

# 采用连铸连锻的技术防治合金铸件缺陷

崔长齐, 闫绍国, 林晨华, 龚瑞, 武美, 马红玉  
(北方华安工业集团有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:** 分析了7A04铝合金铸造工艺中出现各种缺陷的成因,在现有生产设备的基础上提出采用连铸连锻工艺降低7A04铝合金铸造缺陷出现的几率,验证了连铸连锻工艺的可行性,指出了采用连铸连锻工艺的注意事项。

**关键词:** 连铸连锻; 铸造; 缺陷; 7A04 铝合金

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.04.018

**中图分类号:** TG21<sup>+</sup>3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2013)04-0069-05

## Solution to the Defect of Aluminium Alloy Foundry Goods by Continuous Casting and Forging Process

CUI Chang-qi, YAN Shao-guo, LIN Chen-hua, GONG Rui, WU Mei, MA Hong-yu  
(North Hua'an Industry Group Co., Ltd., Qiqihar, 161006, China)

**Abstract:** This paper analyzes the cause of formation of defects in casting procedures of 7A04 aluminium alloy, suggests a technique of continuous casting and forging process based on the existing facilities, proves the feasibility and points out the precautions.

**Key words:** continuous casting and forging; cast; defect; aluminum alloy 7A04

随着产品轻型化技术的发展,铝合金材料的应用越来越广泛,许多产品开始大量使用7A04铝合金材料。用7A04铝材制造零件毛坯的成形方式主要有以下3种:铸造工艺成形,铸造工艺制坯、锻压工艺成形,铝型材锻压工艺成形。

近年来采用铸造成形技术生产的7A04铝合金产品越来越多。在某些特定的产品中,通过采用铸锻联合的工艺方式,用7A04铸铝取代7A04挤压棒材进行生产,不仅极大地降低了产品的用料成本,同时大幅度提高了零件的抗冲击能力,提升了产品的整体质量,其长远的经济效益十分可观。

正是由于采用铸造工艺成形、制坯的铝质零部件越来越多,如何解决铸造工艺中出现的各种质量问题,提高工艺的可靠性,成为保证产品使用性能、

提高产品的良品率、降低生产成本的关键。

## 1 铝合金铸造工件中存在的质量问题及成因分析

由于受诸多因素的影响,许多先进工艺技术的应用都是在原有老设备基础上进行的,工艺过程中的许多环节都需要人工控制,因此工艺的稳定性较差。由于7A04铝材属于高强变形铝合金,其热膨胀系数较大,不适合采用铸造工艺生产,因此要求对铸造过程中的各种工艺参数进行严格控制。在7A04铝材的铸造产品中,通常易出现疏松、缩孔、热裂纹、夹渣、气孔、粗晶等组织缺陷,严重影响了7A04铝合金铸造产品的质量,甚至造成批量废品。

**收稿日期:** 2012-10-19

**作者简介:** 崔长齐(1962-),男,河北乐亭人,高级工程师,主要研究方向为冷、热成形。

## 1.1 缩孔、疏松

缩孔(如图1所示)是7A04铝合金铸锭组织疏松(如图2所示)更严重的一种表现形式,通常情况下,组织疏松是由于铸锭的保压时间不足,坯料的出模温度过高造成的。疏松组织的金相图片如图2所示。

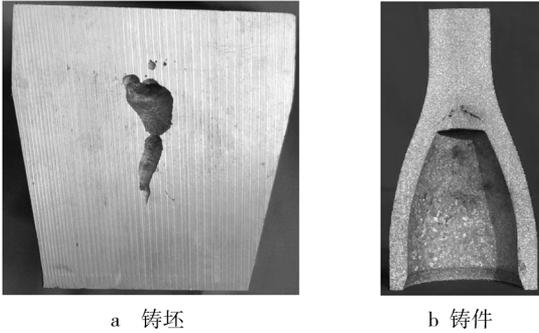
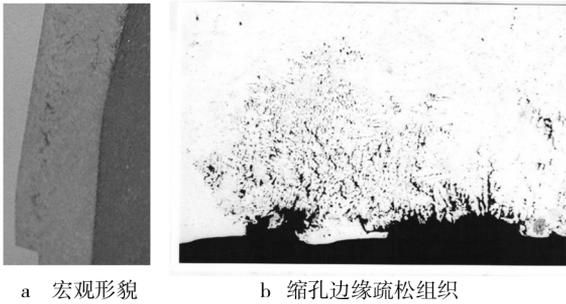


