

# 颠覆传统切削理论的高速切削

## High Speed Cutting that Overturns Traditional Cutting Theory

蒋洪斌

Hongbin Jiang

无锡机电高等职业技术学校 中国·江苏 无锡 214028

Wuxi Mechanical and Electrical Higher Vocational and Technical School, Wuxi, Jiangsu, 214028, China

**摘要:** 论文着重介绍超高速切削加工的概念、超高速切削在难加工材料的生产制造过程中, 颠覆传统切削理论的特点, 介绍近些年来超高速切削加工在机械制造中, 尤其是不锈钢、弹簧钢、模具钢等难加工材料切削中的应用。

**Abstract:** This paper focuses on the concept of ultra-high speed cutting, the characteristics of ultra-high speed cutting in the production and manufacturing of difficult to process materials, which overturns the traditional cutting theory, introduces the application of ultra-high speed cutting in mechanical manufacturing in recent years, especially in the cutting of stainless steel, spring steel, die steel and other difficult to process materials.

**关键词:** 超高速; 临界切削速度; 弹道切削; 高转速加工中心; 高移速加工中心

**Keywords:** super high speed; critical cutting speed; ballistic cutting; high speed processing center; high shift speed processing center

**DOI:** 10.12346/etr.v3i6.3707

### 1 引言

自从1960年美国洛克希德飞机公司(lockheed aircraft)的工程师沃汉(Robert L. Vaughan)用“弹道切削”方法, 进行了一次成功的高速切削实验, 高速切削的研究工作在各地风起云涌。

### 2 超高速切削加工理论

萨洛蒙高速切削实验得到如图所示的温度—速度关系, 对应一定的工件材料有一个临界切削速度, 其切削温度最高<sup>[1]</sup>。在常规切削范围内(图1中A区), 切削温度随着切削速度的增大而提高; 当切削速度达到临界切削温度后, 切削速度再增大时, 切削温度反而降低见图1。

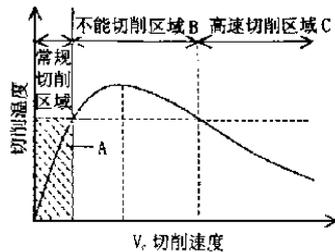


图1 切削温度与切削速度关系图

### 3 超高速切削的优势

①切削高强度材料。航空和动力部门大量采用的镍基合金和钛合金, 这类材料强度大、硬度高、耐冲击、加工中容易硬化, 切削温度高, 刀具磨损严重。发现采用高速切削, 切削速度可提高到100~1000m/min, 为常规切削的10倍左右, 不但可大幅度提高生产率, 而且可有效地减小刀具磨损, 提高零件加工的表面质量(图2中, 纵坐标为不同材料, 横坐标为切削速度, 黑色区为超高速切削区)。

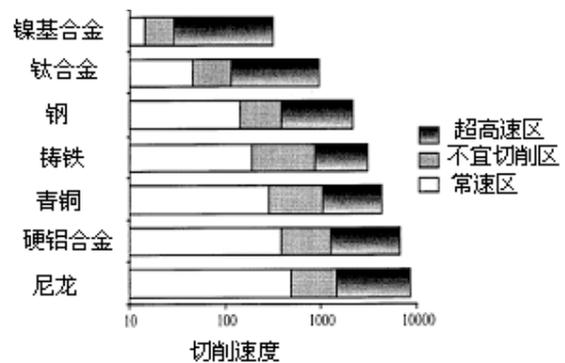


图2 各种材料的切削速度关系图

【作者简介】蒋洪斌(1967-), 男, 中国江苏宜兴人, 本科, 副教授, 从事机电工程教学及技术研究。

②金属加工切除率高。随着切削速度的大幅度提高, 进给速度也相应提高了5~10倍。这样, 单位时间内的材料切除率可大大增加, 可达到常规切削的3~6倍, 甚至更高; 同时机床快速空程速度的大幅度提高, 也大大减少了非切削的空行程时间, 从而极大地提高了机床的生产率<sup>[2]</sup>。

③刀具磨损小。在切削速度达到610m/s, 切削经过热处理的材料时, 刀具的磨损率最小; 切削速度变化对退火钢的加工影响不大; 在切削速度从150m/s增加到760m/s时, 每切除单位金属的刀具磨损率下降75%到95%; 切削铝合金的速度达到760m/s时, 没有测量到刀具磨损。

