

热喷涂涂层机械加工技术及应用

张亚双^{1,3}, 吴英详², 单坤¹, 周雨辰¹

¹中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司;

²中国航发沈阳发动机研究所; ³沈阳航空职业技术学院

摘要: 结合热喷涂涂层的性能和特点,分析了热喷涂涂层的主要切削加工性以及影响涂层切削加工的因素,并通过加工方法、切削刀具以及工艺参数选择的加工应用实例,解决热喷涂涂层的机械加工问题。

关键词: 热喷涂涂层;机械加工;技术应用

中图分类号: TG711;TH140.7

文献标志码: A

Application of Thermal Spray Coating Technology for Mechanical Processing

Zhang Yashuang, Wu Yingxiang, Shan Kun, Zhou Yuchen

Abstract: Combined with the performance and characteristics of thermal spray coatings, the main machinability of cutting thermal spraying coating and coating effect of machining are analyzed. By using the machining method, cutting tools, and application examples of process parameters choice, the machining problems of thermal spraying coating are solved.

Keywords: thermal spray coating; machining; application

1 引言

随着科技的发展,热喷涂技术在航空发动机上得到了大量的应用。热喷涂涂层技术在航空发动机上主要起到防腐、耐磨、减磨、抗高温、抗氧化、隔热等多种功能。通过对零部件关键部位进行热喷涂涂层,既提高了航空发动机的使用性能,又使得涂层技术和涂层材料得到了发展。但热喷涂涂层材料具有不同的特性和用途,这给后续机械加工带来了一定的困难。因此开展热喷涂涂层材料切削加工技术的研究和应用,解决这一切削加工难题,满足涂层零件尺寸精度和表面粗糙度的要求就显得尤为重要。

热喷涂是指将固态的喷涂材料通过特制喷枪加热到熔化或半熔化状态,然后喷射到经过处理的工件表面上形成喷涂层的一种表面加工方法。热喷枪由燃料气或电弧提供热量,将热喷涂材料加热到塑态或熔融态,再经过压缩空气的加速,使受约束的颗粒束流冲击到基体表面上。冲击到基体表面的颗粒,因受冲压变形而形成叠层薄片,粘附在基体表面上,随之冷却并不断堆积,最终形成一种层状结构的涂层。

由于热喷涂涂层材料和被加工的零件具有不同的性能,在切削加工过程中需采用不同的加工方法和加工参数,因此需要根据涂层材料和零件材料的不同特点进行切削参数的优化,解决涂层材料切削加工难题。

2 热喷涂涂层的切削加工性

热喷涂涂层材料种类繁多,各种涂层具有不同的机械性能和物理特性,在航空发动机各部位起着不同的作用。热喷涂涂层主要包括耐磨涂层、热障涂层、封严涂层和高温防护涂层等。部分涂层材料在喷涂后需对涂层进行机械加工,以保证发动机零部件的最终要求,而涂层在进行机械加工的过程中,受其本身特点和性能以及零部件结构的影响,使切削加工性变差而造成切削困难。影响切削加工性的主要因素如下:

①高硬度喷涂层材料一般都含有钴、铬、镍、碳化钨、碳化铬、氧化铝等高硬材料,材料具有较高的耐高温性能,可作为耐磨涂层,其涂层硬度高达HRC70以上,一般刀具无法进行切削加工,必须采用超硬材料的刀具或超硬材料的磨具。

②零件的结构。部分涂层为防止边缘脱落,一般将零件设计为带凹槽的结构。当作为封严涂层时,由于涂层采用为硬度较低的涂层材料,如银铜(Ag-Cu)合金,而零件基体一般为高温合金,两者在材料硬度和性能上有很大的差异,切削过程中两者切削性能又不同,因此在刀具选择、切削参数选择时应进行较多的试验加以确定,以保证切削效果一致,达到零件的设计要求。

③喷涂层与零件基体的结合力。由于受切削加工过程的切削力影响,当涂层局部结合强度较低时,会产生裂纹、掉块、脱落等问题,直接影响零件质量,

进而造成返工或报废。

3 影响喷涂涂层零件加工的因素

(1) 热喷涂涂层对刀具的影响

刀具的选择在切削热喷涂涂层过程中极其关键,对刀具的材料、结构、几何参数等都有不同的要求。热喷涂涂层材料本身由粉末颗粒组成,特别是含钴、铬、镍、碳化钨、碳化铬、氧化铝等高硬材料的涂层,由于这些材料硬度较高,在切削过程中对刀具的磨损相当严重,使刀具的耐用度降低,使用寿命缩短,甚至完成不了整个切削过程。在刀具选择中,应根据涂层材料的含量和成分选择相应的刀具材料,一般对硬度较高的涂层材料选择 CBN 立方氮化硼和 PCD 金刚石刀具,当采用硬质合金刀具时应选择涂有耐磨涂层的刀具。喷涂涂层时应充分考虑刀具结构和几何参数,并进行切削试验,最终确定合适的刀具。

