

喷丸起落架外筒焊接热影响区的残余应力测定

西安交通大学 南俊马 张定铨*
国营五七二厂 严政 金军

本文用 X 射线法测定了喷丸起落架外筒焊缝影响区的残余应力,并从残余应力角度考察了起落架外筒现行工艺路线的优劣。测定结果表明,在相同构件上虽然所测方向和部位不同,但残余应力的分布、大小及符号基本相同。与前起外筒相比,喷丸处理在主起外筒上形成的残余压应力值较低。分析认为消除焊接残余拉应力的合理工序,是两种外筒均应采用焊后热处理,但应防止表面脱碳。

关键词: 起落架, 热影响区, 喷丸, 残余应力

Measurements of Residual Stresses on the Weld HAZ of Shot-Peened Landing Gear Tubes

Nan Junma Zhang Dingquan
(Xi'an Jiaotong university)
Yan Zheng Jin Jun
(No. 527 State Manufactory)

The residual stresses were determined with X-ray diffraction method on the shot peened weld HAZ of landing gear tubes, and the working processes of the tubes were examined from the experimental results. It is shown that the distributions and magnitudes of compressive residual stresses are nearly the same in the different directions and positions measured for the definite tube. The compressive residual stresses induced by shot peening on the nose landing gear exhibit higher values than those on the main landing gear. The analyses showed that the heat treatment should be directly preceded by welding process for both tubes so as to remove the tensile residual stresses near the welded seam, but the surface decarburizing should be avoided.

Key words: landing gear, HAZ, shot peening, residual stress.

一、引言

Y8机在使用期间曾在起落架外筒检测到微裂纹,其中有些出现在焊缝或焊缝附近区域。生产上的防止措施除了改善焊接工艺外,多采用喷丸表面强化处理。经喷丸处理的构件,其疲劳强度显著提高,主要原因在于表面层引入了残余压应力场。起落架外筒在制造过程中一般都要施行热处理、机加工及焊接等多种工艺,且构件不同,各工艺施行的先后次序不同,因而最终的残余应力状态不仅与喷丸处理工艺有关,还与以前的工艺过程有关。为能定量评价喷丸强化的效果,反映现行工艺路线的合理性,重要的是测出残余应力的数值。以往的研究多着重于试样测试^[1~3],难以反映实际构件的残余应

力状况,尤其当结构复杂时。此外,用钻孔、切条或开槽等机械法测试^[4,5],则属破坏性检测,对构件的后期使用极为不利。

本文采用 X 射线法无损测定了喷丸起落架外筒焊缝热影响区的表面残余应力分布,为起落架的寿命估算和今后设计提供实验依据;并试图从残余应力的变化,分析不同起落架外筒成型工艺顺序的优劣,依此提出改进措施。

二、材料及试验条件

起落架材料为 30CrMnSiNi2A 高强度钢。热处理工艺为: 670±10℃ 预热 90min→900±10℃ 加热 70min→260

* 张定铨副教授现在绍兴高等专科学校工作;陈瑾和孙海林同志参加了试验工作

$\pm 10^{\circ}\text{C}$ 等温60min $\rightarrow 230\pm 10^{\circ}\text{C}$ 回火180min。

焊接工艺采用手工电弧焊。其中前起外筒在热处理后焊接,焊前 $230\pm 10^{\circ}\text{C}$ 预热60min,焊条为HT-4/GH41,焊后 $230\pm 10^{\circ}\text{C}$ 回火180min;主起外筒焊后再热处理,焊前经 280°C 预热45min,焊条为HT-3/H18CrMoA,焊后 $660\pm 10^{\circ}\text{C}$ 回火60min。

喷丸工艺参数为:铸钢丸直径0.6-0.8mm,喷嘴(3个)压力0.45MPa,强化时间4min,弹丸流量6kg/min。用此工艺喷得Almen试片弧高度为0.4Amm,表面覆盖率不低于200%。

用MSF-2m型X射线应力仪测定残余应力。测试条件为:Cr-K α 辐射,[211]晶面,步进扫描,闪烁管计数,固定 ψ 。法测量,半高宽法定峰, $\text{Sin}^2\psi$ 法计算应力。仪器测量精度为 $\pm 20\text{MPa}$ 。

三、试验结果及讨论

前起外筒的测试部位如图1所示,为横梁与外筒对接焊缝的热影响区,A位与B位隔 180° 角。自焊缝边缘沿图中箭头指向每隔5mm取一测点,每点均测平行于焊缝(周向)和垂直于焊缝(轴向)的残余应力值,测试结果见图2中的A和B曲线。可以看出,周向和轴向应力不仅分布规律相似,而且数值相当。此外对不同部位在相同方向上测得的结果具有较好的重复性,即A、B曲线几乎重合。又在远离焊缝处(与图中箭头反向距A位约500mm)测得周向和轴向应力值分别为 -725MPa 、 -719MPa 。它们是不受焊接应力的影响、由喷丸处理引起的表面残余应力值。

