

A100超高强度钢螺栓加工工艺研究

何 操* 张波涛

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘 要: 在飞机设计领域, A100超高强度钢(23Co14Ni12Cr3MoE)因具有高的抗拉强度、硬度和疲劳性能, 并兼有高的断裂韧性和延展性, 在飞机关键部位连接螺栓设计中开展试验性应用, 但同时存在硬度较大, 材料难加工等问题。本文就A100超高强度钢螺栓类零件的加工工艺进行探索, 希望可以为超高强度钢螺栓加工提供参考, 并为超高强度钢类材料在航空紧固件方面的应用推广提供借鉴。

关键词: A100钢; 加工工艺; 性能试验

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5197-0307-4>

引言

近年来, 随着航空事业的快速发展, 对螺栓的承载能力、可靠性及寿命等性能都提出了更高要求, 而且航空类产品对重量、体积等技术指标有着严格的限制^[1-2], A100钢由于具有优良的机械性能, 同时具有高强高韧的特点, 成为首选。本文重点研究A100钢螺栓加工工艺, 并通过螺栓机械性能试验及金相试验进行验证, 旨在完善A100钢螺栓的加工工艺, 并提高加工质量的稳定性。

1 A100 钢高强螺栓的特点

通常情况下, 螺栓机械加工主要分为两种: 车-铣切削加工和镦制-滚压塑性加工, 不同加工方法对螺栓的承载能力有决定性的影响。一般情况下, 批量小, 承载要求低的螺栓选择车-铣切削加工。批量大, 承载要求高的螺栓选择镦制-滚压塑性加工。螺栓光杆部分采用磨削加工, 螺纹及头下R角进行滚压强化加工。

1.1 试验螺栓结构特点

根据不同的装配要求, 螺栓形式多种多样, 本文研究的高强螺栓为常见的六角头结构(如图1), 螺纹规格为MJ10×1.25-4h6h, MJ螺纹较普通螺纹, 具有高强度, 抗疲劳的特性, 螺纹精度及螺栓的尺寸和形位公差要求都较为严格, 对工艺方法也提出了更高的要求^[3]。

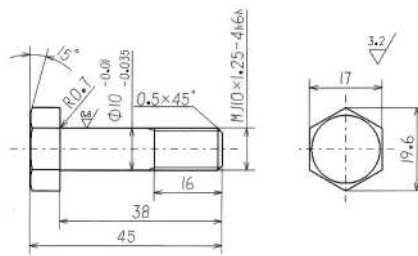


图1 试验件螺栓草图

1.2 力学性能要求

该螺栓在装配结构中为重要承力部件, 因此, 螺栓加工完成后要求具有很高的力学性能要求, 力学性能要求如表1所示。

表1 零件力学性能要求

材料	室温拉伸试验	室温双剪试验	拉伸疲劳试验	硬度
A100钢	试验载荷不小于125700N	试验载荷不小于179,608N	高载57733N, 低载5773N, 加载频率35Hz ~ 140Hz, 循环寿命大于65000次	HRC ≥ 53

*通讯作者: 何操, 男, 汉族, 1993.06, 陕西西安, 本科, 助理工程师。研究方向: 航空制造工艺。

1.3 金相组织性能要求

金相检查主要对螺栓的头杆处流线, 螺纹流线, 晶粒度进行检查。螺纹部位为滚压加工, 晶粒流线随螺纹外形连续分布, 牙底位置流线最密集, 检查头、杆和螺纹轴向截面不能存在裂纹、折叠等缺陷。

2 基本工艺路线

下料→螺栓基体成形→热处理→磨削螺纹基圆与光杆→烧蚀检查和磁力探伤→螺纹成形加工→头下R滚压→磁力探伤→镀覆前消应力→表面处理→零件标记→机械性能试验及金相试验

螺栓基体成形工艺主要包括压力成形和切削加工两种。

根据压力成形的加工过程中是否需要加热, 分为冷锻和热锻, 锻制工艺简单, 加工效率高, 金粒流线完整, 适合大批量生产需求, 但需要制作专用的模具。另外, A100钢由于强度和硬度都极高, 变形抗力大, 冷锻难以满足要求, 热锻时加热材料会产生回复再结晶, 存在过烧过热风险^[4], 并且对温度控制要求较为严格, 考虑到该螺栓在装配结构中主要承受剪切作用, 且为小批量零件, 螺栓研制阶段基体成型采用切削加工成型。