④切削力小。在高速切削时水平力和垂直力虽然比理论值大, 但是仍在可控制的范围内; 大多数情况下, 垂直力比水平力大, 这和理论分析的结果相反; 峰值切削力只增加了33%~70%, 而不是预计的500%, 而且使用的平均力还会减小; 在高速切削下, 剪切角增大而导致剪切力减小。

⑤切削温度降低。在高速切削时, 95%~98%以上的切削热来不及传给工件, 被切屑飞速带走, 工件可基本上保持冷态, 因而特别适合于加工容易热变形的零件。在高速切削区, 随速度的提高切削温度反而降低。

⑥工作平稳振动小。高速切削时, 机床的激振频率特别高, 它远远离开了“机床—刀具—工件”工艺系统的固有频率范围, 工作平稳、振动小。因而能加工出非常精密、非常光洁的零件, 零件经高速车、铣加工的表面质量常可达到磨削的水平, 残留在工件表面上的应力也很小, 故常可省去铣削后的精加工工序。

## 4 超高速切削加工的应用

中国超高速切削加工技术最早应用于轿车工业, 20世纪80年代后期, 相继从德国、美国、法国、日本等国引进了多条具有先进水平的轿车数控自动化生产线, 如从德国引进的具有90年代中期水平的一汽大众捷达轿车和上海大众桑塔纳轿车自动生产线, 其中大量应用了高速切削加工技术。生产线所用刀具材料以超硬刀具为主, 依靠进口<sup>[3]</sup>。采用聚晶立方氮化硼(PCBN)、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>基陶瓷、金属陶瓷、TiCN涂层刀具加工高强度铸铁件, 铣削速度达2200m/min; 采用聚晶金刚石(PCD)、超细硬质合金刀具加工硅铝合金铸件, 铣削速度达2200m/min, 钻、铰削速度80~240m/min; 采用Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>基陶瓷、金属陶瓷、TiCN涂层刀具加工精锻结构钢件, 车削速度达200m/min; 采用Co粉末冶金高速钢(表面TiCN涂层)整体拉刀、滚刀、剃齿刀以及硬质合金机夹专用拉刀加工各种精锻钢件、铸铁件、拉削速度达10~25m/min, 滚齿速

度110m/min, 剃齿速度达170m/min, 大大提高了生产效率和加工精度。

近年来, 中国航天、航空、汽轮机、模具等制造行业引进了大量加工中心和数控镗铣床, 都不同程度地开始推广应用超高速切削加工技术, 其中模具行业应用较多。

### 4.1 模具制造

由于模具制造属于复杂空间曲面加工, 切削时间占整个加工时间的大部分, 充分利用超高速切削加工的金属加工切除率高<sup>[4]</sup>。但快速移动速度、加速度要求不很高的特点, 如高速加工中心(高速铣)—HSM型, 主轴转速多为20000~40000r/min, 快速移动速度、加速度要求不很高, 一般不低于30m/min、0.3g超高速切削加工的模具零件)。



图3 超高速切削的模具零件

笔者在一汽锡柴调研时, 亲身体会了厂里的高速铣床DIGIT—218。(主轴电机功率8kW, 最高主轴转速为30000r/min, 最高进给速度为10m/min, 最大进给加速度为5m/s<sup>2</sup>。)在模具零件加工方面起到的非常大的作用。

例如, 高精度铝质模具型腔的加工, 高精度铝质模具型腔的加工, 是众多模具制造厂家的一大难题。由于铝材料的熔点较低, 在传统的铣削加工时, 大量的切削热使部分铝屑熔化, 使铝屑粘附在刀具上, 使得加工后型腔表面质量达不到设计要求。要获得较高表面质量型腔, 后道工序需要大量的手工操作, 如铲刮、抛光等, 但型腔的加工精度无法控制。如加工铝质扶手模具的凹模, 模具型腔长达1500mm, 尺寸精度误差±0.05mm, 表面粗糙度Ra0.8μm, 原制造工艺为粗刨—半精刨—精刨—手工铲刮—手工抛光, 制造周期60h, 仍无法满足客户的要求。采用高速铣床加工时, 半

(下转第69页)

