

陶瓷喷丸强化工艺在起落架构件上的应用

李志栋, 张志刚, 冯敏利, 赵 勇, 翟甲友

(中航飞机股份有限公司长沙起落架分公司, 长沙 410200)

[摘要] 从陶瓷丸的固有属性以及陶瓷喷丸工艺对金属结构件性能的影响等方面进行了大量的分析和研究, 针对铸钢丸、玻璃丸以及陶瓷丸 3 种喷丸工艺以及复合喷丸工艺进行了对比试验, 从被喷金属件表面质量、喷丸参数以及表面产生的应力场进行了检测和分析。结果表明, 3 种喷丸工艺试验结果产生的残余压应力场深度相当, 约为 0.3mm, 而陶瓷喷丸可以获得最高的最大残余压应力值, 对于延缓超高强度钢零件表面微裂纹的产生和扩展, 改善产品性能, 提高抗疲劳寿命有较大贡献。另外, 陶瓷丸成分为高质量的氧化锆和二氧化硅, 环保性能好, 无毒无害, 对零件表面以及环境不会造成任何污染; 硬度高, 弹丸磨损小, 且磨损后的弹丸表面光滑等。

关键词: 飞机起落架; 陶瓷丸; 喷丸强化工艺

Application of Ceramic Shot Peening Process on Landing Gear Components

LI Zhidong, ZHANG Zhigang, FENG Minli, ZHAO Yong, ZHAI Jiayou

(Changsha Branch, AVIC Aircraft Landing Gear co., LTD., Changsha 410200, China)

[ABSTRACT] In this paper, a lot of analysis and research are made on the intrinsic properties of the ceramic shot and the effect of the shot peening process on the properties of the metal parts. In view of three kinds of shot peening among steel shots, glass shots and ceramic shots, the experiment was carried out. Surface quality of machined parts, parameters and surface stress fields were detected and analyzed. It turned out that the depth of the residual compressive stress field is equal to 0.3, and the maximum residual compressive stress field can be obtained by the ceramic shot peening. It has been a greater contribution that to delay the generation and expansion of micro cracks, improve product performance and improve the anti fatigue life. In addition, ceramic components are high quality zirconia and silica, with good function of environmental protection, harmless and nonpoisonous, no pollution to parts and environment; It also has high hardness, small wear, smooth surface, etc.

Keywords: Aircraft landing gear; Ceramic shot peening; Shot peening process

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.08.090

飞机起落架是飞机系统比较重要的部件之一, 承担着飞机运行过程中三大重要任务, 即飞机停机支撑、滑跑起飞、着陆制动, 每个环节都是非常重要的, 基本囊括了飞机运行中所谓的黑色 13 分钟全部过程, 其缓冲支柱部分具有较强的缓冲性能, 吸收着陆及地面运动时产生的撞击和跳动能量, 改善飞机起飞着陆性能, 尤其在起飞和降落过程中起落架承受较大载荷, 因此选择超高强度钢作为主要承力件的加工材料, 提高可靠性及使用寿命, 保证飞机运行安全。目前国内飞机起落架主要承力件大量选用 30CrMnSiNi2A、300M(40CrNi2Si2MoVA)、A-100 钢等超高强度钢, 起落架结构如图 1 所示; 为避免制造过程中出现的表面残余拉应力或局部的加工缺陷等敏感应力源, 零件设计和制造过程中采取大量的先

进技术, 尽可能降低应力影响因素, 如喷丸强化、金刚石挤压、整体锻件加工、真空热处理、碳氮化处理、表面完整性加工、电镀工艺应用以及表面防护等一系列技术, 其中喷丸强化工艺简单, 实施过程成本相对较低, 且在提高零件的使用寿命上效果非常显著, 航空工业应用非常普遍。该工艺就是通过一定的压力向零件表面喷射弹丸, 使零件表面形成一定的压应力, 也就是利用喷丸

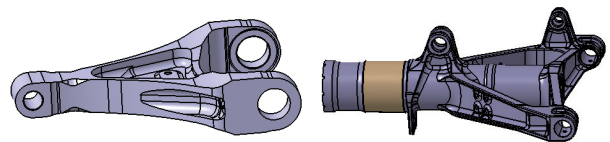


图1 飞机起落架系统主要承力零部件
Fig.1 Main bearing parts of aircraft landing gear

后表面塑性变形层内的残余压应力场和变形的显微组织,改善金属材料的疲劳断裂抗力和应力腐蚀(氢脆)断裂抗力,以达到充分发挥金属材料潜能的目的^[1]。

喷丸强化工艺所用弹丸种类较多,在国内,主要以铸钢丸为主,近年来,随着产品表面质量和疲劳寿命要求的不断提高,以及国家对自然环境保护等重视程度的提高,利用原有铸钢丸等弹丸进行喷丸强化后所形成的有益的残余压应力、产品表面完整性等都存在较大差距和不足,尤其是对产品本身表面造成污染,影响其使用性能。与铸钢丸相比,陶瓷丸(见图2)具有环保、喷打破损率低、强化效果好、喷丸后对零件表面产生的形变小、对喷丸零件表面不会造成铁元素污染等优点,成为当今强化工艺技术行列发展前景较好的工艺技术,目前已经开始在飞机起落架主要承力构件上得到了初步应用,成为喷丸强化工艺技术发展的一个重要趋势^[2]。与普通弹丸相比:使用陶瓷丸喷丸的材料更广泛;几乎不磨损,使用效率高,成本低;破碎率低,破碎后的碎片保持原始的形状,表面光滑,对设备损伤较小;不会对零件表面造成污染,不降低强化效果,对环境不造成任何污染等,可用于 HRC 60 左右的零件表面喷丸。成分如表1所示,应为高质量的氧化锆和二氧化硅。