切削加工主要对棒料采取数控车削外圆, 铣六角的方式进行, 加工后零件尺寸精度高, 能够良好保证杆部相对于头部严格的垂直度要求, 小批量加工较为经济, 螺栓六角头部分精加工到位, 螺栓热处理后杆部需要进行磨削, 车削外圆留0.2mm磨削余量, 热处理后要进行打点测硬度, 端头留1mm余量, 热处理合格后进行车端面处理。

A100钢由于具有很高的断裂韧性, 切屑不容易断裂, 容易产生积屑瘤及粘刀现象^[5], 在加工时要保持切削部位的充分冷却, 并采取合理的加工参数, 需选择合适的背吃刀量, 转速, 进给量。

螺栓光杆及螺纹基圆需要采取磨削加工, 并且要保证光杆外圆和螺纹基圆严格的同轴度要求。外圆磨理论上能保证同轴度要求, 但由于装夹方式的限制, 必须在螺栓端头预留顶尖孔, 这就增加了顶尖孔去除工序。考虑到基体外圆为车工一次性加工, 同轴度误差极小, 因此采用无心磨进行试验加工, 并对磨后外圆进行同轴度测量, 测量结果详见表, 同轴度误差远小于设计公差, 且偏差稳定, 因此采用无心磨床加工精度外圆及螺纹基圆是经济可靠的方法。

磨削加工完成后对零件进行烧蚀检查、磁力探伤检查、去应力退火, 在磨削过程中对磨削部位进行了充分的冷却, 无材料烧蚀情况发生, 磁力探伤亦全部合格。完成检查后对零件进行全尺寸测量, 保证螺纹滚压前尺寸全部正确, 测量结果如表2。

表2 滚压前螺栓尺寸测量表

零件编号	杆部圆柱度	杆部直径	头下圆角	滚丝坯径	同轴度	垂直度	结论
标准值	0~0.02	10-0.01 -0.035	0.7±0.1	9.20 -0.1	/	0.05	
1	0.0066	9.9812	0.7477	9.1961	0.0592	0.0367	合格
2	0.0074	9.9731	0.7115	9.1961	0.0904	0.0263	合格
3	0.0111	9.971	0.7043	9.1982	0.0974	0.0414	合格
4	0.0119	9.9692	0.6857	9.191	0.0187	0.0306	合格
5	0.0053	9.9744	0.704	9.1912	0.093	0.0441	合格
6	0.007	9.9748	0.6992	9.193	0.0769	0.0312	合格
7	0.0088	9.9754	0.7196	9.1986	0.0568	0.034	合格
8	0.008	9.9743	0.7266	9.1952	0.0802	0.0325	合格
9	0.0071	9.9756	0.7104	9.1982	0.0753	0.0305	合格

螺纹成型根据A100钢高强高韧的特点, 采用热滚压的成形方式,

热滚压加热设备选用电热炉进行加热, 严格控制温度和保温时间, 出炉时控制出炉-滚压时间, 防止零件表面在空气中过度氧化以及零件温度下降, 出炉-滚压时间控制在15S内, 加热温度, 保温时间, 滚压时间及滚压压力根据经验值设置, 滚压完成后零件自然冷却, 冷却后对螺纹全尺寸测量, 详见表3。

表3 滚压后螺纹尺寸测量表

零件编号	大径	中径	小径	螺距	左半角	右半角	齿底R	结论
标准值	9.94 0 -0.212	9.190 -0.075	8.560 -0.151	1.25±0.017	(30±0.91)°	30±0.91)°	0.188~0.226	是否合格
1	9.9332	9.14	8.4504	1.2468	30°07'52"	29°53'55"	0.2	合格

