

# 麻花钻钻尖几何参数对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响

房晨,戴俊平

陕西理工大学

**摘要:** 采用单因素试验法,利用 Third Wave AdvantEdge 有限元软件研究麻花钻的钻尖几何参数对钛合金钻削工艺性的影响,运用 Power Law 本构模型建立 Ti6Al4V 钛合金材料参数。验证麻花钻参数在合理的取值范围内,Carbide-General 硬质合金麻花钻不同的后角、螺旋升角、横刃斜角和刃口钝圆半径对钛合金钻削性能的影响。通过钛合金钻削过程的有限元分析,为麻花钻钻削钛合金材料时的钻头几何参数合理选择提供了参考依据。

**关键词:** 钻削;钻尖几何参数;钛合金;AdvantEdge;仿真

中图分类号: TG713.1;TH161

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.021

## Effect of Geometric Parameters of Twist Drill Tip on Drilling Performance of Ti6Al4V Titanium Alloy

Fang Chen, Dai Junping

**Abstract:** In this paper, the single factor experiment method is used to study the influence of the geometric parameters of the drill tip on the drilling process of titanium alloy in the finite element software Third Wave AdvantEdge. The parameters of Ti6Al4V titanium alloy are established by the Power Law constitutive model. It's verified that the parameters of the twist drill are within a reasonable range, Carbide-General carbide twist drill, different back angle, spiral angle, transverse edge angle, and rounded radius of the cutting edge on the drilling performance of titanium alloy. Finite element analysis by titanium alloy drilling process. When drilling a titanium alloy material for a twist drill, a reasonable reference for the geometrical parameters of the drill bit provides a reference basis to improve the quality of the drill.

**Keywords:** drilling; tip geometry; titanium alloy; AdvantEdge; simulation

### 1 引言

随着新材料的发展,材料性能不断改善,其加工也面临新的难题。Ti6Al4V 钛合金属于  $\alpha + \beta$  型钛合金,具有良好的综合机械性能,被广泛应用于航空航天、船舶、医疗和石油等领域。但同时钛合金是一种典型的难加工材料<sup>[1]</sup>。

国内外学者对钛合金的加工过程做了大量研究。钻孔是一种重要的加工工艺,几乎涉及所有钛合金应用<sup>[2]</sup>。Suman Chatterjee 等<sup>[3]</sup>研究了 Ti6Al4V 的 CO<sub>2</sub> 激光钻孔,尝试在使用 CO<sub>2</sub> 激光器钻削 Ti6Al4V 钛合金的过程中找出最佳参数设置,并提出了一种用于激光钻孔的数值模型;Chatterjee S. 等<sup>[4]</sup>研究了钛合金钻孔参数的评定,采用 DEFORM

软件开发了基于拉格朗日方法的三维加工模型,实现了最佳参数组合的预测;韩荣第等<sup>[5]</sup>研究了钻头直径、钻削参数和刀具材料对钛合金钻削力的影响,并建立了扭矩和轴向力的经验公式;张相琴等<sup>[6]</sup>通过试验发现切向力和切深抗力随进给量的增大而增大,并且采用有限元仿真获得了与试验结果吻合较好的锯齿状切屑,通过分析切削参数对 CFRP 孔质量的影响,认为高温、高硬度的钛合金切屑排出孔外时会划伤 CFRP 孔壁,扩大入口撕裂程度;Ozden Isbilir 等<sup>[7]</sup>对比了不同涂层刀具在不同冷却情况下钻削 CFRP/钛合金叠层材料,研究了不同加工条件下的推力、扭矩、毛刺形成、分层、表面粗糙度和刀具磨损情况;南成根等<sup>[8]</sup>分析了碳纤维复合材料/钛合金叠层钻孔质量损伤的原因,结果表明钻削钛合金时产生的切屑是导致 CFRP 孔径超差的主要原因。

麻花钻是孔加工最常用的刀具,钻削是最常见

收稿日期: 2019年2月

[2] SAE AMS-S-13165. Shot peening of metal parts[S]. 1997.

