

薄壁发动机壳体加工及热处理 中的新工艺*

庞 陶 行

(国防科技大学航天技术系, 长沙, 410073)

摘 要: 以固体火箭发动机燃烧室壳体为例, 介绍一种以提高加工精度、材料的强度和韧性为目标, 在加工、焊接、热处理中的几种新工艺。并论述了该工艺的原理及使用原则。实践证明, 这种新工艺是行之有效的。

主题词: 固体推进剂火箭发动机, 火箭发动机壳体, 薄壁, 钨极惰气保护焊, 焊件热处理

分类号: V435.22, V462

NEW PROCESSES IN PROCESSING AND HEAT TREATMENT FOR MANUFACTURE OF SHELL MOTOR

Pang Taoxin

(Department of Aerospace Technology, National University of Defense Technology,
Changsha, 410073)

Abstract: In order to improve the working accuracy, material strength and toughness, new processes of processing, welding and heat treatment are presented for manufacture of shell motor. The principle and application of these processes are discussed. It is shown in practice that these new processes are successful.

Keywords: Solid propellant rocket engine, Rocket engine case, Thin wall, Inert gas shielded tungsten arc welding, Heat treatment of weldment

1 前 言

固体火箭发动机壳体, 在火箭飞行时除承受内压外, 还要承受飞行时产生的气动载荷。对于这样一次性使用的飞行器, 要求有尽可能轻的结构重量; 在满足强度要求下, 有较好的韧性和足够的抗裂纹扩展能力; 具有一定的几何形状和几何精度。满足以上要求除在设计上考虑取较小的安全系数, 在选材上尽可能使用高比强度材料外, 还必须在加工工艺上采取有效

* 本文 1993 年 2 月 15 日收到

措施。本文以织女发动机燃烧室壳体为例,论述以提高加工精度、材料强度和韧性为目标,在加工工艺、焊接工艺、热处理工艺等方面采取的措施。

2 下料

织女发动机燃烧室圆筒段选用 1.2mm 厚的 30CrMnSi 板材卷焊成型,这种板材是使金属材料进行塑性变形而成型的。由于塑性变形使晶粒外形沿着变形方向被拉长,当变形程度很大时,晶粒可伸长成纤维状。由于纤维组织的出现,会使材料性能在不同的方向有明显差异。表 1 列出了轧制正火状态的 45 钢机械性能与纤维方向的关系。

表 1 45 钢机械性能与纤维方向的关系

取样方向	δ_b (kg/mm ²)	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	δ (%)	ψ (%)	a_k (kg·m/cm ²)
纵向	71.5	47	17.5	62.8	6.2
横向	67.5	47	10.0	31.0	3.0

可以看出,顺纤维方向,钢材具有较高的机械性能,而在横向上则性能较低,特别是塑性和韧性要低的多。

因此,下料时要尽可能使燃烧室壳体受拉方向和纤维方向一致,也就是和板材轧制方向一致。因为燃烧室在燃气压力作用下,其环向应力比轴向应力大一倍,因此板材的轧制方向应与燃烧室壳体环向一致,否则会降低壳体承载能力。

3 卷筒

下料后,直接卷筒,开始卷出来的筒子如图 1 所示。筒子不是圆柱形,而是锥台形。接口对不起来,筒子小头接口的间隙 10mm 左右,大头接口间隙在 20mm 以上。接口处是直线,在圆周上也有一处是直线段。显然这样的筒子是不合格的,给下一步焊接造成很大困难,加工精度很难保证。这是因为 30CrMnSi 材料硬度较普通碳钢高,加之卷板机刚度不够,卷筒时卷板机一端的卷筒外移,间隙增大,使卷出来的筒子呈锥形。

为了解决这个问题,关键是要降低材料的硬度,恢复其塑性。



图 1 卷筒

前面已提到燃烧室圆筒段选用 1.2mm 厚 30CrMnSi 板材是使金属材料进行塑性变形而成型的。故可通过再结晶退火消除金属塑性变形时产生的加工硬化,恢复其塑性。但退火温度必须在再结晶温度以上,临界温度以下,这样金属才能完成再结晶过程又不致于发生相变。我们选用退火温度为 500℃,保温 2h 后缓冷下来。经过退火处理的材料降低了硬度提高了塑性,因而使得卷出来的筒子符合要求。

4 焊接

一个符合使用要求的焊接接头应具有足够的强度和塑性,对超高强度钢来说还应有较高的韧性。这除与原材料有关外,还与焊丝的成份、焊接接头与坡口、焊接规范、焊接工装等各种工艺因素有关。

焊丝成份原则从韧性原则考虑更能发挥材料的潜力。焊丝应加入较多提高材料韧性的合金元素,降低含碳量,从而提高焊缝的抗裂性能。有可能使焊接热影响区各类应力以通过焊缝本身得到松弛,从而阻止了裂纹向焊缝扩展。超高强度钢采用钨极惰性气体保护电弧焊,可以获得稳定且高韧性接头的焊接方法。

对于只有 1.2mm 的薄壁零件的焊接,选择合理的焊接工艺参数是很重要的。我们采用钨极氩弧焊,稍小电流不易焊透,或者焊道过窄,用较大电流焊接,焊缝成型不理想,容易焊穿,究竟电流多大为宜,必须经过反复实验确定。对于 1.2mm 厚的 30CrMnSi 材料氩弧焊时,焊接电流 $I_{正常} = 60 \sim 65A$,工作电压 $U_{工作} = 35 \sim 37V$ 为宜。冷却速度对该钢的性能影响很大,奥氏体冷却时转变成马氏体伴着较大相变应力,此类微观应力有时比结构应力还大,所以焊接时应尽量减小冷却速度,减小马氏体生成量,较有效的办法是焊前预热和焊后缓冷。对 30CrMnSi 预热温度 $150^{\circ}C$ 左右,多次焊接中我们发现,夏天的焊接质量比冬天好,这是由于冬天钢的冷却速度太快。为了减小冷却速度,除焊前预热外,焊接工房还必须具备一定条件,例如室温在 $15^{\circ}C$ 以上,不得有过堂风等。

