

航空发动机分油活门的冷处理

刘劲松^{1,2} 蒲玉兴² 谭目发¹

(1 空军航空维修技术学院,长沙 410124)

(2 湖南大学材料科学与工程学院,长沙 410082)

文 摘 研究了冷处理工艺对航空发动机分油活门组织及性能的影响;论述了冷处理后组织与性能的关系,对航空发动机分油活门采用冷处理有效促使残留奥氏体向马氏体转变,并析出更多的细小碳化物颗粒,获得较佳的综合力学性能,显著提高了分油活门的使用寿命,具有十分重要的实际应用价值。

关键词 航空发动机,分油活门,残留奥氏体,冷处理

Cryogenic Treatment on the Oil Separator Valve of Aero Engine

Liu Jinsong^{1,2} Pu Yuxing² Tan Mufa¹

(1 Air Force Aeronautical and Service Technical College, Changsha 410124)

(2 School of materials Science and Engineering Hunan University, Changsha 410082)

Abstract The relationship between the mechanical properties and microstructure after cryogenic treatment has been explained. Cryogenic treatment of the Oil separator valve of aero engine effectively helps transform retained austenite into martensite and finer carbides precipitated, which brings better comprehensive mechanical properties. The work-life of the Oil separator valve has been increased obviously and thus it has significant use value.

Key words Aero engine, Oil separator valve, Retained austenite, Cryogenic treatment

0 引言

航空发动机燃油系统是供给和调节发动机燃油、保证发动机正常工作的重要系统。航空发动机燃油泵调节器的活门组件是最关键的部件之一,起着供油、断油、控油、限压、限速、调节等作用,其构造特点是活门与衬套之间的间隙较小(大多仅几个微米),工作状态复杂,影响的参变量多,一旦出现故障或失效,往往具有很大危险性。

WP7(13)两大系列发动机燃油泵的精密偶件(分油活门及衬套等)大多采用9Cr18制造,但由于存在黏着磨擦和油液污染,尖边易磨圆、塌边,造成间隙及圆度、圆柱度超差,液压性能不合格,飞机常发生咬合"卡滞"等影响飞行安全的严重故障^[1-2]。

冷处理工艺可行、成本低廉、操作简便,已发展成为一种提高机械零件硬度、耐磨性和尺寸稳定性的有效工艺技术,仅增加工具和其他零件成本的15%,但使用寿命增加几倍到几十倍,在工业上的应用越来越

广泛^[3-4]。研究冷处理在航空发动机分油活门的应用与工艺优化,对减少黏着、预防咬合"卡滞"故障发生,确保飞机的飞行安全,具有着重要的意义和实践应用价值。

本文研究了冷处理工艺对航空发动机分油活门组织及性能的影响。

1 冷处理的机理、设备与工艺参数

1.1 冷处理的机理^[5-6]

残余奥氏体是一个软质相,一般认为钢中残留较多的奥氏体是有害的,会显著降低钢的硬度和耐磨性及使用寿命,还使许多物理性能特别是热性能和磁性下降。此外,残余奥氏体是不稳定的,达到一定温度就会转变为畸变严重的马氏体,体积膨胀产生很大的拉应力,降低零件的尺寸精度,有时甚至会造成零件开裂或者剥落。

将淬火后已冷到室温的工件继续深冷至零下温度(-50~-80)℃处理的操作称为冷处理,又称零下

收稿日期:2011-10-08

基金项目:湖南省科技厅科技计划项目课题(2009JT4014);空军航空维修技术学院课题(YB0804)

作者简介:刘劲松,1967年生,教授,博士生,主要从事金属材料 and 热处理方面的教学与研究。E-mail:5473749@163.com

处理(SUB-ZERO),应视为淬火的继续,可使淬火后留下来的残余奥氏体继续向马氏体转变,目的是减少钢中残余奥氏体含量,改善细微化基体组织结构,强化基体组织,消除应力,稳定尺寸,使硬度、耐磨性都显著提高,有效地延长工件使用寿命。冷处理工艺主要用于两个方面:一是量具、模具等成品零件,主要是提高制品的寿命,二是对尺寸稳定性有要求的精密机械和仪器、仪表用零件,目的是提高尺寸稳定性。

1.2 冷处理的介质与设备

目前,为了获得冷处理的低温条件,采用的方法主要有两种形式。

(1)使用介质,可通过电磁阀控制降温速率。把工件和干冰同时放入绝热桶内,但零件和干冰必须分开,让干冰在汽化过程中吸收工件的热量,可获得 $-65 \sim -75^{\circ}\text{C}$ 的低温;用干冰或某些液体(酒精、丙酮、汽油)混合,可获得 -80°C 的低温。

