

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 19920120153885

UDC _____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

硬质合金刀具磨制、使用参数设计优化研究

Research on Grinding and Using Parameters Optimization of
Cemented Carbide Cutting Tool

张祥雷

指导教师姓名: 姚 斌 教 授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2015 年 7 月

论文答辩时间: 2015 年 9 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 9 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

在航空航天制造领域，航空铝合金零部件是数量最多、制造任务最重的加工对象，其高效加工使用的高端硬质合金刀具多数需要进口。由于我国航空铝合金加工专用硬质合金刀具的研究起步较晚、发展滞后，材料研发、刀具设计以及制造装备技术整体水平不高，尤其缺乏针对不同航空铝合金零件加工用硬质合金刀具从切削机理分析、几何结构设计、磨制技术、加工参数优化整个过程的全链条式研究。本文针对航空铝合金 7075 加工用硬质合金刀具的磨制机理、刀具铣削性能、刀具几何结构与加工参数优化等方面进行贯通性应用基础研究尝试，为航空铝合金 7075 加工用硬质合金刀具的合理开发与使用提供理论依据。

在硬质合金材料的磨削机理方面，采用单颗磨粒磨削模型研究磨粒粒度、磨削深度、磨削速度与磨削力的关系，并提出磨粒随机分布的虚拟砂轮建模方法，建立了多颗磨粒共同磨削硬质合金材料的磨削模型，对该模型的磨削力进行预测与试验验证。结合新建多颗磨粒磨削模型与机床有限元模型，采用耦合仿真法建立了金刚石磨削硬质合金过程中的机床-工艺之间的交互作用模型，对磨削力与机床砂轮端面的轴向变形进行动态交互耦合研究与仿真，提高了磨削力的预测能力，更真实地反映了磨削过程。基于电机功率反馈监控技术，设计了磨削力自适应控制方案，并验证了方案的可行性。

对磨制硬质合金刀具的工艺与加工误差补偿进行研究。分析硬质合金刀片与整体硬质合金铣刀的刃磨工艺，对用于端面磨削的金刚石碗形砂轮进行热力耦合分析，研究砂轮热力耦合变形对加工精度的影响。在此基础上提出了一种原位检测硬质合金刀片加工误差、自动补偿的方法，提高了产品的制造精度。

建立硬质合金圆柱螺旋立铣刀的瞬态刚性切削力预测模型。通过槽铣试验，对瞬态切削力模型的切削力系数进行辨识，分析铣削参数、铣刀几何参数和冷却液对切削力系数的影响规律，建立包含轴向切深的变切削力系数模型。对比模型预测值与试验数据，验证新建切削力模型的准确性。

研究硬质合金刀具几何结构参数对铣削航空铝合金 7075 切削力、切削温度的影响规律，并以此为判据分别建立了铣削航空铝合金 7075 的切削力、切削温

度的新模型,它们在传统经验模型的基础上增加了刀具几何结构影响因子。同时,研究铣削加工参数(铣削速度、每齿进给量、轴向切深、径向切深)对切削力、切削温度的影响规律。开展铣削试验,验证了切削力新模型具有较好的预测能力以及加工参数变化对切削力影响规律的准确性。

以加工航空铝合金 7075 专用硬质合金刀具为研究对象,分别以切削力、切削温度为目标函数,采用遗传算法对刀具的几何结构参数进行优化。同时,对铣削加工参数进行优化,分别以产品表面质量、刀具寿命、材料去除率和加工成本为四个优化目标,采用线性加权法建立可变综合优化目标函数,通过改变权值来调整优化目标以确保优化的加工参数符合不同的加工需求;同时以与机床、刀具和工件相关的共 13 个约束函数来保证优化的结果符合实际生产技术要求。在这两个独立优化过程的基础上,提出了刀具几何结构参数与加工参数共同优化模型,实现同时获得指定优化目标下刀具的最佳刀具几何结构参数和最优铣削加工参数。

关键词: 硬质合金刀具; 磨制; 航空铝合金; 参数优化

Abstract

In the field of aerospace manufacturing, aviation aluminum alloy is the processed object that in great demand, and most of the high performance cemented carbide tools rely on imports. Due to the research on cemented carbide tool for machining aviation aluminum alloy started late in China, the overall level of material research, tool design and equipment manufacturing technology is not that high. In particular, the researches of whole process full chain type of cutting mechanism analysis, geometric structure design, grinding technology and process parameters optimization for machining aviation aluminum alloy parts with cemented carbide tool are lacking. In this dissertation, cemented carbide tool machining aviation aluminum alloy 7075 including grinding mechanism, milling properties, cutting tool geometry and machining parameter optimization and other aspects was researched to provide the theoretical basis of the development and use of cemented carbide tool machining aviation aluminum alloy 7075.