(2) 涂层零件切削参数优化

涂层零件的设计要求一般都很高,特别是对表面粗糙度要求高,而这正是涂层切削加工的难点之一。影响表面粗糙度的因素有两点不可忽视,即切削速度和刀具耐用度。

切削速度过高时造成刀具后刀面快速磨损,使刀尖变钝,涂层表面质量变差,影响尺寸精度和表面粗糙度。切削速度直接影响刀具耐用度,切削速度与刀具耐用度成正比关系,当遇到涂层切削面积较大的零件时,极有可能完成不了最后的精加工工序。因此,在确保刀具寿命的前提下,需要合理调整切削速度以便完成整个加工过程,保证零件的最终要求。

(3) 两种材料同时加工时切削参数的控制

在切削带有凹槽的涂层零件时,由于基体材料与涂层材料的切削性能不同,一般情况下不同的材料切削参数是有区别的。在同时切削两种材料时,必须合理选择切削速度,同时应保证选择适合两种材料的刀具。在数控机床上进行切削时,当切削不同材料时可采用变切削速度的切削方法,可以有效改善切削效果。

(4) 优化走刀路线,减少涂层的裂纹和脱落

涂层经热喷涂后,在需要进行机械加工去除余量时,由于受喷涂层的结合强度、涂层厚度、喷涂材料等因素的影响,在机械加工过程中易发生涂层裂纹、掉块、脱落等现象,造成零件返修,甚至报废。为减少和避免上述现象的发生,可通过改变刀具走刀路线的工艺方法解决裂纹、掉块、脱落等现象的发生。

4 涂层零件切削加工应用实例

4.1 含氟化钡、氟化钙的碳化铬耐高温磨损涂层切削加工

含氟化钡、氟化钙的碳化铬涂层材料属于典型的硬脆性喷涂材料,具有自润滑、耐高温磨损的性能。在封严部位采用此类耐高温磨损涂层,可以降低泄漏,提高发动机的性能。由于此涂层材料首次使用,尚没有切削加工经验,需要通过切削试验确定合理的切削参数。

该涂层硬度高达 70HRC 以上,在试验中根据涂层的特点,分别选用 PCBN 立方氮化硼、PCD 金刚石刀具进行切削加工对比试验,碳化铬涂层零件见图 1。

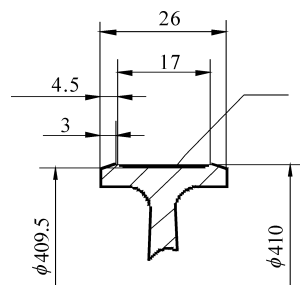


图 1 碳化铬涂层零件

由于 PCBN 刀具的脆性较大,对机床的工艺系统有较高的要求,刀具易产生崩刃和破损。采用 PCD 刀具加工后基本无磨损,可以解决粗加工去除余量的问题,精加工采用磨削工艺来保证尺寸精度。该涂层加工工艺的切削用量选择:使用 PCD 刀具,切削速度 $V = 65\text{m/min}$,进给量 $f = 0.1\text{mm/min}$,切深 $t = 0.05 - 0.1\text{mm}$ 。涂层加工后表面粗糙度要求达到 $R_a 0.8\mu\text{m}$,车削加工无法满足要求,需进行磨削加工。采用数控立磨并使用陶瓷结合剂金刚石砂轮,主轴转速 $n = 3900\text{r/min}$,工作台转速 $n = 100\text{r/min}$,砂轮进给量 $f = 60\text{mm/min}$,切深 $t = 0.003\text{mm} - 0.005\text{mm}$,磨削后达到了尺寸和精度要求。

4.2 FZNCr - 60A、BKHA 涂层切削加工

FZNCr - 60A、BKHA 涂层均属耐高温、耐磨涂层,也是首次在发动机零件中应用。FZNCr - 60A 涂层中 Ni 的含量约 70%,形成了奥氏体钢,加工硬化严重。Cr 的含量为 15% - 20%,使其硬度、强度得到提高,但加工性能变差, Si、O 化合物成硬质氧化物夹杂物,使刀具磨损加剧,切削加工性极差。BKHA 涂层中 Ni 的含量超过了 70%,同样形成奥氏体钢,加工硬化严重, Al 的含量为 20% - 24%,使得与基体材料的结合力变差。

