

铝合金剪切旋压残余应力分布规律

Distribution Rule of Residual Stress in Aluminum Alloy After Shear Spinning

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院 杨志
 北京航空制造工程研究所 侯红亮
 大连理工大学材料科学与工程学院 周文龙

[摘要] 研究了剪切旋压加热温度、进给率和半锥角对残余应力分布的影响规律。试验结果表明:旋压进给比增大,残余压应力减小;适宜的旋压变形温度范围有利于降低工件表面残余应力;半锥角对工件表面残余应力的影响不显著,5A06 铝合金旋压适宜采用 30°~45°的半锥角。

关键词: 5A06 铝合金 剪切旋压 残余应力

[ABSTRACT] The effect law of heating temperature, feed rate and semi-cone on residual stress distribution after shear spinning process is studied. The results show that the residual compressive stress decreases when spinning feed ratio increases. Suitable spinning deformation temperature range is useful to reduce residual stress on the work piece surface. The effect of semi-cone angle on residual stress on the work piece surface is not significant, and semi-cone angle 30°~45° is suitable for the spinning of aluminum alloy 5A06.

Keywords: Aluminum alloy 5A06 Shear spinning Residual stress

金属表面残余应力是在工件无论是否承受外加载荷的状态下,以平衡态存在于工件表面的应力^[1-2]。当工件表面应力平衡遭到破坏时,工件的宏观尺寸会发生变化,导致工件变形,残余应力的存在对工件的力学性能亦有重要的影响,特别是工件的抗疲劳强度、抗脆断能力、抗应力腐蚀以及高温蠕变能力大大下降^[3-5]。剪切旋压过程是一个连续的、局部加载变形的过程,由于应变场和温度场的不均匀性,导致工件表面不可避免地产生残余应力^[6]。本文研究了铝合金剪切旋压变形对残余应力分布的影响,这对于精确控制旋压变形过程的残余应力水平与分布具有重要价值。

1 试验方法

试验材料为 3mm 厚的 5A06 铝合金板材,剪切旋

压试验在 SY-4 强力旋压机上进行,氧乙炔加热,红外测温,试验参数如表 1 所示。

表 1 旋压工艺试验参数

试件编号	半锥角 $\alpha/(\circ)$	加热温度 $T/^\circ\text{C}$	进给比 $l/(mm \cdot r^{-1})$	坯料尺寸 ϕ/mm
L101	30	400	0.4	240
L102	30	400	0.6	240
L103	30	400	0.8	240
L201	30	300	0.6	240
L202	30	350	0.6	240
L203	30	450	0.6	240
L301	15	400	0.6	160
L302	45	400	0.6	300
L303	60	400	0.6	350

5A06 铝合金弹性模量 $E=70\text{GPa}$,泊松比 $\nu=0.3$,应用 X Stress-3000X 射线衍射仪按照 GB/T7704-87 X 的规定测试试件残余应力,主要参数为:准直器 3mm,管流 6.7mA,管压 29.5kV,距离 9.58mm。由于截取的试样带有一定的弧度,因此采用橡皮泥来进行固定,沿着旋轮进给的方向依次选取 3 个测试点,分别标记为 O_1 、 O_2 、 O_3 ,分别测试每点在 X 和 Y 方向(即工件径向和圆周方向)的残余应力,取 3 点平均值作为工件某状态下 X 和 Y 方向的残余应力值,如图 1 所示。

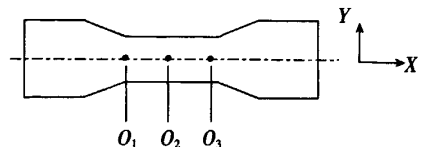


图 1 残余应力测试示意图

Fig.1 Illustration of residual stress testing

2 试验结果与分析

2.1 旋压进给比对残余应力的影响

旋压进给比对工件表面残余应力的影响如图 2 所示。测试结果表明: X 和 Y 方向的残余应力均处于压应力状态,且随着进给比的增大,残余压应力的数值减小。

剪切旋压变形过程中,其径向和周向均为压应变,无论在工件表面和内部均呈现压应力,卸载后由于变形不均匀而导致的残余应力亦表现为压应力,但由于在旋轮与坯料的咬入瞬间,运动的旋轮与静态的坯料间因速度差而对已变形坯料表面产生拉应力,因此,旋压件表面残余应力应为二者的叠加,表面拉应力效应抵消了部分压应力,使得表面残余压应力数值减小。旋轮进给比的增加意味着单位时间内旋轮与坯料接触面积的增加,因而参与变形的坯料体积增加,其表面拉应力效应增加,从而使残余压应力数值减小。

