

# 镁合金压铸废料绿色回收过程质量控制及应用

刘金平\* 李遠發 单巍巍 黄永铨  
(深圳嘉瑞集團)

**摘要:** 针对镁合金压铸生产成本的减控、企业资源的循环利用、生产安全管理和环境因素等问题, 嘉瑞集团应用经济、连续、高效、安全、环保的镁合金工艺废料回收技术实现了压铸镁合金废料的回收, 回收成本不足合金售价的 3%, 并通过改进熔炼工艺, 添加辅助合金材料, 获得了符合 ASTM B94 标准的回收镁合金。同时, 在公司表面质量、内部质量要求严格的电子产品实现了添加 50% 的回收镁合金, 直接节省压铸原料成本 48.5%, 进一步实现公司节能减排战略。

**关键词:** 压铸废料、绿色回收、质量控制

## Application and Quality control of Magnesium Die-casting scraps Green Recycling

Jinping-liu\* Yuanfa-Li Weiwei-Shan YongQuan-Huang  
(ShenZhen KaShui Group)

**Abstract:** In terms of production cost, recycling material, safety management and environmental protection. KaShui group accomplish die-casting scraps recycling which make use of the cost-efficient, continuous, safe and environment friendliness recycling technology, and the recycling cost is less than 3% of alloy price. Through improving the melting technology, adding other alloys, we gain the recycling magnesium alloys which accord with the ASTM B94 standard. At the same time, we accomplish to add 50% the recycling magnesium alloy to electronic product which surface quality and interior quality is very rigid. It save the die-casting cost 48.5%, and make further realizing energy saving and emission reduction tactic of group.

**Keywords:** Die-casting magnesium scrap; Green recycling ; Quality control

### 引言

镁比重低、比强度高、导热导电性好, 阻尼减振、电磁屏蔽、易于机械加工和可回收等优点, 被誉为“21世纪绿色工程材料”。已广泛用于汽车、航空航天、3C产业和通信领域。近10年以来, 以年均超过15%的速度增长。镁合金废料主要产生于压铸生产和加工, 所产生的浇道、水口、渣包、废铸件约占总投炉料的40%~60%。随着能源和环保问题的日益突出, 镁合金作为战略轻质材料和可回收性绿色材料备受关注, 如何回收利用这些废料已引起国际上的广泛重视<sup>[1]</sup>。

目前, 除极少压铸厂能够自行回收镁合金废料外, 压铸镁合金废料主要由镁合金铸锭供应商负责回收, 重熔精炼。除废料收集保存等不安全因素外, 废镁的异地重熔精炼会导致压铸生产成本的提高, 导致镁合金压铸产品与其他材料的竞争中失去性价比优势。所以, 对镁合金压铸厂来说, 实现废镁合金的低成本现场回收对降低压铸生产成本、降低废料的安全风险、实现资源的综合利用具有重要意义<sup>[2]</sup>。

本文简要综述了镁合金废料无熔剂精炼技术, 详细介绍了嘉瑞集团创金美科技(深圳)有限公司厂内回收镁合金质量控制, 并从回收镁合金的成份、显微组织、耐蚀性能、技术经济指标以及回收镁合金锭在压铸生产中的应用进行了较详细介绍。

---

刘金平 男 嘉瑞集团研发部材料研发与应用工程师

## 1. 镁合金无熔剂回收技术

近几年，高级别镁合金废料的熔剂回收技术取得了很大进展。图 1 给出了现有各种无熔剂重熔精炼回收技术的主要工艺流程。它由废料分类、清理预热、气体保护重熔、气体精炼除气精炼、固体夹杂物理分离、化学成分调节、铸锭等主要工序构成<sup>[3][4][5]</sup>。

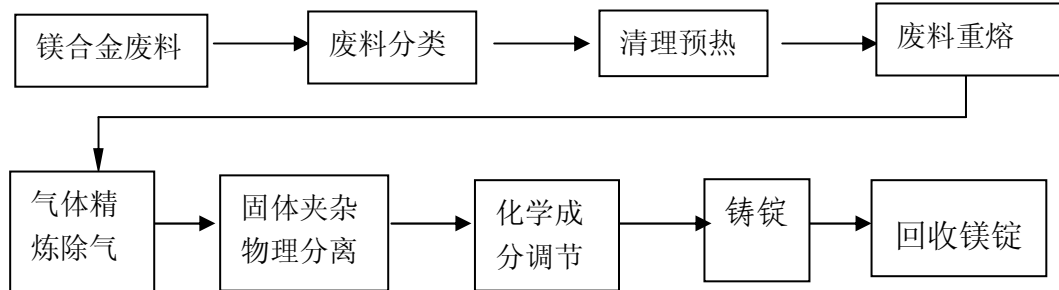


图 1 镁合金废料无熔剂回收工艺流程图

(Fig 1 Process flow-chart of flux-less recycling of Mg alloy scrap)