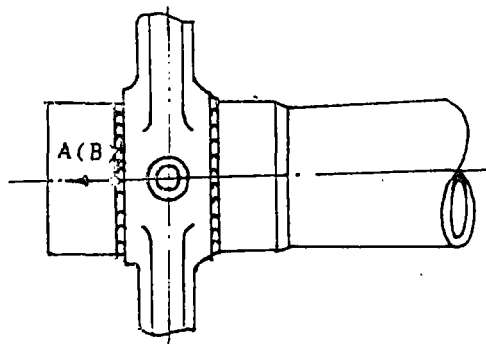


图1 前起外筒测试部位示意图

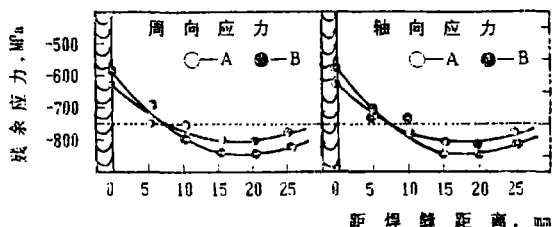


图2 前起外筒热影响区的残余应力分布

主起外筒在台架疲劳试验后进行残余应力测试。疲劳材料工程

劳试验时的循环应力水平为350MPa。测试部位位于搭接焊缝的附近,C位与D位隔 90° 角,如图3所示。测点取法及所测应力方向同前。测试结果见图4中的C和D曲线。从中发现周向和轴向应力基本相等,且各测点应力值相差无几。考虑到测量误差在内,则可认为不同部位在同一方向上的应力值相差也不大。在尺寸为 $\phi 240\text{mm}\times 15\text{mm}\times 65\text{mm}$,热处理和喷丸处理工艺完全相同的主起外筒试件上测得周向和轴向应力值分别为 -436MPa 和 -445MPa 。与在主起外筒上测得的值处于同一水平。从该试件取样作金相分析,测得脱碳层深度为 $0.32\sim 0.35\text{mm}$ 。

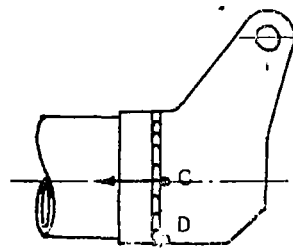


图3 主起外筒测试部位示意图

前起外筒系热处理后焊接,再经喷丸强化,在热影响区形成的残余应力应是两种工艺共同作用的结果。通常认为喷丸在表面各处产生大致相等的压应力,且每处的应力在不同方向上接近等轴状态^[6]。假定焊缝附近总的应力状况是焊接和喷丸效应的线性叠加,则前者决定其分布形状,后者影响其大小,甚至改变符号。若从试验结果中扣除喷丸应力约 -720MPa ,则焊接后的残余应力分布相当于图2中虚线为横坐标的A、B曲线。可见在靠近焊缝处为拉应力,在远离焊缝处为压应力,且周向和轴向应力具有相近的分布和大小。前起外筒焊后的热影响区可看作重新加热淬火或高温回火了一次,因而由表面脱碳及磨削或车削等机加工产生的残余拉应力^[4]基本去除,只有焊接加工形成的残余应力。由于焊接应力在焊缝附近呈拉伸态,其数值也较大,使该区成为构件的薄弱环节,故在服役期间容易萌生裂纹。为此应进一步优化焊接工艺,以改善原有的焊接应力分布。影响焊接应力的因素很多。对于构件在考虑母材性能、坡口型式、焊接条件及施焊程序等因素影响的同时,尚应考虑构件本身几何结构的影响。从前起外筒的形状来看,焊缝为圆形,尺寸也较大,且焊缝周围因结构特殊产生较为复杂的约束条件,有可能使焊接应力分布发生很大的变化^[7]。因此对具体构件在探索合理的焊接工艺时,测定焊接应力应以该构件作为实际测试对象为宜。

主起外筒在焊后进行热处理,可认为焊接应力(包括机加工等工艺产生的应力)已在热处理过程中完全消除,故疲劳试验前热影响区只有喷丸处理引入的残余应力。正因为如此,在不同方向和不同部位上测得的均为

压应力,并接近等轴应力,符合喷丸处理后的残余应力分布特点。比较在主起外筒和相同处理的试件上测得的残余压应力值,可看出台架疲劳试验引起的残余应力松弛现象很不明显,这是由于循环应力水平远低于材料的疲劳极限($<0.5\sigma_1$)的缘故^[8]。

