

刀具材料的新发展

Latest Development of Cutting Tool Materials

北京理工大学机械与车辆工程学院 于启勋



于启勋

北京理工大学教授。1952年毕业于清华大学机械工程系。多年从事机械制造和机械加工方面的教学与科研工作。现为全国高校切削与先进制造技术研究会名誉理事长。

在 21 世纪未来的岁月里,切削加工仍将是机械加工最主要的方法。其中,刀具材料起着至关重要的作用。刀具材料性能的优劣,直接影响切削加工能否正常进行。为了保证提高加工效率和加工质量,同时降低加工费用,刀具材料的性能必须优良,并向更高水平发展。

在切削加工中,刀具费用约占加工总费用的 5%。加工效率和机床、

刀具材料性能的优劣,直接影响切削加工能否正常进行。为了保证提高加工效率和加工质量,同时降低加工费用,刀具材料的性能必须优良,并向更高水平发展。

人工等费用受到刀具工作状况的严重制约。只有在刀具正常工作和运转的情况下,加工效率才能得到提高,加工总费用才能保持正常或减少;反之,切削加工不能正常进行,甚至被迫停止。本文从加工对象的新要求、有关科学技术的新发展和材料的资源状况 3 个方面,阐述刀具材料新的发展趋势。

加工对象的新要求推动 刀具材料新发展

刀具材料和工件材料交替发展,相互促进,是推动切削加工不断发展进步的历史规律。随着各种机械产品的使用性能不断提高和生产批量的加大,工件材料的机械、物理性能及其加工难度日益提高,高效加工和高速切削的应用更为广泛,加工精度的要求不断提高。刀具材料必须适应工件材料新品种的出现及其加工新要求向前发展。现就几种主要的工件材料分述于下。

1 黑色金属是最主要的结构材料和

加工对象

过去,碳素结构钢用得最多,其加工多在正火或高温调质(淬火,高温回火)状态下进行。屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 分别为 40 ~ 50MPa 和 60 ~ 70MPa,硬度约为 HRC20,故加工难度不大。后来随着产品使用性能的不断提高,合金结构钢得到广泛应用,经过中温调质,有些成为高强度钢和超高强度钢。一般来说, $\sigma_s > 800 \sim 1000$ MPa 和 $\sigma_b > 1000 \sim 1200$ MPa 为高强度钢, $\sigma_s > 1200$ MPa 和 $\sigma_b > 1500$ MPa 为超高强度钢。高强度钢和超高强度钢调质后的硬度为 35 ~ 45HRC。高强度钢的合金元素总含量一般不超过 6%,有 Cr 钢、Cr-Ni 钢、Cr-Si 钢、Cr-Mo 钢、Si-Mn 钢、Cr-Mn-Si 钢、Cr-Ni-Mo 钢等,多用于机器中的关键承载零件,如高负荷砂轮轴、高压鼓风机叶片、重要的齿轮与螺栓、发动机曲轴、连杆和花键轴等。超高强度钢分低合金(合金元素总含量小于 6%)、中合金和高合金(合金元素

含量多)3种,如飞机大梁、飞机发动机轴件、飞机起落架、某些火箭壳体、部分大炮炮管和炮弹弹体都采用超高强度钢制造。如35CrMnSiA和40CrNi2Mo是传统的低合金超高强度钢,4Cr5MoVSi属于中合金超高强度钢,1Cr12Mn5Ni4Mo3Al和00Ni18Co8Mo5TiAl为高合金超高强度钢。

对高强度钢和超高强度钢进行切削加工,因其强度高,导热性较差,钢中还存在着一些硬质化合物,故加工难度较大或很大。与切削中碳钢(正火状态)相比,切削力需加大25%~50%,切削温度提高100℃以上,刀具寿命势必降低。

