

文章编号 : 1672-4461 (2005) 04-0001-04

# 压铸镁合金的应用与开发

陈学琴<sup>1</sup>, 黄晓艳<sup>2</sup>

(1. 宜春学院, 江西 宜春 336000; 2. 镇江船艇学院, 江苏 镇江 212003)

**摘 要:** 镁合金质量轻、比强度和比刚度高以及良好的铸造性能、电磁屏蔽和减振性能等特点, 使镁合金成为当今工业产品应用增长速度最快的金属材料。随着镁合金应用领域不断扩大, 新型镁合金的研究与开发也不断涌现。本文综述了压铸镁合金的性能特点及其在汽车、电子等工业上的应用及其发展趋势, 分析了我国镁合金行业的现状与发展前景。

**关键词:** 镁合金; 压铸; 应用; 开发

**中图分类号:** TG146 2<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A

## Application and Development of Die-casting Magnesium Alloy

CHEN Xue-qing<sup>1</sup>, HUANG Xiao-yan<sup>2</sup>

(1. Yichun College, Yichun 331200, China; 2. Zhenjiang Watercraft College, Zhengjiang 212003, China)

**Abstract:** Magnesium alloy has many good characteristics such as light mass, high specific strength and rigidity, good casting properties and it also has electromagnetic shielding and vibration insulating properties, which make it a kind of metal material that is most rapidly used in modern industry. The study of magnesium alloy came forth continuously, along with application field enlarged. In this paper, the properties of die-casting magnesium alloy, the application of die-casting magnesium alloy in some fields including automotive and electronic industry etc. are summarized, also the developing tendency in the future is discussed. The present status and prospects of magnesium alloy in our country are analyzed.

**Key words:** magnesium alloy; die-casting; application; development

镁合金被誉为“21 世纪金属”, 具有质轻、吸震性、高比强度、耐变形、高阻尼、可回用性及电磁屏蔽等特性<sup>[1, 2]</sup>, 非常适合应用在 3C (Computer, Communication, Consumer electronics products) 电子产品、汽车业、手提式动力工具、光学电子产品等领域。近年来, 国际厂商争相控制镁资源, 如美国福特公司与 Normandy 矿产公司、澳大利亚联邦科学及工程研究院合作组成澳大利亚镁业公司, 在澳大利亚投资建设全球规模最大的镁生产基地; 美国通用汽车公司与世界最大的镁供应商 NORSKHYDRO 公司签署了长期合作协定, 在加拿大、挪威和俄罗斯建立镁生产基地; 德国大众汽车公司与以色列镁生产厂家合作, 在死海地区合资兴建镁加工厂。中国作为世界镁主要生产国, 将面临跨越式发展的重大机遇。

### 1 压铸镁合金的性能及应用

#### 1.1 基本性能

镁合金是最轻的金属结构材料, 其密度为  $1.75 \sim 1.90 \text{ g/cm}^3$ ; 其比强度高于铝合金和钢, 略低于比强度最高的纤维增强塑料; 其机加工性能优良, 易加工且加工成本低, 加工能量仅为铝合金的 70%; 其耐腐蚀性比低碳钢好得多, 已超过压铸铝合金 A380; 其减振性、电磁屏蔽性远优于铝合金。另外, 镁合金的低密度、低熔点、低动力学黏度、低比热容、低相变潜热以及与铁的亲和力小等特点, 使其具有熔化耗能少、充型变速快、凝固速度快、实际压铸周期短、模具使用寿命长等优势, 极适合于采用现代压铸技术进行成形加工, 直接制备出薄壁和近终形复杂形状的零部件。而且镁合金压铸件的性能优良, 在常规使用条件下替代钢、铝合金、塑料等制件的效果非常好。在实现产品轻量化的同时, 还使产品具有优良的特殊功能, 并且在镁合金压铸件报废后, 还可以直接回收再利用, 符合环保要求。所以, 综合性

能优良的镁合金的应用范围遍布于汽车、计算机、通讯等广阔领域。

压铸镁合金一般以 Al 为主要合金元素,目前常用的压铸镁合金主要有 4 个系列<sup>[3]</sup>:AZ 系列 (Mg - Al - Zn - Mn)、AM 系列 (Mg - Al - Mn)、AS 系列 (Mg - Al - Si)和 AE 系列 (Mg - Al - 稀土)。压铸镁合金与其他材质的比较见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 压铸 Mg 合金与其他材料的典型性能

