

# 结构钢制飞机起落架真空热处理

王 荣(陕西燎原航空机械制造有限公司 工程部 理化室 陕西 汉中 723313)

## Vacuum Heat Treatment of the Aircraft Undercarriage Made of Structural Steels

WANG Rong( Laboratory of Engineering Department ,Shaanxi Liaoyuan Aero-Mech Corporation , Hanzhong Shaanxi 723313 ,China )

中图分类号 :TG156.95 ;TG142.41 文献标识码 :B

文章编号 :0254-6051(2003)12-0058-04

除一些小型飞机和直升机外,飞机起落架主要受力结构件,如主体支柱外筒、活塞杆、前体支柱外筒、活塞杆、斜撑杆、上、下防扭力臂、机轮大轴、紧固螺栓等,目前国内外所用材料基本上为 300M、30CrMnSiNi2A、4340M、35NCD16、S99、4330M、30CrMnSiA、45、50CrV 钢和 TC4 钛合金等,前两种材料使用最为广泛。根据

公司的实际情况,分别对 300M、30CrMnSiNi2A 钢进行了真空热处理工艺试验。

### 1 试验材料及设备

300M 钢和 30CrMnSiNi2A 钢的化学成分见表 1。本试验所用的设备主要为 WZC-60 卧式真空炉和 181-7044 立式真空炉,均采用 ZZ-1 型淬火油。

表 1 300M 钢和 30CrMnSiNi2A 钢的化学成分(质量分数,%)<sup>[1]</sup>

Table 1 Chemical composition of 300M and 30CrMnSiNi2A Steels (wt%)

钢种	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	V
300M(DMS1935)	0.39~0.44	0.60~0.90	1.50~1.80	≤0.01	≤0.01	0.70~0.95	0.30~0.45	1.65~2.00	0.05~0.10
30CrMnSiNi2A (HB 5269-1983)	0.27~0.34	1.00~1.30	0.90~1.20	≤0.02	≤0.02	0.90~1.20	—	1.40~1.80	—

## 2 工艺试验

### 2.1 加热滞后时间试验

在 WZC-60 卧式真空炉中进行加热滞后时间试验。测试结果见图 1。对于 300M 钢,工艺要求淬火预热温度为(600±14)℃,淬火奥氏体化温度为(871±14)℃;对于 30CrMnSiNi2A 钢,工艺要求淬火预热温度为(600±10)℃,淬火奥氏体化温度为(900±10)℃。

当炉子处于某一设定温度  $T_0$  时,置于炉内的试样表面须经一定时间的蓄热,其表面温度  $T'_0$  方可与炉子温度相同。试样表面和炉子实际温度之间的温差  $\Delta T_0$  主要与炉子的升温速度及其真空度有关,一旦炉子的升温速度和真空度恒定时,  $\Delta T_0$  也恒定不变。设试件表面温度经  $\Delta t$  时间以后变为  $T_0$ 。由于试件所处的环境温度为  $T_0$ ,试件和环境的蓄热比  $\rightarrow 0$ ,故可以近似地认为  $T_0 = T'_0$ ,此时  $\Delta T_0 \rightarrow 0$ 。

设试样条件厚度为  $2x$ ,试样  $dx$  处的温度经过时间  $dt$  后达到平衡,设试样的传热速率为  $K_0$ ,则有:

$$dx = K_0 dt \quad (1)$$

作者简介:王 荣(1966.7—),男,陕西人,高级工程师,主要从事热处理工艺和理化试验工作,曾发表论文 5 篇。联系电话 0916-8307376,13038453787 E-mail:lamc@lamc.com.cn 收稿日期 2003-03-19

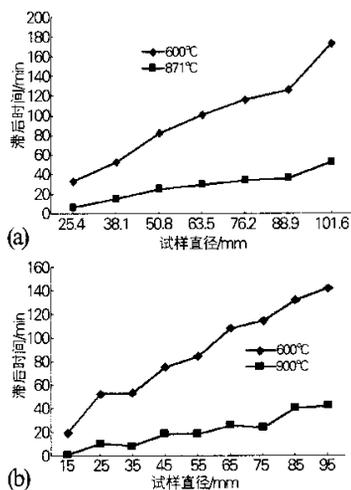


图 1 300M 钢(a)和 30CrMnSiNi2A 钢(b)的加热滞后时间测试结果

Fig.1 Measured results of the lag time for heating 300M steel(a) and 30CrMnSiNi2A steel(b)