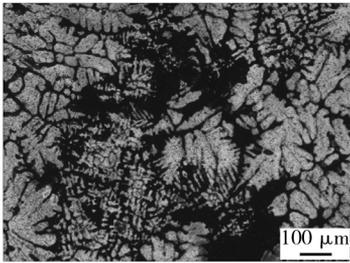
图1 缩孔现象

Fig. 1 Shrink holes



a 宏观形貌

b 缩孔边缘疏松组织



c 疏松组织的高倍金相图片

图2 疏松组织

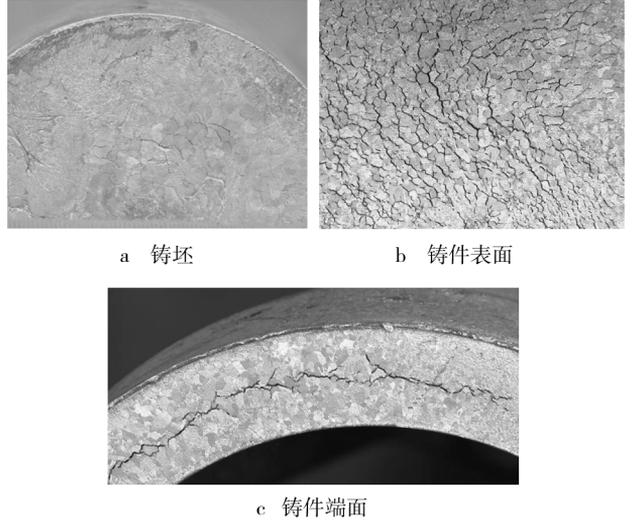
Fig. 2 Porous microstructure

由于7A04铝材的热膨胀系数较大,若铸件出模后温度过高,铸件在空气中进一步冷却时,铸件外壁首先受冷硬化。当铸件内部的金属因进一步降温收缩时,外表体积无法收缩,造成铸件心部(铝水最后凝固部位)出现组织疏松现象,情况严重的形成

缩孔。

## 1.2 热裂纹

热裂纹(如图3所示)也是由于7A04铝坯的出模温度过高造成的。当温度过高的铸坯在空气中进一步冷却收缩时,因收缩量大,铸坯外壁晶粒间的强度不足而产生裂纹。



a 铸坯

b 铸件表面

c 铸件端面

图3 热裂纹

Fig. 3 Thermal cracks

## 1.3 夹渣

铸锭中夹渣物的来源很多,经过多次观察发现,生产的7A04铝合金铸件中夹渣物主要为石墨夹渣(如图4所示)和金属氧化物(氧化铝)夹渣(如图5所示)。

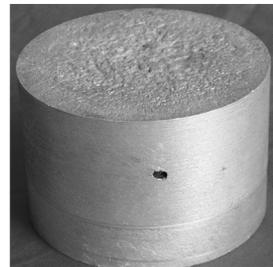


图4 石墨(脱模剂)夹渣

Fig. 4 Graphite (remover) slag

石墨在压铸铝锭过程中的脱模效果很好,但在铝液倒入模具内的过程中,模具上的一些微小石墨颗粒可能被冲入铝液中,铝水固化后形成夹渣。单纯的石墨夹渣一般很小,通常只能在高倍显微镜下



图5 金属氧化物夹杂  
Fig.5 Metal oxide impurities

才能发现。图4中铝锭的缺陷为气孔,同时含有石墨(脱模剂)夹杂。由于在浇铸铝液的过程中采用定量勺浇铸,氧化铝在熔铝的温度下不会熔化,始终漂浮在铝液表面,因此,极易将漂浮在铝液表面上的氧化铝带入铸模形成夹杂,如图5所示。