Material	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	(%, in 51 mm)	E (GPa)
AZ91D	230	160	3	45
AM60B	220	130	6 ~ 8	45
AM50A	220	120	6 ~ 10	45
AE42X1	225	140	8 ~ 10	45
A380	315	160	3. 0 ~ 3. 5	71
碳钢	517	140	22	200
塑料 ABS	35	-	40	2. 1
塑料 PC	104	-	3	6. 7

1. 2 典型应用

过去镁主要用途是生产镁铝合金,到 1990 年压铸镁合金成为镁的第二大用途<sup>[5]</sup>。镁合金结构件一般都是压铸件。据国际镁业协会 (MA)资料,表 2 列出了 2001 与 2002 年全球镁的 3 大主要消费领域的情况。由表可见,压铸用镁急剧增加,以年增长率为 17. 6%的速度增长,照此速度,21 世纪压铸镁合金将成为最主要的镁应用领域。压铸镁合金的快速增长主要是由于对产品轻量化及环保要求的日益迫切、镁合金性能的不断改善及压铸技术的显著进步而促成的。

表 2 全球镁在三大重要领域内的需求量 (t)

应用领域	2001 年需求量	所占比例	2002 年需求量	所占比例
铝合金化	142 810	43. 2%	145 613	39. 9%
压铸	108 630	32. 9%	127 803	35. 0%
钢脱硫	41 940	12. 7%	57 385	15. 7%
总量	330 180		364 959	

镁合金压铸件的应用产业以汽车轻量化零部件占绝大多数,约 80% ~ 90%,但日本、台湾及韩国则以电子 3C 产业为主。从 20 世纪 90 年代起,汽车镁合金零部件使用的年增长率达 20%,在北美高达 35%,欧洲为 60%。由于镁的大量生产,材料价格下降,加速了其在运输工具零部件上大量使用。2002 年,全球镁合金零件产量约 140 kt,其中汽车应用比重高达 74%,其次才是只占 24%的 3C 产品应用。预计 2020 年镁合金汽车使用量将超过 100 kg/辆,福特预测甚至高达 122 kg/辆,而届时全球镁合

金在汽车产业中消费量将高达 5 000 kt/a。国外在汽车上大规模应用镁合金生产的零部件,目前至少已有 60 余种镁合金压铸零部件应用于汽车行业。汽车用镁合金的典型零部件见表 3<sup>[6~8]</sup>。

表 3 镁合金汽车零部件实例

部位	部件名称
驱动系统	发动机缸盖、变速箱外壳、制动器和离合器踏板支架、变速箱传动轴导轨、变速箱起动翼板、离合器外壳、凸轮轴盖、车轮轮毂、变速手柄、摇臂罩、空滤器壳、阀盖、节气联杆、手制动联杆、储油槽、吸气管、气缸盖、曲轴箱、后桥驱动箱盖、油泵壳、油泵底注管
	车内部件
	仪表盘、内饰罩板、方向盘、分电气膜片箱、格栅、发电机托架、座椅架、转向柱、后座
其他	车轮、发动机架、底盘筐、内门板、行李箱盖、工具箱门、仪表盘十字梁、方向指示器壳

近年来,电子信息产业的迅速发展又为镁合金开辟了另一个市场空间。全球 3C 产品采用镁合金持续增加。在 2003 年全球出货的 3 000 万台笔记本电脑中,采用塑胶机壳的比重达 75%,使用镁合金的比重仅 25%,但 2004 年笔记本电脑采用镁合金机壳的比重将提高到 50% 以上。戴尔在 2003 年因同时采用镁合金机壳和机身主机构件,采用镁合金的比重高达 50% 左右,现已将 2004 年新款机种 (代号 JM5)全面换成镁合金机壳。索尼目前在日本举办特定旧款 VAD 笔记本电脑更换镁合金机壳的活动。向来居全球笔记本电脑产业设计与采用新材质领导地位的 BM 也开始大量使用镁合金,除高端机种 ThinkPad T 系列已全面采用镁合金为机壳外,BM 和台湾笔记本电脑厂商首度合作的 12. 1 英寸机种,同时以镁合金作为面板和底部机壳的材质。

