

高效加工技术的应用

段鑫¹ 高杨² 丛日平¹ 杨巍¹ 申建国¹

(1. 山西长治清华机械厂, 长治 046012;

2. 第二炮兵驻长治清华机械厂军事代表室, 长治 046012)



摘要: 介绍了高效加工技术的概念, 从机床、刀具、切削参数等几个方面分析了提高金属去除率的不同加工案例的特点, 并结合高效加工工艺, 用具体实例阐述了高效加工技术在航天制造领域的应用情况。

关键词: 高效加工; 高速加工; 效率

Application of High-efficiency Machining Technology

Duan Xin¹ Gao Yang² Cong Riping¹ Yang Wei¹ Shen Jianguo¹

(1. Changzhi Qinghua Machinery Factory, Changzhi 046012;

2. The Second Artillery Military Representative Office in Changzhi Qinghua Machinery Factory, Changzhi 046012)

Abstract: The concept of high-efficient machining technology is introduced, and the features of different machining cases which increase the metal removal rate are analyzed from machine tool, cutting tool and cutting parameter. The application of the high-efficiency machining technology in the field of aerospace manufacture is illustrated with examples and combined with high-efficient machining technology.

Key words: high-efficiency machining; high-speed machining; efficiency

1 引言

高效加工是数控加工领域的必然发展趋势, 是继高速切削、高速加工之后悄然兴起的新理念。高效加工体现的是高的加工效能、加工性能和加工效率, 也可以被描述为对整个加工制造流程的优化, 其目的是实现低的成本投入与高的生产产出^[1]。近年来, 涂层技术、数控刀具磨削技术、刀具模拟仿真制造技术的进步, 促使一大批新型高效加工刀具出现。如何利用好这些先进的工具以及先进的加工理念, 成为摆在我们面前的一个重要课题。

2 高效加工技术的概念

高效加工是指在保证零件精度和品质的前提下, 通过对加工过程的优化和提高单位时间下的金属切

除率来降低加工成本和提高加工效率的方法^[2]。根据金属加工工艺学原理, 单位时间的金属去除率取决于切削宽度、切削深度、每齿进给量、刀具数和转速。

其表达式为:

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times V_f}{1000} \quad (1)$$

$$V_f = f_z \times z \times n \quad (2)$$

式中: Q 为金属去除率, cm^3/min ; a_p 为切削深度; a_e 为切削宽度; V_f 为切削速度, mm/min ; f_z 为每齿进给量; z 为齿数; n 为转速。

即单位时间的材料切除率=切削宽度×切削深度×切削速度/1000= $a_p \times a_e \times f_z \times z \times n/1000$ 。

从上述公式中可以看出, 高速加工隶属于高效加工。

3 高效加工的典型方案

从切削用量的选择来说，高效加工技术大致有以下方案。

3.1 高速加工方案

该方案目前有两种：高转速、大进给、小切深(a_p)

切削；高转速、大进给、大切深(a_p)、小切宽(a_e)切削。这两种加工方案所采用的都是高转速和大进给，所不同的是将切深和切宽大小互换。表 1 列出了两种加工方法的典型切削参数。

表 1 两种切削方案切削参数的对比

被加工材料	刀具名称	刀具型号	刀具材料	直径/mm	刀齿数 Z	切削参数						金属去除率 /cm ³ min ⁻¹
						V_c /m min ⁻¹	n /r min ⁻¹	a_p /mm	a_e /mm	f_z /mm z ⁻¹	V_f /mm min ⁻¹	
5A06 铝锻件	Φ25 立铣刀	—	硬质合金涂层	25	3	596.6	7600	25	0.5	0.25	5700	71.75
38CrMo Al 锻件	Φ32 高效铣刀	FFFW D32-060-CF4-06-C	硬质合金涂层	32	3	200.9	2000	1	32	0.58	3500	112