#### 1.4 气孔

气孔的生成,主要是由于在浇注铝水的过程中,因7A04铝合金液体及模具的温度较低造成的。当铝液的温度过低时,粘性大,固化快,包裹在铝液中的气体不易排除,固化后形成疏松组织,严重时形成气孔,如图6所示。



图6 气孔  
Fig.6 Bubbles

#### 1.5 粗晶的成因及危害

某7A04铸造产品的粗晶低倍试样如图7所示

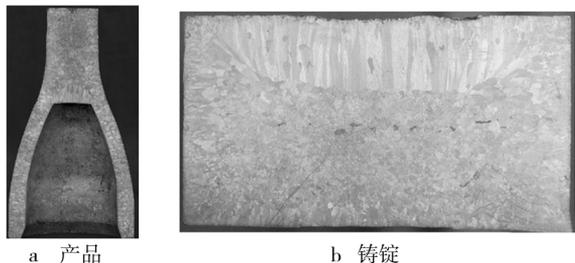


图7 粗晶试样  
Fig.7 Coarse crystal samples

示,其成因主要是由于铝液浇注时温度过高、模具(阴模和阳模)的预热温度不够。粗晶会导致产品的强度和塑性降低。

## 2 解决方法

由于形成这些缺陷的原因来源于诸多方面,单纯依靠完善工艺条件来解决很难实现。若想在现有的设备条件下将这些问题一并解决,只有采用新工艺技术。

坯料的出模温度高是造成缩孔、疏松、热裂纹等缺陷的主要成因。根据这一特点,利用铸造坯料本身的余热,预先为坯料留出变形余量,采用锻造的方法最终完成坯料成形。

在现有的设备条件下,采用连铸连锻工艺代替传统的铸造工艺,可以降低缺陷产生的几率,解决因工艺参数的波动以及人为因素对产品质量产生的不良影响。

采用连铸连锻的方式进行生产时,不能为了成形容易而随意提高铝坯的始锻温度,铝坯的温度应控制在 $240 \sim 460 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,其最佳的锻造成形温度为 $380 \sim 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

采用连铸连锻的方式进行锥形件生产时,最好能在同一凹模内完成坯料成形。若中间确需更换凹模,要求第2个凹模的孔径应略小于第1个凹模,防止出现锻造裂纹。

## 3 可行性分析

连铸连锻是先进行金属液充型(其充型压力可以是低压,也可以是高压),待凝固后,进行封闭模内锻造。由于采用铸造工艺生产的铝合金零件壁厚相对较厚,因此壁厚较厚的工件,适合采用连铸连锻的工艺生产。

由于铝铸件中的缩孔、疏松、热裂纹等缺陷是在坯料出模后的冷却过程中形成的,因此,利用坯料自身的余热,在坯料未降温前进一步对坯料施加压力(连铸连锻),使坯料失去了形成缩孔、疏松、热裂纹等缺陷的时机,能够降低形成缩孔、疏松、热裂纹等缺陷组织出现的几率。

在利用坯料余热锻造成形的过程中,由于金属

流动的原因,在坯料中存在形状不规则的夹渣、气孔、粗晶组织等因受力而被压扁,并随金属的流动,形成与产品外形相平行的缺陷(如图8所示)。

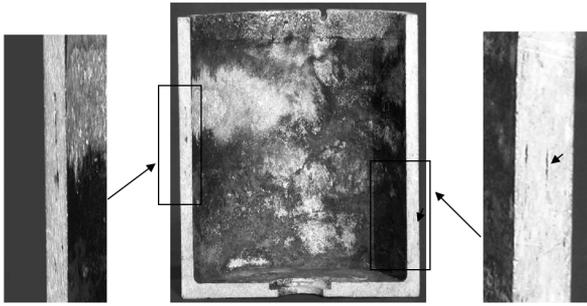


图8 经高温实验后回收并制成的低倍试样

Fig. 8 Macroscopic samples of a product recovered and manufactured after high temperature test by casting process

