

# 镁合金在汽车轻量化中的应用发展\*

宋 珂

(同济大学 中德学院, 上海 201804)

摘 要: 介绍镁合金在汽车轻量化中的应用优势及应用技术的新发展, 综述目前镁合金在世界发达国家和我国汽车工业中的应用现状。汽车工业应充分利用自身优势, 积极引进先进技术开展镁合金在汽车上的应用研究, 促进我国汽车工业的发展。

关键词: 汽车; 轻量化; 镁合金

中图分类号: TG146.2+2

文献标识码: A

文章编号: 1007-4414(2007)01-0014-03

The development and application of magnesium alloys in automotive industry

Song Ke

(Zhongde college of Tongji university Shanghai 201804 China)

Abstract: This paper introduces the advantages and new developments of magnesium alloys as a kind of lightweight material, and summarizes the application of magnesium alloy at present in automotive industry. We should make full use of our advantages and advanced technologies in the world to do research on application of magnesium alloy and promote the development of our country's automotive industry.

Key words: automotive; lightweight; magnesium alloy

经测算, 汽车每减质量 100 kg/百公里可节省汽油 0.3 L, 每降低 10% 的汽车质量, 就可减少 10% 的汽车排放<sup>[1]</sup>。而与之相关的汽车轻量化技术成为 21 世纪汽车发展的前沿和热点。汽车轻量化的目的在于提高汽车燃油经济性, 同时提高汽车安全性。

轻量化的重要途径之一是在保证强度和刚度要求下选用轻质材料, 镁合金是当前最理想最轻的金属结构材料, 从而成为汽车减轻自重以提高其节能性和环保性的首选材料。

## 1 镁合金用作汽车材料的优势

镁合金是一种轻合金, 熔点为 650℃, 体积密度为 1.74 g/cm<sup>3</sup>。镁晶格具有密排六方体点阵, 其滑移系数较小, 冷变形较困难。当温度升高到 250℃ 以上时, 镁合金的变形较容易, 同时具有较好的可塑性。镁合金中加入的主要合金元素有: 铝、锌、稀土元素、银、锂、锆、锰及微量元素镍等, 它们在镁合金中起到固溶强化、沉淀强化、细晶强化、提高耐热性等作用。

镁合金在汽车中使用具有以下优势:

(1) 常用金属中最轻的金属 镁的比重是铝的 2/3 锌的 1/4 不到钢或铸铁的 1/4 对于含 30% 玻璃纤维的聚碳酸酯复合材料来说, 镁的比重也不超过它的 10%<sup>[2]</sup>。因此镁合金的使用可有效减轻汽车质量。表 1 为几种金属的密度<sup>[3]</sup>。

(2) 比强度高 从设计者的立场考虑, 密度小的金属若不具有高强度, 将没有意义。实验显示, 镁合金的比强度比铝合金和钢高。因此在不降低零部件强度条件下, 镁合金铸件比铝铸件的重量减轻大约 25%。

(3) 热传导性好 虽然镁合金的导热系数不及铝合金, 但是比钢高近 1 倍, 比塑料材料高 10 倍。因此镁合金已广泛用于压铸汽车轮毂上, 可有效散发制动摩擦热量, 提供制动稳定性。

表 1 几种常用金属密度

金属名称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	与铁比
Mg	1.74	23
Al	2.71	35
Ti	4.50	58
Zn	7.13	90
Fe	7.87	100

(4) 易于机械加工 镁合金非常容易机械加工, 在无冷却液、无润滑剂的情况下能实现高负荷加工, 得到光洁的加工面。衡量机械加工性的指标之一是动力消耗量。表 2 是以镁合金为 1 的情况下, 各种合金机械加工时的动力消耗量比较<sup>[3]</sup>。由表 2 可知镁合金具有良好的机械加工性。

表 2 机加工时动力消耗量比较

合金种类	动力消耗量之比	合金种类	动力消耗量之比
镁合金	1.0	铸铁	3.5
铝合金	1.8	软钢	6.3
黄铜	2.3	镍合金	10

(5) 对振动、冲击的吸收性能好 镁合金对振动能量的吸收能力强, 使用在驱动和传动部件上可减少振动。同时, 在方向盘和座椅上使用镁合金可在汽车发生碰撞后很好的吸收冲击能量。

(6) 抗凹陷性能好 镁合金与其它金属相比抗变形能力强, 由冲击而引起的凹陷小于其它金属。

(7) 良好的焊接和铸造性能 镁合金的熔点、比热容和相变潜热比铝合金低, 熔化耗能较少, 固化速度快, 动力学粘度低, 铸造充型性好, 铸件生产周期比铝合金短, 易成形薄