续表:

零件编号	大径	中径	小径	螺距	左半角	右半角	齿底R	结论
2	9.9327	9.1509	8.5173	1.247	30°06'27"	29°52'35"	0.2	合格
3	9.9324	9.1457	8.5121	1.2474	30°10'08"	30°28'06"	0.2	合格
4	9.9364	9.1499	8.5005	1.2464	30°01'01"	30°10'22"	0.2	合格
5	9.9342	9.1485	8.5362	1.248	30°02'15"	30°13'31"	0.2	合格
6	9.9334	9.149	8.5026	1.2469	30°06'53"	30°01'53"	0.2	合格
7	9.935	9.1426	8.4874	1.2465	30°06'16"	29°48'56"	0.2	合格
8	9.9365	9.1427	8.5266	1.2474	29°48'58"	30°11'31"	0.2	合格
9	9.9326	9.148	8.5276	1.2472	30°06'15"	30°41'30"	0.2	合格

螺栓头下圆角采用数控圆角滚压机进行加工。数控圆角滚压机能够精确的控制滚压过程中的滚压压力,速度,时间,达到较为理想的滚压效果。根据加工经验,在头下R角滚压加工众多滚压参数中,对加工效果影响最大的是滚压压力,滚压转速和滚压时间,根据经验合理设置滚压参数,滚压完成后用散射仪对头下圆角进行测量,满足设计标准的公差要求。

3 性能试验

按照零件设计要求,完工后的零件每批需要进行室温拉伸试验,室温剪切试验,拉伸疲劳试验以及金相性能试验。室温拉伸试验采用数控拉伸试验机,疲劳试验采用自动高频疲劳试验机,在进行疲劳试验的过程中,要特别注意试验工装的精度要求。金相检测先采用线切割设备对螺栓进行轴向切割,磨制切割面,获取合格样件后用光学金相显微镜进行检测。机械性能试验结果见表4。

表4 机械性能试验

试验项目	抗拉试验	抗剪试验	拉伸疲劳试验			
	抗拉载荷	双剪载荷	最小载荷	最大载荷	频率	循环次数
标准值	≥ 125.7KN	≥ 175.0KN	5.773kN	57.733kN	35 ~ 140Hz	≥ 40000次
实测1	133.69	/	/	/	/	/
实测2	131.54	/	/	/	/	/
实测3	/	180.1	/	/	/	/
实测4	/	181.7	/	/	/	/
实测5	/	/	5.773	57.733	90	130000
实测6	/	/	5.773	57.733	90	130000
实测7	/	/	5.773	57.733	90	130000
实测8	/	/	5.773	57.733	90	130000

通过对比分析研究,试验结果满足设计要求,个别指标远高于设计要求,试验结果证明依据此文研究的加工流程及方法具有优良的使用性能。

4 结束语

本文对A100钢超高强度螺栓的加工工艺方法进行了分析阐述,并通过试验加工得到了合理的工艺流程,工艺参数,并对通过机械性能试验及金相试验对样件进行了检验,试验结果证明采用本文所述的工艺方法满足设计使用要求,且经济性较高,良好的试验数据结果为后续设计优化及工艺改进提供了可靠的参考。

参考文献:

- [1]史艳霞.一种高强度螺栓零件加工工艺研究[J].大连理工大学,2016.
- [2]赵博,许广兴,贺飞,杨旭.飞机起落架用超高强度钢应用现状及展望[J].航空材料学报,2017:64-65.
- [3]窦志伟,徐阿玲.MJ螺纹在飞机上的应用探讨[J].航空标准化与质量,2008:120-121.
- [4]任书杰.A100超高强度钢的等温压缩行为及工艺参数优化[J].南昌航空大学,2018.
- [5]贺欣兴,张帆,张成.舰载机起落架用A-100钢冷加工工艺研究[J].制造技术与机床,2018:88-89.