这两种涂层材料在车削加工过程中最容易出现

涂层脱落的问题,并存在切削加工性能差,刀具易磨损,刃口温度高等问题,给加工上述两种涂层带来了很大影响。这类涂层材料的加工难点还在于车削加工时无法使用普通刀具(如高速钢)。若采用磨削方法加工,普通砂轮无法保证加工后的尺寸精度,而使用超硬磨具(如CBN或金刚石)砂轮修整又困难,使得砂轮型面尺寸很难保证。因此通过试验采用以车代磨的工艺方法解决了加工难题。

经试验选择了合适的刀具结构和材料,确定了FZNCr-60A涂层车削工艺参数,该零件为球头外球面涂层,基体为GH99高温合金材料,采用数控车床加工,粗车刀具使用陶瓷刀具(圆刀片 $\phi 9.5$),机床转速 $n=800\text{r}/\text{min}$,切削深度 $t=0.25\text{mm}$,进给量 $f=0.07\text{mm}/\text{r}$ 。精车刀具使用聚晶立方氮化硼CBN刀片,机床转速 $n=1200\text{r}/\text{min}$,切削深度 $t=0.1\text{mm}$,进给量 $f=0.1\text{mm}/\text{r}$ 。FZNCr-60A涂层零件见图2。

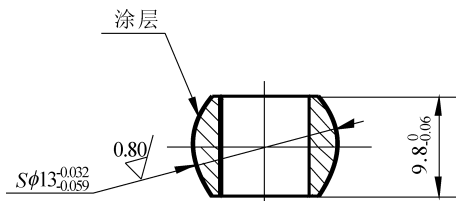


图2 FZNCr-60A涂层零件

BKHA涂层零件在内球面涂层,基体材料K424铸造高温合金。车削工艺参数:采用数控车床加工,刀具使用小前角菱形刀片,机床转速 $n=600\text{r}/\text{min}$,切削深度 $t=0.1\text{mm}$,进给量 $f=0.05\text{mm}/\text{r}$ 。在考虑刀具的耐用度和满足零件表面要求时,限定每个刀刃加工10个零件后更换新刃或换新的刀片,BKHA涂层零件见图3。

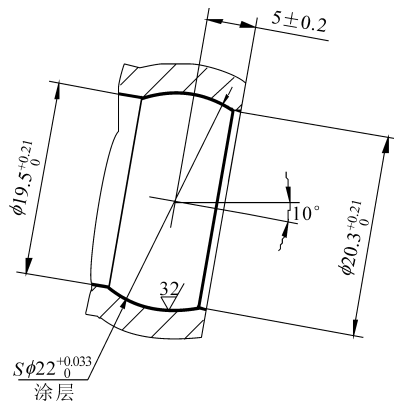


图3 BKHA涂层零件结构

4.3 Ag-Cu合金涂层切削加工

密封外套零件内表面喷涂Ag-Cu材料的涂层,其目的是在发动机工作时起到密封作用,Ag-Cu涂层零件见图4。涂层的喷涂质量、与零件基体的结

合强度、涂层材料组织特性等对其密封性的影响很大,同时也影响切削加工性能。

由于在加工Ag-Cu合金涂层时存在涂层脱落、表面麻坑等现象,加工后造成表面粗糙度满足不了设计要求。从Ag-Cu合金的材料特性分析,该材料属于有色金属,又属于涂层材料,涂层硬度值只有100HB左右,而零件基体材料为GH4169高温合金,硬度值为346-450HB,两种材料硬度不同,并且要同时进行切削加工,给工艺参数选择和刀具的选择带来了困难。在试验中,从这两种材料的化学和物理特性进行分析,找出其切削的共同特点,制定了可行的切削加工方案。

通过选用不同材质(YD15、CBN)刀具解决了切削涂层时产生的脱落和粗糙度高等问题。切削参数:当加工新零件时,粗车(只切削涂层材料)选用YD15焊接车刀,机床转速 $n=85\text{r}/\text{min}$ ($v=53\text{m}/\text{min}$),切削深度 $t=0.1\text{mm}$,进给量 $f=0.09\text{mm}/\text{r}$;精车(同时切削基体和涂层)选用CBN机夹车刀,机床转速 $n=500\text{r}/\text{min}$ ($v=314\text{m}/\text{min}$),切削深度 $t=0.05\text{mm}$,进给量 $f=0.09\text{mm}/\text{r}$ 。选用CBN机夹车刀的目的是通过提高机床转速,在保证刀具耐用度的前提下提高涂层表面质量。

当加工返修零件时,可直接采用YD15车刀加工。机床转速 $n=500\text{r}/\text{min}$,切削深度 $t=0.05\text{mm}$,进给量 $f=0.09\text{mm}/\text{r}$ 。零件返修时不再对基体进行切削,YD15材料的刀具可以保证加工Ag-Cu涂层的要求。