焊接的快速加热和突然冷却造成的热应力和由于淬硬的马氏体组织造成的组织应力如不及时退火,很容易使构件发生裂纹。所以焊后的构件必须及时进行退火消除应力。

5 热处理

热处理是燃烧室加工的关键工序,要求比较苛刻,不但要求热处理后工件强度和韧性满足设计要求,而且还要保证最小变形,即尺寸精度符合设计要求。为达到以上要求,采取了如下措施。

5.1 确定合理的加热工艺原则

工件在高温下加热的时间愈长,工件表面氧化、脱碳愈严重,这就严重影响工件热处理后的质量。目前防止氧化,脱碳的方法有:(1)采用盐浴炉加热;(2)通过可控制成份的保护气,使炉内呈中性气氛;(3)真空热处理等。使用以上这些方法必须有专用设备,工艺过程也比较复杂。我们采用一种简单易行,效果良好的防氧化、脱碳的方法——涂层法。热处理前在工件内、外表面喷涂一层热处理涂料,使工件表面与空气隔绝,就能起到防氧化、脱碳作用。使用这种方法的关键是要有合格的热处理涂料。对这种涂料的要求是:①能牢固的贴在工件表面;②耐高温,即加热时不发生裂纹,不脱落。

5.2 正确掌握淬火方法和方式

正确掌握淬火方法和方式也是减小变形的有效方法之一。对于燃烧室这样比较细长的零件,采用了垂直淬火法。起初,从工件出炉到进油淬用电葫芦吊运,吊装的方式是把工件托起来(如图 2 所示)。发现淬火后工件变形很大,椭圆度最大的有 5.5mm,不直度最大 5mm,

(图纸要求椭圆度、不直度均不得大于1.5mm)。显然这样的筒子不能使用。分析淬火后变形的原因,主要是操作不当。用电葫芦吊运时工件在空中摇摆,工件猛烈入油使工件歪斜并使油表面气泡分布不均匀,托起吊装的方法使工件很容易产生弯曲变形。

为减小变形,改机械运转淬火为人工起吊淬火,这就避免了工件运转过程中摇摆,而且还能使工件淬入的速度快而且平稳,冷却过程中工件上下移动,可使冷却速度快而且均匀,把托吊改为拉吊(如图3)。

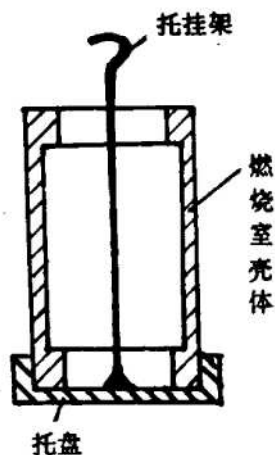


图2 托吊

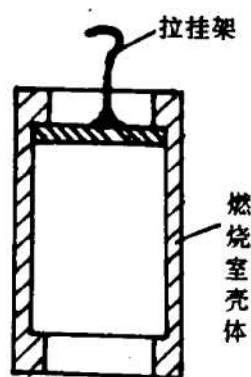


图3 拉吊

生产实践证明,在正确的操作条件下,只要有足够的经验,就可以减小变形到最小值。

尽管采取了减小变形的措施,但工件变形超差仍有存在。因此进行补救是很必要的。为此,我们决定在回火前进行加力校整的方法来消除变形。通过回火来使这种反变形稳定下来。采用的方法是:测量淬火后工件的外径,找出圆筒段上椭圆度比较大的地方,然后用特制的卡环将椭圆度比较大的几处分别夹紧至合适尺寸(如图4所示)。然后回火加热到510℃,保温1h,出炉油冷。

另外对前后两端环的变形,用油压机冷压校形。一般回弹力比较大,掌握在1~1.5mm左右为宜,冷校形后,要在300~400℃的温度下保温1h,炉冷不少于8h。

采取以上措施后加工的燃烧室,其几何精度,材料强度和韧性都有明显提高,椭圆度没有超过0.6mm,不直度在0.8mm以下,抗拉强度 $\sigma_b \geq 110 \text{ kg/mm}^2$,延伸率 $\delta_5 \geq 10\%$ 。但没有采用这些措施前,椭圆度和不直度一般都在2mm以上,最大椭圆度可达5~6mm,不直度可达到5mm,抗拉强度可基本上满足技术要求,但延伸率 $\delta_5 < 10\%$ 。由此可见,采取合理工艺的重要性。

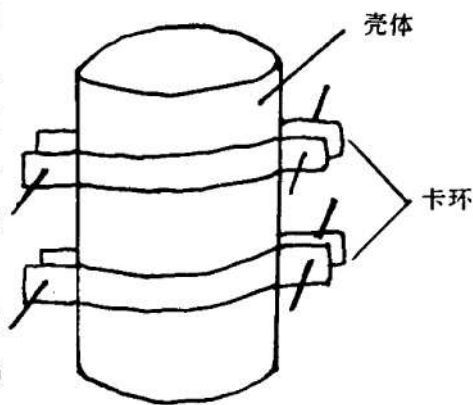


图4 卡环校形