

高强度 ZL205A 铝合金飞机挂架铸造工艺

Casting Process of Hanging Rack on Aircraft Made of High Setrngh Aluminum Alloy ZL205

于桂林 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

YU Gui-lin (Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 根据某飞机挂架的结构特点和使用要求, 结合高强度铝合金 ZL205A 的工艺特性, 分析和讨论 ZL205A 合金飞机挂架的砂型铸造工艺。结果表明: 立式浇注位置设计, 可保证挂架整体性能、成分均匀合理; 贴面冷铁式半金属型激冷, 配以合理冒口补缩, 保证铸件组织致密, 性能优良; 直浇道、横浇道和内浇道截面比为 1 3 5, 并配合带缓冲结构的合理缝隙, 可保证型腔内液面上升平稳, 减少铸件内部二次氧化夹杂和混入性气体; 砂芯整体设计, 可保证挂架尺寸的稳定。

关键词: ZL205 铝合金; 优质铸件; 工艺

中图分类号: TG292 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2001) 01-0043-02

Abstract: According to the practical requirement and the structural feature of the hanging rack on a type aircraft and the casting properties of Al alloy ZL205, the sand casting process of the hanging rack made of ZL205 was discussed and analysed. The results show that vertical casting make the parts have a unified property and chemical composition. Chilling with semimetalic mould lining chiller matched with reasonable riser, make the casting have a compact microstructure and high quality; the 1 3 5 cross-sectional area ratio of the sprue, runner and gate and the rational fissure with cushion structure make the molten metal fill stably in the mould cavity, that reduce the secondary oxide inclusion and the invading gas; designing the sand core in entirety make the casting have a stable structure.

Key words: aluminium alloy ZL205; high quality casting; process

飞机挂架是飞机上的重要部件, 尺寸较大, 结构复杂, 承受静载荷和冲击载荷都较大, 要求自身材料具有高强度, 高刚度, 毛坯铸造质量高, 尺寸精确, 内部组织和性能均匀可靠, 无疏松气孔、夹渣等铸造缺陷, 铸件整体力学性能高。目前大多采用我国自行研制的高强度铸造铝合金 ZL205A 砂型整体铸造成形。不同厂家的工艺各不相同, 而不同的工艺会造成铸件组织分配、力学性能等的差异。本文从实践出发, 找出工艺难点, 详细分析和讨论了挂架铸造工艺, 力求新颖实用。

1 铸造工艺

1.1 合金铸造工艺特性

ZL205A 合金是 Al-Cu 系高强度铸造铝合金, 其化学成分见表 1, 该合金强化元素多, 晶粒得到细化, 在不同的热处理制度下可获得不同的性能, 其特点是强度高, 塑性好, 硬度高, 机械加工性优良, 表面处理性好。但 Al-Cu 系合金是宽结晶温度范围的合金,

铸造性能不好, 不易实现顺序凝固, 壁厚敏感性大, 易产生疏松、热裂、氧化夹渣等铸造缺陷, 对铸造工艺要求高, 要强化激冷、加强补缩并在浇注系统上采取必要的工艺措施, 创造较大温度梯度, 形成较好的顺序凝固条件, 才能获得致密的组织和优质铸件, 充分发挥 ZL205A 合金的高强度特性。

表 1 ZL205A 合金化学成分 (%)
Table 1 Chemical composition of ZL205 alloy

元素	铜	锰	钛	锆	硼	镉	钒	硅	镁	铁	铝
范围	4.6 ~ 5.3	0.3 ~ 0.5	0.15 ~ 0.35	0.05 ~ 0.20	0.005 ~ 0.06	0.15 ~ 0.25	0.05 ~ 0.30	< 0.06	< 0.05	< 0.15	余量

1.2 挂架的结构特点

不同机种和用途的挂架, 其尺寸和结构都有差异, 但其形状和总体结构又很相似, 这里以某飞机挂架为例, 其结构和工艺简图如图 1, 特点为:

(1) 整体呈扁平状, 结构复杂, 外形尺寸大, 内

腔中隔板和筋条多, 不易观察和测量。

(2) 壁厚较均匀, 热节集中。

(3) 内腔及上下两面窗口多, 位置精度要求严格。

(4) 挂点位于上下两面, 尺寸厚大, 性能要求高。

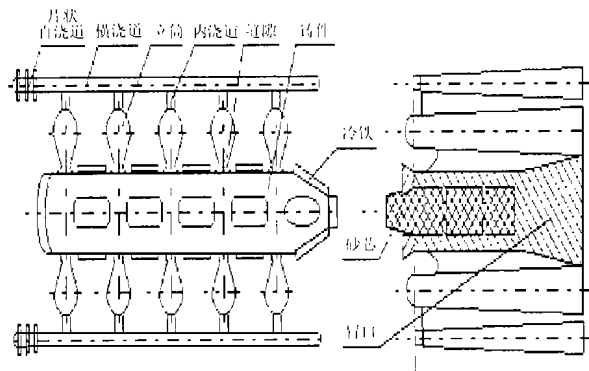


图1 挂架结构及工艺简图

Fig. 1 Sketch of hanging rack structure and casting process

1.3 铸造工艺要点分析

由图1所示, 该铸件装配状态为立式。在飞机拉升和降落时, 挂架会受到较大的冲击载荷, 因此要求挂架各部位受力均匀, 两侧面组织一致。为达到此项要求, 采用立式浇注位置, 可保证铸件两侧面在结晶时成分、组织、性能一致, 从而使挂架整体性能、成分均匀合理, 充分满足使用要求。ZL205A 合金呈粥状凝固方式, 必须加强激冷, 才能保证组织细小致密和强化顺序凝固, 从而使各部位都得到良好的补缩。该铸件高度较高, 厚度相对较厚, 采用贴面冷铁半金属型式激冷, 使整个铸件外表面除顶部以外都包围在冷铁之中, 在结晶凝固时充分得到激冷, 从而起到细化组织、提高性能的作用。同时, 将冷铁设计成顶部薄底部厚的形式, 这样可强化顺序凝固趋势, 有助于凝固时自下而上的顺序补缩, 保证铸件组织致密, 减少疏松的产生。冷铁采用铝制冷铁, 冷铁的平均厚度取被激冷处壁厚的1~1.2倍, 有集中热节处的冷铁厚度适当加厚, 可增加到热节圆直径的1.5倍左右, 以保证被激冷处的组织。激冷要与补缩相配合, 才能达到最理想的效果, 在铸件顶部设计冒口, 冒口的尺寸适当加大加高, 取150~160mm, 以增加补缩压头, 充分转移热节, 以保证铸件组织致密, 性能优良。铸件结构复杂, 尺寸大, 内腔隔板和筋条多, 窗口多位于上下两面, 铸件内腔设计成整体砂芯, 利用上下面的窗口设计过渡芯头, 将砂芯引出腔外, 再设计大芯头将各过渡芯头联结在一起, 以保证定位和排气, 利用两侧面的窗口设计辅助芯头, 以辅助定位和排气。设计整体砂芯, 即有利于保证型腔的结构尺寸稳定, 又有利于增加砂芯的排气效果, 同时使砂芯安放平稳,

操作简单, 并易于测量和调整。

1.4 浇注系统的设计要点

1.4.1 浇注系统分析

该铸件的浇注系统由直浇道、缓冲槽、横浇道、内浇道、立筒和带缓冲结构的缝隙组成(图1)。其中, 缓冲槽可有效起到缓冲的作用, 防止第一股冷金属在流向改变时产生飞溅和紊流, 减少二次氧化夹杂的生成。直浇道设计成一组片状浇道, 可有效起到阻流和挡渣作用, 横浇道设计成平行于两侧面的梯形截面形式, 使金属液通过内浇道和缝隙浇道均匀的引入整个型腔。挂架铸件高度较高, 侧壁为大平面, 可设计合理的缝隙式内浇口引入金属, 以减少金属液进入型腔时的垂直下落高度, 使流动平稳, 减少二次氧化夹渣在型腔中生成, 从而减少铸造缺陷的产生。同时有利于自下而上的顺序凝固, 随金属液在缝隙和型腔中的逐渐上升, 合理的分配了热量, 创造良好的顺序凝固条件。此外, 在侧壁上设计的缝隙浇道引入冒口, 可使立筒中的金属液通过缝隙有效的对引入部位进行补缩, 并可增加冒口的补缩效果。合理分配缝隙浇口, 保证各缝隙间距, 可使型腔中的金属液流动平稳, 热量分布均匀合理, 减少分散性疏松的产生。

