



镁合金的应用前景和 半固态成形的实践

华中科技大学 (湖北武汉 430074) 肖泽辉 罗吉荣

7A52B

一、镁合金的性质及应用前景

镁的晶格类型为密排六方, 纯镁柔软可锻; 粉状和薄带状的镁易燃烧, 放出大量的热和发出闪耀的白光, 广泛用于焰火、军用信号弹和燃烧弹; 镁的氧化性强, 在冶金生产中常作脱氧剂、还原剂, 在化学工业中用于合成有机制剂; 镁与铝、铜、锰、锌、锆和钽等金属构成合金, 这些合金比纯镁的力学性能更为优良, 是很好的工程结构材料。

镁合金是目前应用最轻的金属型工程结构材料。镁合金密度小, 其密度只有 $1.7\text{kg}/\text{dm}^3$, 是铝的 $2/3$ 、钢的 $1/4$, 比强度高于铝合金和钢, 承受冲击载荷的能力比铝合金大; 镁合金具有良好的阻尼系数, 减振量大于铝合金和铸铁; 镁合金电磁屏蔽性好, 抗电磁干扰能力强; 镁合金的切削加工及铸造性能优良。

据预测, 镁合金的产量将以每年 20% 的速度增长。汽车、3C (即计算机、通信和消费性电子) 产品是拉动镁合金应用增长的重要领域。

汽车应用镁合金零件能减轻整车重量, 降低燃料的消耗量, 增大载重量与速度。早在 20 世纪 30 年代, 德国大众汽车公司在汽车上就使用了镁合金零件。80 年代, 由于采用新工艺, 严格限制铁、铜和镍等杂质元素, 使镁合金的耐蚀性能得到解决, 同时降低成本, 大大促进了镁合金在汽车上的应用。从 90 年代起, 欧美、日本、韩国等主要汽车厂商都逐步开始把镁合金广泛用于汽车零件上。目前镁合金主要用于汽车上的座椅架、仪表盘、转向盘及转向柱、转圈、发动机气缸盖、变速器壳和离合器等零件, 现在有的汽车上已应用镁合金达 60kg, 随着技术的发展将有更多的汽车零件用镁合金来制造。

进入 90 年代, 随着 3C 领域的飞速发展, 镁合金在该领域的应用已成为镁合金应用的最快的增长点。镁合金应用于笔记本电脑、手机、照相机外壳及无线电与通信器材, 显示出独特的优势, 正逐

步形成一种消费时尚和市场热点。目前, 国际 3C 领域对镁合金壳体零件的需求量巨大, 预测 2003 年, 有 300 万部笔记本电脑、5 亿部手机将使用镁合金外壳, 市场前景十分诱人。

用于冶炼的通常有菱镁矿、白云石和光卤石。我国镁资源十分丰富, 现已探明: 菱镁矿总量 31.45 亿 t, 白云石资源储量在 40 亿 t 以上, 青海盐湖蕴藏的氯化镁达 32 亿 t, 再加上丰富的煤炭资源、充裕的劳动力优势, 我国镁的生产具有良好的经济性和竞争性。目前, 我国有镁生产企业 100 余家, 2001 年生产能力达 20 万 t, 已成为世界上第二大镁生产国, 在全球镁工业以及镁市场上扮演着越来越重要的角色, 为我国镁合金的应用发展提供了良好的基础。

二、镁合金半固态成形实践

铸造生产的成形方法有液态成形和半固态成形。目前, 镁合金液态成形方法主要有砂型铸造、挤压铸造和压力铸造。半固态成形, 是一种新型、先进的工艺方法, 与传统液态铸造成形相比, 具有成形温度低 (镁合金可降低 100°C 左右), 延长模具的寿命, 改善生产条件, 细化晶粒, 减少气孔、缩孔, 提高组织致密性, 提高铸件质量等优点。半固态成形工艺被认为是 21 世纪最具有发展前景的精密成形技术之一。

根据工艺流程的不同, 半固态成形通常分为流变铸造 (Rheocasting) 和触变铸造 (Thixocasting) 两类: 流变铸造是对冷却过程中的金属液进行搅动, 将形成的固相枝晶破碎, 形成一定固相分数的半固态金属浆料, 然后将浆料注入压铸机或挤压机内成形 (俗称“一步法”); 而触变铸造是先由连铸等方法制得具有半固态金属组织的锭坯, 然后切成所需长度, 用二次加热装置再加热到半固态状态, 最后移送至压铸机再压铸或挤压成形 (俗称“两步法”)。

我们研究的镁合金半固态成形工艺为流变压铸

成形 (Rheo-diecasting), 它将熔化的镁合金液制成半固态浆料后直接压铸成形。其工艺流程为: 熔化 → 定量加料 → 半固态浆料的制备 → 压铸成形, 它属于一步法成形工艺技术, 实现了镁合金零件的快速制造。