\* 收稿日期: 2006-11-07

作者简介: 宋 珂 (1981-), 男, 四川阆中人, 硕士研究生, 研究方向: 新能源汽车。

壁结构件。镁与铁的亲和力小, 固溶铁的能力低, 不易粘模, 铸模寿命比生产铝合金高 2 3倍。

(8) 易于回收再生 回收的镁合金可直接熔化再进行浇铸, 且不降低其机械性能。镁合金同其它金属相比, 熔点低, 比热小, 在再生熔解时所消耗的能源是新材料制造所消耗能源的 4%。此外, 镁合金的电磁波屏蔽性好、外表美观。

## 2 镁合金的新发展

尽管镁合金在汽车上的应用具有其它金属不可比拟的优点, 但在过去的几十年中, 由于价格和生产技术方面的原因, 镁合金一直未得到广泛应用。近年来随着镁价格逐渐下降, 使镁合金在汽车中全面应用逐渐成为可能。世界范围内各主要汽车生产国不断加大在镁合金开发和应用技术研究上的投入, 从而一些新技术相继问世。

### 2.1 耐蚀镁合金

镁合金的耐蚀性问题可通过 2 个方面来解决: ① 严格限制镁合金中的 Fe、Cu、Ni 等杂质元素的含量。例如, 高纯 AZ91HP 镁合金 (Mg-Al-Zn) 在盐雾试验中的耐蚀性大约是 AZ91C 镁合金 (Mg-Al-Zn) 的 100 倍, 超过了压铸铝合金 A380 (Mg-Al-Zn), 比低碳钢还要好。② 对镁合金进行表面处理。根据不同的耐蚀性要求, 可选择化学表面处理、阳极氧化处理、有机物涂覆、电镀、化学镀、热喷涂等方法处理。例如, 经化学镀的镁合金, 其耐蚀性超过了不锈钢。

### 2.2 耐热镁合金

耐热性差是阻碍镁合金广泛应用的主要原因之一。当温度升高时, 镁合金的强度和抗蠕变性能大幅度下降, 使它难以作为关键零件 (如发动机零件) 材料在汽车工业中广泛应用。耐热镁合金的研究与开发主要围绕新合金研究和改善现有镁合金的高温性能 2 个方面进行。

Mg-Al-Si(AS) 系合金是德国大众汽车公司开发的压铸镁合金。当在 175℃ 时, AS41 合金的蠕变强度明显高于 AZ91 (Mg-Al-Zn) 和 AM60 (Mg-Al-Zn) 合金。

20 世纪 80 年代, 国外致力于利用 Ca 来提高镁合金的高温抗拉强度和蠕变性能。最近美国开发的 ZAC8506 (Mg-8Zn-5Al-0.6Ca) 及加拿大研究的 Mg-5Al-0.8Ca 等镁合金, 其抗拉强度和蠕变性能表现良好。日本东北大学采用快速凝固法制成的具有 100~200nm 晶粒尺寸的高强镁合金, 强度为超级铝合金的 3 倍, 并具有超塑性、高耐热性和高耐蚀性。

### 2.3 阻燃镁合金

镁合金在熔炼浇铸过程中易发生剧烈的氧化燃烧。上海交通大学轻合金精密成型国家工程中心通过同时加入几种元素, 开发了一种阻燃性能和力学性能均良好的轿车用阻燃镁合金, 成功进行了轿车变速箱壳盖的工业试验。

### 2.4 高强高韧镁合金

现有镁合金的常温强度和塑韧性均有待进一步提高。在 Mg-Zn 和 Mg-Y 合金中加入 Ca、Zr 可显著细化晶粒, 提高其抗拉强度和屈服强度; 加入 Ag 和 Ti 能够提高 Mg-稀土-Zr 合金的力学性能, 如含有 Ag 的 QE22A 合金具有较高的室温拉伸性能和抗蠕变性能。

### 2.5 变形镁合金

虽然目前铸造镁合金产品用量大于变形镁合金, 但经变形的镁合金材料可获得更高的强度、延展性及更多样化的力学性能, 可满足不同场合结构件的使用要求。因此开发变形镁合金具有长远的发展趋势。

美国成功研制了各种系列的变形镁合金产品。通过挤压和热处理得到的 ZK60 (Mg-Al-Zn) 高强变形镁合金, 其强度及断裂韧性相当于失效状态的 A7075 (Mg-Al-Zn) 或 A7475 (Mg-Al-Zn) 合金。而采用快速凝固 (RS)、粉末冶金 (PM) 和热挤压工艺开发的 Mg-Al-Zr 系 EA55RS 变形镁合金, 成为迄今报道的性能最佳的镁合金, 其性能不但超过常规镁合金, 比强度甚至超过 7075 铝合金 (Mg-Al-Zn), 并具有超塑性 (300℃, 436%)。腐蚀速率与 2024-T6 合金 (Mg-Al-Zn) 相当, 成为先进镁合金材料的典范。日本最近开发出超高强度的 MMg-Y 系变形镁合金材料, 可冷压加工的镁合金板材。