As the aspect of the grinding mechanism of cemented carbide material, the relationship between the grain size, grinding depth, grinding speed and grinding force was studied by using the single abrasive grain grinding model. The modeling method of virtual grinding wheel of random particle distribution was put forward to establish the grinding model of the multi-grains co-grinding cemented carbide material, of which the grinding force was predicted and experimentally verified. Combined with the model of multi-grains grinding and the finite element model of machine tool, the model of machine-process interaction was built with simulated coupling method. This new model conducted dynamic interaction coupling simulation on the grinding force and the axial deformation of machine tool grinding wheel, which improved the prediction of grinding force and better reflected the grinding process. Based on the motor power feedback monitoring technology, the grinding force adaptive control scheme was designed, and the feasibility of the scheme was verified by experiment.

Grinding process and machining error compensation of grinding cemented carbide tool were researched. The grinding processes of carbide insert and solid carbide end mill were analyzed. Diamond bowl-shaped wheel for face grinding was analyzed through thermo-mechanical, and the effects of grinding wheel deformation of thermal coupling on machining accuracy were researched. On the basis of these studies, a method of detection in machining error of cemented carbide cutter and automatic compensation, which improved the manufacturing accuracy.

The instantaneous cutting force model of cemented carbide cylindrical end mill was established. By the test of slot milling, the cutting force coefficients of the model were identified and the influence rules of milling parameters, milling cutter geometry parameters and cooling liquid on the coefficients were studied. Thus, a new model of cutting force coefficients containing axial cutting depth was built. Comparison of experimental data and predictive value verified the accuracy of the cutting force model.

The influence rule of geometry parameters on the cutting force and cutting temperature of cemented carbide tool machining aviation aluminum alloy 7075 was studied. Based on this, a cutting force model and a cutting temperature model of cemented carbide tool machining aviation aluminum alloy 7075 were established. These two models took cutter geometrical structure factors into extra account compared with the traditional empirical model. The influence of process parameters (cutting speed, feed per tooth, axial cutting depth and radial cutting depth) on the cutting force and cutting temperature were also studied. The milling experiments verified that the new model of cutting force had good prediction ability and the laws between cutting force and process parameters were accurate.

Take the processing of aviation aluminum alloy 7075 as research object, cutting force and cutting temperature as the objective function, the geometric parameters of cemented carbide tool were optimized with genetic algorithm. Meanwhile, the milling parameters were optimized by a variable integrated optimized function, which was built with linear weighting method to integrate four optimization objectives including surface quality, cutter life, material removal rate and processing cost. In order to

guarantee the optimized milling parameters meet the practical need, the objective optimizing weights could be changed. Besides, 13 constraint functions, related to machine tools, cutting tools and workpieces, would make sure the optimized design results meet the practical processing need. On the basis of these two independent optimization processes, a co-optimization model of the geometry parameters and processing parameters was presented. The model realized simultaneously obtaining the optimum milling parameters and the best structure geometry parameters under specified optimization objectives.

Keywords: Cemented carbide cutting tool; Grinding; Aviation aluminum alloy; Parameters optimization

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
目录.....	VII
Contents	XI
图表索引.....	XV
第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 硬质合金刀具磨削加工的研究现状.....	2
1.2.2 高速铣削航空铝合金的研究现状.....	5
1.2.3 硬质合金刀具对铣削性能影响的研究现状.....	7
1.3 本文主要研究内容	14
第二章 硬质合金材料的磨削机理研究	17
2.1 磨削硬质合金材料的单颗磨粒磨削研究	17
2.1.1 硬质合金材料的单颗磨粒磨削模型.....	17
2.1.2 磨粒粒度与磨削力的规律研究.....	19
2.1.3 磨削工艺参数与磨削力的规律研究.....	20
2.2 磨削硬质合金材料的多颗磨粒磨削研究	23
2.2.1 多颗磨粒随机分布的虚拟砂轮建模.....	23
2.2.2 多颗磨粒磨削模型的建立.....	26
2.2.3 新模型磨削力的预测与验证.....	26
2.3 机床-工艺交互作用下的磨削力研究	31
2.3.1 机床的建模.....	32
2.3.2 磨削工艺的建模.....	33

