

通过挤压或安装钢丝螺套提高压铸铝合金螺纹孔的性能

张作伟 方建儒 张世恩
(大连亚明汽车零部件股份有限公司)

摘要 以 AlSi12(Fe)(a) 高压压铸件为对象,对于挤压成形螺纹孔,测量螺纹的过扭矩值并输出曲线,测量螺纹的拉脱力值并输出曲线;对于安装钢丝螺套的螺纹孔,测量螺纹的过扭矩值并输出曲线,测量螺纹的拉脱力值并输出曲线。结果表明,挤压成形和安装钢丝螺套均可提高压铸铝合金螺纹的性能。

关键词 AlSi12(Fe)(a); 挤压成型螺纹; 钢丝螺套

中图分类号 TG249.2; TG146.21

文献标志码 A

DOI: 10.15980/j.tzzz.2023.011.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Improvement of Performance of Aluminum Alloy Threaded Holes by Extrusion Molding or Installing Steel Wire Insert

Zhang Zuowei, Fang Jianru, Zhang Shien
(Dalian Yaming Automotive Parts Co., Ltd.)

Abstract: Using AlSi12(Fe)(a) high-pressure die-casting experimental sample, the over-torque value of the thread and output curve for the extruded threaded hole were measured, and the pull-off force value of the thread and output curve were presented. For the threaded hole where the steel wire insert was installed, the over-torque value of the thread and output curve were measured, and the pull-off force value of the thread and output the curve was provided. The results reveal that both extrusion and installation of steel wire insert can improve the performance of die casting aluminum alloy thread.

Key Words: AlSi12(Fe)(a) Alloy, Extrusion Forming Thread, Steel Wire

铝合金因其密度低、耐腐蚀性好、导热性强、强度中等、加工性好等特点,越来越多地代替钢铁材料应用到汽车、轨道交通、军事装备等领域,以实现轻量化的目的^[1]。在钢铁材料中普遍使用的螺纹螺栓连接,在铝合金的使用中却受到一定的限制,一是因为铝合金螺纹的强度和抗扭性偏低,导致承载能力有限;二是因为铝合金螺纹的耐久性较差,在多次拆装后易滑丝失效。

加工铝合金刀具寿命相对较长。挤压丝锥快速接近加工深度,并通过旋转挤压形成整个螺纹,与传统的切削丝锥成型螺纹技术相比,可以提高加工效率^[2]。在螺纹成形中,非切削攻丝技术(挤压成型螺纹技术)将产生加工硬化,从而提高螺纹强度^[3]。在这种情况下,预制孔的较小直径将影响挤出力 and 螺纹成型^[4]。MACIEL D T等^[5]发现,较小的芯孔直径可以提高螺纹品质。

目前,研究者希望在节省资源的情况下开发更轻、

更紧凑、更高性能的组件。因此,一方面,优选具有中等强度的轻金属,如铝或镁。另一方面,随着负载要求的增加,组件在连接时需要具有较高的夹紧力。实现螺纹强化的既定方法之一是使用钢丝螺套形成螺纹。钢丝螺套最初应用在航空航天领域,以满足其较短的维修间隔,其可以显著改善铝螺纹牙侧的塑性变形情况^[6-7]。

综上,铝合金螺纹孔存在强度低、抗扭能力差、耐久性差的问题,在一定程度上限制了其应用。本研究论述了两种提高铝合金螺纹孔性能的方法,即使用挤压丝锥加工成形铝合金螺纹孔和安装钢丝螺套成形螺纹孔,旨在为提高铝合金螺纹孔的性能提供参考。

1 试验过程

1.1 高压铸造试样的力学性能测试

采用 DBL4918 与 DIN EN 1706 标准,测试 3 件真空高压铸造 AlSi12(Fe)(a) 试样。温度为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

收稿日期:2023-02-03;修改稿收到日期:2023-02-23

基金项目:大连亚明与梅赛德斯奔驰 EB42X 项目

第一作者简介:张作伟,男,1989 年出生,硕士研究生,辽宁大连(116045),E-mail:599202993@qq.com

引用格式:张作伟,方建儒,张世恩. 通过挤压或安装钢丝螺套提高压铸铝合金螺纹孔的性能[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(11):1 582-1 584.

ZHANG Z W, FANG J R, ZHANG S E. Improvement of performance of aluminum alloy threaded holes by extrusion molding or installing steel wire insert[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(11):1 582-1 584.