### 2.6 镁合金成形技术

镁合金成形分为变形和铸造 2 种方法, 当前主要使用铸造成形工艺。压铸是应用最广泛的镁合金成形方法。近年来发展起来的镁合金压铸新技术有真空压铸和充氧压铸, 前者已成功生产出 AM60B 镁合金 (Mg-Al-Zn) 汽车轮毂和方向盘盘, 后者已用于生产汽车上的镁合金零件。

镁合金半固态触变铸造 (Thixo-Molding) 成形新技术近年来受到美国、日本和加拿大等国的重视。与传统压铸相比, 触变铸造法无需熔炼、浇铸及气体保护。生产过程更清洁、安全和节能。但目前可供使用的半固态铸造镁合金材料相对选择性小, 需要进一步发展适用于半固态铸造的镁合金系列。

其它正在发展的镁合金铸造成形新技术有: 镁合金消失模铸造、挤压铸造—低压铸造结合法、挤压铸造—流变铸造结合法和真空倾转法差压铸造等。

## 3 镁合金在汽车上的应用

到目前为止, 汽车上共有 60 多个零部件采用镁合金, 其中仪表盘基座、座椅框架、方向盘轴、发动机阀盖、变速箱壳、进气歧管、汽车车身等 7 个部件镁合金的使用率最高。按使用部位性质的不同, 分为壳类和架类两类零件。壳类零件采用高塑性的镁合金不仅可减轻质量, 且由于镁合金的阻尼衰减能力强, 还可提高汽车抗振动及耐碰撞性能, 降低汽车运行时的噪音; 主要包括气缸盖、离合器壳、变速器壳、滤油器壳、空气滤清器壳、分动器壳、增压器壳、灯罩等。架类零件包括方向盘、仪表盘、风扇架、挡泥板架、踏板托架、转向支架、刹车支架、灯托架、座椅架、轮毂等。

### 3.1 北美

北美是镁合金用量最多的地区, 其年发展速度为 30%。在美国, 许多汽车零部件采用镁合金铸造生产, 在一些车型上镁合金用量大约为 5.8~26.3kg/辆<sup>[2]</sup>。著名的汽车公司如福特、通用和克莱斯勒, 在过去的十几年里一直致力于新型镁合金和镁合金离合器壳体、转向柱架、进气管及照明夹持器等汽车零部件的开发与应用, 替代效果十分明显。福特用镁合金 AM60 生产车座支架安装在微型货车上, 取代钢制支架, 使座椅质量从 4kg 降低到 1kg; 用 AZ91D 制作锁套, 比用锌减少质量 75%; 其卡车离合器壳改用 AZ91D 镁合金铸件不但没有大气腐蚀问题, 且耐海水腐蚀性也比铝合金壳体好, 延长使用

寿命。福特 2004年推出全新的 F-150 将散热器支架做成镁合金铸件, 不仅减轻质量, 并为发动机仓节省了更大的空间, 减少装配量。通用公司于 1997年成功开发出镁合金汽车轮毂, 并在 Cadillac DeVille车上用 AM50 镁合金铸造仪表盘, 重 15 磅, 比以前散件组装的钢结构轻 45 磅。

### 3.2 欧洲

欧洲的镁合金用量仅次于北美, 部分车型上的镁合金用量约为 9.3~20.3kg, 其年增长速度为 60%<sup>[2]</sup>。早在 20 年代中期, 德国就出现了镁合金压铸件。尤其是 20 世纪 90 年代, 德国在镁合金压铸领域一直在世界处于领先地位, 以大众汽车公司最为突出。在汉堡举行的 42 届大众公司股东年会上, 大众展出了世界上最经济的小车 1L 车, 其中车身空间框架采用镁合金比铝车身轻 13kg, 此外其燃油泵壳、变速器壳、座椅框架等也是用镁合金制成。奥迪汽车公司第 1 个推出镁合金压铸仪表盘。Audi A6 2.8 上使用的 Audimultitronic 无级/手动一体式变速箱采用镁合金外壳, 总重量比 Tiptronic 轻 27kg。目前德国大众 (VW) Passat, Audi A2, A4 和 A6 的镁合金用量达到了 14kg/台。奔驰公司最早将镁合金铸件用于汽车座支架。而 BMW 全面使用镁合金轮毂, 不但比铝制品轻 3.8~5kg/个, 比钢制品轻 8kg/个, 同时抗震能力也有很大提高。不久前 BMW 推出镁合金制的发动机, 使镁合金在汽车上的应用达到一个新台阶。可以说德国使推动镁合金压铸技术发展的先驱与主力军。