[3] SAE J442. Test strip, holder, and gage for shot peening[S]. 2001.

[4] SAE AMS J443. Procedure for using standard shot peening test strip[S]. 2003.

作者:辛立正,高级工程师,航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司,610092 成都市

Author: Xin Lizheng, Senior Engineer, Avic Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China

的孔加工工序之一。目前,学者对麻花钻钻尖几何参数在钻削过程中对钛合金加工性能研究较少,合理选择麻花钻的几何角度和形状可以改善钻削性能,本文利用 Third Wave AdvantEdge 软件仿真试验,通过单因素试验法,探究麻花钻不同的几何参数对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响。

### 2 试验设计

选用 12mm × 12mm × 5mm 的方形工件进行钻削仿真试验。工件材料选用 Ti6Al4V 钛合金,在 Third Wave AdvantEdge 定义 Ti6Al4V 钛合金材料。材料采用 Power Law 本构模型,其表达式为

$$\sigma(\epsilon^p, \dot{\epsilon}, T) = g(\epsilon^p)\Gamma(\dot{\epsilon})\Phi(T) \quad (1)$$

式中,  $\sigma(\epsilon^p, \dot{\epsilon}, T)$  为工件材料的流动应力;  $g(\epsilon^p)$  为应变强化函数;  $\Gamma(\dot{\epsilon})$  为应变率效应函数;  $\Phi(T)$  为热软化函数;  $\epsilon^p$  为材料变形过程中的应变;  $\dot{\epsilon}$  为材料变形过程中的应变率;  $T$  为材料变形过程中的温度。

钛合金的主要参数见表 1。

表 1 钛合金 Ti6Al4V 的主要参数

参数	数值	参数	数值
硬度	334HB	剪模量	44GPa
拉伸强度	950MPa	剪切强度	550MPa
屈服强度	880MPa	比热容	0.526J/(g·℃)
断裂伸长率	14%	导热系数	6.7W/(m·K)
弹性模量	113.8GPa	熔点	1604℃ ~ 1660℃
泊松比	0.342	断裂韧性	75MPa·m

刀具材料采用 Carbide-General 硬质合金,刀具参数如图 1 所示,麻花钻直径 6mm,钻芯直径 2mm,刃带高 0.15mm,顶角为 118°。根据试验设计输入加工工艺参数,其中钻削速度 3000r/min,进给量 0.4mm,温度为 20℃。采用 Third Wave AdvantEdge 有限元软件默认的网格划分方法对工件和刀具进行网格划分。

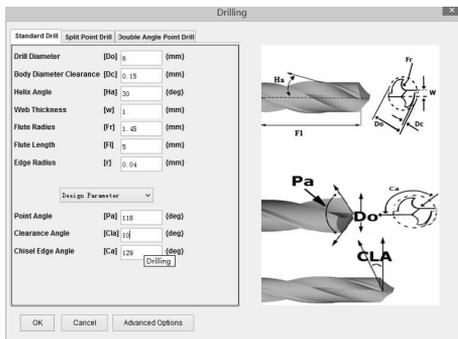


图 1 刀具参数

采用单因素试验法验证麻花钻不同参数对切削性能的影响,麻花钻钻尖的几何参数包括后角、前

角、横刃斜角。麻花钻的后角由外缘到钻心逐渐增大,在试验中使用外缘后角作为研究对象。麻花钻的前角由直线主切削刃绕钻芯做螺旋运动而形成,前角由螺旋升角决定,和刃磨参数无关。在试验中,以螺旋升角为对象来研究麻花钻前角对钛合金切削性能的影响。麻花钻在使用过程中,主切削刃不断变钝,在 Third Wave AdvantEdge 有限元软件中用刃口钝圆半径去代替,主切削刃在使用过程中刃口钝圆半径逐渐增大。硬质合金材料的刃磨难度较大,很难达到非常小的刃口钝圆半径(一般情况下能够达到 0.04mm 左右)<sup>[9]</sup>。