(2)冰冻处理机是热处理行业中金属冷处理的专用设备,由空气涡轮制冷机和低温箱两部分构成。制冷介质为压缩空气,无霜,制冷速率快,能迅速达到工艺温度($-20 \sim -100^{\circ}\text{C}$ 内可调),控制精度: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。FDR型低温箱内壁采用不锈钢,聚氨酯保温,分立式、井式、卧式。分油活门可采用FDR-L/0.15(立式)进行冷处理,该低温箱有效尺寸为 $620 \text{ mm} \times 420 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$,容积为 0.15 m^3 。

1.3 冷处理的工艺参数

冷处理的基本流程:除油污→放入冷箱→保温→取出零件→ 150°C 左右低温回火。

工件淬火后本身温度还较高,应确保均匀冷至室温后再装入低温箱中,否则由于冷却加快,部分未转变的奥氏体进一步转变成马氏体,拉应力增大,在低温下材料的脆断抗力降低。当应力超过材料脆断抗力,则导致裂纹。如果已有显微裂纹,则可能导致裂纹的长大或扩展为宏观裂纹。

当工件冷至室温后,应在30 min内进行冷处理,否则会中止奥氏体向马氏体的转变。对形状复杂的零件,淬火和冷却到室温后可先进行 $110 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 、保温30~40 min的预回火,然后再进行冷处理;对形状复杂、薄厚相差悬殊的工件,冷处理前宜将细薄部分用石棉包扎以防止裂纹产生。

冷处理的温度主要根据钢的马氏体转变终止温度 M_f ,另外还要考虑冷处理对机械性能的影响及工艺性等因素,过冷的温度影响冲击疲劳和接触寿命。对于GCr15钢,冷处理选用 -70°C ;精度要求不甚高的工件或设备有限制时,冷处理温度可选 $-40 \sim -70^{\circ}\text{C}$;超精密工件如轴承等,可在 $-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 进行冷处理。马氏体的转变是在冷到一定温度时瞬间完成的,但仍需要一定的保温时间(可按每25 mm壁厚保持30 min估算,一般为1~0.5 h)使工件表面与心部都均匀达到冷处理温度。

冷处理后必须进行回火和时效处理,目的是获得较稳定的回火马氏体,并使残余奥氏体进一步转变和稳定化,同时使内应力(包括磨损应力)达到稳定状态。以免使用中在应力作用下产生微小变形,影响尺寸精度,特别对于偶件会产生明显的尺寸变化。冷处理后将工件放在空气中,缓慢升温至室温后及时进行回火,一般不超过2 h。若升温太快回火不及时,工件内部都会产生较大的残余应力导致开裂^[1-2]。

2 分油活门冷处理的试验结果与分析

2.1 分油活门的工作条件

分油活门与套筒组成的液压式放大元件用于直接接受各类传感器发出的信号并将其放大,用以操纵液压执行元件。分油活门通常起分流作用,在高压冲击负荷下往复工作,尺寸精度、粗糙度要求很高,表面粗糙度 $Ra0.05^{[7]}$,结构如图1所示。

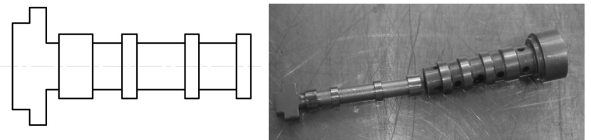


图1 分油活门结构图与实物图

Fig.1 Oil separator valve structure and physical sample

分油活门中的残余奥氏体量必须减少到最低程度,即使存在极少量的残余奥氏体,也应设法使它进一步稳定化,以免在使用过程中发生奥氏体向马氏体的转变造成尺寸涨大,精度降低,有导致卡死的危险,所以必须进行冷处理。

2.2 分油活门的材料及技术要求

分油活门所用的材料为9Cr18,成分见表1。

表1 9Cr18成分检测结果

Tab.1 9Cr18 component test results

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Mo	wt%
0.9~1.00	≤0.08	≤0.08	17.00~19.00	≤0.030	≤0.035	≤0.60	≤0.75	

9Cr18属于莱氏体钢,铸态时存在脆性较大的鱼骨状共晶碳化物,在锻造或轧制时硬质碳化物周围易

形成微裂纹,甚至扩展成宏观裂口。根据9Cr18的熔点低、导热性差、加工温度范围窄等特点,对其进行锻

造加工时,加热温度一般选择 $1\ 080 \sim 1\ 130^{\circ}\text{C}$ [8]。

2.3 分油活门的工艺流程

下料→预备热处理(软化退火 $800 \sim 840^{\circ}\text{C}$,炉冷到 500°C 以下出炉空冷)→机械加工→淬火[($1\ 070 \pm 10$) $^{\circ}\text{C}$, $0.5 \sim 1\ \text{h}$ 油淬]+ 冰冷处理(-75°C , $30\ \text{min}$ 空冷)+ 回火[(160 ± 10) $^{\circ}\text{C}$, $2 \sim 3\ \text{h}$ 空冷]→精加工→消除应力回火。

