

齿轮参数对滚齿齿根沉切量的影响

王艳丽

陕西法士特齿轮有限责任公司

摘要: 采用多因素试验法,选取齿轮参数中的模数、压力角、螺旋角、齿顶高系数、齿根高系数、变位系数和配对齿轮齿顶高系数来设计正交试验,研究齿轮参数对渐开线起始圆沉切量的影响。结果表明,对滚齿齿根沉切量影响较为明显的齿轮参数是齿根系数、配对齿轮齿顶高系数、模数和压力角。通过优化后的齿轮参数实际验证了该结论,产品设计初期为提高齿轮可制造性提供理论依据。

关键词: 齿轮参数;沉切量;滚齿;正交试验

中图分类号: TG115.6+3;TH132.41 **文献标志码:** B **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.10.017

Effect of Gear Parameter on Amount of Root Undercut after Hobbing

Wang Yanli

Abstract: The effect of different gear parameters on the amount of root undercut is investigated by means of orthogonal experiment. The module, pressure angle, helix angle, addendum coefficient, dedendum coefficient, modification coefficient, and the addendum coefficient of the mating gears are selected to design the orthogonal experiment. Experimental results show that the parameters obviously affecting the amount of root undercut are dedendum coefficient, addendum coefficient of mating gears, module and pressure angle. The validity of the result is verified by experiments.

Keywords: gear parameter; undercut; hobbing; orthogonal experiment

1 引言

面向制造的设计(DFM)是在产品设计阶段就考虑产品的可制造性,从而保证设计出的产品易于制造和装配,可缩短产品开发周期,降低产品成本,保证产品质量^[1]。齿轮参数设计的合理性是影响产品可制造性的重要因素之一,需要在产品设计初期考虑。对于滚剃工艺或滚磨工艺加工的齿轮,若齿轮参数设计不合理,会使滚齿齿根渐开线起始圆上的沉切量过大,造成后续的剃齿和磨齿等精加工工序制造精度难以保证,加工效率降低,影响产品性能和制造成本。

为提高齿轮参数的合理性,本文以滚齿齿根渐开线起始圆上的沉切量为试验指标,采用多因素试验法来设计正交试验,研究齿轮参数对滚齿齿根渐开线起始圆上沉切量的影响规律,为齿轮参数设计提供理论依据。

2 滚齿齿根渐开线起始圆的沉切量

如图1所示,齿根沉切是指齿轮在用带凸角的

滚刀滚齿后,齿轮齿根过渡曲线^[2]相对渐开线齿形凹陷的区域。齿根沉切由粗加工滚刀的凸角和齿顶圆角产生,从而给精加工刀具提供间隙,避免齿根过渡圆角处产生台阶。

沉切量为图1中沉切区域内任意圆直径上滚齿理论渐开线齿形与实际过渡曲线间的距离。渐开线起始圆上的沉切量直接影响后续精加工工序的制造精度。若渐开线起始圆上的沉切量过大,则留给精加工的余量过小,难以保证齿形精度,加工难度变大;若渐开线起始圆上的沉切量过小,则沉切区域过小,会造成精加工后易产生台阶和应力集中,齿根强度变差。

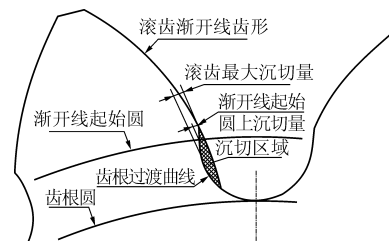


图1 滚齿齿根沉切

最大沉切量是指该区域内沉切量的最大值。最大沉切量与齿轮的精加工余量和滚刀凸角设计大小有关。为避免齿轮精加工后在齿根处产生台阶并造成应力集中现象,滚齿最大沉切量不能太小。由于滚齿最大沉切量主要与滚刀设计有关,此处不再赘

基金项目: 国家重大科技专项(2015ZX04003006); 高端重型载货车变速器轴齿高效加工生产线与成套刀具的应用验证与示范(2018ZX04028001)

收稿日期: 2019年4月

述。本文仅研究齿轮参数与滚齿齿根渐开线起始圆上沉切量间的关系。为叙述方便,以下将滚齿齿根渐开线起始圆上沉切量简称为沉切量。

3 齿轮参数滚齿切削试验与结果分析

选取模数、压力角、螺旋角、齿顶高系数、齿根高系数、变位系数和配对轮齿顶高系数作为试验因素进行正交试验,每个影响因素各取均匀的3个水平,水平设置见表1。

表1 试验因素参数水平设置

水平	模数(mm)	压力角(°)	螺旋角(°)	齿顶高系数
1	5.000	22.5	11.5	0.95
2	5.025	23	12	0.975
3	5.050	23.5	12.5	1.0