试验变量参数见表 2。改变单一变量时,其他参数选用标准麻花钻钻尖几何角度,横刃外缘后角为 10°,螺旋升角为 30°,横刃斜角为 51°,刃口钝圆半径为 0.04mm。验证四个单一变量对于麻花钻在钻削加工中的轴向力、转矩、刀具应力和钻削温度的影响,从而分析出麻花钻几何参数对于切削性能影响趋势,为钻削钻尖几何参数的优化提供理论基础。

表 2 单因素试验变量参数

变量因素	单因素变量参数				
外缘后角(°)	8	10	12	14	
螺旋升角(°)	20	25	30	35	40
横刃斜角(°)	47	49	51	53	55
刃口钝圆半径(mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1

### 3 仿真数据

采用单因素试验法,改变不同的钻尖几何参数,仿真结果如图 2 所示,在后处理界面可以得到每组数据的轴向力、转矩、刀具应力、钻削温度的变化曲线。从曲线中提取最大轴向力、最大转矩、刀具最大应力和最高温度,对统一变量的一组试验进行对比,分析在单因素变化条件下,改变不同钻尖参数钻削钛合金材料时,最大轴向力、最大转矩、刀具最大应力和最高温度的变化规律,并绘图观察钻削性能的变化。

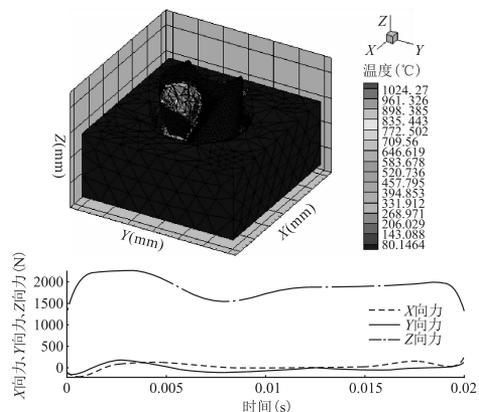


图 2 仿真数据变化

### 3.1 外缘后角对切削性能的影响

将麻花钻的钻尖几何参数在 Third Wave AdvantEdge 有限元软件中进行设置。螺旋升角设为  $30^\circ$ ；横刃斜角设为  $51^\circ$ ；刃口钝半径设为  $0.04\text{mm}$ 。探究不同的外缘后角( $8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$ )对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响。仿真结果分析如图 3 所示,外缘后角过小时,麻花钻的轴向力、转矩、刀具应力和钻削温度都会急剧增大,外缘后角大于一定角度后,对以上四种钻削性能将不再起决定性作用,轴向力、转矩、刀具应力和钻削温度的变化都会趋于平稳。

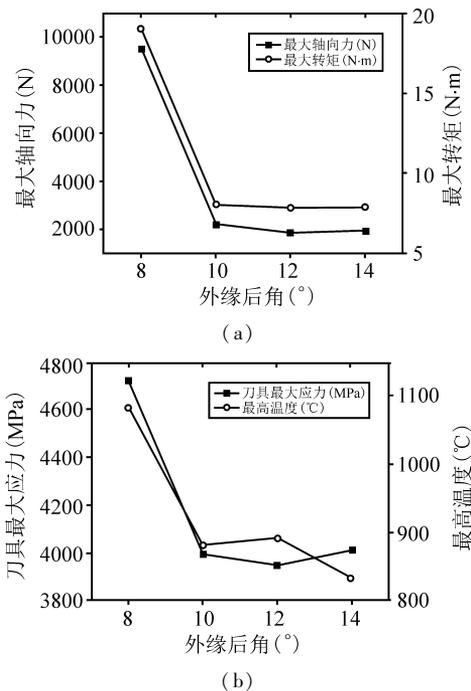
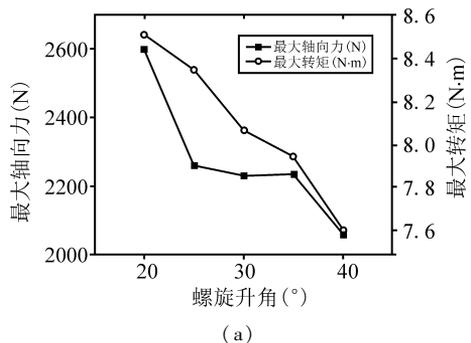