$$dt = \frac{1}{K_0} dx \quad (2)$$

对(2)进行积分,即:

$$\int_0^t dt = \frac{1}{K_0} \int_0^x dx$$

$$t = \frac{1}{K_0} x = Cx \quad (3)$$

(3)式的物理意义为  $T_0 = T'_0$  时,试样的加热滞后时间与条件厚度成正比关系,而且当条件厚度为 0

时, 滞后时间为 0。滞后时间曲线通过坐标原点。

根据公式(3)的物理意义, 设每个试样数据采集点对应的斜率为:  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ 。对这  $n$  条直线的斜率平均后, 即:

$$K = \frac{1}{n}(K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n)$$

$$= \frac{1}{n} \left[ \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{X_1 + X_2 + \dots + X_n} \right]$$

故可以对图 1 进行线性化处理, 这样, 在实际生产中, 根据零件的厚度很容易得出该零件在该条件下的加热滞后时间, 可直接应用于真空热处理的工艺编制。

## 2.2 真空淬透能力试验

将经真空油淬后的试样从离端部为直径的 1.5 倍处用钼丝线切割开, 平磨确保彻底消除切割影响区并不产生烧伤, 再从试样表面至心部每隔 2mm 测试一个硬度值。300M 钢和 30CrMnSiNi2A 钢的硬度测试结果见图 2。从图 2a 可以看出, 直径  $\phi 101.6\text{mm}$  的 300M 钢试样经真空油淬后, 从表面至心部硬度值为 57~58.2HRC。从图 2b 可以看出, 直径  $\phi 80\text{mm}$  的 30CrMnSiNi2A 钢试样经真空油淬后, 其心部硬度可以达到 50HRC 左右。另外, 从图 2b 中还可以看出, 淬火充气压力对试样淬火硬度值有一定的影响。1 号样和 2 号样淬火时, 硬度相差

表 2 300M 钢增脱碳和晶间氧化试验结果

Table 2 Testing results of carburization, decarburization and intergranular oxidation of 300M steel

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
心部 $\Delta\text{HK}0.5$	0	-1	-13	-22	-11	-16	-21	-6	-5	-20
晶间氧化层深度/mm	0.0102	0.0079	0.0113	0.0122	0	0	0	0.0095	0.0067	0.0083

图 3 为由 300M 钢制造的不同零件, 经真空热处理后测定其畸变量, 结果表明耳叉均有向外张开的

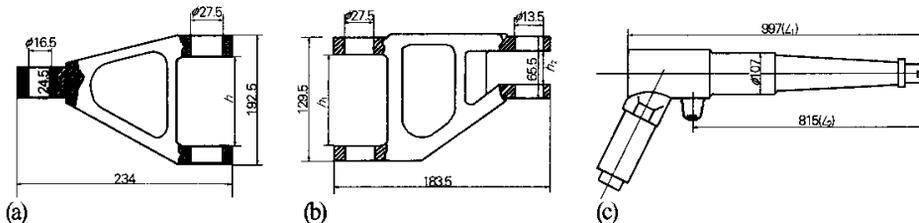


图 3 由 300M 钢制造的各种零件

(a) 上防扭力臂 (b) 下防扭力臂 (c) 活塞杆

Fig.3 The different parts made of 300M steel

(a) the upper torque arm (b) the lower torque arm (c) piston rod

结果见图 4。图 4b 中: 方法 1 为空气炉油淬; 方法 2 为真空炉油淬; 方法 3 为盐炉油淬; 方法 4 为空气炉 190℃ 等温; 方法 5 为盐炉 190℃ 等温; 方法 6 为空气炉 280℃ 等温; 方法 7 为盐炉 280℃ 等温。从

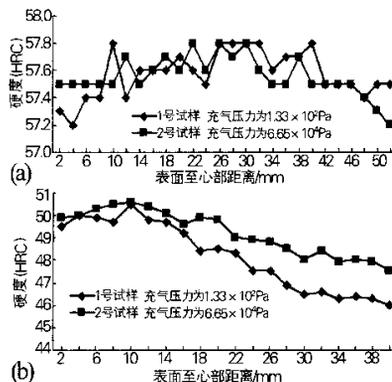


图 2 300M 钢 (a) 和 30CrMnSiNi2A 钢 (b) 的真空淬透性试验结果

Fig.2 Results of the vacuum hardenability test for 300M steel (a) and 30CrMnSiNi2A steel (b)