水平	齿根高系数	变位系数	配对轮齿顶高系数
1	1.0	0.465	0.95
2	1.025	0.490	0.975
3	1.05	0.515	1.0

正交试验见表2,共18组。按表中的齿轮参数进行齿轮设计,得出齿轮的宏观参数。采用滚齿模拟加工程序对表中的18组试验进行滚齿模拟切削^[3],试验结果见表最后1列。试验的齿轮精加工

齿厚余量为0.125mm,滚刀凸角为0.130mm,滚刀模数、压力角与齿轮模数、压力角保持一致^[4]。

对试验结果进行极差分析^[5],结果见表2最后5行。由极差分析结果可知,7个齿轮参数对沉切量的影响从高到低依次为:齿根高系数>配对齿轮齿顶高系数>模数>压力角>螺旋角>变位系数>齿顶高系数。

对试验结果进行方差分析,结果见表3。由表可知,齿顶高系数、螺旋角和变位系数的变化对沉切量变化的贡献率很小,可忽略不计。而齿根高系数、配对轮齿顶高系数、模数和压力角变化对沉切量变化的贡献率较大,分别为45.81%,29.26%,11.63%和7.79%。图2可直观地反映各参数对沉切量的影响程度。

由上述分析可知,为了减小滚齿渐开线起始圆上沉切量和提高产品的可制造性,在满足产品性能要求的前提下,应优先调整齿轮的齿根高系数、配对齿轮齿顶高系数、模数和压力角。

图3为沉切量随齿轮参数的变化趋势。由图可知,模数、配对齿轮齿顶高系数变大时,沉切量随之增大;压力角、齿根系数变大时,沉切量随之减小。

表2 L18(3⁷)正交试验和试验结果

试验号	模数(mm)	压力角(°)	螺旋角(°)	齿顶高系数	齿根高系数	变位系数	配对轮齿顶高系数	误差e
1	5.0	22.5	11.5	0.95	1.05	0.515	0.95	25.0
2	5.0	23.0	12.0	0.975	1.025	0.490	0.975	58.9
3	5.0	23.5	12.5	1.0	1.0	0.465	1.0	88.4
4	5.025	22.5	11.5	0.975	1.025	0.465	1.0	86.8
5	5.025	23.0	12.0	1.0	1.0	0.515	0.95	69.1
6	5.025	23.5	12.5	0.95	1.05	0.490	0.975	45.1
7	5.05	22.5	12.0	0.95	1.0	0.490	1.0	107.6
8	5.05	23.0	12.5	0.975	1.05	0.465	0.95	52.7
9	5.05	23.5	11.5	1.0	1.025	0.515	0.975	63.7
10	5.0	22.5	12.5	1.0	1.025	0.490	0.95	57.3
11	5.0	23.0	11.5	0.95	1.0	0.465	0.975	77.4
12	5.0	23.5	12.0	0.975	1.05	0.515	1.0	44.5
13	5.025	22.5	12.0	1.0	1.05	0.465	0.975	63.9
14	5.025	23.0	12.5	0.95	1.025	0.515	1.0	85.0
15	5.025	23.5	11.5	0.975	1.0	0.490	0.95	61.0
16	5.05	22.5	12.5	0.975	1.0	0.515	0.975	102.0
17	5.05	23.0	11.5	1.0	1.05	0.490	1.0	71.5
18	5.05	23.5	12.0	0.95	1.025	0.465	0.95	56.5
k_1	58.58	73.77	64.23	66.12	50.45	64.88	53.62	
k_2	68.48	69.10	66.77	67.65	68.05	66.90	68.50	
k_3	75.68	59.88	71.75	68.98	84.25	70.97	80.63	
R	17.10	13.88	7.52	2.87	33.80	6.08	27.02	
影响次序	3	4	5	7	1	6	2	

表3 齿轮参数对沉切量影响试验结果方差分析

	自由度	平方和	均方	F 值	贡献率
模数 (mm)	2	884.5	772.3	0.834	11.63%
压力角 (°)	2	598.9	299.5	0.565	7.79%
螺旋角 (°)	2	175.5	87.75	0.165	2.10%
齿顶高系数	2	24.7	12.35	0.023	0.08%
齿根高系数	2	3429.3	1714.6	3.233	45.81%
变位系数	2	115.2	57.6	0.109	1.29%
配对轮齿顶高系数	2	2197.3	1098.6	2.071	29.26%
误差 e	2	18.858	9.429	-	2.15%