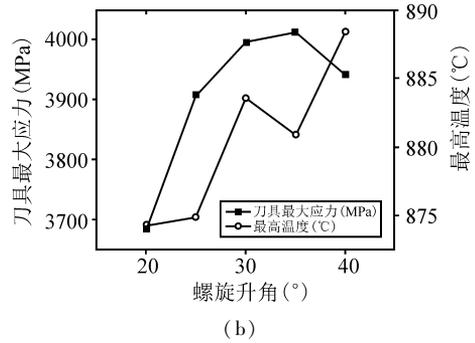
图 3 外缘后角对钛合金钻削性能的影响

### 3.2 螺旋升角对切削性能的影响

将麻花钻的外缘后角设置为  $10^\circ$ ,横刃斜角设置为  $51^\circ$ ,刃口钝半径设置为  $0.04\text{mm}$ ,验证不同的螺旋升角( $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ )对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响。仿真结果分析如图 4 所示,在麻花钻螺旋升角增大的过程中,最大轴向力和最大转矩都会减小;而刀具最大应力会逐渐增大;刀具温度有一定波动,但总体呈逐渐增大的趋势。



(a)

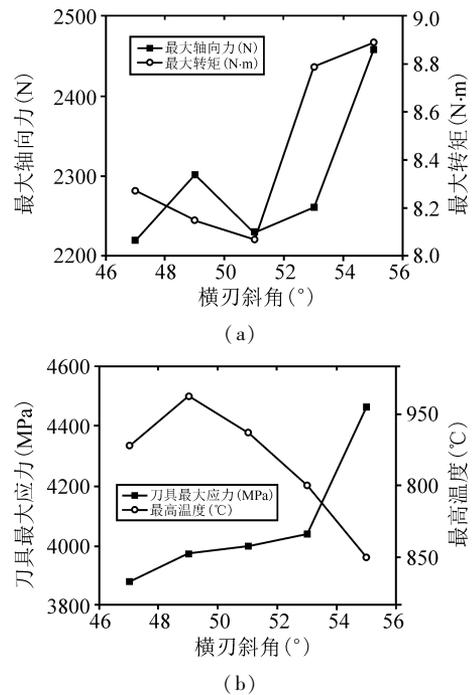


(b)

图 4 螺旋升角对钛合金钻削性能的影响

### 3.3 横刃斜角对切削参数的影响

将麻花钻的外缘后角设置为  $10^\circ$ ,螺旋升角设置为  $30^\circ$ ,刃口钝圆半径设置为  $0.04\text{mm}$ ,验证不同的横刃斜角( $47^\circ, 49^\circ, 51^\circ, 53^\circ, 55^\circ$ )对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响。仿真结果分析如图 5 所示,横刃斜角增大时对轴向力影响最大,轴向力先增大后减小再逐渐增大;而刀具转矩先减小后增大,刀具应力逐渐增大,刀具温度先增大后减小。



(b)

图 5 横刃斜角对钛合金钻削性能的影响

### 3.4 刃口钝圆半径对切削参数的影响

刀具在使用过程中不断磨钝,而刀具刃口磨钝的过程在 Third Wave AdvantEdge 有限元软件中用刃口钝圆半径这个参数去代替,即刀具主切削刃磨钝的过程中,刃口钝圆半径不断增大。将外缘后角设置为  $10^\circ$ 。螺旋升角设置为  $30^\circ$ ,横刃斜角设置为  $51^\circ$ 。分析不同主切削刃的刃口钝圆半径( $0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1$ )对 Ti6Al4V 钛合金钻削性能的影响,仿真结果如图 6 所示。在刀具逐渐变钝的