2.3.3 机床-工艺交互的建模	34
2.3.4 机床-工艺交互的结果分析	36
2.4 磨削力自适应控制技术研究	38
2.4.1 磨削力间接测量技术	39
2.4.2 磨削力自适应控制系统设计	41
2.4.3 磨削力自适应控制试验	43
2.5 本章小结	44
第三章 磨制硬质合金刀具的刃磨工艺与加工误差补偿研究	45
3.1 硬质合金刀具的刃磨工艺分析	45
3.1.1 硬质合金刀片的周边刃磨工艺	45
3.1.2 整体硬质合金铣刀的刃磨工艺	47
3.2 碗形砂轮的热力耦合特性对加工精度的影响分析	49
3.2.1 砂轮的选择及应用	49
3.2.2 碗形砂轮的热力耦合特性分析	50
3.3 磨制过程的加工误差检测与补偿	59
3.3.1 加工误差的动态检测方法	59
3.3.2 加工误差的补偿方法	60
3.3.3 检测与补偿的试验	61
3.4 本章小结	62
第四章 硬质合金刀具的切削力建模与预测研究	63
4.1 硬质合金立铣刀切削力建模	63
4.1.1 瞬态切削力建模方法	63
4.1.2 圆柱螺旋立铣刀切削力模型	65
4.2 新切削力系数建模	67
4.2.1 切削力系数辨识试验	69
4.2.2 切削力系数的影响因素分析	71
4.2.3 新切削力系数模型	75
4.3 切削力模型预测与验证	75
4.3.1 硬质合金圆柱螺旋立铣刀切削力新模型	75

4.3.2 硬质合金圆柱螺旋立铣刀切削力验证.....	76
4.4 本章小结	78
第五章 硬质合金刀具几何结构与加工参数对铣削性能影响研究....	79
5.1 硬质合金刀具二维铣削模型	79
5.1.1 二维铣削仿真模型.....	79
5.1.2 工件材料本构模型.....	81
5.2 硬质合金刀具几何结构参数对铣削的影响	82
5.2.1 硬质合金刀具几何结构参数对切削力的影响.....	82
5.2.2 硬质合金刀具几何结构参数对切削温度的影响.....	91
5.2.3 基于铣削性能分析的硬质合金刀具几何结构参数优化.....	93
5.3 加工参数对铣削性能的影响	94
5.3.1 铣削速度对铣削性能的影响.....	94
5.3.2 每齿进给量对铣削性能的影响.....	96
5.3.3 轴向切深对铣削性能的影响.....	97
5.3.4 径向切深对铣削性能的影响.....	97
5.4 切削力影响规律的试验验证	98
5.4.1 刀具几何结构参数对切削力影响规律的验证.....	98
5.4.2 加工参数对切削力影响规律的验证.....	100
5.5 本章小结	103
第六章 硬质合金刀具几何结构参数与加工参数共同优化研究.....	105
6.1 航空铝合金 7075 加工用硬质合金刀具几何结构参数优化	105
6.1.1 目标函数.....	105
6.1.2 基于遗传算法的几何结构参数优化.....	106
6.2 硬质合金刀具加工航空铝合金 7075 的加工参数优化	109
6.2.1 目标函数.....	109
6.2.2 设计变量.....	112
6.2.3 约束条件.....	112
6.2.4 基于遗传算法的铣削加工参数优化.....	116
6.3 硬质合金刀具几何结构参数与加工参数共同优化模型	117

6.3.1 共同优化模型.....	118
6.3.2 共同优化过程.....	118
6.3.3 参数共同优化的结果与分析.....	119
6.4 本章小结	120
第七章 总结与展望	121
7.1 总结.....	121
7.2 展望.....	122
参考文献.....	125
致谢.....	137
硕博连读期间获得的科研成果与荣誉	139

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.