

超硬高强度薄壁件加工工艺分析

胡 强 白现臣 袁 强 张根良 周 旬

(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



摘要: 简单介绍了固体火箭发动机动力系统结构燃烧室壳体的结构、材料性能。针对生产加工中出现的振纹、变形等问题, 提出了超硬度高强度薄壁件车削的加工工艺方法, 详细介绍了所用工装的结构设计方案、实际加工参数及主要注意事项。实践表明, 这一加工工艺方法既提高了生产加工效率, 又能保证产品加工质量。

关键词: 超硬高强度; 振纹; 变形; 加工参数

The Machining Process Analysis of Super Hardness High Strength Thin-walled Workpiece

Hu Qiang Bai Xianchen Yuan Qiang Zhang Genliang Zhou Xun

(Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

Abstract: This paper briefly introduced the system structure and material properties of solid rocket engine combustion chamber shell structure, Aimed at the vibration ripples, deformation and other problems, during produce process, the machining technique of super hardness high strength thin-walled parts were put forward, This paper introduce the structure of fixture design, the actual processing parameters and main attention matters. Practice has proved that this processing method can improve production efficiency, and guarantee the quality of machining processing.

Key words: ultra hardness high strength; the vibration lines; deformation; processing parameters

1 引言

目前, 固体火箭发动机动力系统结构燃烧室壳体主要采用超硬度高强度材料, 我所某型号发动机燃烧室壳体经零件焊接后热处理达到超硬度高强度性能指标特质, 在经车削组合加工后达到尺寸精度要求。随着新材料的不断采用, 且性能指标要求也提高, 同时燃烧室壳体结构及尺寸要求也越来越苛刻, 在壳体生产加工过程中, 极易出现振纹和变形问题, 直接影响产品的质量, 进而影响发动机的安全可靠, 直接关系到发动机的生命。为解决此问题, 需要对该材质结构加工进行深入的分析研究。

2 燃烧室壳体结构及材料性能

燃烧室壳体主要由前连接件、筒体及后连接件焊接而成, 焊外挂件后经热处理达要求的性能指标, 再进行组合加工后达相关尺寸要求, 形成发动机燃烧室壳体。壳体壁厚为 $2.70 \pm 0.05\text{mm}$, 外径为 $\Phi 400\text{mm}$, 总长为 1900mm , 属薄壁结构件。

燃烧室壳体采用高强度合金钢材料, 经热处理后, 指标为基体抗拉强度 $R_m \geq 1620\text{MPa}$, 延伸率 $A \geq 8\%$, 焊接环缝试样抗拉强度 $R_m \geq 1458\text{MPa}$, 抗弯曲角度 $\alpha \geq 25^\circ$, 热后硬度值约 $\text{HRC}46 \sim 50$, 属超硬度高强度组合加工。综上所述, 该燃烧室壳体组合机加属超硬度高强度薄壁结构件加工。

3 加工工艺分析

作者简介: 胡强 (1985-), 工程师, 材料科学与工程专业; 研究方向: 机械生产加工的现场技术攻关和生产计划调度管理。

收稿日期: 2013-08-11

3.1 加工工装的结构设计方案

通常在薄壁件生产加工过程中，要减少或防止产生变形和振纹的主要思路在于增强产品和刀具刚性，减少因加工带来的大量切削热，减小产品或刀具振动，同时兼顾加工切削参数，进而保证加工质量。照此思路分析，考虑增强产品或刀具刚性，可通过设计制作减振工装来提高壳体刚性，或者通过合理选用刀具、增强刀具刚性来减缓振动。

该燃烧室壳体属大直径车削加工，且只加工壳体前后两端部分，刀具一般都采用合金刀头，刀具刚性足以加工该产品，故只能考虑增加产品刚性。产品长径比 (L/D) 较大，筒体部分长达 1600mm，且筒体壁厚约为 2.75mm，产品壁薄刚性差，车削过程中极易产生振纹和变形问题，考虑采用内撑工装增加产品刚性。