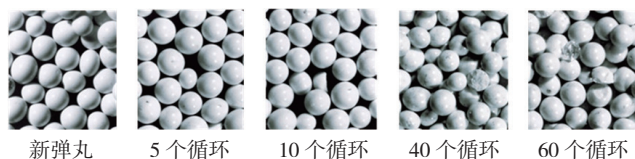


图2 陶瓷丸
Fig.2 Ceramic balls

表1 陶瓷弹丸所含成分的含量(质量百分比) %

组分	最小	最大
氧化锆	60	70
二氧化硅	28	33
氧化铝	--	10
其他	--	3

2 喷丸工艺试验

2.1 设备

RSM-50-MR-CS/SS-2-2011 数控喷丸机。具有铸钢(S230)和陶瓷(Z300)两种弹丸的喷丸能力,也能对零件小孔及深孔进行喷丸,并具有实时监控喷丸压力、弹丸流量及故障自动检测和报警等功能。喷丸技术室规格:3000mm×1500mm×3200mm;内孔: ϕ 50~ ϕ 250mm,孔深1~2m;

喷丸所使用的弹丸、筛网等标准如表2所示。

表2 喷丸所使用的材料以及相应的标准

序号	材料类型	弹丸规格	名义尺寸	符合标准
1	铸钢丸	S230	0.58mm	AMS2431/2
2	陶瓷丸	Z300	0.30mm	AMS2431/7
3	A型 Almen 试片	符合标准 GSB A69001		
4	筛网	ASTM E11		

2.2 工艺试验

评价喷丸强化工艺的指标是多方面的,例如喷丸实施前后表面粗糙度,表面污染、残余应力值等,这些因素或多或少影响着产品最终的性能。本文主要关注铸钢丸、陶瓷丸及两者复合喷丸3种工艺下形成的表面残余应力的变化,进而确定其工艺的先进性。3种工艺试验项目如表3所示。残余应力是指没有外力或其他外部因素时,存在于机械零件内部且处于平衡状态的应力,金属零件经过各种冷热加工,例如铸造、锻造、焊接、热轧、冷拉和切削加工、热处理等,都能产生分布各异的残余应力。残余应力显著影响机械零件的疲劳强度、加工精度和抗腐蚀能力等性能。残余应力对疲劳强度有决定性的意义。零件表面呈残余压应力时,能大大提高疲劳强度,反之表面为拉应力,则又明显降低疲劳强度^[3]。喷丸强化就是提高表面压应力,通过工艺方法提高产品寿命的行之有效的措施之一。

表3 3种工艺试验

喷丸类型	喷丸牌号	工艺
铸钢丸	230	I
陶瓷丸	Z300	II
铸钢+陶瓷	230+Z300	III

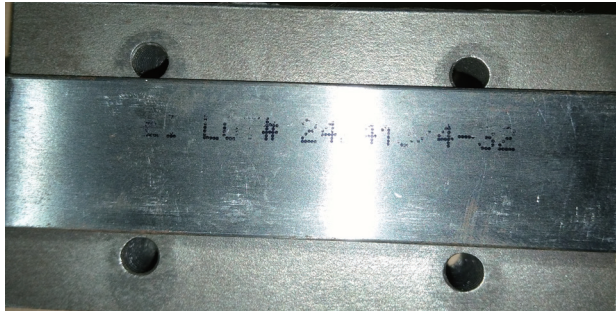
2.2.1 喷丸要求

喷丸工艺实施前首先喷打模拟件,喷丸模拟件如图3(a)、(b)所示。

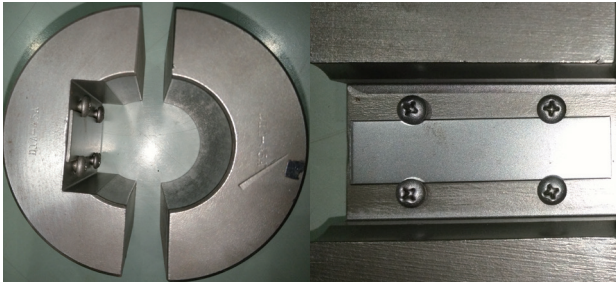
通过模拟喷丸,检查试片的弧高值、覆盖率(首批零件喷丸时应绘制饱和曲线),喷丸后检查零件表面状态、覆盖率,并再次进行模拟喷丸,检查试片的弧高值及覆盖率是否变化,从而验证在两次模拟喷丸之间对零件进行喷丸的质量。铸钢丸每连续喷丸8h,按喷打零件的参数再次喷打 Almen 试片验证喷丸指标值;陶瓷丸每连续喷丸4h,按喷打零件的参数再次喷打 Almen 试片验证喷丸指标值。