手机在 2003 年第 3 季末开始,也刮起镁合金风潮。以摩托罗拉为主的手机大厂,同样适应国际上的环保风潮,采用镁合金机壳与零 (组)件的态度转向积极。2003 年全球手机机壳采用镁合金的比重约 15%。数码相机 2003 年采用镁合金的数量仅 200 ~ 300 万台,2004 年增加到 500 万台以上。就全球电子市场来看,镁合金的应用已是日新月异。镁合金还将逐步扩大应用到其他工业部门,成为愈来愈广泛的新材料。

2 开发现状

2. 1 阻燃镁合金

由于镁合金在熔炼时合金液易氧化燃烧,给熔炼带来一系列困难。为防止其氧化燃烧,人们先后采用了熔剂保护法、气体保护法和合金化阻燃法等。

熔剂保护法的缺点是熔剂会污染镁合金液,使压铸件中夹杂物增多,并会侵蚀设备、污染环境<sup>[9]</sup>。气体保护法中,常用具有很好保护效果的  $\text{SF}_6$  气体,但  $\text{SF}_6$  气体会造成大气的温室效应, $\text{SF}_6$  的“全球变暖潜力”是  $\text{CO}_2$  的 23 900 倍,在一定温度下还会分解生成有毒气体,其使用正日渐减少,并终将被禁用。

鉴于此,有人提出了阻燃镁合金的问题,并取得了一定成效。如在镁合金中添加 0.001% ~ 0.003% 的 Be,用于在合金表面形成一层致密的保护性表面氧化膜,但 Be 不能完全阻止镁的燃烧<sup>[10]</sup>;因此,熔炼时还需覆盖保护熔剂,且 Be 含量过高时会引起晶粒粗化和增大热裂倾向,从而降低力学性能。因此一般镁合金的含 Be 量限定在 0.005% ~ 0.02% 以内。日本较早有专利报道镁合金中添加钙可以阻燃<sup>[11]</sup>。日本东京工艺学院的 Cang SY 等人用挤压铸造铸出了加钙阻燃加 Zr 细化的镁铸件;日本九州工业研究院的秋山茂等人研究发现,当纯镁中添加的钙含量达到 5% 时,出现第一个氧化燃烧点时的温度比纯镁的提高 250℃,而且只要不发生机械破坏,燃烧点就难以产生。目前研究的稀土阻燃镁合金,如黄晓锋等人在 AZ91D 合金中添加 1% 的 Ce,可使镁合金的起燃温度提高 180℃<sup>[12]</sup>。这种阻燃型镁合金对环境不会产生严重污染,这对在大气下熔炼镁合金和压铸成形,拓宽使用范围具有重要意义。

## 2.2 耐蚀镁合金

耐腐蚀性差是严重影响镁合金应用的一大障碍。影响镁合金耐蚀性的重要原因是镁合金中的 Fe、Ni、Cu 等杂质,降低镁合金中杂质含量成了提高镁合金耐蚀性的关键,这一结论导致高纯镁合金的出现。目前已开发出了具有优良耐蚀性和良好力学性能的多种高纯压铸镁合金,例如 AZ91D、AS41XB、AM60B 等。研究表明,高纯的 AZ91E 合金在盐雾试验中的耐蚀性大约是 AZ91C 的 100 倍,也超过了压铸铝合金 A380,比低碳钢好得多。福特公司的 Ranger 汽车上的离合器壳体,在盐雾大气中运行了 10 年仍旧完好。

此外,调整化学成分、表面处理和控制微观组织等均可改善镁合金件的耐蚀性。但熔炼时去除杂质以提高镁合金液纯度及适当添加合金元素是提高其耐蚀性的主要途径。

## 2.3 高温抗蠕变镁合金

早期开发的高温压铸镁合金最典型代表是 AS41、AS42、AE42,它们的室温强度都低于 AZ91,但在较低应力下的高温抗蠕变性能显著优于 AZ91,与 A380 铝合金相同。近年来,具有良好的蠕变性能、

高温力学性能和压铸性能的镁合金不断被开发出来并得到实际应用。据报道<sup>[13]</sup>,美国开发了一种含 Sr 的 Mg-Al-Si-Sr-Zn 压铸镁合金,降低了合金的热裂倾向;还开发了一种含稀土的 Mg-Al-Zn-RE-Si 耐热压铸镁合金。另据德国 Magnesium Elektron Ltd 报道,加入 1% 的 Ca 到 AZ91 合金或 AS 系列合金中也可在一定程度上改善其蠕变强度,但铸造性能却较差。取而代之的为 Mg-Zn-Cu 系合金,由于 Cu 的加入使其室温性能和 150℃ 高温性能得到大幅度改善。最近有专利报道,德国大众汽车制造厂以及以色列 Dead Sea 镁业有限公司都相继研发出高强度、抗蠕变性能好的镁合金。