1.5HRC 左右。故实际生产时, 淬火充气压力应选择  $6.65 \times 10^4\text{Pa}$  以上。

## 2.3 真空热处理增脱碳和晶间氧化试验

试验采用圆环状试样, 规格为  $\phi 19\text{mm} \times \phi 5\text{mm} \times 6\text{mm}$ , 材料为 300M 钢, 试验方法按照 ARP1820 进行, 增脱碳结果以距试样表面 0.076mm 处和心部努氏硬度差值  $\Delta\text{HK}0.5$  来反映, 试验结果见表 2。

## 2.4 真空热处理畸变试验

趋势, 长度方向有向外伸长的趋势。

30CrMnSiNi2A 钢真空热处理畸变试样及试验

图 4b 中看出, 真空炉油淬畸变量小于空气炉油淬的。这是因为真空炉油淬时, 零件表面无氧化脱碳现象, 表面组织均匀, 在加热和冷却过程中, 零件表面无附加应力, 减少了热处理畸变; 另外在真空油

淬中,热的零件在淬火油中不易形成油膜,零件整个表面均可与淬火油接触,提高了零件淬火时冷却的均匀性。

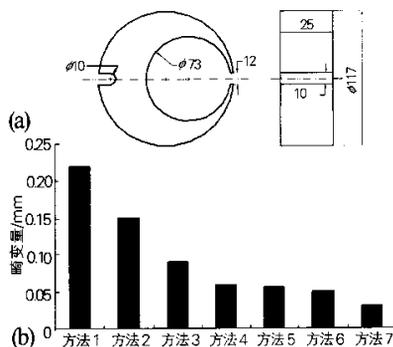


图4 30CrMnSiNi2A 钢真空热处理畸变试验试样(a)及其结果(b)

Fig.4 Distortion test sample(a) and the results(b) for vacuum heat treatment of 30CrMnSiNi2A steel

### 3 真空热处理实践

#### 3.1 300M 钢真空热处理<sup>[2]</sup>

自1992年底,首批某工程300M钢制主体起落架外筒、活塞杆等关键件交付之后,又处理了某工程300M钢制前体起落架外筒、活塞杆等关键件。随着某工程国产化以及转包生产的深入发展,至今300M钢制零件在我公司的真空热处理炉次已达300炉以上,其处理结果和畸变情况均达到相关技术要求,从未出现过不合格现象。对181-7044立式真空炉进行了300M钢连续57炉的稳定性跟踪试验,其结果为: $\sigma_b = 1980 \sim 2050\text{MPa}$ ;  $\psi = 27\% \sim 50\%$ ;  $\delta = 7\% \sim 12\%$ ;  $\sigma_{0.2} = 1650 \sim 1740\text{MPa}$ ;  $\Delta\text{HV}10 = -1.9\% \sim 0$ ,全部符合相关技术要求。

#### 3.2 30CrMnSiNi2A 钢真空热处理<sup>[3]</sup>

30CrMnSiNi2A钢真空热处理主要是某工程国产化之前其主体支柱外筒、活塞杆等关键件的热处理,技术要求:强度为 $(1700 \pm 100)\text{MPa}$ 。真空热处理工艺为:600℃预热,真空度 $13.3 \sim 1.33\text{Pa}$ ; 900℃奥氏体化,真空度 $1.33 \sim 1.33 \times 10^{-1}\text{Pa}$ ;油淬,300℃回火。对某工程主体支柱外筒真空热处理连续15炉统计,结果为: $\sigma_b = 1660 \sim 1740\text{MPa}$ ;  $\psi = 49\% \sim 55\%$ ;  $\delta = 10\% \sim 13\%$ ;  $\alpha_K = 68 \sim 83\text{J}(U_2 \text{夏比冲击})$ ;  $\Delta\text{HK}0.5 = -1 \sim -20$ ,全部符合相关技术要求。

在30CrMnSiNi2A钢的多年热处理实践中,采用真空油淬时,无论是强度,还是硬度都要高出空气炉

油淬。在4Cr13钢以及30CrMnSiA钢的热处理实践中,也发现类似情况。对这一现象分析认为,在真空热处理中,淬火油进行了充分的脱气,整个淬火过程又是在真空状态下进行,零件淬入油的瞬间,淬火油可以与零件所有表面充分接触,能够充分发挥零件的淬火性能。而在空气炉油淬时,零件淬入油的瞬间,溶入油中的氧气会在零件表面与淬火油发生反应生成 $\text{CO}_2$ 气体,淬火高温阶段,零件整个表面几乎被 $\text{CO}_2$ 气膜包围,降低了油的冷却能力,未能充分发挥零件的淬火性能。