向导通给设备提供电压,一旦设备开始工作就会产生工作电流,当电流检测开关检测到电流大于内部基准就会开启 Q2,此时自动检测开关完成电压输出动作。

③开关 Q1 被导通时,输出电压就开始从零爬升到等于  $V_{in}$  电压,由于在 Q1 的栅极增加一个软启动电路,只要使 Q1 的栅极电压是缓慢线性爬升的,就可以使 Q1 的沟道是逐渐打开的,因此输出电压也是缓慢线性爬升到目标电压,整个开启过程没有电压突变,因此不会产生浪涌电流,通常情况下,在 Q1 的栅极增加一个 RC 延迟线路就可以达到设计目的。

④当外部设备被移除时,接口电源输出电流减小到零,电流检测开关检测流过 Q1/Q2 电流小于基准,因此开关 Q2 会首先被关闭,电流源会对接口电源输出端充电直至饱和 ( $V_{in}+0.1V$ ),比较器 U1 翻转,关闭开关 Q1,自动检测开关被完全断开,回到初始未接入设备状态。

## 4 创新解决方案的优势

本方案的优势如下:

①本方案从源头上杜绝了浪涌电流的产生,从根本上

消除了热插拔浪涌电流对系统和元器件造成的影响,可靠性高。

②本方案成本低,只是在现行限流开关上集成了自动检测模块,不增加额外的元器件,几乎不会增加成本。

③本方案适用性高,没有利用额外的物理引脚检测,也没有使用额外的信号引脚检测,可以在任何需要热插拔的设计中应用。

## 5 结语

本研究方法通过导入自动检测开关方案,可以实现完全消除热插拔浪涌电流的影响,适合推广到所有需要热插拔的设计中,增强电子设备的可靠性,并降低生产成本。

## 参考文献

- [1] 张文杰,王坤.浅谈嵌入式系统中的硬件热插拔设计[J].电子世界,2012(10):41-42.
- [2] 王红蕾.新型输入浪涌电流抑制电路[J].集成电路应用,2021(6):3.
- [3] 黄俊.并联系统的热插拔研究[J].电子技术与软件工程,2015(7):147-148.

(上接第 61 页)

精加工切削参数:主轴转速 18000r/min,切深 2mm,进给速度 5m/min;精加工切削参数:主轴转速 20000r/min,切深 0.2mm,进给速度 8m/min,加工周期 6h,模具质量能满足客户的要求。

### 4.2 汽车零部件制造

由于汽车零部件制造辅助时间占整个加工时间的大部分,高达 70%。快速移动速度、加速度要求很高,而切削加工的速度相对要求不很高<sup>[5]</sup>。一般采用高移速加工中心—HVM 型,主轴转速多为 8000~15000r/min,快速移动速度多约 60m/min 以上,甚至 80~120m/min,加速度要求高,0.6~1.0g,甚至 1.5g。

### 4.3 航空航天领域

航空航天领域有许多薄壁、细肋结构,刚性差的零部件,加工这种零件可利用超高速切削加工时的小横向力的特点。主轴转速 40000r/min 以上,快速移动速度多约 40m/min 左右,加速度要求高,一般 1.0g 左右。

## 5 结语

目前中国在研制超高速切削加工设备方面,还有许多技

术问题有待解决,诸如高速主轴系统中的电主轴、磁悬浮轴承的制造技术;高速机床进给系统中的高速直线电动机进给单元、高速滚珠丝杠副制造技术。

还有如何选择合理的加工参数,达到最佳切削效果?高速切削刀具的材料、切削角度应作哪些调整等。但是随着越来越多的科研攻关人员的不懈努力,相关科研攻关项目的完成,我们相信超“高速切削加工”的春天一定会来临。

## 参考文献

- [1] 朱祖明.高速切削加工技术在数控机床中的运用[J].时代汽车,2020(13):2.
- [2] 山红伟.数控机床中高速切削加工技术的应用分析[J].时代农机,2016,43(11):10-11.
- [3] 齐靖.数控机床中高速切削加工技术的应用分析[J].现代工业经济和信化,2016,6(8):37-38.
- [4] 任群生.探析高速切削加工技术在数控机床中的应用[J].数字化用户,2013(10):50-51.
- [5] 丁杰,赵杰,张振金.高速切削加工技术在数控机床中的应用[J].机械设计与制造,2007(12):155-156.