切削中碳钢行之有效的各种刀具材料,都能够加工高强度钢和超高强度钢,但是为了保持一定的刀具寿命,必须降低切削速度。如果要对高强度钢和超高强度钢进行高效、高速切削,必须选用性质优良的新型刀具材料。根据笔者多年的工作经验,认为不应选用普通的高速钢和硬质合金,而应选用高性能高速钢、粉末冶金高速钢、表面涂层高速钢刀具以及添加钽、铌的硬质合金、细晶粒硬质合金和表面涂层硬质合金刀具。半精加工和精加工时,也可选用金属陶瓷(TiC基和TiCN基)和陶瓷(Al_2O_3 基)。金属陶瓷和 Al_2O_3 基陶瓷的切削效果优于硬质合金。 Si_3N_4 基陶瓷切削高强度钢和超高强度钢,效果不好,PCBN刀具切削HRC45以下的钢材时效果也不够好。研制用于高效切削高强度、超高强度钢的新型PCBN刀具是一项极有意义的工作。

淬硬钢主要用于工具、模具、轴承及其他耐磨件,在淬火和低温回火后,硬度常在HRC60以上,故加工难度很大。P类硬质合金不宜用于切削淬硬钢,而应当用M类与K类硬质合金,但效率不够高。 Al_2O_3 基和 Si_3N_4 基的陶瓷切削淬硬钢的效果好于硬质合金,PCBN更好。发

展PCBN刀具,用以高效加工淬硬钢,并代替部分磨削工序,将是刀具行业的发展方向之一。

2 航空航天工业的主要难加工对象——高温合金与钛合金

高温合金中含有较多的Ni、Co及W、Mo、Ti、Mn、Si等元素,强度高,塑性大,制成的零件能在高温下长时间工作。钛合金的密度小(重量轻),比强度高,耐高温,耐腐蚀。这2类合金都在航空、航天、造船工业有广泛的应用,属于难加工材料。高温合金的切削变形和硬化明显,切削力大,切削温度高,工件中有与刀具材料相同或相近的化学成分(如Ti、W、Co等),从而使刀具易产生粘结或扩散磨损。

钛合金的切削力虽不大,但切削变形与导热系数特别小,切削刃和刀尖附近温度很高,且钛的化学性能活泼,易与氧、氮等气体化合成为硬、脆物质。加工高温合金和钛合金应采用高性能高速钢、粉末冶金高速钢、S类和K类的添加钽铌和细晶粒的硬质合金。涂层高速钢和涂层硬质合金因涂层材料中一般有Ti元素而不宜使用。Sialon陶瓷可以有效

地加工高温合金,PCD金钢石可以有效地加工钛合金。有资料推荐,PCBN刀具能高效加工高温合金,较多的外国工厂推荐用涂覆TiAlN的硬质合金加工高温合金,但实践表明尚存在问题。笔者认为,研制适合加工高温合金的PCBN刀具和涂层硬质合金刀具是刀具材料新发展中的重要任务。人造金刚石刀具能够加工钛合金,也是刀具材料进一步发展的一项内容。

3 新兴的复合材料

复合材料由金属、高分子聚合物和陶瓷3种材料中任意2种或多种人工合成,具有重量轻、比强度高、抗疲劳和减振能力强、耐磨性好等优点,近年来已成为航空、航天、汽车、船舶等行业重要的结构材料。复合材料可分为纤维增强和颗粒增强两大类,以聚合物或金属为基体,增强纤维有碳纤维、玻璃纤维、硼纤维等,增强颗粒多用SiC。纤维增强复合材料可以用硬质合金刀具加工,但要求刀具切削刃锋利,且耐磨性强,一般首选金刚石为刀具材料。颗粒增强复合材料的颗粒材料极硬,加工难度很大,除超硬刀具材料外,其他刀



深圳中天公司的超硬刀片与刀具

具材料均难以胜任其加工。这类材料曾因加工困难而使其应用受到限制。研制加工颗粒增强复合材料的金刚石与PCBN刀具是一项重要任务。

科学技术发展推动刀具材料新发展

刀具材料应具有良好力学性能,即高硬度、高耐磨和高弹性模量,并能耐高温,具有较好的韧性。而硬度、耐磨性与韧性之间常有矛盾,前者提高,后者不可避免地会降低。如能使其得到一定程度的兼顾,就能成为性能良好的刀具材料。改进刀具材料性能通常采用以下几种方法。