过程中,对转矩的影响最大,刀具转矩和轴向力逐渐增大;刀具应力逐渐减小,刀具温度先增加后减小。

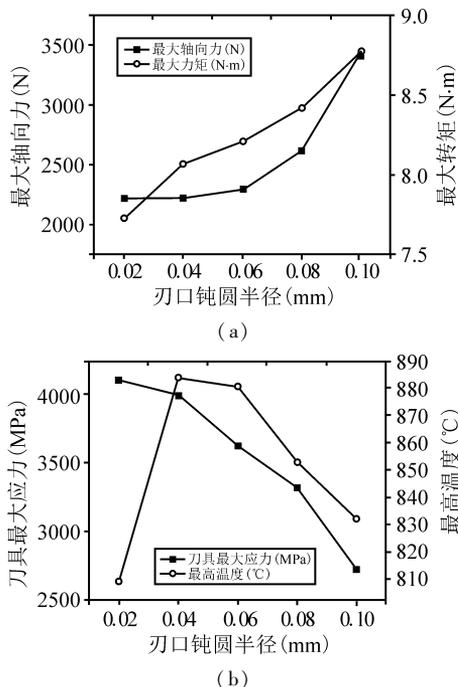


图6 刃口钝圆半径对钛合金钻削性能的影响

#### 4 结语

利用 Third Wave AdvantEdge 有限元软件进行仿真试验,研究改变硬质合金麻花钻的钻尖几何参数对钻削钛合金的性能影响。试验结果表明:

(1)外缘后角过小时,麻花钻的轴向力、转矩、刀具应力、钻削温度都会急剧增大,外缘后角大于一定值后对这四种钻削性能将不再起决定性作用。

(2)麻花钻螺旋升角增大的过程中,最大轴向力和最大转矩都会减小,而刀具最大应力会逐渐增大,刀具温度有一定波动,总体逐渐增大。

(3)横刃斜角增大时,对轴向力影响最大,轴向力逐渐增大,而刀具转矩先减小后增大,刀具应力逐渐增大,刀具温度先增大后减小。

(4)在刀具逐渐用钝的过程中,对转矩的影响最大,刀具转矩和轴向力逐渐增大,刀具应力逐渐减小,刀具温度先增加后减小。

#### 参考文献

- [1]刘景景. Ti6Al4V 钛合金与 15-5PH 不锈钢枪钻加工试验研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2017.
  - [2]Shetty P K, Shetty R, Shetty D, et al. Machinability study on dry drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V using L9 orthogonal array[J]. Procedia Materials Science, 2014(5): 2605 - 2614.
  - [3]Suman Chatterjee, Siba Sankar Mahapatra, Arpan Mondal, et al. An experimental study on drilling of titanium alloy using CO<sub>2</sub> laser[J]. Sādhanā, 2018, 43: 131.
  - [4]Chatterjee S, Mahapatra S S, Abhishek K. Simulation and optimization of machining parameters in drilling of titanium alloys[J]. Simulation Modeling Practice & Theory, 2016, 62: 31 - 48.
  - [5]韩荣第, 吴健. 钛合金 TC4 的钻削力试验研究[J]. 工具技术, 2009, 43(1): 25 - 27.
  - [6]张相琴, 张雪萍, A K Srivastava. Ti6Al4V 钛合金高速切削试验与有限元建模[J]. 机械设计与研究, 2012, 28(4): 92 - 96, 100.
  - [7]Ozden Isbilir, Elaheh Ghassemieh. Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/titanium stack using coated carbide drill[J]. Machining Science and Technology, 2013, 17(3): 380 - 409.
  - [8]南成根, 吴丹, 马信国, 等. 碳纤维复合材料/钛合金叠层钻孔质量研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(11): 177 - 185.
  - [9]孟鹤, 刘凯. 基于 AdvantEdge 的 6061 铝合金高速铣削刀具结构参数优化研究[J]. 工具技术, 2014, 48(10): 29 - 32.
- 第一作者: 房晨, 硕士研究生, 陕西理工大学机械工程学院, 723001 陕西省汉中市  
First Author: Fang Chen, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China  
通信作者: 戴俊平, 教授, 陕西理工大学机械工程学院, 723001 陕西省汉中市  
Corresponding Author: Dai Junping, Professor, School of Mechanical Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China