## 2. 嘉瑞集团镁合金废料绿色回收

### 2.1 嘉瑞集团绿色回收技术经济性指标

嘉瑞集团自从引进新型绿色无熔剂回收系统以来，已回收镁合金达 800 吨，回收率超过 90%，同时对回收过程中各控制参数指标进行了测试，如表 1 所示，每吨废镁合金回收成本为 596 元（不包含设备折旧费），镁合金 AZ91 市价为 20000 元/吨，即回收费用不到合金售价的 3%。

表 1 废镁无熔剂连续重熔回收系统技术经济指标

(Table 1 the tech-economic features of the flux-less continuous Mg recycling system)

回收控制工艺指标	消耗量
废镁出锭率	>90%
耗电 (0.7 元/度)	480~500 度/吨 (镁合金锭)
保护气体 (氮气, 氩气和 SF <sub>6</sub> )	86 元/吨 (镁合金锭)
易损件 (过滤介质, 定量泵, 热电偶等)	8.4 元/吨 (镁合金锭)
厂房租金 (18 元/平方米*月)	3.6 元/吨 (镁合金锭)
人工资本 (3 人, 2400 元/月*人)	130 元/吨 (镁合金锭)
管理费用 (人工费的 15%)	18 元/吨 (镁合金锭)
吨镁合金废料回收成本	596 元/吨 (镁合金锭)

### 2.2 嘉瑞集团回收镁合金质量控制

#### 2.2.1 添加稀土除气、除渣

镁合金熔体中的夹气和夹渣量，是衡量镁合金质量的一个重要指标，嘉瑞集团废镁无熔剂回收在传统的通入 Ar 气精炼工艺的基础上，通过添加稀土来进一步去除镁合金熔体中的夹气和夹渣，充分利用稀土元素与 O、S、H、N 等元素有很强的化学作用，达到去除镁合金熔体中的 H 和氧化夹杂。

#### 2.2.2 稀土、中间锰合金除 Fe

Fe 是镁合金废料回收必须重点控制的有害元素，去除铁杂质的常用方法是添加适量的锰，嘉瑞集团回收废镁除 Fe 在添加中间锰合金的同时，再添加稀土，同时利用设备多重过滤的效果。根据对实际生产成分的检测，回收镁合金中的 Fe 含量 0.001~0.002% 之间，达到非常好的效果。

#### 2.2.3 添加稀土、铝铍防氧化燃烧

添加一定量的铍，可以有效控制镁合金浇注时的氧化燃烧，但过量的铍会造成合金组织的

粗化，因此添加量在 0.0015%~0.0020%之间。嘉瑞集团尝试添加稀土元素，利用稀土元素与氧有良好的亲和力，并生产致密的氧化膜，能有效的防止燃烧。

### 2.3 嘉瑞集团绿色回收系统精炼效果

#### 2.3.1 合金成分分析对比

为了验证该回收系统回收镁合金锭精炼效果，对市购镁合金锭，热室压铸镁合金废料和回收镁合金锭进行了成分检测。表 1 给出了热室压铸 AZ91D 市购铸锭，热室压铸工艺废料及回收铸锭化学成分对比分析结果。由表可知，回收锭中的 Al 和 Zn 的成份完全符合 ASTM B94 的要求，其中铁，铜和镍等问题元素含量都在 ASTM B94 范围之内。可以直接用于压铸生产。

表 2 原始镁合金锭，热室压铸工艺废料和重熔精炼回收锭化学成分对比分析表

(Table 2 Composition of hot-chamber die-casting scrap, recycling ingots, and raw ingots vs. stand requirement)

元素含量/ %	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni
标准成分	8.3~9.70	0.35~1.00	0.15~0.50	≤0.10	≤0.005	≤0.030	≤0.002
市购镁合金锭	9.32	0.64	0.183	0.045	0.0021	0.0036	<0.0012
废料头	8.72	0.76	0.117	0.072	0.0075	0.0065	<0.0012
回收镁合金锭	9.29	0.64	0.159	0.040	0.0019	0.0047	<0.0012