1 改进刀具材料的组分

长期以来,刀具材料的主体成分常为C、N或O的二元化合物,如WC、TiC、Al₂O₃、Si₃N₄等。尚有很多新的二元化合物有待开发和应

除此之外,还有金属间化合物可资利用。新的材料组分需有可行的材料工艺作为保证。

2 添加某些元素或化合物

在基体组分中,添加某些少量的化学元素或化合物,可以提高刀具材料的性能。如在WC基硬质合金中添加TaC和NbC,可以显著提高耐磨性;在硬质合金中添加稀土元素,可以强化其硬质相、粘结相,并能净化晶界,从而提高其韧性;在Al₂O₃基陶瓷中添加ZrO₂可以增加韧性;在陶瓷中添加TiB₂可以提高强度与韧性,等等。

3 采用热压工艺

用液压设备,在高于1500℃的温度和高于5GPa的压力下,可使石墨转化成金刚石,六方氮化硼转化成立方氮化硼,形成超硬刀具材料。热压设备和工艺尚有待改进,以形成性能更好的CBN与金刚石。



株洲钻石公司的陶瓷刀片与刀具

用。近年开发出的一些多元化合物,在刀具材料,特别是在刀具表面涂层中得到了应用,如TiCN、TiAlN、AlTiN、TiCrN、AlCrN、TiAlSiN等,它们的性能优于传统的二元化合物。

4 采用表面涂层工艺

在韧性较好的刀具基体上,用涂层工艺涂覆具有高强度、高耐磨、耐高温材料的薄层,使刀具的综合性能得到兼顾,这是提高刀具使用性能的

最有效的方法。

刀具表面涂层工艺分两大类:物理气相沉积(PVD)和化学气相沉积(CVD)。PVD方法一般用真空等离子镀工艺和真空磁控溅射工艺,用于高速钢和硬质合金刀具的表面涂层。还有直流反应磁控溅射工艺,可涂覆出氮化碳(C_xN_y)超硬薄膜。CVD方法中包括高温化学气相沉积(HTVCD),工艺温度约为1000℃;还有等离子体化学气相沉积(PCVD),工艺温度约为700~800℃。HTVCD和PCVD多用于硬质合金刀具表面涂层。另有热丝CVD沉积工艺,可以沉积金刚石膜。涂覆金刚石膜和C_xN_y膜是重要发展方向并有良好应用前景。

涂层材料以往多用C、N或O的二元化合物,如TiC、TiN、Al₂O₃等。后发展多层沉积,并使用了新的多元化合物,如TiCN、TiAlN、TiCrN等。新的涂层材料,其性能优于二元化合物,是重要发展方向,必将得到广泛应用。

5 采用细化材料结构的工艺

目前,刀具材料晶粒尺寸多为微米级,方向是发展到纳米级。晶粒细化后,能够提高刀具材料的硬度和耐磨性,采取一定措施,还能提高韧性。粉末冶金高速钢和硬质合金如采用“放电烧结”,可使晶粒细化,并能提高硬度和韧性。另有离子束增强PVD辅助沉积工艺,可以沉积出纳米级涂层材料。这些都是刀具材料的发展方向。