内撑工装主要由基体环、支撑块、螺钉等部分组成，见图 1。基体环由 $\delta=20\text{mm}$ 钢环制成，外径 D 由壳体筒体部分内径确定，以便支撑工装能顺利从筒体内撑住。支撑块由基体环上按图示尺寸切割下来，用 M12 螺钉将支撑环固定在基体环上，转动螺钉可带动支撑块涨紧基体环，作用于壳体筒体内壁上，从而通过调节螺钉确保内撑工装涨紧内孔，可有效增加壳体刚性，减小壳体加工时的振动，有效抑制产品变形，确保产品圆度和跳动量符合要求。

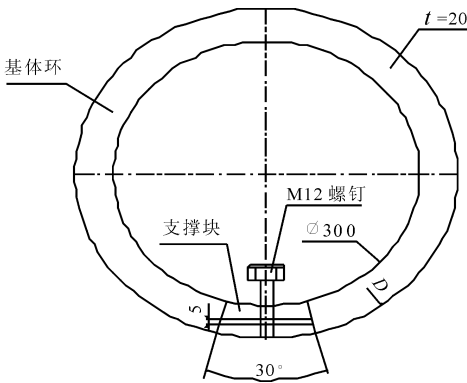


图 1 内撑工装

3.2 加工参数及注意事项

在实际生产加工过程中，工艺路线和加工方法确定后，可保证产品顺利进行加工，但产品加工质量由很多因素确定，特别是该壳体属超硬度高强度薄壁结构件，在特殊复杂状况下更加难以保证产品加工质量。根据多年临床经验积累，在加工这种特殊材质结构时加工参数非常关键，关注加工主要注意事项是确

保产品质量的一个快捷通道。

原加工工艺路线都是车架位→粗镗内孔→精镗内孔→两顶车外圆。通过加工实践得出，该加工方法无法保证产品加工质量，变形较大，关键尺寸无法保证。结合多年积累的加工经验和不断试验摸索探讨，总结出一套合理有效的加工路线：车架位→粗镗内孔→半精车架位→精镗内孔→两顶车外圆，该加工路线再辅以合理的加工参数，能很好地控制变形。

在这种特殊复杂材质加工中，要切实注意以下几个方面：确保充足的冷却，制备合适的刀具，根据每发产品适当调整实际加工参数。通过实际加工中刀具的应用，通过对比，粗车采用硬质合金 YW、精车采用数控刀加工，加工对比情况见表 1。

表 1 刀具加工对比

刀具种类	优缺点	
	粗车	精车
硬质合金刀 YW	切削力小，变形小，吃刀较小	不耐磨，易产生斜度
数控刀	切削力大，变形大，吃刀较大	耐磨，工件直线度好
白钢刀	不耐用，硬挤加工使工件表面硬化	硬度低，无法使用

经过多次粗车、精车加工实践，得出适合该产品加工参数，见表 II。

表 2 实际加工参数

	背吃刀量/mm	走刀量/mm	转速/ r min^{-1}
粗车	2	0.15	30
精车	0.2~0.4	0.1	40

制备合适的刀具是最难以达到的，也是影响产品加工质量最关键因素，因此在加工该壳体前制备好所需刀具至关重要。通过长期摸索试验得出一套适合该特质结构材料加工的刀具参数，见表 3。

表 3 刀具参数

	前角 /(°)	后角/(°)	卷屑槽 R/mm	刀尖圆弧 R/mm	副切削刃/(°)	刃倾角 /(°)
粗车	1~3	3~5	2~3	0.2~0.4	0.2~0.3	1~3
精车	3~5	6~8	1.5~2	0.15~0.2	0.1~0.2	3~5

