

# 刀具涂层技术及涂层刀具切削性能的试验研究

郝志辉 仇英齐 臧智雄

内蒙古一机集团北方实业有限公司 内蒙古包头市 014032

**摘要:** 现如今,随着现代制造业的快速发展,传统刀具已经无法满足现在加工的需求。涂层刀具的出现大大解决了这一问题,与传统刀具相比,涂层刀具具有优异的热稳定性、好的耐磨性能、高硬度和高的结合强度等优点。

**关键词:** 涂层; 刀具技术; 发展现状

**引言:** 随着机械行业加工技术的不断发展,加工难度较高新型材料的使用逐渐增多,高速切削加工条件的不断提高,传统的刀具已经不能满足新的要求。虽然通过一系列措施,使得刀具材料的硬度提高,抗磨损性增加,同时,也降低了刀具材料的冲击韧性和抗弯强度,因此刀具的使用性能受到影响。由于刀具涂层是改善上述问题的有效方法,即刀具基体上涂覆一层或多层高硬度、耐磨损、耐腐蚀的金属或者非金属化合物涂层,这使得刀具与工件之间的摩擦因数大大降低,在不降低涂层的硬度与韧性的前提下提高了刀具的耐磨性,延长了刀具的使用寿命,提高了加工效率。

## 1 刀具涂层技术

在相对较软的刀具基体上涂覆一层或多层硬度高、耐磨性好的金属或非金属化合物薄膜(如TiAlN、TiC、TiN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)组成的涂层刀具,是切削刀具发展的一次改革。涂层刀具与未涂层刀具相比,并具有明显的优越性,显著降低摩擦系数,改善刀具表面的摩擦学性能和排屑能力,明显提高耐磨性和抗冲击韧性,改善刀具的切削性能,提高加工效率和刀具寿命。提高刀具表面抗氧化性能,使刀具可以承受更高的切削热,有利于提高切削速度及加工效率,并扩大了干切削的应用范围<sup>[1]</sup>。在先进制造业中,硬质合金刀具及高性能高速钢刀具,80%以上都采用了表面涂层技术CNC机床上所用的切削刀具90%以上是涂层刀具。

## 2 刀具涂层材料

刀具的涂层材料主要是一些具有高硬度的耐磨化合物。常用的涂层材料有碳化物、氮化物、碳氮化物、氧化物、硼化物、硅化物、金刚石及复合涂层八大类数十个品种。目前,涂层技术得到了飞速的发展,涂层材料方面,从最早的TN涂层,已开发出TiCN、(Ti,Al)N、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CrN、CN<sub>4</sub>、ZrN等硬涂层及超硬涂层材料,以及MoS<sub>2</sub>WS<sub>2</sub>、WC/C等软涂层材料,从而满足各种切削

工艺的要求,氮化钛(TiN)是工艺最成熟,应用最早、最广泛的硬涂层材料。它具有较高的化学稳定性,可以大大减少刀具与工件之间的摩擦系数<sup>[2]</sup>。目前,工业发达国家TN涂层高速钢刀具的使用率已经占高速钢刀具的50%~70%,有的不可重磨的复杂刀具的使用率已超过90%。但是TN涂层的抗氧化性较差,使用温度达500℃时,膜层明显氧化而被烧蚀,硬度较低。

碳氮化钛(TiCN)是通过多元合金化方法,向TiN涂层中加入C元素得到的。由于碳元素的引入,涂层的硬度和抗氧化温度都得到了提高。TiCN涂层在常规加工、温度低于500℃的条件下表现出比TN及TiAlN涂层更优越的性能--涂层硬度高、表面粗糙度和摩擦系数小45。此外,该涂层可以和TiN涂层形成多层膜结构,不但可以保持TN涂层与基体材料良好的结合和表面抗氧化性能,同时多层涂层形成的TiNTiCN内界面能改变单一涂层的柱状晶生长结构,提高涂层的韧性,从而提高涂层刀具的切削性能<sup>[3]</sup>。

氮铝化钛系列涂层(Ti,Al)N是非常成功的一种涂层材料,具有高硬度、氧化度高、热硬性好、附着力强、摩擦系数小、导热率低等优良特性,用其加工高温合金、不锈钢、钛合金和镍合金时刀具的寿命比TN涂层刀具高3-4倍。不仅如此,在(Ti,Al)N涂层中如果有合适的铝浓度,切削加工时在刀-屑界面上容易产生一层硬的、惰性的保护膜,该膜不仅可以阻止涂层进一步被氧化,而且具有较好的润滑性能及隔热性,可以有效地用于高速切削。(Ti,Al)N涂层的机械物理性能优于TN、TiCN等涂层,并可以与其他涂层配合组成多元多层复合涂层,如TiAlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>多层PVD涂层,这种涂层的硬度可以达到4000HV,涂层的层数可以达到400层。目前(Ti,Al)N涂层的发展方向为:提高涂层中的铝含量;改进涂层成分,在(Ti,Al)N涂层中添加C或Si作为粘结剂强化涂层的显微结构改善其性能,添加Cr或O进一步提高涂层的氧化温度,改善涂层的结构,多层、梯度和纳米化也是其发展趋势<sup>[4]</sup>。AlCrN涂

层是一种无钛涂层,与TAIN相比,它具有更高的红硬性及抗氧化性能,使用温度可以达到1000℃,该涂层工艺适合于硬质合金及高速钢材料涂层,用于铣削和车削加工切削速度可以达400m/min以上。