从表 1 可以看出，高速加工首先需要高转速和高进给，然后根据刀具特点，选用不同的切削参数。

高速加工对机床的要求^[3]：适应高速加工的高速、高扭矩的主轴；良好的机床结构；高性能的控制系统，包括高精度的插补功能、轮廓前瞻控制、高加速度、高精度位置控制等；高安全性，适应高速加工的机床必须具备全封闭式安全门等保障措施。

高速加工对刀具的要求：

a. 高速加工对刀具材料的要求：高强度和耐磨性；韧度高，抗冲击能力强；高的热硬性和化学稳定性；抗热冲击能力强。

b. 高速加工对刀具结构的要求：正确选择切削刃的几何参数以及刀具的断屑方式，对高速加工的效率、表面质量、刀具寿命以及切削热量的产生等都有很大影响。

图 1 所示的高速铣刀所对应的是小切深方案，它采用较小的主偏角，使得在单位切深下，切削宽度增大，刀片参与切削的面积相应增大。采用大的刀尖圆弧半径，增加刀片的强度。刀体中大的排屑槽设计，使得切屑排出顺畅。



图 1 高速铣刀

图 2 所示的高速铣刀所对应的是大切深方案，它采用了多个主切削刃，辅以较大的螺旋倾角，使得参与切削的切削刃长且多，切削刃宽度小且浅。切屑细小，非常容易排出。



图 2 大切深铣刀

高速加工对刀体的要求：夹紧精度高；传递转矩大；结构对称性好，有利于刀具的动平衡；外形尺寸小，但应适当加大刀具的悬伸量，扩大加工范围。

较传统切削，高速加工具有以下特点：

a. 较高的金属去除率，因其速度较常规速度高 3~5 倍，单位时间的金属去除率也会较高；

b. 较小的切削力，在高速加工中，随着切削速度提高，切削力可减少 30% 以上，极大地减少了切削力对工件变形的影响；

c. 较低的切削热，在高速加工范围内，随着转速的升高，温度不升反降，另一方面，高速加工时，大部分热量被高速运动的切屑带走，热量来不及传给工件本身，减小了工件的热变形；

d. 较高的表面加工质量，由于采用了极小的步距和切深，高速加工可以获得很高的表面质量，甚至可以省去钳工抛光的工序。

3.2 大切宽、满负荷切削方案

首先，让我们从生产实际中的典型案例来了解一下这种加工方案：

某产品板梁外形尺寸约为 27000mm×3000mm×2000mm，整体采用 Q345A 厚钢板焊接而成。板梁间采用端面对接，螺栓联接的形式。端面数较多且面积较大（2000mm×2000mm）。并且因结构及焊接变形控制等原因，端面所预留的机加工余量较大（20～30mm），如图 3 所示。

为解决这一加工难题，工厂通过调研和工艺分析，采用了如下加工方案：加工设备选用 W250HC 数控落地铣镗床。其主要机床参数见表 2。



图 3 铣削大平面

表 2 机床参数表

机床名称	镗杆直径	X 向总行程	Y 向总行程	Z 向总行程	主轴转速	主轴滑板进给量	主轴功率
W250HC	Φ250mm	18000mm	5000mm	3500mm	0.8～800r/min	0.75～3000r/min	100kW

刀具选用山特维克的重型铣刀盘（SANDVIK 360-315Q60-Z15EB），见图 4。配重型刀片，见图 5。刀片为硬质合金涂层刀片。



图 4 重型刀盘



图 5 厚实的刀片

刀盘直径为 Φ315mm，圆周上均布安装 15 块刀片。为适应重型切削，其刀片的装夹方式也较为特殊：采用楔形结构，从径向楔入，压紧刀片并采用双螺钉紧固。

通过加工过程分析及优化，所形成的切削参数见表 3。

表 3 切削参数表

刀具名称	直径	齿数	转速 n	线速度 V_c	单齿进给量 f_z	进给量 V_f	切深 a_p	切宽 a_e
面铣刀	Φ315mm	15	160r/min	160m/min	0.3mm/z	750mm/min	10～12mm	315mm (max)

通过以下公式，可以计算出其主轴切削功率：

$$P = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times K_c}{6 \times 10^7 \times \eta}$$