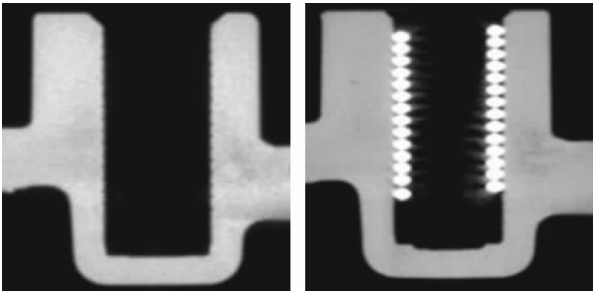
使用 UTM5105 电子万能试验机测试力学性能,结果见表 1。

表 1 AlSi12(Fe)(a)试样的力学性能

Tab.1 Mechanical property of AlSi12(Fe)(a) specimens			
编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
标准	≥240	≥130	≥1.0
1 号	291	162	9.5
2 号	298	148	7
3 号	270	164	7

1.2 试样内部质量及加工后螺纹表面质量检测

1 件挤压成型 M8 螺纹零件,1 件钢丝螺套成型 M8 螺纹零件。采用计算机层析成像检测,VtomeX S240 工业 CT,分辨率为 0.121 mm。根据标准 DBL4918/FK4 与 DBL4949 进行判定,见图 1。



(a) 内部质量 (b) 加工后螺纹表面质量

图 1 高压铸造件内部质量及加工后螺纹表面质量检测图

Fig.1 Inspection of internal quality of high-pressure castings and thread surface quality after machining

1.3 过扭矩测试

采用 DBL9440.40 标准,3 件挤压成型 M8 螺纹,3 件 M8 钢丝螺套成型螺纹;螺栓类型为 M8×1.25-12.9,长度为 46 mm,垫片厚度为 26.9 mm。钢丝螺套为 M8×1.25-20;采用 CVI 电控扭矩工作站,WS3-135 数显扭矩扳手;温度为(23±5)℃。

M8 螺栓进行 5 次组装和拆卸,然后进行过扭矩测试,M8 目标扭矩为(19±1.9) N·m^[6]。由于电动扭矩工作站的最大行程为 30 N·m,因此使用电动扭矩扳手测试 30 N·m 内的扭矩。预先设定 28 N·m 的目标扭矩值,记录随时间变化的旋转角度和扭矩值。对于大于 28 N·m 的扭矩,使用手持式数显扭矩扳手,直到达到螺纹能够承受的最大扭矩,见表 2 和表 3。使用专用螺丝刀转动,直到孔交叉或螺纹翻转。

表 2 测量挤压成形 M8 螺纹的过扭矩测试结果

Tab.2 The over-torque results of the extrusion forming M8 thread		
试样编号	过扭力/(N·m)	过扭力(手动)/(N·m)
A ₁	28.06	91.2
A ₂	28.11	96.8
A ₃	28.06	97.5

表 3 钢丝螺套 M8 螺纹的过扭矩测试结果

Tab.3 The over torque results of the steel wire thread insert M8 thread		
试样编号	过扭力/(N·m)	过扭力(手动)/(N·m)
A ₄	28.30	88.7
A ₅	28.28	87.4
A ₆	28.20	73.5

1.4 拉脱力测试

测试标准为 DIN EN ISO 6892-1^[7-9]。3 件挤压成形 M8 螺纹,6 件 M8 钢丝螺套成形螺纹(调整底孔直径前 3 件,调整底孔直径后 3 件)CMT5105 电动强力机 UTM,温度为(25±10)℃。

M8 螺纹孔应使用 12.9 级螺钉进行测试。拉脱力测试直到螺栓脱离零件或者零件损坏,记录力-位移曲线,相关数据见表 4~表 6,测试速度为 2 mm/min。

表 4 挤压成形 M8 螺纹的拉拔试验结果

Tab.4 The pull out results of the extrusion forming M8 thread			
试样编号	位置	F _{max} /kN	△f _{max} /mm
B ₁	M8	10.3	6.6
B ₂	M8	10.3	6.3
B ₃	M8	10.3	4.9

注:F_{max}为螺栓旋入后,拉拔试验过程中,向上拉脱螺栓力的大小;△f_{max}为随着向上拉脱力的逐渐增大,螺栓脱离零件的螺纹孔向上的位移长度

表 5 钢丝螺套成形 M8 螺纹的拉拔试验结果(调整底孔直径前)