1. 镁合金的熔炼

镁合金高温状态下, 易产生氧化及燃烧。镁合金熔炼应特别注意阻燃和防止其氧化。常用的阻燃、防氧化的方法有熔剂保护法和气体保护法: 熔剂保护法是利用低熔点的化合物在较低的温度下熔化成液态, 在镁合金液的表面铺开, 阻止镁液与空气接触而起到保护和阻燃作用; 气体保护法是利用保护气体与镁反应生成致密的氧化膜, 或在镁合金液的表面覆盖一层惰性保护性气体, 从而隔绝空气中的氧, 达到保护和阻燃作用。

熔剂保护方法生产成本低, 保护效果较好, 但阻燃效果较差, 使用中会释放出呛人的气味, 易使镁合金产生夹杂; 气体保护方法阻燃和防氧化效果好, 对镁合金液质量的影响小。

我们实践中使用气体保护法, 保护气体为 SF_6 。 SF_6 保护和阻燃效果好, 只要百分之零点几就能满足要求, 为便于 SF_6 气的输送和在镁合金液表面扩散, 用 N_2 作为载体。设计的专用混气装置, 保证气体混合均匀, 能方便地调节混合比例和供气量, 具有无气报警的功能, 以保证镁合金熔炼生产的安全。为防止保护气体泄漏, 整个熔炼装置要有良好的密封性。

熔炼坩埚采用双层结构, 内层为耐热锅炉钢板, 外层为高镍铬不锈钢板。即使内层坩埚产生裂纹等破坏现象而发生镁液泄漏, 由于有外层坩埚的阻挡作用, 也不会发生镁液的燃烧, 保证了熔炼的安全性。

2. 半固态浆料的制备

半固态浆料的制备是将半固态浆料中的固相晶体从树枝状转化为颗粒状的组织, 是半固态成形的关键。实践采用半凝固机械搅拌技术, 即将镁合金液冷却保持在凝固区间, 通过搅拌, 破碎树枝状初晶成为颗粒状初晶。搅拌机构为双螺杆结构。双螺杆搅拌对处于凝固区域的液态中的初晶树枝施加力的作用, 使其变形、破碎, 同时双螺杆搅拌还具有挤压和搓碾作用, 使半固态浆料强烈紊流, 促使枝晶熔断, 并抑制初晶呈树枝状的生长趋势。控制双

螺杆制浆装置的温度以及双螺杆的搅拌速度、搅拌时间, 可获得不同初晶组织形态的半固态浆料。在一定范围内, 降低制浆装置的温度, 增大搅拌速度, 延长搅拌时间, 可增加半固态浆料的固相率, 细化其晶粒, 提高颗粒状晶粒的分布均匀度。图 1 所示固相率为 40%、搅拌不充分的镁合金半固态浆料的金相组织, 因搅拌不充分, 对初晶的破碎、熔断作用不足, 在金相组织中存在着未被完全破碎、熔断分离, 仍连在一起的初晶相。图 2 所示固相率为 40%、搅拌良好的镁合金半固态浆料的金相组织, 其金相组织中不存在树枝晶结构, 初晶呈圆粒状, 其晶粒细小、圆整度好、分布比较均匀, 晶粒直径为 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

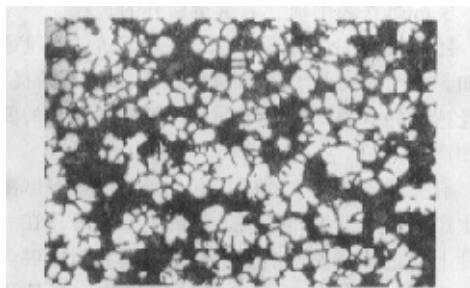


图 1 固相率 40%、搅拌不充分的半固态金相组织

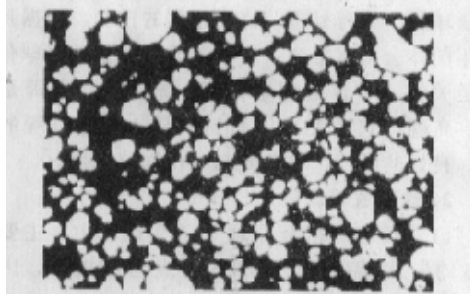


图 2 固相率 40%、搅拌充分的半固态金相组织

3. 压铸成形

镁合金的半固态浆料与液态料相比, 具有温度低, 内含有一定量的固相, 粘度大, 流动性差, 冷却快等特点。镁合金半固态流变压铸成形与液态压铸成形相比, 成形困难。

影响半固态浆料成形最主要的因素是浆料的质量, 浆料的温度越高, 固相率越低, 其成形性越好。半固态浆料具有明显的流变和触变特性, 提高

(下转第 45 页)