### 3 灌木平茬收割机整机研究

#### 3.1 总体设计方案

相较于国内灌木收获机功能单一、切割质量不高、收获效率低的现状,需设计一款具备切割,输送、粉碎、抛送,收集等多功能,切割质量高,收获效率高的自走式灌木联合收获装备。该机器整体设计思路为:综合考虑切割、输送、粉碎、抛送,收集等各功能部件,设计与之匹配的框架和动力传动、电路系统等,使上述功能部件有机结合,合理工作,实现灌木联合收获的目的。重点需解决设备整体布局、传动系统,割盘切割质量等方面难点<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 割台结构的设计

割台整体设计采用框架式结构设计,结构更为稳定。主要由框架组件、割盘组件、绞笼组件、前叉、钢板和包括变速器、皮带轮、链轮、传动轴的传动系统组成。

#### 3.3 切料装置的结构设计

切料装置主要由左/右侧板、上草辊组件、下草辊组件、切刀组件、底刀、上盖板、下盖板、弹簧座和包括皮带轮、链轮、皮带、链条、轴承座的传动系统组成<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 风机总成结构的设计

风机总成主要由左侧板组件、右侧板组件、前侧板组件、后侧板组件、风扇组件、皮带轮、轴承座等零部件组成。

#### 3.5 风筒结构的设计

风筒主要由侧板、前侧板、后侧板和连接板焊接组成,风筒下端的连接板上设计有均布的连接孔,用于与下部的风机总成连接固定;风筒整体结构为底部设计一约12°的斜角,使风筒呈倾斜状态,安装时指向后面的料箱;风筒上部设计为圆弧顶结构,且出料口部分上下沿均设计为高出两侧的侧板;上述设计可以保证物料经风筒快速的喷洒至后面的料箱内,且不会发生积料和漏料等情况<sup>[3]</sup>。

#### 3.6 料箱结构的设计

料箱主要由左/右侧墙组件、后墙组件、支撑板组件、支撑轨组件、从动链轮组件和包括液压马达、链条、链轮等的传输系统组成。

### 4 刀具涂层结构

涂层结构方面随着涂层工艺的日益成熟和不断发

展,从开始的单一涂层,进入到开发多元、多层、梯度、纳米涂层的新阶段57-8。就目前PVD技术的发展状况,涂层薄膜结构大体可以分为:单一涂层、复合涂层、梯度涂层、多层涂层、纳米多层涂层、纳米复合结构涂层。单一涂层是由一种化合物或固融体薄膜构成,理论上讲在薄膜的纵向生长方向上涂层成分是恒定的。这种结构的涂层也称之为普通涂层<sup>[4]</sup>。

#### 4.1 复合涂层

是由各种不同功能或特性的涂层薄膜组成的结构,也成为复合涂层结构膜,其典型涂层为目前的硬涂层+软涂层,每层薄膜各具不同的特征,从而使涂层具有更好的综合性能<sup>[1]</sup>。

#### 4.2 梯度涂层

是指涂层成分沿着薄膜生长方向逐步变化,这种变化可以是化合物各元素比例的变化,如TiAlCN中Ti、Al含量的变化,也可以由一种化合物逐渐过渡到另一种化合物,如CrN逐渐过渡到CBC碳基涂层。

#### 4.3 多层涂层

是由多种性能各异的薄膜叠加而成,每层膜化学组成基本恒定。目前在实际应用中多有2种不同膜组成,由于所采用的工艺存在差异,各膜层的尺寸也不尽相同,通常由十几层薄膜组成,每层薄膜尺寸大于几十纳米,最具代表性的有AlN+TiN/TiAlN+TiN涂层等。与单层涂层相比,多层涂层可有效地改善涂层组织状况,抑制粗大晶粒组织的生长。纳米多层涂层这种结构与多层涂层类似,只是各层薄膜的尺寸为纳米数量级,又可称为超显微结构。理论研究证实在纳米调制周期内(几纳米至几十纳米),与传统的单层膜或普通多层膜相比,此类薄膜具有超硬度、超模量效应,其显微硬度预计可以超过40GPa,并且在相当高的温度下,薄膜仍可保留非常高的硬度<sup>[1]</sup>。

### 5 刀具耐用度实验

进行磨损实验时,将振动强烈的1#、2#、6#圆形刀具排除在外,只选择其中代表5#刀具进行磨损试验,而切削力较为平稳的3#4#刀具则是磨损实验的主要刀具。该阶段实验主要是对比各刀具耐用度,并对刀具的磨损情况进行分析。以下将列出各刀具耐用度指标,并对其磨损情况进行说明<sup>[1]</sup>。刀具耐用度实验方案与切削力的正交实验方案有所不同,切削力试验采取三因素二水平正交实验,是考虑到对不同的切削参数进行比较从而确定各因数变化,如切深、进给量等)对切削力的不同的影响,进而以此为依据进行切削用量的优化。而刀具耐用

度实验的目的是通过在一个典型的切削参数下重复的实验,观察刀具的磨损情况并预测刀具的寿命<sup>[2]</sup>。

#### 结束语

作为应用于刀具上的涂层材料,能否延长刀具的使用寿命始终是机械加工行业最急需解决的问题。这就需要通过不断地研究与了解涂层材料的发展与现状,并且通过良好的制备技术设计合理的涂层工艺,制备出具有优异综合性能的刀具涂层。所以,仅具有较高的硬度并不能使涂层的使用性能得到提高,而重要的应用性还包括是否具有低摩擦系数和自润滑性质的硬质涂层。这就促使涂层材料朝着多元化、梯度化、多层化方

向发展。

#### 参考文献

- [1]吴敏镜.21世纪的切削刀具.航空精密制造技术,2002年10月第38卷第5期
- [2]韩敏建.刀具表面涂层技术的研究进展\*[J],北兰州工业高等专科学校学报,2010,17(3):48-52
- [3]向思琴.刀具涂层材料的现状与发展[J],科技展望,2016,26(28):296
- [4]陈维喜.刀具涂层技术的现状与展望[J],工具技术,2015,34(3):3-5