为节约资源发展新刀具材料

在现代刀具材料中,含有多种金属成分和非金属成分。有些在大自然中蕴藏丰富,取之不尽,用之不竭;但也有些储量有限,制约着刀具材料的发展。

高速钢和硬质合金是目前用得最多的2种材料,其成分为W、Mo、Cr、V、Ti、Co等。如传统的钨高速

磨粒流—— 数控去毛刺、抛光、表面处理系统

■ 汽车工业零部件



■ 刀具行业

■ 航空航天领域



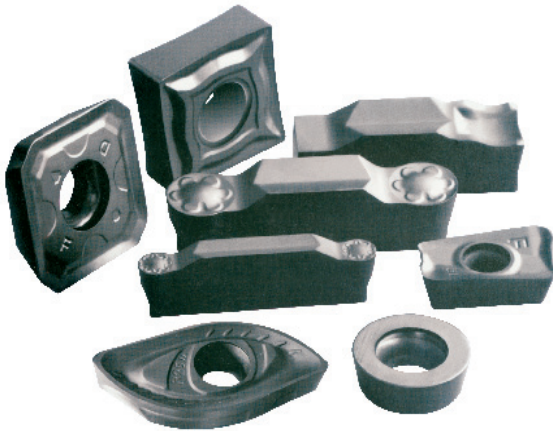
中国区授权代理

Champion
精品机械有限公司

广告索引号 08-062

地址：北京海淀区知春路1号学院国际大厦1605A室(100083)
电话：010-51600810、FAX：010-82337720
http://www.champion.com.cn Email:chambj@champion.com.cn

钢 W18Cr4V 中含 W 达 18%，钨钴类硬质合金含 WC92% ~ 97%，钨钛钴类硬质合金含 WC66% ~ 85%，通用类硬质合金含 WC82% ~ 85%，普通高速钢中不含 Co，高性能钴高速钢中含 Co 量高达 8% ~ 10%，各类硬质合金中含 Co 量为 3 ~ 10%。中国 W 资源丰富，除本国使用外，还大量出口。全世界使用的 W 原料，约 75% ~ 80% 来自中国。中国 W 的蕴藏量尚够用 50 年，半个世纪后将发生枯竭。Co 的情况与 W 不同，中国 Co 资源缺少，大部分依赖进口，价格昂贵。故在刀具材料的应用与发展中应十分注意节约 W 和 Co，具体建议是：



株洲钻石公司的纳米TiAlN涂层硬质合金刀片

(1) 发展钨钼和钼钨高速钢，用 Mo 代替一部分 W。如 W6Mo5Cr4V2 高速钢中 W 只占 6%，Mo 占 5%。其使用性能与 W18Cr4V 相当。

(2) 发展无钴或少钴的高性能高速钢。目前中国在这方面已做出了很大贡献。如自行研发的 W6Mo5Cr4V2Al (M2Al)、W12Mo3Cr4V3N (V3N) 和 W12Mo3Cr4V3Co5Si (Co5Si)，都节约了 Co 资源，而使用性能均能完全可与美国的知名产品 110W1.5Mo9.5Cr4VCo8 (M42) 相媲美。M42 的综合性能很好，但 Co 含量高，价格贵，不适合中国国情。

(3) 发展金属陶瓷，用 TiCN 或 TiC 作基体，不含 WC 或少含 WC，粘结剂用 Ni、Mo。这样就节约了 W 和 Co。与 WC 基硬质合金相比，金属陶瓷的硬度较高，与工件材料之间的摩擦系数较小，耐磨性更强；不足之处是抗弯强度和冲击韧性稍低，故其使用受到一定限制。用 Ni、Mo 作粘结剂，可节约 Co；若能成功地用 Fe 作粘结剂，则意义更大。发展金属陶瓷对节约资源有重要意义。

(4) 发展陶瓷和 PCBN。在它们的组分中，都没有贵金属，使用性能常优于硬质合金；唯韧性不足，可加工性不好，在使用上受到限制；另外，由于工艺成本的原因，其价格竞争力尚不够强。应改变组分，改进工艺，降低价格，使陶瓷和 PCBN 刀具进一步推广使用。

(5) 发展人造金刚石。金刚石的原料并不贵重，而且是最硬的刀具材料，可用以代替硬质合金加工高硬的非铁金属和非金属材料，从而节省了 W、Co 资源。对有色金属进行精密切削，更是非金刚石刀具莫属。

结束语

21 世纪刀具材料必定有更快的发展。(1) 刀具材料的发展要适应加工对象的需要，尤其是难加工材料应用的需要。航空、航天工程材料应当处于领头的位置。(2) 刀具材料的新发展不断对它们的制造工艺提出新要求，而制造工艺的进步推动着刀具材料的新发展。(3) 刀具材料的发展要考虑资源的储有量，应当优先发展储存量大的刀具材料，节约贵重资源的刀具材料。

(责编 微凉)