与铸件，效果没有上述显著。

(3) 为了充分发挥陶瓷刀具材料抗压强度高的特点，所以陶瓷刀具一般都采用负前角，一般为 5 ~ 12°; 并应采用稍大一些的刀尖修圆半径和刃口钝圆半径或磨出负倒棱。但倒棱后的刀具会使切削力增加，故加工刚性差的工件时不应磨出负倒棱。

(4) 为了充分发挥陶瓷刀具材料耐热性与耐磨性好的特点，所以在机床功率、工艺系统刚性和刀片强度允许前提下，应尽量选用较大的背吃刀量和切削速度进行切削，以充分发挥它高温性能好的特点。由于进给量对刀具破损的影响最为敏感，所以开始切削时的进给量应先取得小些，通过试切，逐步增加，一直到刀具不发生破损时为止。陶瓷刀具工作时通常是干式切削，如用湿式切削，刀具寿命较高。但在刀具切入工件前就应浇注切削液直到切削完毕为止，切削液必须连续供给，不能时断时续，否则容易引起刀具破损或崩刃。同理，在切削过程中还应尽量避免中途停车或变换切削用量。

3　超硬刀具材料

金刚石硬度极高，天然金刚石价格昂贵，使用较少，多使用人造金刚石。人工合成金刚石的方法是石墨在高温、高压下的转化。可加工高硬度的硬质合金、陶瓷、玻璃和有色金属及其合金。但不能加工铁族金属。

立方氮化硼是人工合成的一种材料，硬度仅次于金刚石，耐热性和化学稳定性远好于金刚石，能耐 1 300 ~ 1 500 ℃高温，切削性能好，不但适合非铁族难加工材料的加工，也适合铁族材料的加工。该刀具适用于精加工各类淬火工模具钢等材料(HRC 55 ~ 70 为宜)，刀具耐用度可比硬质合金高十几倍到几十倍，加工精度高，表面粗糙度 R_a 可达 0.4 以下。

4　我国刀具材料的发展方向

未来，我国刀具材料的发展会向更高生产率和更高切削速度发展。改善现有刀具的切削性能，稀土硬质合金刀具材料也是重要的发展方向。随着信息化程度提高，刀具制造企业合作将增强，市场竞争加剧也是大势所趋。刀具主要的发展趋势是: 发展介于高速钢和硬质合金的材料，发展通用性广的合金材料，复合刀具材料和耐热、高强度、高硬度，能加工难加工材料的其他新型刀具材料。

参　考　文　献

[1]　于启勋. 涂层刀具的新进展 [J]. 机械工人，2007，(9): 34 - 36.

[2]　刘宁. Ti 基金属陶瓷材料 [M]. 合肥: 合肥工业大学出版社，2009.