这种与内壁平行的片状夹渣缺陷,在铸造阶段形成夹渣时,其形状应当是不规则的,对产品的使用性能危害极大。在锻造成形的过程中,这种不规则的夹渣因受力而被压扁,并随金属的流动形成与产品外形平行,形状较为规则的夹渣缺陷。

这种形状相对规则、与产品外形相平行的缺陷组织,因其伸展方向与产品受力的方向一致,最大限度地降低了缺陷组织对产品使用性能的影响,其危害程度会大大降低。同时,因坯料的组织形态由铸造组织转化为锻造组织,坯料的各项力学性能指标也会得到显著改善,使产品的质量得到提高。

经过实地调查、测量,铸造7A04坯料的出模温度一般都在240~300℃之间,在此温度条件下,7A04铝材的屈服强度为100~330MPa。通过对多数坯料成形所需要的最小应力及现有设备的能力(315t)计算,按照设备能力的70%~85%计算,315t油压机能够提供的冲压力为224~267t,冲制现有产品时可达到430~522MPa的压力,理论上完全能够满足产品采用连铸连锻工艺方法的要求。

## 4 效果验证

### 4.1 空心锥体件成形试验

对采用铸造工艺成形的某7A04空心锥体件,采用预留变形余量(孔深)为0,5,10,15,20,25mm,分6组进行了连铸连锻的成形试验,获得的低

倍组织如图9所示。可以看出,当变形量(冲压深度)达到15mm以上时,在坯料内壁部位就能够获得与铸造组织明显不同的锻造组织。经过测试,其组织性能特别是伸长率得到了明显的提高。

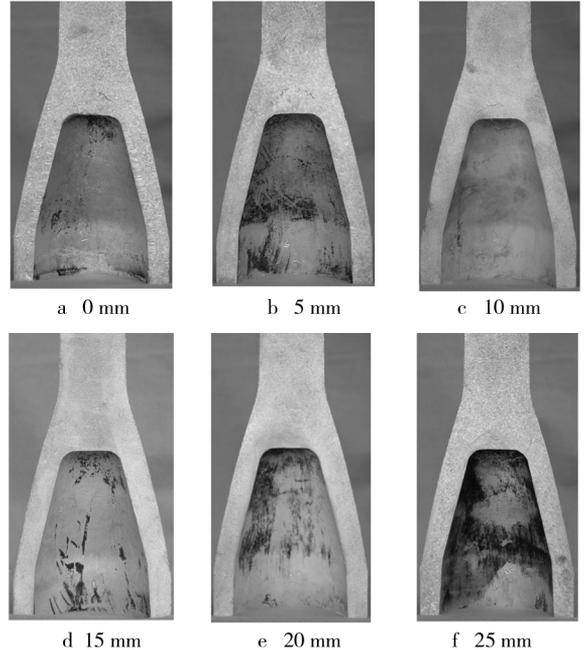


图9 预留变形余量进行连铸连锻成形后获得的试样

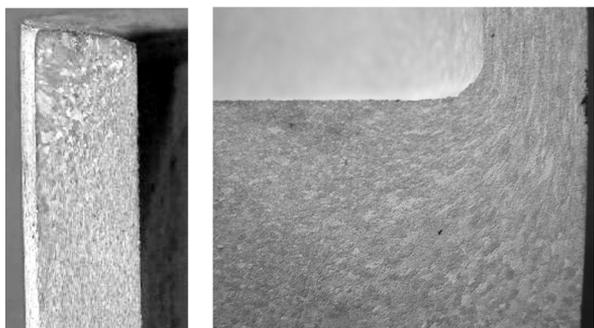
Fig. 9 Samples from continuous casting and forging process in presetting deformation allowance