1.4.2 浇注系统参数设计

浇注系统最小截面比取 $F_{直} F_{横} F_{内} = 1 \sim 3$, 铸件毛重(G) 200kg, 浇注系统最小截面积为 $F_{min} = K_2 G$, 其中 K_2 取 0.1, 则 $F_{min} = 20\text{cm}^2$ 。直浇道采用每片截面为 $0.8\text{cm} \times 4\text{cm}$ 的一组片状组成, 对称的分布左右两侧, 过滤采用孔洞率大于 70% 的陶瓷过滤网, 安放过滤网处截面相对扩大, 保证通过面积。缝隙浇道典型结构见图2, 采用缝隙和立筒相切形式, 立筒 D 和缝隙的最小 b 为 $D = 4b$, b 为引入处壁厚尺寸, 立筒中心线距铸件外壁 a 取 $a = 1.3D$ 。缝隙底部采用图2的缓冲设计, 可减少金属液对型芯的冲击和避免

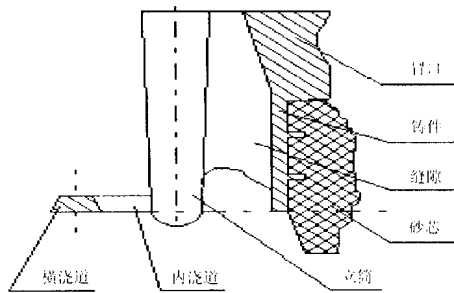


图2 缝隙浇道结构简图

Fig. 2 Sketch of fissured sprue structure

产生紊流、窝气及二次氧化夹渣。缝隙起始于铸件底面以上 30mm 左右处和立筒底部 40mm 以上, 并以圆

(下转第 39 页)

区中的过热区韧性最差(见图5),强度则是马氏体层最高,部分重结晶区最低。而疲劳裂纹扩展实验表明,裂纹扩展正是选择了韧性最差的热影响中的过热区,这说明组织对裂纹的抗力取决于组织的韧性;从另一方面看,如果组织的强度是控制裂纹的主要因素,则实验中的裂纹应该在部分重结晶区扩展。

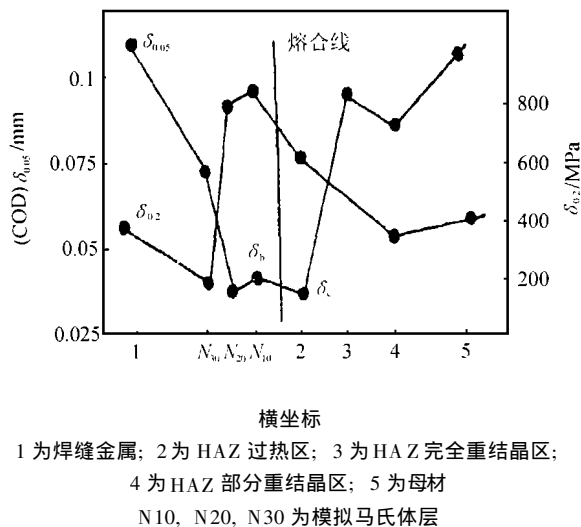


图5 25Cr13Ni/13CrMo44接头强度与断裂韧性分布

Fig. 5 The distribution of the strength and fracture toughness in the 25Cr13Ni/13CrMo44 dissimilar metal joint