#### 2.3.2 合金显微组织对比分析

合金成分只是检测镁合金铸锭质量的一个重要指标，镁合金铸锭中的渣量、含杂量和气孔含量是衡量镁合金铸锭品质的主要指标。为此对市购镁合金锭与本厂回收镁合金锭进行了显微组织分析，示于图 4 和图 5，图中箭头所示为夹杂物，由图可知，两种材料都含有少量尺寸较大的夹杂物，大量的夹杂物与锰、稀土形成沉淀物，再经过设备自身沉降过滤除去，剩下的大部分都是尺寸细微，均匀分布，这些细微夹杂物的尺寸都在 10μm 以下。这说明，本厂回收镁合金锭的含杂量与市购镁合金含杂量相当，完全可以作为压铸原料使用。

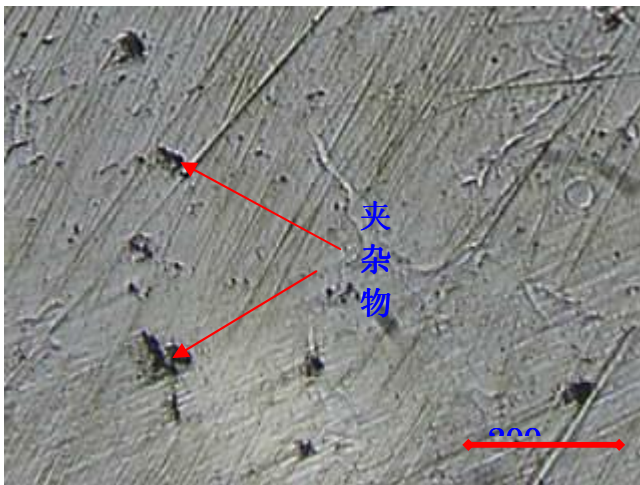


图 2 本厂回收镁合金锭显微组织  
(Fig2 the microstructure of scrap recycling ingots)

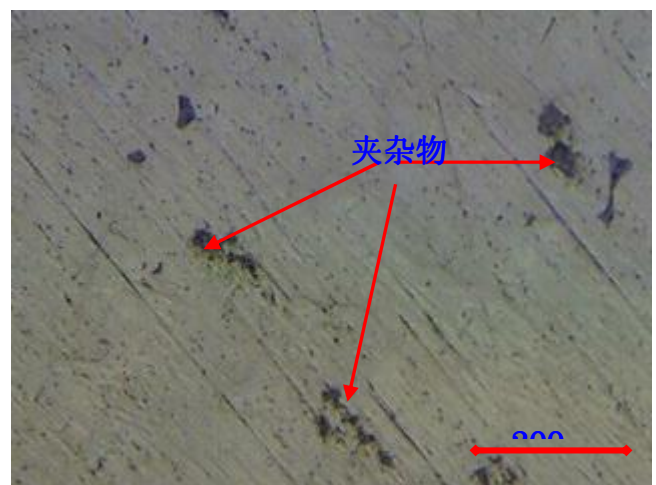


图 3 市购（云海）镁合金锭显微组织  
(Fig3 the microstructure of raw ingots(Yunhai))

#### 2.3.3 合金耐蚀性能对比分析

合金材料的耐蚀性是衡量合金品质的另一个重要指标，本文采用测试合金材料的腐蚀速率来评定合金的耐蚀性能。选取 A 和 B 材料两种，A 为市购镁合金，B 为本厂回收生产镁合金，试样都加工成规格为 20mmX15mmX8mm 长方体，在环境温度 35℃, 5%的 NaCl 溶液中进行 7 天（168h）腐蚀失重试验，试验结果示于表 3。

表 3. 市购镁合金与本厂回收镁合金腐蚀失重分析对比表

(Table 3 the erodent lost weight of scrap recycling ingots and raw ingots)

试样编号	试验前重量/g	试验后重量/g	损失重量/g	腐蚀速率(g/m <sup>2</sup> .h)
A	4.1648	4.0399	0.1309	2.597
B	4.2584	4.0871	0.1713	3.399

由结果可以看出，本厂生产的回收镁合金锭的腐蚀速率比市购（原始）镁合金的腐蚀速率稍大，大 0.802(g/m<sup>2</sup>.h)，还将持续对回收合金锭的耐腐蚀性能进一步改善。