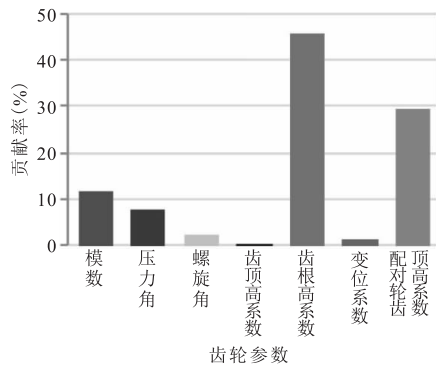


图2 齿轮参数对有效点沉切量的影响

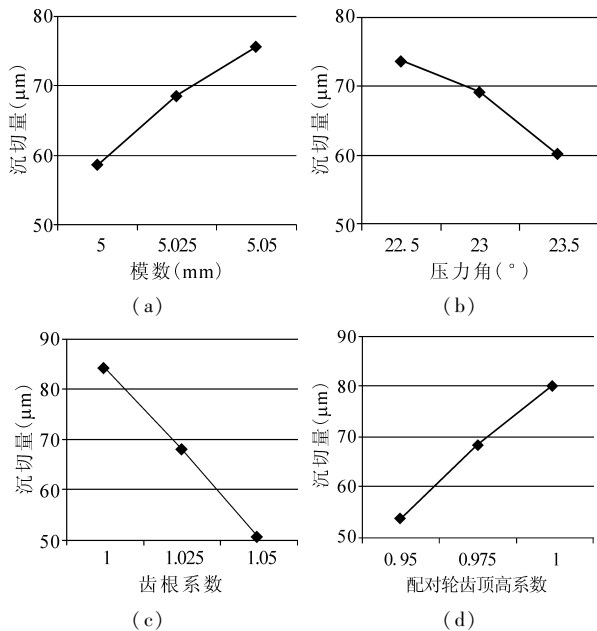


图3 沉切量随齿轮参数的变化趋势

4 试验验证

以某减速机齿轮参数设计为例,按照上述试验结论进行参数优化调整。表4为齿轮的原始设计参数,对应的径向间隙系数为0.25,精度等级为6级,采用滚磨工艺进行加工。

表4 齿轮的原始设计参数

模数 (mm)	压力角 (°)	螺旋角 (°)	齿顶高系数	齿根高系数	变位系数	配对轮齿顶高系数
2.63	19	23	1.2	1.15	0.45	1.1

根据表4的参数设计齿轮,并按照磨齿余量为0.125mm、滚刀凸角为0.13mm来设计齿轮滚刀。采用滚齿模拟切削程序进行模拟切削。通常将滚磨工艺的齿轮滚齿沉切量控制在0.03mm以内可保证较好的加工性,切削结果显示沉切量为0.082mm,齿轮的加工性能较差。因此需要对原始设计参数进行优化。

根据上述得出的齿轮参数对滚齿沉切量的影响趋势,对影响沉切的主要因素(齿根高系数、配对轮齿顶高系数、模数和压力角)进行优化。在满足产品性能要求的前提下,降低配对齿轮的齿顶高系数、增大齿根高系数、减小模数、增大压力角,以减小沉切量。对表4中的参数进行优化并进行模拟切削,经过2次优化后,将沉切量降到0.028mm。优化后的参数见表5。

表5 齿轮优化后的设计参数

模数 (mm)	压力角 (°)	螺旋角 (°)	齿顶高系数	齿根高系数	变位系数	配对轮齿顶高系数
2.62	20.5	23	1.18	1.23	0.45	1

按表5中的参数设计齿轮,并按照磨齿余量为0.125mm、滚刀凸角为0.13mm来设计、制造滚刀。在GD30滚齿机上进行滚齿切削试验,切削用量见表6。

表6 齿轮滚齿加工切削用量

	转速 (r/min)	轴向进给量 (mm/r)
第一刀	300	2.0
第二刀	380	2.8

在475GMS齿测中心上对滚削加工的齿轮进行测量,结果显示渐开线起始圆上的沉切量为0.03mm,满足磨齿加工的沉切工艺要求,可加工性良好。

5 结语

以齿轮参数为研究对象,并以滚齿齿根渐开线起始圆上的沉切量为试验指标,选取影响滚齿加工的7个主要齿轮参数进行多因素正交试验,测量不同试验条件下的滚齿齿根渐开线起始圆上的沉切量,并对试验结果进行极差和方差分析。得出以下主要结论:

(1) 齿轮参数对渐开线起始圆上的沉切量的影响程度为:齿根高系数 > 配对轮齿顶高系数 > 模数 > 压力角 > 螺旋角 > 变位系数 > 齿顶高系数。其中,齿根高系数、配对轮齿顶高系数、模数和压力角的影响较明显。

(2) 模数和配对轮齿顶高系数变大时,沉切

镍基高温合金 Inconel 718 在不同冷却润滑条件下的切削仿真研究

王哲¹, 沈雪红²

¹西安航空职业技术学院; ²西北工业大学

摘要: 为探究冷却润滑条件对难加工材料镍基高温合金 Inconel 718 切削加工质量影响规律, 基于 Advantedge 有限元软件, 采用三种不同的冷却润滑方式, 对 Inconel 718 材料进行干式切削、浇注式切削、低温冷风微量润滑切削仿真, 对比分析不同冷却及润滑条件对切削力、切削温度、切屑形态、残余应力变化的影响规律。

关键词: 镍基高温合金; 切削仿真; 冷却润滑; 残余应力

中图分类号: TG506.7; TH161

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2019.10.018

Cutting Simulation of Nickel-based Superalloy Inconel 718 under Different Cooling and Lubrication Conditions

Wang Zhe, Shen Xuehong

Abstract: In order to explore the influence of cooling and lubrication conditions on the cutting quality of difficult to cut materials Inconel 718, the cutting simulation of Inconel 718 by three different cooling and lubrication modes is carried out based on the finite element software Advantedge. Three mentioned modes are dry cutting, pouring cutting and low temperature cold air Micro-lubrication cutting. The cutting force and cutting temperature under different cooling and lubrication conditions are compared and analyzed.

Keywords: nickel-based superalloy; cutting simulation; cooling and lubrication; residual stress

1 引言

镍基高温合金 Inconel 718 具有高强度、高耐磨性以及抗氧化性能等特点而广泛应用于航空航天、生物医药等领域^[1], 但作为典型难加工材料具有导热性差、切削温度高、切削力大、刀具磨损严重、加工效率低等特点^[2]。为有效提高镍基合金 Inconel 718 的可加工性, 众多学者进行了深入的研究。王明海等^[3]建立了 GH4169 三维车削加工有限元模型, 分析了切削力和切削温度的变化, 并通过工艺实验

验证了模型的正确性。吴明阳等^[4]根据 PCBN 刀具在不同冷却方式下加工镍基高温合金的有限元仿真结果, 得出切削加工中切屑形成机理。姚倡锋等^[5]采用 DEFORM-3D 软件模拟仿真和工艺实验相结合的方法, 分析了 GH4169 切削加工中的车削力和车削温度的变化以及刀具磨损对残余应力场影响。张蓉蓉等^[6]论述了 DEFORM-3D 仿真车削加工表面残余应力的过程, 得到不同切削用量和前角对表面残余应力的影响规律。

本文以难加工材料镍基高温合金 Inconel 718 为研究对象, 基于 Advantedge 有限元软件进行不同

收稿日期: 2019年3月

量也随之增大; 而压力角、齿根系数变大时, 沉切量随之减小。结合生产实际, 以某减速机齿轮参数设计为例, 根据结论进行参数优化, 使滚齿齿根渐开线起始圆上的沉切量符合工艺要求。本试验研究可在产品设计初期为提高齿轮可制造性提供理论依据。

参考文献

- [1] Wu Cheng. Chinese CIMS program progress research, application and experience[J]. Tsinghua Science and Technology, 1996, 1(2): 95-97.
[2] 王健力, 毕合春, 刘奎丰. 滚齿加工的齿轮齿根过渡曲线

- [J]. 机械传动, 2013, 37(1): 82-83.
[3] 张博林, 黄勇. 齿轮齿条刀具仿真加工在 UG 中的实现[J]. 机械设计与制造, 2006(5): 141-142.
[4] 袁哲俊, 刘华明, 唐宜胜. 齿轮刀具设计下册[M]. 北京: 新时代出版社, 1983: 232-292.
[5] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 79-80.
作者: 王艳丽, 工程师, 陕西法士特齿轮有限责任公司, 710077 西安市
Author: Wang Yanli, Engineer, Shaanxi Fast Gear Co., Ltd., Xi'an 710077, China