Tab.5 The pull out results of the steel wire thread insert M8 thread before adjusting the bottom hole diameter			
试样编号	位置	F _{max} /kN	△f _{max} /mm
B ₄	M8	14.2	4.49
B ₅	M8	12.8	3.43
B ₆	M8	8.2	2.09

表 6 钢丝螺套成形 M8 螺纹的拉拔试验结果(调整底孔直径后)

Tab.6 The pull out results of the steel wire thread insert M8 thread after adjusting the bottom hole diameter			
试样编号	位置	F _{max} /kN	△f _{max} /mm
B ₇	M8	14.6	4.61
B ₈	M8	15.9	4.76
B ₉	M8	15.8	4.88

2 试验结果与分析

由表 2 可知,从扭矩角度来看,挤压的 M8 螺纹优于安装 M8 钢丝螺套的螺纹。图 2 为钢丝螺套安装底孔调整前的拉脱力试验结果。可以看出,钢丝螺套与压铸件已脱落。此底孔螺纹通过挤压成形螺纹工艺技术制造而成,硬度较高,正常情况下不易损坏。通过对损坏零件的观察,螺纹孔中有不同的损坏模式。螺纹孔的下部区域,螺纹轻微损坏,螺纹表面有轻微刮伤。螺纹孔的中间区域,螺纹中度损坏,螺纹边缘受损较多,存在弯曲和断裂。螺纹孔靠近倒角的上部区域,螺纹严重损坏,螺纹被全部刮平。从图 2b 可以看出,螺纹与铝合金

产品之间的接触部分, 钢丝螺套表面镀锌层已损坏, 在拉脱试验中, 钢丝螺套与产品的底孔螺纹的接触面, 占理论总接触面积的 $1/3 \sim 1/2$, 钢丝螺套和压铸产品螺纹的间隙较大, 随着 M8 螺栓拉出拉脱力的上升, 导致钢丝螺套和产品滑牙。同时, 通过钢丝螺套表面剩余铝, 可以明显看出拉脱方向螺栓对螺纹的作用力, 从螺纹孔下部区域向螺纹孔上部区域, 稳定增加。拉伸过程中螺纹孔上部区域的总磨损是材料累积和拉力的累积结果。

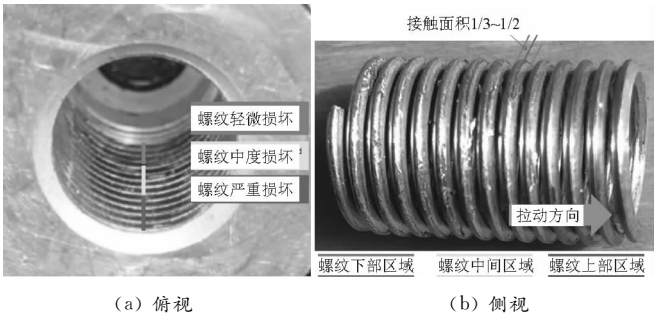


图 2 钢丝螺套安装底孔调整前的拉脱力试验结果分析
Fig.2 Analysis of the pull-out force before the adjustment of the installation bottom hole of the steel wire insert

钢丝螺套安装底孔安装尺寸要求见图 3。在图 3a 中, 钢丝螺套的外直径尺寸为 $9.85 \sim 10.1 \text{ mm}$; 在图 3b 和图 3c 中, $D_{\text{Min}} = 9.62 \text{ mm}$, $D_{1\text{Min}} = 8.27 \text{ mm}$, $D_{1\text{Max}} = 8.48 \text{ mm}$ 。可以推算出钢丝螺套与产品底孔螺纹的最小接触深度为 0.570 mm , 钢丝螺套与产品底孔螺纹的最大接触深度为 0.675 mm 。调整前, 由于零件加工的尺寸波动, 底部孔的直径变大, 根据实际测量, 螺纹套和压铸件螺纹单面的接触深度为 0.425 mm 。调整后, 通过缩短刀柄和刀具的长度, 减少加工跳动引起的公差波动, 并且预留 1.3% 的安全直径距离, 确保钢丝螺套与产品底孔螺纹的接触深度在 $0.635 \sim 0.675 \text{ mm}$ 之间。对比表 4~表 6 可知, 安装 M8 钢丝螺套的螺纹优于挤压成形的 M8 螺纹。