## 2.4 镁合金成型技术

近年来,镁合金半固态触变铸造 (Thixo Molding) 成型新技术在国外研究十分活跃。它融合了塑料注射成型与金属压铸工艺的特点,集半固态金属浆料的制备、输送、成型等过程于一体,较好地解决了半固态金属浆料的保存输送、成型控制困难等问题,使得镁合金材料的大量工业应用出现了光明的前景。与传统的压铸相比,镁合金半固态触变铸造具有许多优势:

成品含孔率低,较热室压铸镁合金减少 50% 以上,机械性能提高。

良好的尺寸精度,公差变化少,尺寸再现性高。

模具的流长/壁厚比 (L/D) 较高,可成型较薄件。

模具的设计较简化,可有效适应市场变动快的产品。

对于厚度不一或有許多孔、穴、肋等特殊形状的,均可一体成型,而热室压铸则难度较高。

操作温度较低,模具寿命较长。

废料比例低,可减少后加工程序。

过程控制较易,产品品质稳定,废品率低。

凝固时间缩短,可降低成型循环时间。

为此,美国、德国、意大利及日本等国家大力发展这种固态金属注射成型机,不仅机器更完整、精细,且注射压力也大大增加。目前,Alumax 金属公司和 Thixmat 公司采用该技术已生产出圆片离合器、油泵箱、齿轮箱等镁合金汽车零件。

其他正在发展的镁合金压铸成形新技术有镁合金半固态流变铸造、镁合金挤压铸造-低压铸造结合法、挤压铸造-流变铸造结合法等。

## 3 国内现状和前景

我国镁资源非常丰富,居世界第一位,菱镁矿储

量约  $27 \times 10^9$  t,白云石矿储量超过  $70 \times 10^9$  t,青海察尔汗盐湖的氯化镁储量高达  $16.5 \times 10^9$  t<sup>[14, 15]</sup>。目前我国已占全球镁生产能力的  $3/4$ ,产量的  $1/2$ 。20 世纪 90 年代以来,我国镁工业得到迅猛发展,但镁合金应用开发严重滞后,80% 以上作为初级原料低价出口。近年来,镁合金压铸件在应用中显示出的巨大优势,得到了我国政府相关部门的高度重视,国家结合西部大开发的战略举措,将镁合金的应用开发工程列入国家“十五”科技攻关计划。

2001 年,力劲与清华大学合作开发出具有自主知识产权的中国第一台镁合金压铸机,填补了国内空白,并在国内及东南亚地区的招标中击败东芝、东洋、意德拉等国外著名公司一举中标,成为国内镁合金产业化的重要支撑,市场占有率已达 40%。2003 年东风科技制动系统公司投入使用的 630 t 镁合金压铸生产线,每 50 s 就能生产出 1 个镁合金压铸零件,使镁合金压铸件的生产实现了产业化。青岛金谷镁业公司已经在新型镁合金材料的研制、镁合金薄壁压铸件开发设计研究、镁合金压铸敏捷生产体系建立、镁合金压铸成型技术及工艺研究等 7 个研究方面,取得了新的突破,发展了自己的核心技术。重庆在镁合金应用及产业化方面取得了突破,镁合金零配件产品已在长安汽车、隆鑫摩托上进行试用。大规模应用镁合金零配件的绿色概念摩托车、镁合金气体保护熔炼炉、专用镁合金压铸成套设备等也先后研制成功或投入使用。新建成的镁合金压铸生产线,年生产能力已达到压铸件 120 万件,生产镁合金摩托车左前盖、右大盖和尾盖及通用发电机镁合金箱体和箱盖产品 42.6 万多件,镁合金头盔 5 万件、汽车部件气缸盖罩 3 000 件,已经实现装车 10 多万台。此外,全市还建立了西南地区惟一的镁合金锭和废镁回收生产线各 1 条,形成了年产镁合金锭 1 200 t 的生产能力,已回收再生废镁约 50 t。