#### 3.3 30CrMnSiA, S99, 35NCD16, 4330M 等钢的真空热处理

(1) 30CrMnSiA 钢 某重点工程零件见图5,是由30CrMnSiA钢和45钢焊接成的一个焊接件,技术要求:30CrMnSiA钢部位硬度为35~41HRC,45钢部位硬度为25~30HRC。图5中所示的两种材料配合处H留有大约0.3~0.5mm(单边)的间隙,故当以 $\phi 135\text{mm}$ 的孔悬吊淬油时,从螺纹孔进入腔内的淬火油可以从缝隙中流出。真空热处理工艺:900℃奥氏体化,真空度 $1.33 \sim 1.33 \times 10^{-1}\text{Pa}$ ,油淬,510℃回火。处理结果:30CrMnSiA钢部位颜色极亮,与入炉时相差无异,硬度为39HRC;45钢缸头发蓝,硬度为26HRC。

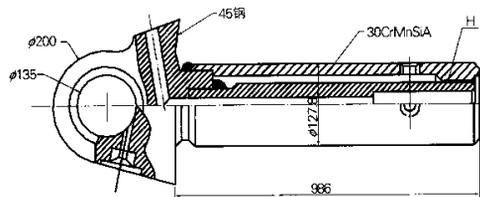


图5 某重点工程零件图

Fig.5 Schematic of the part for a key project

(2) S99 钢的真空热处理<sup>[4]</sup> 国外某公司转包产品S99钢零件,技术要求:强度 $1230 \sim 1420\text{MPa}$ 。热处理工艺:835℃奥氏体化,真空度 $(1.33 \sim 1.33 \times 10^{-1}\text{Pa})$ ,油淬,550℃回火。连续对15炉生产进行统计,结果为: $\sigma = 1290 \sim 1330\text{MPa}$ ,  $\sigma_{0.2} = 1210 \sim 1260\text{MPa}$ ;  $\psi = 27\% \sim 50\%$ ,  $\delta = 14\% \sim 18\%$ ,  $\alpha_K = 41 \sim 63\text{J}$ (三缺口悬臂梁冲击),  $\Delta\text{HV}10 = -1.6\% \sim +1.0\%$ ,全部符合相关技术要求。

(3) 35NCD16 钢的真空热处理 国外某公司转包产品35NCD16钢零件,技术要求强度为 $1230 \sim 1420\text{MPa}$ 。真空热处理工艺:875℃奥氏体化,真空度 $1.33 \sim 1.33 \times 10^{-1}\text{Pa}$ ,气淬,550℃回火。连续对23炉

生产进行统计,结果为: $\sigma_b = 1280 \sim 1380\text{MPa}$ ,  $\sigma_{0.2} = 1090 \sim 1150\text{MPa}$ ,  $\psi = 54\% \sim 58\%$ ,  $\delta = 15\% \sim 17\%$ ,  $\alpha_K = 41 \sim 63\text{J}$ ( $U_5$  夏比冲击),  $\Delta\text{HV}_{10} = -0.6\% \sim +0.4\%$ , 全部符合相关技术要求。

(4) 4330M 钢的真空热处理 国外某公司转包产品 4330M 钢零件,技术要求强度为  $1515 \sim 1653\text{MPa}$ 。真空热处理工艺  $846^\circ\text{C}$  奥氏体化,真空度  $1.33 \sim 1.33 \times 10^{-1}\text{Pa}$ ,油淬,  $300^\circ\text{C}$  回火。连续对 6 炉零件进行统计,结果为: $\sigma_b = 1590 \sim 1600\text{MPa}$ ,  $\sigma_{0.2} = 1310 \sim 1340\text{MPa}$ ,  $\psi = 60\% \sim 61\%$ ,  $\delta = 12\% \sim 14\%$ , 硬度为 47HRC,全部符合相关技术要求。

## 4 结论

自 1992 年以来,随着国家高新技术的发展以及我公司转包产品范围的不断扩展,结合本公司的实际情况对多种新材料真空热处理工艺成功地进行了技术攻关与研究,对各种型号的飞机起落架结构件也成功地进行了真空热处理生产实践。在 300M、30CrMnSiNi2A、4340M、35NCD16、35CD4、S99、