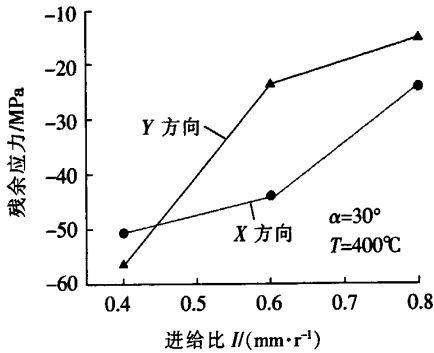


图 2 进给比对残余应力的影响

Fig.2 Influence of feeding rate on residual stress

2.2 旋压温度对残余应力的影响

旋压温度对工件表面残余应力的影响如图 3 所示。测试结果表明: X 方向(周向)残余应力均处于压应力状态,随着温度从 300℃升高到 400℃,残余压应力逐渐增大,400℃时残余压应力数值达到 45MPa,而后,随着温度的增加,残余压应力逐渐减小;Y 方向(径向)残余应力随着温度从 300℃升高到 350℃,残余压应力逐渐增大,而后,随着温度的增加,残余压应力逐渐减小,并逐渐向拉应力状态转化,温度达到 450℃时,拉应力达 25MPa。

如前所述,剪切旋压周向和径向均呈压应变,由于应变不均而产生的表面残余应力表现为压应力,同时,因温度而致的残余应力主要是由沿工件壁厚方向的温度场不均而引起的,旋压过程中工件内表面模具相贴合,外表面与加热源(焊枪火焰加热)相接触,势必会造成工件沿壁厚方向的温度场不均匀,从而在工

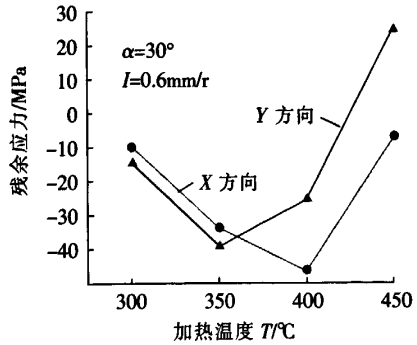


图 3 加热温度对残余应力的影响

Fig.3 Influence of heating temperature on residual stress

件表面产生残余应力,温度越高,在相同的变形条件下温度场越不均匀,残余应力越高。但铝合金变形温度超过 400℃时,材料的屈服强度降低,导致材料沿壁厚方向的变形均匀性受到破坏,表层金属流动速度高,在表面产生拉应力效应,抵消了部分压应力,工件表面残余压应力降低,甚至出现残余拉应力。

2.3 半锥角对残余应力的影响

剪切旋压半锥角实际上决定了变形程度的大小,半锥角越小变形量越大。半锥角对工件表面残余应力影响如图 4 所示。

测试结果表明:半锥角为 30°~60°时,表面残余应力处于压应力状态,且变化不显著。决定残余应力大小的不是变形程度,而是变形的均匀程度,因而变形程度对残余应力的影响并不显著。但在临近极限半锥角 15°(即极限变形程度)时,工件表面残余应力由压

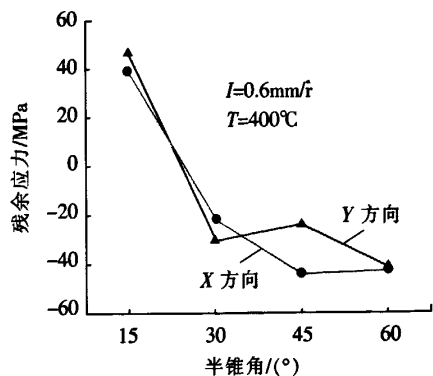


图 4 半锥角对残余应力的影响

Fig.4 Influence of semi-cone angle on residual stress

(下转第 89 页)