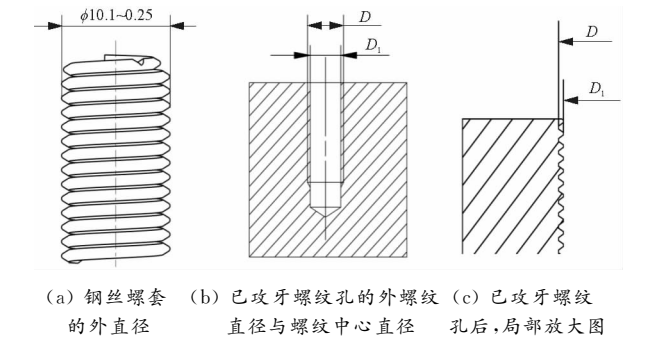


图 3 钢丝螺套安装底孔安装尺寸要求
Fig.3 Installation dimension requirements for the bottom hole of the steel wire insert

通过扭矩数据的比较, 发现挤压成形螺纹比安装螺纹套成形螺纹提升效果更好, 不建议在扭矩要求较高的场合应用钢丝螺套。从拉脱力角度来看, 用于安装 M8

钢丝螺套的螺纹优于通过挤压成形的 M8 螺纹。钢丝螺套可以使载荷更均匀地分布在每个螺纹上, 因此可以显著提高螺纹抗拉脱能力。虽然挤压成形螺纹可以在一定程度上提高螺纹的性能, 但由于孔的基材仍然是铝合金, 因此在拉脱力下并不能显著改善螺纹的性能。如果钢丝螺套的底部基础安装孔的直径过大, 则容易导致钢丝螺套的反向旋转, 并且在承受低拉脱力时也容易导致钢丝螺套滑离底部基础安装孔。

由于铝合金具有良好的延展性, 因此非常适合采用挤压成形螺纹。由于钢丝螺套中钢丝的硬度和耐磨性高于铝合金, 因此可有效提高铝合金螺纹孔的强度和耐久性, 即使反复拧入和拧出螺栓, 也不会损坏内螺纹。另外, 钢丝螺套使得螺纹旋拧方向上的应力分布更均匀^[10]。

3 结 语

使用 AlSi12(Fe)(a) 材料压铸生产铸件, 在材料力学性能合格、高压压铸件内部品质合格、高压压铸件加工后螺纹表面品质合格的基础上, 提出两种螺纹成形工艺, 挤压成形螺纹和安装钢丝螺套成形螺纹, 用来改善 M8 螺纹孔的性能, 并对螺纹的过扭矩和拉脱力进行了比较和分析。结果表明, 两种螺纹成形工艺, 都能够提高铝合金螺纹的性能。

参 考 文 献

[1] CROCCOLO D, AGOSTINIS M D, FINI S, et al. Steel screws on aluminium nuts: Different engagement ratio tapped threads compared to threaded inserts with a proper tolerance choice[J]. Tribology International, 2019, 138: 297-306.

[2] NILS F, ERIK K, CHRISTIAN B, et al. Influence of core hole diameter on thread quality for a high-performance tapping technology in AlSi10MnMg cast alloys[J]. Procedia CIRP, 2022, 115: 42-47.

[3] BIERMANN D, WALTHER F, HANNICH S, et al. Front face flow drilling of lightweight cast materials[J]. Procedia Engineering, 2017, 207: 956-961.

[4] MONI R F, SÉRGIO L, DE OLIVEIRA J A, et al. Analysis of burr formation in form tapping in 7075 aluminum alloy[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84 (5-8): 957-967.

[5] MACIEL D T, FILH O. Characteristics of machined and formed external threads in titanium alloy[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 79(5-8): 779-792.

[6] VDI 2230 Blatt 1-2015. Systematic calculation of high duty bolted joints[S].

[7] HOERNIG T, FRIEDRICH C. Thread reinforcement of screw connections in lightweight design[A]. Asme International Mechanical Engineering Congress & Exposition[C]. Canada, Montreal, 2014.

[8] DBL 9440-2019. Fasteners with metric thread surface protection and supplementary technical delivery conditions[S].

[9] DIN EN ISO 6892-1-2020. Metallic materials-Tensile testing-Part 1: Method of test at room temperature[S].

[10] 唐宜, 高林干, 邓才智, 等. 浅谈提高铝合金螺纹孔性能的三种方法[J]. 铝加工, 2018(6): 4-8.

(编辑:张正贺)