### 3. 嘉瑞集团回收镁合金在压铸生产的推广应用

公司积极响应政府提出的“节能、减排”倡议，不断挖掘企业内部的资源潜力，实现公司资源的循环利用。传统方法回收的镁合金用作压铸原料的比例一般为 20%左右，嘉瑞集团与兄弟单位联合开发的新型绿色无熔剂连续重熔回收技术，并不断的改进熔炼工艺。在保证产品质量、生产稳定的前提下，实现了在公司表面积大而薄、表面质量要求、内部质量要求苛刻的电子类产品实现了添加 50%的回收镁合金的应用。对添加不同比例的回收合金的公司产品的状况示于图 4。由图可知，添加不同比例的回收合金产品的合格率（压铸）很稳定，达到 94%左右，添加 20%的回收合金后，直接节省压铸原料成本 19.4%，添加 50%回收合金后，直接节省压铸原料成本 48.5%。这有效的循环利用公司资源，节约能源消耗，形成压铸废料——回收合金——压铸原料的原料链模式。

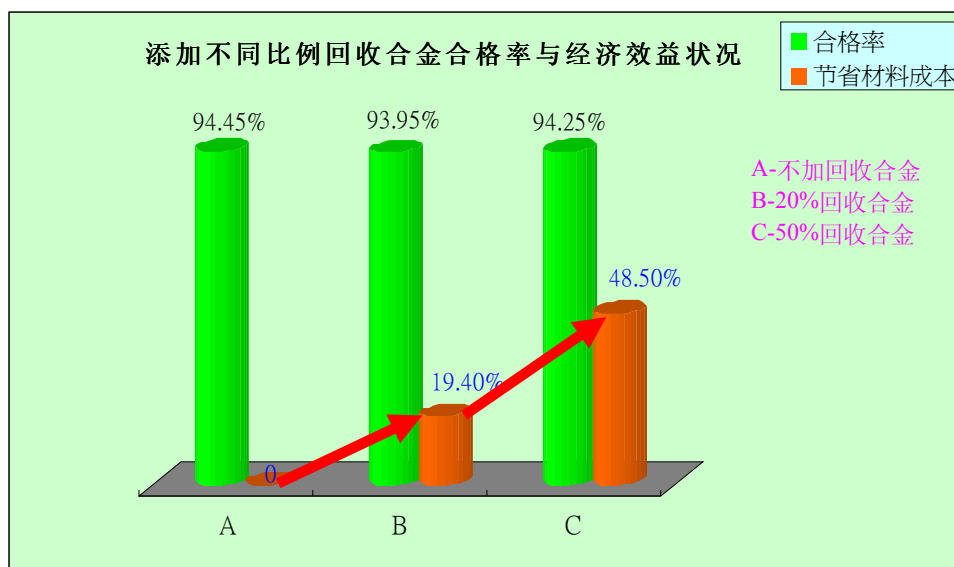


图 4 添加不同比例回收合金产品合格率及经济效益

(Fig4 percent of pass and economic benefit of adding difference recycling magnesium alloy)

### 4. 结语

1)、嘉瑞集团采用绿色无熔剂回收废镁技术，在改进熔炼工艺，采用添加稀土、中间合金和各种过滤技术除铁、去杂获得品质优良、符合 ASTM B94 标准的回收镁合金，并且回收成本不足合金售价的 3%。

2)、嘉瑞回收镁合金，实现了在公司表面积大而薄、表面质量要求、内部质量要求苛刻的电子类产品实现了添加 50%的回收镁合金的应用。添加 50%回收合金后，直接节省压铸原料成本 48.5%。

3)、镁合金压铸废料绿色无熔剂回收技术的产业化应用，使公司形成了压铸废料——回收合金——压铸原料的原料链模式，为公司实现节能、减排、资源的循环利用奠定了坚实基础。

参考文件

[1] Wardlow G D. Recycling must be carefully controlled [J]. Foundry Trade Journal, 1999, 2:18~21.s

- [2] Rioplle L. The recycling of magnesium makes cents [J]. JOM, 1996(10):44~47
- [3] A. Jvaid, E.Essadiqi, S.Bell. B.Davis, Literature Review on Magnesium Recycling, in: A.A. Luo, N. R.Neelameggham, R.S.Beals(Eds.), Magnesium Technology 2006, TMS, Texas, 2006, p 7.
- [4] A.Luo, Magnesium: Current and Potential Automotive Applications, JOM, 54 (2), 2002, p42.
- [5] Magnesium Elektron Ltd, Elektron material Classifications, Datasheet: 260, 2005/06