由于近年信息产业的蓬勃发展,我国台湾地区电子产品外壳用镁合金市场大增,随之出现了大批镁合金压铸生产厂,规模最大的是可成与华孚。目前,包括戴尔、康柏与 Gateway 等欧美系 NB 大厂的镁合金 NB 机种,约有 60% 的镁合金机壳来自台湾地区,其余 40% 则来自日本与美国等其他国家<sup>[16]</sup>。

但是,必须清楚地看到,国内镁消费较低,镁产品还停留在初级产品的开发上,国内汽车工业使用镁合金压铸件还刚刚起步。目前上海桑塔纳轿车使用镁量约 8.5 kg/辆,与国外汽车镁合金平均用量为 40 kg/辆相比,差距十分悬殊。因此市场前景十分广阔,发展潜力非常大。

## 4 结语

我国是世界上最大的产镁国之一,目前中国镁市场占有率已上升到 50% 以上。据估计,中国在全球压铸镁合金市场中占的份额为 20% ~ 25%,中国镁工业正在打入亚洲及欧洲的汽车工业。随着我国加入 WTO 以及国际产业结构的调整,发展镁合金产业正面临重大的历史机遇与挑战。国际上各大公司纷纷着手镁合金的研究,我们应加快镁合金应用与产品制备核心技术的开发,抢占国际市场,提高镁产品的附加值。中国如果不及时跟上世界最新科技的进步,将失去国内外巨大的高附加值产品市场。

### 参考文献:

- [1] Munitz A, Cotler C, Stem A, Kohn G Mechanical properties and microstructure of gas tungsten arc welded magnesium AZ91D plates [J]. Materials Science and Engineering, 2001, A302: 68 ~ 73.
- [2] Mordike B L, Ebert T Magnesium properties-applications-potential [J]. Materials Science and Engineering, 2001, A302: 37 ~ 45.
- [3] 张永忠,张奎,樊建中,等.压铸镁合金及其在汽车工业中的应用[J].特种铸造及有色合金,2002, S1: 296 ~ 299.
- [4] 曹荣昌,柯伟,徐永波,等. Mg 合金的最新进展及应用前景[J].金属学报,2001, 37(7): 673 ~ 685.
- [5] 卫爱丽,付珍,赵浩峰.镁合金的生产及应用[J].铸造设备研究,2003, 1: 34 ~ 37.
- [6] 吕宜振,王渠东,曾小勤,等.镁合金在汽车上的应用现状[J].汽车技术,1999, 8: 28 ~ 31.
- [7] 张士宏,许沂,王忠堂,等.镁合金成形加工技术[J].世界科技研究与发展,2003, 23(6): 18 ~ 21.
- [8] 袁序弟.镁合金在汽车工业的应用前景[J].汽车科技,2002, 3: 1 ~ 4.
- [9] Zeng X Q, Wang Q D, LU Y Z, et al. Behavior of surface oxidation on molten Mg-9Al-0.5Zn-0.3Be alloy [J]. Materials Science and Engineering, 2001, A301: 154 ~ 161.
- [10] 杨彬.镁合金研究及制备发展概况[J].铸造设备研究,2001, 1: 36 ~ 38.
- [11] Sakamoto M. Mechanism of Non Combustibility and Ignition of Car-bearing Mg Melt [C]. Proceedings of the Fifth Asian Foundry Congress, 1998: 380 ~ 389.
- [12] 黄晓锋,周宏,何镇明.阻燃镁合金起燃温度的研究[J].稀有金属材料与工程,2002, 31, 3: 221 ~ 224.
- [13] 吉泽升,李德锋,孙荣滨.镁合金压铸技术的发展现状[J].轻合金加工技术,2001, 29(12): 1 ~ 4.
- [14] 向冬霞,曹建勇,王军.镁合金配件在汽车、摩托车上的应用[J].汽车工艺与材料,2002, 8 - 9: 41 ~ 43.
- [15] 李晓敏.压铸镁合金在汽车中的应用及其发展前景[J].世界有色金属,2001, 9: 16 ~ 18.
- [16] 邓玉勇,朱江,李立.新型金属材料镁合金的发展前景分析[J].化工技术经济,2002, 20(4): 9 ~ 13.

收稿日期: 2005-07-03

作者简介:陈学琴(1973-),女,1998年毕业于南昌大学。