### 4.2 杯形件成形试验

对采用铸造工艺制坯,锻造成形工艺的7A04杯形件进行试验。由于工件的冲制深度过大,冲制过程中的摩擦阻力增大,设备的能力不足,工件没有完成最终尺寸的成形。对坯料成形的部位进行解剖分析,获得了铸造组织变形后的形态,如图10所示。可以看出,毛坯的口部、外壁和底部都形成了不同程度的纤维组织(锻造组织),没有明显的铸造组织存在,产品的力学性能得到了极大的提高。

### 4.3 空心锥台体成形试验

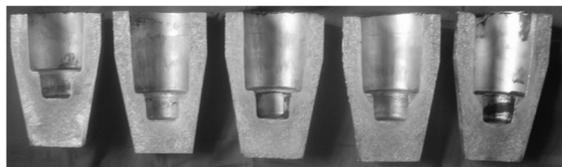
对采用铝型材锻压成形的空心锥台体进行连铸连锻的成形试验。用7A04铸造铝合金代替7A04铝型材,采用连铸连锻的成形方式进行坯料成形试验,在不同的冲压深度条件下,获得的低倍组织如图11所示。



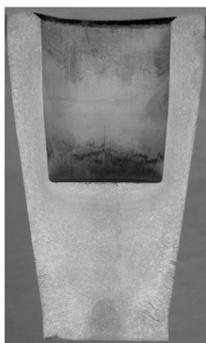
a 工件口部、壁部

b 工件底部、壁部

图 10 7A04 杯形件铸造组织转化为锻造组织的低倍试样  
Fig. 10 Macroscopic samples of 7A04 aluminium ally cup whose casting microstructure changes into forging microstructure



a 第1组



b 第2组

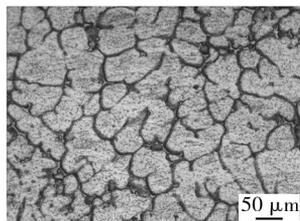
图 11 7A04 铝合金铸造组织转化为锻造组织的低倍试样  
Fig. 11 Macroscopic samples of 7A04 aluminium ally whose casting microstructure changes into forging microstructure

#### 4.4 力学性能检测及金相组织分析

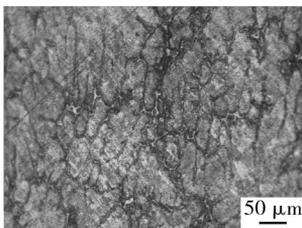
1) 对以上各组采用连铸连锻工艺生产的坯料经热处理后,通过物理性能测试,其非比例伸长强度不小于 410 MPa,伸长率不小于 8%。经过实弹射击(强度试验、高温试验、效应试验)后证明,产品的各项指标完全符合产品的使用性能要求。

2) 对采用铸锻工艺生产的某产品中 7A04 铝合金零件,其坯料的铸造组织(高倍)如图 12a 所示。

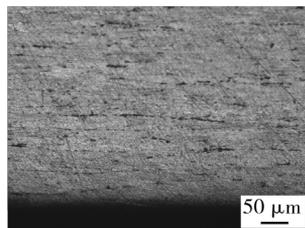
在锻造开始阶段,其铸态组织在外力作用下开始产生流动变形,形成锻造组织(高倍)如图 12b 所示。完成锻造过程后,获得的完全纤维化的锻造组织(高倍)如图 12c 所示。



a 坯料



b 锻造开始阶段



c 锻造过程完成阶段

图 12 7A04 铝合金铸造组织

Fig. 12 The casting microstructure of 7A04 aluminium alloy

## 5 结语

采用连铸连锻的工艺方法能够极大降低铸造工艺中疏松、缩孔、热裂纹等现象出现的几率,并能够降低夹渣、气孔、粗晶等缺陷对产品性能产生的影响,同时,工件的力学性能也会得到相应提高,产品的质量会得到明显改善。

#### 参考文献:

- [1] 陈炳光,陈昆. 连铸连锻技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 王仲仁. 锻压手册(锻造)[M]. 北京:机械工业出版社,2002.