在线弹性范围内,疲劳裂纹的扩展是循环应力作用下裂纹尖端钝化、锐化的交替过程,每次循环裂纹的扩展量 da/dN 和裂纹张开位移 δ 有关。即 $da/dN = f(\delta)$ 。在线弹性条件下,裂纹尖端张开位移(即 COD)和应力强度因子 \bar{K}_I 有关,即 $\delta = K_I^2/E\sigma_s$,这样疲劳裂纹扩展过程就受到裂纹尖端的应力场影响。

Francis 和 Hall^[6]在研究表面裂纹疲劳扩展时得出循环寿命主要是 K 比值的函数,其中 K 是循环应力变化一周的最大应力强度因子, K_{IC} 是材料的断裂韧度,在实验中 K 是不变的,这样疲劳寿命就是由材料的韧度 K_{IC} 决定的,也就是说疲劳裂纹的扩展量以及扩展方式与材料的有关,这一点与本文中的实验结果一致。从图5可以看出,马氏体层的断裂韧性值高于 HAZ 过热区,而且其强度也高于 HAZ 过热区,因而疲劳裂纹以一定的角度与熔合线相遇后,便在 HAZ 过热区扩展。

4 结论

(1) 疲劳裂纹在 Cr25Ni13/13CrMo44 异种钢焊接接头熔合区中扩展的路径,是接头中韧性最低的热影响区过热区,裂纹在铁素体材料侧,跟随熔合线并

平行于熔合线 $5 \sim 25 \mu\text{m}$ 扩展。而马氏体层对疲劳裂纹有较大的抗力,在异种钢接头熔合区的非均匀组织中,裂纹的扩展主要受组织韧性控制。

(2) 疲劳裂纹在 Cr25Ni13/13CrMo44 异种钢接头的扩展速率: $da/dN = 7.07 \times 10^{-13} (\Delta K)^{3.863}$

参考文献

- [1] 罗尔夫 ST, 巴逊姆 JM. 结构中的断裂与疲劳控制——断裂力学的应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985. 263
- [2] 愈德刚, 谈育熙. 钢的组织强度学 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1983. 394
- [3] 王智慧, 徐碧宇, 叶赐麒等. 奥氏体/铁素体异种钢焊接接头熔合区组织的研究 [J]. 北京工业大学学报, 1988, 14 (4): 9
- [4] 陈旒. 三点弯曲断裂韧度的应力强度因子 K_I [J]. 力学, 1974, (3): 124
- [5] 戈康达 S. 金属的疲劳与断裂 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1983. 151
- [6] 王智慧, 徐碧宇, 叶赐麒. 异种钢焊接接头熔合区马氏体断裂韧性的模拟研究 [J]. 焊接学报, 1989, 10 (2): 95
- [7] Broek D. Elementary Engineering Fracture Mechanics. Noordhoff International Publishing. Leyden, 1974. 70

收稿日期: 2000-01-31; 修订日期: 2000-10-17

作者简介: 王智慧 (1956-), 男, 北京工业大学材料科学与工程学院副教授。主要从事异种钢焊接接头的研究和金属表面强化研究。联系地址: 北京朝阳区平乐园 100 号, 北京工业大学材料科学与工程学院 (100022)。

本文编辑: 李海霞

* * * * *

(上接第 44 页)

角过渡,可有效防止铸件底部过热,创造良好的顺序凝固条件。

2 结论

立式浇注位置设计,可保证挂架整体性能、成分均匀合理;贴面冷铁式半金属型激冷,配以合理冒口补缩,保证铸件组织致,性能优良;直浇道、横浇道和内浇道截面比为 1:3:5,并配合带缓冲结构的合理缝隙,可保证型腔内液面上升平稳,减少铸件内部二次氧化夹杂和混入性气体;砂芯整体设计,可保证挂架尺寸的稳定。经过多件的试制和生产,合格率可达 85% 以上,说明该铸造工艺合理、可靠。

收稿日期: 2000-08-15

作者简介: 于桂林 (1941-), 男, 高级工程师。联系地址: 北京 81 信箱 71 分箱 (100095)

本文编辑: 孙常青