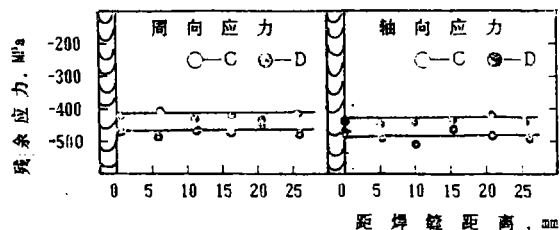


图4 主起外筒热影响区的残余应力分布

比较图2和图4给出的结果,虽然均为残余压应力,但分布形状不同,且数值差别较大。分析认为,残余应力分布形状不同与工艺路线有关,而其数值大小不仅与工艺过程有关,且与表面脱碳有关。前起外筒采用的工艺顺序依次为热处理、焊接及喷丸,因而图2具有焊接应力的分布特征;主起外筒的工艺顺序依次为焊接、热处理及喷丸,因而图4具有喷丸应力的分布特征。主起外筒的喷丸残余压应力值比前起外筒的约小280MPa,原因是前者表面有脱碳层存在,而后者可能因机加工部分或全部去掉了脱碳层。如能在主起外筒热处理时设法防止表面脱碳,其现行工艺路线要比前起外筒的优越,因为采用焊后热处理,消除了焊接拉应力的不利影响。相反,热处理后焊接,再经喷丸处理,焊接产生的残余拉应力将部分抵消喷丸产生的残余压应力,在分布曲线上表现为靠近焊缝处的压应力值最低。所以,前起外筒的工艺路线最好与主起外筒的一致,但要尽量避免构件在热处理时造成表面脱碳。

四、结束语

起落架外筒的制造过程是一个复杂的加工系统,所采用的工艺路线是否优良,最终要受到诸多设计指标(如疲劳寿命)的考核。本文以残余应力为依据,考察了两构件工艺路线的优劣之处,并提出可供参考的建议,有待于实际生产检验。从测试结果上讲,所测残余应力值仅局限在热影响区的表面,能否反映表下的情况,是一个需要解决的问题。关于起落架外筒的结构如何影响热影响区的残余应力分布,尚需进一步探讨。

参考文献

1. 王仁智,《航空材料》,No3, 1979, 14—18。
2. 叶其根等,《焊接学报》,No3, 1990, 155—160。
3. 余勋曼,焊接残余应力及其测试方法,哈尔滨焊接研究所资料,1980年8月。

4. 米谷茂著,朱荆璞等译,《残余应力的产生和对策》,机械工业出版社,1983, 19~102。
5. 王元良,第四届全国残余应力会议资料,南宁,1983年10月。
6. 张定铨等,《兵器材料科学与工程》,No12, 1989, 30~35。
7. 余勋曼,第二届全国残余应力会议论文集,北京机电所汇编,1977, 117~142。
8. 方刚等,《兵器材料科学与工程》,No11, 1989, 27~32。

* * * * *

—— 新书介绍 ——

欢迎订阅《薄膜科学与技术手册》

《薄膜科学与技术手册》由清华大学田民波和机电部沈阳真空技术研究所刘德令等编译,机械工业出版社出版,1991年9月开始发行。该手册是根据日本1984年以后出版的《薄膜ハンドブック》和《薄膜の作制・评价とその应用技术ハンドブック》部分章节吸收国内外最新研究成果编译的。全书分上、下两册,16开精装本,334万字,1783页。

第一篇 薄膜基础,共五章,包括薄膜及其特性,薄膜电磁学性质,光学性质,力学性质,化学性质。

第二篇 薄膜制备工艺,共九章,包括基片,真空蒸镀,分子束外延,溅射镀膜,离子束沉积和离子镀,化学气相沉积,其它化学成膜,图形生长及再结晶技术,薄膜图形形成。

第三篇 薄膜性能检测,共四章,包括膜厚检测,薄膜形貌及结构分析,薄膜成分分析,薄膜稳定性和可靠性。

第四篇 薄膜技术应用,共十五章,包括电磁薄膜如导电体薄膜、介电体薄膜、半导体薄膜、超导薄膜,光学镀膜、薄膜光路元件、光功能元件,信息计算机工业中的应用,半导体工业中的应用,电子元器件中的薄膜技术,光电子器件中的薄膜技术,传感器,太阳能用薄膜,在刀具、模具和润滑上的应用,光学领域应用,超导线和光导纤维上应用,金刚石薄膜和立方氮化硼薄膜,塑料基片上薄膜,厚膜技术及多层布线陶瓷基片,LB薄膜。

全书定价94.00元,外地加邮费10%,共103.40元。购书者可直接邮寄或银行信汇书款,同时函告详细地址,收款后邮送手册及报销凭证;或来函索取订单。

售书单位:沈阳市大东区莲花北里1号机电部沈阳真空技术研究所,联系人马玉阁,邮政编码110042,电话449926,电报6697。

开户行:沈阳工商银行中山广场分理处

34144594—18