9Cr18 不锈钢的 M_s 点为 $-70 \sim -90^{\circ}\text{C}$, 钢在 M_s 点冷处理时已将残留奥氏体充分转化为马氏体。由于马氏体在瞬间即完成长大且生长速率极快,故继续降低温度,残留奥氏体虽有下降但并不明显。分油活门冷热处理工艺曲线如图 2 所示。

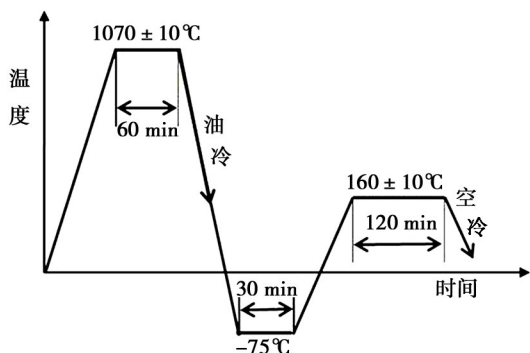


图 2 分油活门冷热处理工艺曲线

Fig2 Hot and cold processing technology curve of oil separator valve

为了达到零件的精度和粗糙度的要求,首先通过机加工从外形尺寸、精度、粗糙度、配研间隙均达到图纸技术要求,但进行试压时发现卡死现象。这说明只在机加工上来保证零件的外形尺寸精度,还不能满足偶件需要具备的性能,应从偶件材料内部组织变化上找原因进行分析,增加了精加工和研磨前的冷处理工艺。

分油活门对尺寸稳定性要求较高,但淬火后内部组织仍保留较多的残余奥氏体,9Cr18 淬火态的残留奥氏体量约为 35%,硬度为 59HRC。残余奥氏体是一种很不稳定的组织,在储存和使用过程中,会不断地发生变化,从而改变分油活门的精度。淬火硬化后进行冷处理可加快奥氏体向马氏体转变的速率,从而减少残余奥氏体量,晶粒度也因低温而有所减小,提高了分油活门的硬度和耐磨性。

在 -75°C 冷处理后,硬度试验在全洛氏硬度计 TH 320 上进行,采用 X 射线衍射分析仪和直接对比法测量残留奥氏体。残留奥氏体量明显减少,降低到 10% 左右,硬度提高到 60HRC 左右,再经 160°C 回火的试样硬度几乎没有下降。将冷热处理工艺试制的分油活门进行性能鉴定试验无卡死现象,磨损在规定范围内,达到设计要求。分油活门的冷处理效果如表 2 所示。

表 2 分油活门的冷处理效果

Tab.2 Cold treatment effect of oil separator valve

试验用钢	处理工艺	洛氏硬度(HRC)	残留奥氏体/%
9Cr18	未冷处理: $1\ 070^{\circ}\text{C}$ 淬火+ $160^{\circ}\text{C} \times 2\ \text{h}$ 回火	59	35
	冷处理: $1\ 070^{\circ}\text{C}$ 淬火+ ($-75^{\circ}\text{C} \times 0.5\ \text{h}$) + $160^{\circ}\text{C} \times 2\ \text{h}$ 回火	60	10

3 结论

航空发动机 9Cr18 分油活门经 $1\ 070^{\circ}\text{C}$ 淬火后 1 h 内进行 $-75^{\circ}\text{C} \times 0.5\ \text{h}$ 冷处理,冷处理后 1 h 内进行 $160^{\circ}\text{C} \times 2\ \text{h}$ 回火。由于残留奥氏体向马氏体转变,残留奥氏体量从 35% 降低到 10% 左右,并且析出更多的细小碳化物颗粒,工件硬度由 59HRC 提高到 60HRC 左右,耐磨性得到提高,显著提高了使用寿命,具有十分重要的实用价值。

参考文献

[1] 左洪梧. 发动机磨损状态监测与故障诊断技术[M]. 北京:航空工业出版社,1995:63-114
[2] 姜旭峰,费逸伟,钱坤,等. 滑油监测技术在航空发动机预防性维修中的应用[J]. 润滑与密封,2004(2):56-58

[3] 黄世民. 冷处理及其在工业上的应用[J]. 材料工程,1992(1):47-49
[4] 黎文献,龚浩然,柏振海,等. 金属的深冷处理[J]. 材料导报,2000,14(3):16-18
[5] 李春胜,黄德彬. 金属材料手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005
[6] 胡志忠. 钢铁热处理曲线手册[M]. 北京:国防工业出版社,1986
[7] 刘劲松,蒲玉兴. 航空材料及热处理[M]. 北京:国防工业出版社,2007:63-114
[8] 李中友. 9Cr18 轧制开坯工艺的探讨[J]. 特钢技术,2005(2):6-10

(编辑 任涛)