加工时主要注意事项如下：

- a. 夹紧力要适中，增加装夹接触面积，尽量减小装夹变形；
- b. 调头精车壳体另一端时，增加堵头（见图 II），增加装夹处壳体刚性，防止工件变形；

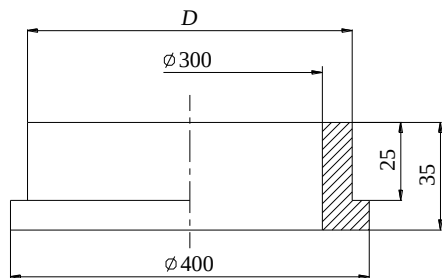


图2 堵头

c. 中心架: 确保中心架接触圆弧与工件架位处直径一致, 使壳体与中心架完全接触, 确保工件平稳转动; 接触处浇注润滑油, 减少磨擦, 防止工件受热变形, 同时避免工件振动;

d. 加工过程中, 要随时注意观察: 为减小切削力, 要确保刀尖锋利, 进而控制工件变形和防止工件出现振纹; 确保中心架接触处接触良好, 因工件长时间转动带来磨损, 要手动调节确保接触良好。

4 结束语

通过实践应用证明, 在加工超硬度高强度薄壁结构件时, 此内撑工装应用制作简单可行, 使用简便、实用, 同时结合合适的加工参数, 参考加工主要注意事项, 可明显改善产品质量。该加工工艺方法为今后解决类似产品加工难题提供方法和思路, 具有很好的经济效益和社会效益。

参考文献

- 1 张耀寰, 等. 机械加工工艺设计使用手册. 北京: 航空工业出版社, 1993
- 2 吴宗泽. 机械设计实用手册. 北京: 化学工业出版社, 1999
- 3 王光林. 固体火箭发动机设计. 西安: 西北工业大学出版社, 1994
- 4 杨卫亮, 李淑娟. 难加工材料的切削加工研究. 机械工程于自动化, 2010(2): 214~216
- 5 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册. 第2版. 北京: 中国标准出版社, 2002, 1

美国重型运载火箭SLS固体助推器完成复合材料壳体制造

据NASA网站2013年的10月28日报导, 美国重型运载火箭航天发射系统(SLS)固体助推器制造商ATK公司日前宣布, 已成功地完成先进助推器复合材料壳体的纤维缠绕制造。这是他们对NASA先进助推器降低风险项目的部分承诺, 旨在对升级版SLS助推器进行改造。

SLS重型运载火箭将用于发射载人的猎户座多用途乘员飞行器, 将把宇航员送到月球或更远。火箭自身重约130公吨, 需要额外的推力使其进入轨道或满足火星探索任务。为了达到这一目的, NASA设立SLS先进助推器开发项目。新助推器能够供给SLS更强的推力, 超过NASA曾经使用的任何液体或固体助推器, 使SLS的有效载荷发射能力达到150t。先进助推器项目共有四家公司参与: ATK发射系统公司、美国航空喷气发动机(Aerojet)公司、Dynetics公司和诺格公司的宇航系统部。

ATK公司为航天飞机项目制造了30年可重复使用固体火箭发动机(RSRMs), 现在为SLS第一级提供助推器。目前使用的SLS助推器与航天飞机助推器类似, 只是将原来的四段式改为五段式。先进助推器项目通过将原来的钢制外壳改为复合材料, 使新助推器比目前的助推器成本降低40%、可靠性增加24%。测试样品为直径92英寸, 长27英尺的复合材料壳体, 如图所示。这种复合材料外壳可提高4128磅的负载能力, 而简化级装配比原来节省了480个工时, 即减少了50%的工时, 这也使SLS系统比预计成本节省了数百万美元。由于复合材料减少了固有的重量, 省下的重量可用于增加有效载荷。ATK公司在复合材料壳体缠绕上具有45年的经验, 操作者经验丰富, 纤维放置工具系统现代化, 因此, 在每次的首次试验中能取得成功。

先进助推器项目下一步要继续发展高性能和低成本的推进剂, 以满足SLS最高负载能力的目标。因此, ATK公司还研究了更高密度的推进剂, 可使有效载荷增加近25000磅, 而每个助推器的成本却能节省920万美元。



(丁新玲 供稿)