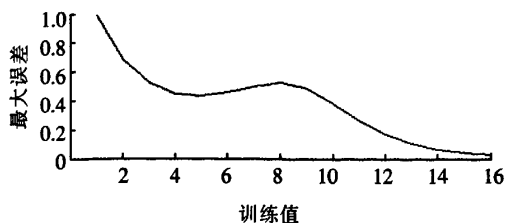


图4 小波网络训练的误差曲线

Fig.4 Curve of training errors of WN

故障分类诊断;当输入数据在一定范围内偏离样本知识时,网络的输出具有接近样本输出的倾向,因而表明了小波神经网络在故障诊断中的实际可行性。不过,对于远远偏离样本的输入数据,小波神经网络的诊断能力将下降,甚至可能得出错误的结论。这也充分说明采用神经网络来处理故障诊断问题,故障诊断机理的必要知识实际上起着十分重要的作用,小波神经网络也是如此。

3 结束语

本课题利用动态系统不同检测传感器测量得到的参数,根据故障机理分析以及该领域的专家知识,得到动态系统的故障征兆集、故障原因集以及它们的关系,采用小波神经网络建立起故障征兆和故障原因的映射关系对故障进行分类,这里主要利用小波网络的非线性映射功能对故障分类诊断。通过本课题的仿真实例,可以看到小波神经网络为解决非线性系统动态过程的故障检测问题提供了一种很好的途径。

参 考 文 献

- [1] Huang Dexian, Jing Yihui. The Application of Wavelet Neural Networks to Nonlinear Predictive Control. Proceeding of the 1997 IEEE International Conference on Neural Networks, Part 2 (of 4). 1997(7), 24-727.
- [2] Zhang Qinghua. Using Wavelet Network in Nonparametric Estimation. IEEE Trans on Neural Networks, 1997, 8(2): 227-236.
- [3] 陈哲,冯天瑾. 小波分析与神经网络结合的研究进展. 电子科学学刊, 2000, 22(3): 496-501.
- [4] 吴桂峰, 翟玉庆, 陈虹, 等. 基于小波-神经网络的奠基振动故障诊断. 控制工程, 2004, 11(2): 152-154.
- [5] 吕朝霞, 胡维礼. 小波网络在控制系统中的应用. 信息与控制, 2000, 29(6): 532-539.
- [6] 武剑辉, 杨学良. 模糊 BP 神经网络及其在故障诊断中的应用. 系统工程与电子技术, 2001, 23(10): 73-75.

[7] 刘建涛. 基于神经网络和专家系统的航空发动机故障诊断研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2007. (责编 金卯)

.....
(上接第 79 页)

应力转变为拉应力,且圆周和径向拉应力数值分别达到 40MPa 和 43MPa,分析认为,在温度和进给比一定的情况下,随着半锥角的减小(即变形量的增加),特别是在接近极限变形程度时,单位时间参与变形的金属剧增,旋轮在向下一点运动时,所受的变形阻力剧增,材料的流动均匀性遭到破坏,旋轮通过变形区金属的施力而使已变形区承受附加拉应力,当接近极限变形程度时,其附加拉应力可能超过屈服强度而残留在金属表面,形成残余拉应力。

3 结 论

(1) 试验过程中,旋压进给比增大时,单位时间内参与变形的坯料体积增加,其表面拉应力效应增加,使工件内部因变形不均而产生的残余压应力相应地减小。

(2) 适宜的旋压变形温度范围有利于降低工件表面的残余应力。5A06 铝合金热旋压温度范围为 300℃~400℃之间,高温旋压时由于材料屈服强度的显著降低,其表层与内部金属流动速度的差异而导致表面产生残余拉应力。

(3) 半锥角(即旋压变形程度)对工件表面残余应力的影响不显著,但在极限变形程度附近,材料的流动均匀性遭到破坏,旋压件残余应力剧增,并呈现拉应力状态。5A06 铝合金旋压适宜采用 30°~45°的半锥角。

参 考 文 献

- [1] Shan Debin, Lu Yan, Li Ping, et al. Experimental study on process of cold-power spinning of Ti-15-3 alloy. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 115: 380-383.
- [2] Gao Xichen, Kang Dachang, Meng Xiaofeng, et al. Experimental on a new technology-ellipse spinning. Journal of Materials Processing Technology, 1994, 94: 197-200.
- [3] 曾继杰,熊渊博. 金属板材成型中的残余应力与失稳分析. 塑性工程学报, 2005(2): 82-84.
- [4] 孙杰,柯映林. 残余应力对航空整体结构件加工变形的影响分析. 机械工程学报, 2005(2): 117-122.
- [5] 王秋成. 航空铝合金残余应力消除及评估技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [6] Kawai K, Yang L N, kudo H. A flexible shear spinning of truncated conical shells with a general-purpose mangle. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 113: 28-33.

(责编 慈然)