### 3.3 日本

日本镁合金的开发与应用也十分迅速, 相继开发了一系列镁合金压铸产品。丰田汽车公司首先制造出镁合金汽车轮毂、凸轮罩等零部件。丰田汽车的方向盘加装安全气囊后质量增加, 采用 AM60B 镁合金压铸件后, 质量比过去的钢制品、铝制品分别减少 4% 和 1%, 并降低转向系振动。而三菱公司与澳大利亚工业科技部合作, 开发出超轻量发动机。目前, 日本的各家汽车公司都生产和应用了大量的镁合金壳体类压铸件。

### 3.4 中国

我国汽车工业中的镁合金应用起步较晚。上海、一汽、二汽及长安汽车公司在研究和开发镁合金在汽车领域应用方面发挥了重要作用。

在国内是上汽最早将镁合金应用到汽车上。目前桑塔纳轿车镁合金变速器外壳年用镁量达 2000 以上, 镁合金汽车

压铸件生产和应用技术已十分成熟, 镁合金汽车压铸件已开始批量生产供货。电动汽车镁合金电机壳体零件全部通过电子部 21 所的台架试验, 正在进行装车试验。目前桑塔纳轿车使用镁合金量约 8.5kg/辆。

一汽开发了抗蠕变镁合金, 可用于制造高温负载条件下汽车动力系统部件, 并获得三类有应用前景的 Mg-Al-Si-Ca, Mg-Al-稀土-Ca 及 Mg-Al-稀土 (Y-Nd) 系新型压铸镁合金。其强度、150℃ 条件下的蠕变抗力、铸造性能均明显好于 AZ91 合金, 表面涂装的耐蚀性能完全满足要求, 且成本可控制在仅高于 AZ91 合金 7% 左右。此外一汽还成功开发出气缸盖罩、脚踏板、方向盘、增压器壳体、传动箱罩盖等镁合金压铸件, 并已应用于生产。

二汽镁合金研发体系也已形成, 研发的镁合金零部件包括: 载重汽车脚踏板、变速箱上盖、制动阀壳体、真空助力器隔板、发动机气室罩盖、富康轿车用的方向盘芯、缸体罩盖、进气管、门锁芯壳、转向支架等系列产品。目前东风已有 8 种镁合金脚踏板安装在东风“天龙”系列重型卡车上, 其用镁量已经超过 300t。

长安汽车生产的变速器、上下箱体延伸体和缸罩等 7 种零件已通过台架试验和道路试验, 从 2004 年起已大批量装车进入市场销售。

## 4 结 语

镁合金是汽车上最有潜力的结构材料, 21 世纪将是镁合金应用飞速发展的时代, 以显著的减重节能效果、优良的可回收再生性、良好的铸造及尺寸稳定性和抗震等特性, 受到世界汽车工业的青睐。它是汽车轻量化中取代钢铁及部分铝合金和塑料的首选材料, 同时我国镁资源丰富, 镁合金的发展有可靠的原料来源。中国汽车工业应紧跟世界汽车用材的发展趋势, 大力开发镁合金在汽车上的应用。

## 参考文献:

- [1] 李玉青, 吴殿杰. 汽车轻量化以及铝镁铸件的应用 [J]. 中国铸造装备与技术, 2005 (4): 48-50.
- [2] 杜文博, 吴玉峰, 左铁镛. 镁合金在交通工具中的应用现状 [J]. 世界有色金属, 2006 (2): 19-21.
- [3] 羊秋林, 李尹熙, 吕莉雯. 汽车用轻量化材料 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.

## 。 信 息 。

### 2006年我国工业企业实现利润增长

国家统计局 2007 年 1 月 25 日 向媒体公布了 2006 年国民经济运行情况: 初步核算, 2006 年国内生产总值 209407 亿元, 按可比价格计算, 比上年增长 10.7%, 加 0.3 个百分点。其中, 第一产业增加值 24700 亿元, 增长 5.0%; 第二产业增加值 102004 亿元, 增长 12.5%; 第三产业增加值 82703 亿元, 增长 10.3%。分季度看, 四个季度国内生产总值分别增长 10.4%、11.5%、10.6% 和 10.4%。

同期, 2006 年工业生产快速增长, 效益提高。全年工业增加值比上年增长 12.5%。其中, 规模以上工业增加值增长 16.6%, 12 月份增长 14.7%。在规模以上工业增加值中, 重工业增长 17.9%, 轻工业增长 13.8%。规模以上工业企业产销率达到 98.1%。规模以上工业企业实现利润 18784 亿元, 增长 31.0%。

。本刊辑。