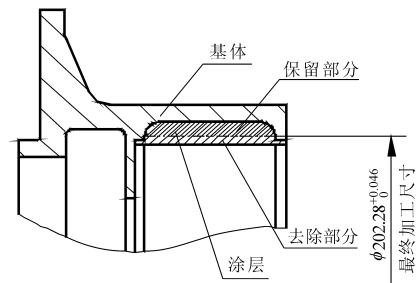


图4 Ag-Cu合金涂层零件

5 结语

经热喷涂工艺的涂层零件在切削加工过程中,由于其自身的特点,在对涂层零件以及不同材料和不同结构的涂层零件进行切削加工时,要考虑多种因素,应通过试验选择工艺方法、优选刀具和优化工艺参数解决涂层零件的加工难题。

参考文献

[1]余承业.特种加工技术[M].北京:国防工业出版社,2001.

基于离散元法的 Al_2O_3 基陶瓷刀具失效机理分析

赵百强,谷美林,刘蕊,杜浩,谷婷婷

河北工业大学

摘要: 本文基于离散元法,利用 PFC2D 软件分别建立陶瓷材料和工件材料真实的离散元模型,模拟氧化铝基陶瓷刀具在加工 45 钢的过程中刀具裂纹的形成、扩展及材料剥落的演化过程。采用单因素法分析了切削深度、切削速度、刀具前角和不同氧化铝基陶瓷材料对刀具磨损的影响,为提高加工质量和合理选择加工参数提供依据。结果表明:在一定范围内增大切削速度可以降低磨损量,提高加工效率;切削加工时应尽量选取合适的切削深度以减少刀具的磨损和延长刀具使用寿命,即采用小切削深度;刀具前角为 -6° 时可以获得更好的加工质量,并减少刀具磨损。

关键词: 氧化铝基陶瓷刀具;刀具磨损;离散元法模拟;磨损量

中图分类号: TG54;TH14

文献标志码: A

Analysis on Tool Wear Mechanism of Al_2O_3 -Based Ceramic Cutting Tool Based on Discrete Element Method

Zhao Baiqiang, Gu Meilin, Liu Rui, Du Hao, Gu Tingting

Abstract: Based on the discrete element method and PFC2D software, the BPM models of ceramic material and of work-piece material are established. The evolution process of material peeling off and the crack extension is simulated. By using the single factor method, the cutting depth, cutting speed, cutting tool rake angle and different alumina ceramic material effects on tool wear are analyzed. The basis for improving the processing quality and choosing reasonable processing parameters is provided by this method. The results show that the increase of cutting speed can reduce the wear amount and improve the processing efficiency in a certain range. The right cutting depth to reduce attrition quantity, extend the service life of cutting tools should be chosen in machining, and the small cutting depth is used. In order to reduce tool wear and get the better processing quality of work-piece, the rake angle -6° is the advisable choice. With increase of fracture toughness and the hardness of tools, the tool wear quantity is decreased.

Keywords: alumina ceramic cutting tools; tool wear; discrete element method simulation; attrition quantity

1 引言

Al_2O_3 基陶瓷刀具具有较好的化学稳定性,良好的耐磨性和优异的耐热性,且价格低廉,被广泛用

于钢材料的切削加工,是目前使用最多的陶瓷刀具之一^[1]。氧化铝基陶瓷刀具脆性大,抗弯强度和耐冲击性能差,当切削温度发生突然改变时,容易出现裂纹、局部脱落和破损现象^[2]。

国内外学者对不同切削条件与刀具破损磨损的关系进行了研究。徐亮^[3]通过大量实验研究了不

收稿日期: 2017 年 7 月

[2] 邱成果,王元化. 材料的物理性能[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.

[3] 张维纪. 金属切削原理与刀具[M]. 杭州:浙江大学出版社,1998.

[4] 付海. 热喷涂焊层车削加工工艺的探讨[J]. 现代机械, 2004(4):92-93.

[5] 蒋铁军. 车削加工振动断屑法[J]. 金属加工(冷加工), 2000(12):9.

[6] 张文东,刘哲,穆宏兵. 车削加工中振动产生原因及消除措施[J]. 机械研究与应用,2002,15(2):21-23.

[7] 王梅香. 细长轴车削新工艺[J]. 煤矿机械,2008,29(10):91-92.

[8] 陈祖安. 车削加工的切削用量优化设计[J]. 现代制造工程,1995(1):27-28.

[9] 高琪,祖英利,王金贵. 基于车削加工的误差分析及其补偿研究[J]. 煤矿机械,2010,31(1):127-130.

[11] 李继平. 复杂零件的车削加工工艺[J]. 科技信息:学术研究,2008(32):154.

第一作者:张亚双,高级工程师,中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司,110043 沈阳市

First Author: Zhang Yashuang, Senior Engineer, AECC Shenyang Liming Aero Engine corporation LTD, Shenyang 110043, China