2.2.2 3种工艺对应力场的影响

图4是3种不同工艺下经过多次试验获取的对残余应力场影响的曲线图,由图示可知,喷丸强化后,表面



(a) 外表面喷丸模拟件



(b) 内表面喷丸模拟件

图3 喷丸模拟件

Fig.3 Shot peening simulator

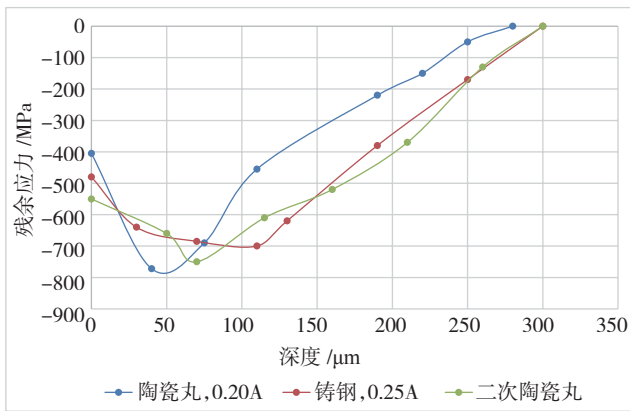


图4 不同喷丸介质对残余应力场的影响

Fig.4 Influence of different shot peening medium on the residual stress field

均为残余压应力分布,由于铸钢弹丸密度较大,喷丸过程中,弹丸的冲击能量较多转变为材料内部的弹性能量而储存起来,形成了较大的表面残余压应力。

试验过程通过 XStress3000 应力仪对高强钢在不同喷丸参数下喷丸产生的残余应力场进行测量。喷丸产生的残余应力场为压应力场,并且存在以下 4 个特征参数:表面残余应力 σ_{rs} 、最大残余压应力 σ_{rm} 、最大残余压应力深度 Z_m 和残余压应力深度 Z 。不同喷丸工艺所测得的残余压应力场,特征参数列于表 4 中。喷丸产生的残余应力场中,表面残余压应力并不是最大值,最大残余压应力位于距离表面一定深度处,并且残余压应力场具有一定的梯度关系,在一定深度处由压应力转变为拉

表4 喷丸残余应力场特征参数

工艺规范	残余应力场特征			
	表面残余应力 σ_{rs} /MPa	最大残余压应力 σ_{rm} /MPa	最大残余压应力位置 $Z_m/\mu\text{m}$	残余压应力场深度 $Z/\mu\text{m}$
I	-455	-755	110	260~300
II	-405	-795	50	260~300
III	-570	-725	115	260~300

应力^[4]。

由表 4 测得的不同喷丸工艺残余应力场特征参数可以看出,二次喷丸工艺具有最高的表面残余压应力,而陶瓷弹丸喷丸具有最高的最大残余压应力值,3 种工艺的残余压应力场深度相当,均约为 300 μm 。

3 结束语

陶瓷喷丸工艺的工程化应用是在某课题研究基础之上,通过大量的工艺验证,通过研究以及试验件的试加工鉴定,从而实现具体的工程化应用。该工艺的工程化应用达到了三方面的效果,其一,打破了长期使用铸钢丸等普通弹丸喷丸强化工艺,有助于提高承力构件疲劳强度,为研制长寿命起落架增添有效的工艺技术;其次,该工艺在国外已有几十年的成熟应用,但其核心技术严禁封锁,此工艺的工程化应用将大大缩小在表面强化工艺行业与国外的差距;最后,因陶瓷丸硬度高、环保性能好,对零件及环境污染小,适合绿色环保项目要求,也是先进制造工艺项绿色环保方面发展的典型之一^[5]。

但同时由于陶瓷弹丸是一种新型弹丸,国内有关的研究报道及应用情况较少,与铸钢弹丸相比,其密度小、喷丸过程中使用的喷丸强度也相对较小,对材料表面质量及试验件疲劳寿命的影响也有所不同,因此,需对陶瓷弹丸喷丸强化做各方面详细的研究:

(1) 对陶瓷弹丸与铸钢弹丸喷丸强化机理性原因做更详细的研究对比,如喷丸强化对试验件表面残余应力、疲劳寿命关系做系统的研究,为设计、喷丸工艺提供指导性资料;

(2) 由于陶瓷弹丸尺寸可以做得更小,可以对某些螺纹根部 R 进行喷丸强化。因此,研究陶瓷弹丸对螺纹进行喷丸强化与螺纹滚压强化做对比,将为螺纹强化工艺提供更多选择方式的可能。

(3) 研究铸钢弹丸与陶瓷弹丸喷丸强化对试验件抗应力腐蚀性能的对比,将具有重要的意义。

参考文献

[1] 武俊.300M 钢喷丸强化工艺中打磨问题[D].西安:西北工
(下转第96页)