(3)

式中： P 为切削功率； K_c 为单位切削力，可通过

切削手册计算得到； η 为机床效率，根据手册介绍，一般取 75%～85%，这里取平均值 80%。

经计算，本案例中 P 值为 93.75kW，接近主轴额定功率 100kW。

通过以上分析,可总结出该加工方案的特点:

a. 切削功率大,该设备采用直流调速电机,功率达 100kW,在工艺系统刚性良好的情况下,满载切削,加工效率十分明显。

b. 切削效率高,通过公式(1)的计算,单位时间的金属去除率 Q 为 $2362.5\text{cm}^3/\text{min}$ 。其切削效率可见一斑。

c. 低转速、中低进给、满负荷的加工方案也能获得极高的效率,特别适用于粗加工去除大面积余量。

d. 对机床的要求:拥有粗壮主轴的重型机床,虽然其转速低,但系统刚性好,功率高。对机床软件要求并不高,不需要很复杂的控制系统。

e. 对刀具的要求:刀具系统自身刚性好,切削刃部分一般采取较小的前角、后角以及大的刀尖圆弧半径等,以增加刀具强度。在排屑顺畅的前提下,应采取更多的刀齿数。

4 高效加工工艺

加工工艺路线实际上是对工厂所有资源的整合,并充分利用现有的资源为产品生产服务。

图 6 是工厂生产实际中的一个典型高效加工案例,现结合此案例对高效加工工艺路线的安排进行简要分析。

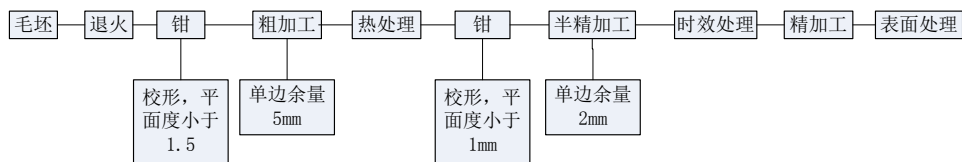


图 6 某零件加工流程图

a. 毛坯的选择。为增加可靠性以及适应严苛的质量要求,航空行业首先应用了整体加工法,并采用高速加工法进行加工。所采用的毛坯为整块毛坯,零件加工完成后金属切除率达 70%~90%。而图 6 所示加工案例中,毛坯采用的是模锻毛坯,金属切除率不足 20%。因此,并非采用了高效加工技术,就不考虑毛坯,在保证产品质量和后续加工的前提下,应尽量选择最接近最终尺寸的毛坯。

b. 退火、时效、校形等辅助环节。虽然高效加工的能力很强,效率也很高,但是适当地穿插这些辅助工序,将更有利地提高材料的加工性能,改善切削条件。

c. 刀具路径的优化。若路径不合理,在切削过程中可能引起切削负荷的突变,从而给零件、刀具和机床带来冲击,损伤刀具并影响加工质量。高速加工的高转速和高进给,使得这种损害比普通切削中更严重,因此,必须选择适合高速加工的路径,将切削过程中切削负荷的突变降至最低。

综上所述,工艺路线的安排非常重要,从毛坯环

节开始,所有的工序安排都只有一个目标:在保证产品质量的前提下,提高加工效率,降低加工成本。

5 结束语

本文通过对高效加工技术的理念、典型方案以及其加工工艺的分析,总结了目前工厂高效加工技术的实际应用情况。高效加工是现代切削加工技术的发展趋势,是制造型企业核心竞争力的基本组成部分,应当结合生产实际,加快高效加工技术的发展,为型号产品生产助力。

参考文献

- 1 高长才,等. 高效数控加工技术解决方案. 航空制造技术[J], 2009, S2: 85
- 2 吴海宝,等. 高效加工技术在航空发动机制造领域的应用与发展. 航空制造技术[J], 2010, 21: 40
- 3 李春雷. 高速切削技术的应用研究. 航天制造技术[J], 2010, 6: 28
- 4 艾兴,等. 高速切削加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004, 5