冲击值高 5 倍, 过载敏感性也比 35CrMo 及 40Cr 低。此钢作为新型的高强度、高韧性的结构钢, 用于制作截面较大、负荷较重、应力状态复杂或低温下长期运转的机件, 用于制造某些石油机械产品的重要零件, 可大大提高石油钻机和大马力柴油机及天然气发电机在寒冷地区的使用寿命, 并为有效截面 $\phi 100\text{mm}$ 的机器零件提供了合适的低碳马氏体型钢种。

4. 在我厂的典型应用

我厂 190 系列柴油机及天然气机已广泛应用于石油勘探、动力船舶、燃气发电等部门。柴油机的使用环境决定了其零件用材相当优良, 而低碳马氏体钢的优良性能使其在柴油机上得到了应用, 其典型应用是连杆螺栓。

连杆螺栓是典型的尺寸小、重量轻而性能要求又很高的柴油机零件, 其作用是把连杆盖紧固在连杆上, 并承受着很大的往复运动质量惯性, 连杆螺栓的断裂会引起极其严重的事故, 不但连杆本身受到破坏, 曲轴也可能弯曲, 有时甚至会断裂。

我厂连杆螺栓选材为 20CrMnMo, 是低碳马氏体钢种, 兼顾高韧性、高强度, 它淬透性好, 热处理时过热敏感性小, 在高温下仍能保持细小晶粒, 无回火脆性, 在油中临界淬透直径达 $40 \sim 110\text{mm}$ 。与 35CrMo 调质钢相比, 其塑性、韧性大体相同, 但强度显著提高, 静载疲劳敏感性低, 低温冲击值高, 热处理淬火 + 低温回火状态下, 其强度指标和冲击值指标, 远远超出我厂连杆螺栓使用要求, 在中温回火状态下也能满足连杆螺栓的要求: $\sigma_b \geq 1030\text{MPa}$ 、 $\sigma_s \geq 883\text{MPa}$ 、 $\delta_5 \geq 10\%$ 、 $\alpha_K \geq 78.5\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

5. 结语

低碳马氏体结构钢当被用于代替中碳调质钢时, 可大幅度减轻产品重量, 延长使用寿命, 改善工艺性能和提高产品质量, 它的优良性能 (尤其是低温冲击性能) 在石油机械制造中显得越来越重要。对我厂来说, 柴油机及天然气机的使用环境决定了零件选材的重要性, 我们相信通过不断探索和实践, 低碳马氏体钢将发挥越来越大的作用。

(20020918)

(上接第 11 页)

成形的压射压力和压射速度, 改变模具的浇注系统及结构, 增加浆料的充填速度, 可利用浆料的流变和触变特性, 降低其表观粘度, 改善浆料的流动性。半固态浆料压铸成形时, 增压、持压效果不明显。

镁合金半固态压铸对压铸模的模温要求严格控制。模温过低, 易产生充填不足, 出现流痕等缺陷; 模温过高, 将加剧表面的氧化, 降低表面质量, 甚至使半固态组织中的初晶发生畸变。实践中的模温控制器采用高温导热油在分布于压铸模模体中的若干流道内循环输送, 通过高温导热油与压铸模之间发生的热交换, 实现对压铸模温度的快速控制。该模温控制器具有加热和散热双重特性, 便于模温保持在设定的温度点。

如图 3 所示, 在 DCC280 卧式冷室压铸机上压铸成形的、壁厚仅为 11mm 的镁合金半固态压铸件。半固态浆料的温度控制在 $575 \sim 595^\circ\text{C}$ 、固相率在 $10\% \sim 45\%$, 模温控制在 $200 \sim 220^\circ\text{C}$, 该铸件具有良好的成形性, 可获得清晰的图案。采用半固态流变成形的压铸件强度比液态压铸件的强度增加 20% 左右。镁合金半固态流变压铸充形平稳, 金属液氧化损失少, 铸件尺寸精度高, 孔洞类缺陷少, 可进行热处理。但

镁合金半固态流变压铸比液态压铸工艺要求严格。

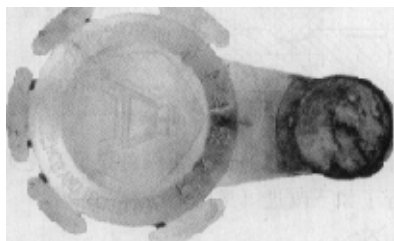


图 3 镁合金半固态流变压铸件毛坯

三、结语

随着我国经济的快速发展, 市场对镁合金制品的需求越来越大。目前国内对镁合金及其成形技术的研究还很缺乏, 我们应当把握机遇, 加大对镁合金及其成形基础技术的研究, 加速我国镁合金成形装备及工艺技术的完善、配套, 重视对镁合金后续加工处理技术工艺的研究, 提升镁合金产品的档次, 增强我国的竞争能力, 把我国的镁资源优势发展成为镁合金的产品优势。半固态成形作为一种新型、先进的工艺方法, 有其独特的优势, 能有效的提高镁合金产品的质量, 促进镁合金的发展, 值得深入研究。

(20021230)