4330M、30CrMnSi、45、50CrV 等钢,TC4、BTA3-1、TC6 等钛合金,1Cr18Ni9Ti、2Cr13、3Cr13、4Cr13、GCr15、Cr12MoV、17-7PH 等沉淀硬化不锈钢和 WD350 矽钢片的真空退火,12CrNi3 钢渗碳件真空淬火,1J79 铁芯片真空退火,铝合金真空钎焊,各种型号起落架外筒、活塞杆、机轮大轴等关键件返修等方面<sup>[5]</sup>,已积累了丰富的实践经验。目前,随着公司飞机起落架专业化制造厂的正式确立,我们的真空热处理生产也更加走向成熟与完善。

参考文献:

- [1] 颜鸣泉. 中国航空材料手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 1988, 9.
- [2] 刘伯操, 等. 美国 300M 钢标准选编[Z]. 北京: 航空航天部第六二一研究所, 1988.
- [3] 刘炳熙, 康沫狂, 等. 30CrMnSiNi2A 钢真空淬火工艺的研究[J]. 金属热处理, 1983(9): 16-23.
- [4] BS 5S 99: 1994, Specification for 2.5% nickel—chromium—molybdenum[S]. Copy by the British Standards Institution, October, 1998.
- [5] 陈世忠, 王德琛. 真空热处理及典型工艺简介[Z]. 北京: 航空航天部第六二一研究所, 1991.

# 22CrMoH 钢齿轮锻件等温退火工艺改进

金荣植(哈尔滨拖拉机配件厂, 黑龙江 哈尔滨 150080)

## Improvement of Isothermal Annealing Process for 22CrMoH Steel Gear Forgings

JIN Rong-zhi(Harbin Tractor Accessories Factory Harbin Heilongjiang 150080, China)

中图分类号: TG162.73 文献标识码: B 文章编号: 0254-6051(2003)12-0061-03

我厂采用 22CrMoH 钢锻造加工的“EQ-153”汽车后桥从动圆锥齿轮锻件(见图 1 所示)。该钢主要化学成分(质量分数,%)为:  $0.19 \sim 0.25\text{C}$ ,  $0.17 \sim 0.37\text{Si}$ ,  $0.55 \sim 0.90\text{Mn}$ ,  $0.85 \sim 1.25\text{Cr}$ ,  $0.35 \sim 0.45\text{Mo}$ , 要求 J15 为 36~42HRC。等温退火技术要求金相组织为均匀铁素体+片状珠光体,带状组织 $\leq 3$ 级,魏氏组织 0 级,晶粒度 5~8 级,硬度 160~210HB。

原等温退火处理后,检测锻件切片的金相组织时,发现金相组织不均匀,一些锻件晶粒较细,晶粒度为 5~6 级(图 2a),而另一些锻件晶粒粗大,达 2~3 级(图 2b),同时出现带状组织(图 2c)。检测等温退火处理后的硬度,有些锻件硬度较高,达 200~240HB,有些硬度较低,达 145~160HB,硬度差别较大,因此采用此种工艺等温退火后工件质量不合格。

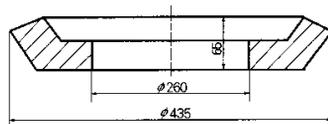


图 1 圆锥齿轮示意图

Fig. 1 Scheme of the taper gear

## 1 原等温退火工艺

齿轮锻件(简称锻件)等温退火在两台 150kW 台车炉进行,其工艺路线为:锻件在 1 号台车炉高温加热—出炉风冷至锻件外表面为暗红色—2 号台车炉等温处理—出炉空炉。1 号台车炉(高温炉)高温热处理工艺为  $(940 \sim 950)^\circ\text{C} \times (4 \sim 5)\text{h}$ ,锻件出炉后风机远距离吹风冷却。2 号台车炉(等温炉)等温处理工艺为  $(650 \sim 670)^\circ\text{C} \times (5 \sim 6)\text{h}$ ,出炉空冷。

## 2 质量问题分析

(1) 由于锻件等温退火使用了两台台车炉,并且采用串装方式进行,台车中间位置的锻件在高温加热后冷却过程中冷速过慢,冷却后锻件温度远高

作者简介:金荣植(1962—),男(朝鲜族),黑龙江哈尔滨人,高级工程师,主要从事汽车拖拉机零件热处理技术工作,发表论文 10 余篇。联系电话:0451-6628238

收稿日期:2003-05-07