

文章编号:1673-9981(2007)02-0091-04

镁合金成形技术的研究和发展现状

李天生, 徐 慧

(湖南工学院机械工程系, 湖南 衡阳 421008)

摘要: 叙述了镁及镁合金的特性,着重阐述了镁合金的典型成形方法和工艺特点,指出了镁合金的应用领域和现状。

关键词: 镁合金; 成形技术; 应用现状

中图分类号: TG292

文献标识码: A

随着能源短缺及环境污染问题的日益突出,汽车、战车等向着轻量化方向发展,迫使汽车制造商竞相开发轻质材料以减轻车重^[1]。据资料显示^[2],汽车自重每减轻10%,燃油效率可提高5.5%左右。

镁合金具有高的比强度、比弹性模量和比刚度,良好的减震性、导热性、可切削加工性、可回收性及不与钢和铁合金化等特点,因而被称为21世纪的“绿色”工程材料^[3-5]。由于镁合金零部件在汽车和3C等方面的大量使用^[6],导致其用量以每年15%的速率快速增长,远远高于铝、锌、铜、镍和钢铁的增长速率^[5]。本文就镁合金的特性、成形方法及应用现状进行论述。

1 镁及镁合金的特性

在所有的结构金属中镁的密度最低,纯镁的密度为 1.738 g/cm^3 ,为铝的 $2/3$,钢的 $1/4$ ^[6],熔点时的密度为 1.584 g/cm^3 ;纯镁的熔点为 $(650 \pm 1)^\circ\text{C}$,沸点为 $(1107 \pm 1)^\circ\text{C}$;收缩率(熔点至室温)为5%。纯镁具有很多优良的特性,但由于其力学性能较差,应用范围受到很大限制,所以只能通过合金的形式作为结构材料使用。

目前,已经开发出多种系列的镁合金,常用的有AZ(Mg-Al-Zn-Mn)系列、AM(Mg-Al-Mn)系列、AS(Mg-Al-Si)系列和AE(Mg-Al-RE)系列^[7]。它

们具有如下特点:密度比纯镁稍高,为 $1.75 \sim 1.85 \text{ g/cm}^3$;比强度和比刚度很高,比弹性模量与高强铝合金、合金钢的大致相同;弹性模量较低,当受到外力作用时,应力分布更均匀,可避免过高的应力集中;在弹性范围内承受冲击载荷时,所吸收的能量比铝高约50%,适合制造承受猛烈冲击的零部件^[5];阻尼性能好,适合制造抗震零部件;切削加工性能优良,其切削速度高于其他金属,几乎可以用任何铸造工艺来铸造成形。

2 镁合金成形技术

镁合金成形技术大致可分为挤压铸造、金属型铸造、低压模铸造、半固态铸造和触变注射成形,其中挤压铸造技术比较成熟。目前,半固态铸造和触变注射成形是较新的镁合金成形技术,它们将对镁合金的应用起到极大的推动作用。

2.1 挤压铸造

1937年原苏联就开始了挤压铸造工艺的研究^[8],时至今天,挤压铸造仍显示出很强的生命力。该方法是将一定量的熔融金属液直接注入金属模膛,在机械静压力的作用下,使处于熔融或半熔融状态的金属流动并凝固成形,从而获得毛坯或零件。该法与铸造法相比,避免了铸件出现缩孔和内部疏

收稿日期:2006-08-26

作者简介:李天生(1975-),男,四川巴中人,硕士研究生。

松,能细化晶粒,提高强度;与模锻法相比,节约了模具和加工费用,制件外型尺寸精确,表面粗糙度降低,力学性能优良.该方法能提高材料利用率,降低生产成本,缩短生产周期^[9-11].

挤压铸造的工艺流程见图1.该工艺包括金属熔化和模具准备、浇注、合模及施压、卸模和顶出制件.其主要特点为^[10]:在成形过程中,尚未凝固的金属液自始至终经受等静压,并在压力的作用下流动成形,结晶凝固;已凝固的金属在成形过程中,产生塑性变形,使毛坯外侧紧贴模膛壁,未凝固的金属液获得并保持等静压;由于凝固层产生塑性变形,要消耗一部分能量,因此未凝固的金属液所受的等静压随着凝固层厚度的增加而下降;固-液区在压力作用下,发生强制性的补缩.

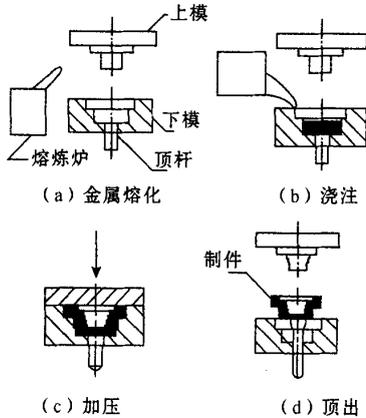


图1 挤压铸造工艺流程图

Fig. 1 Process flow of squeeze casting

2.2 半固态铸造

半固态金属成形技术作为一种新兴材料加工技术引起了广泛的关注^[12-13],该技术是由美国麻省理工学院 Flemings 教授等人于20世纪70年代开发的.他们发现,在金属凝固时加以搅拌,可将树枝状初晶破碎并分散到未凝固的残余液体金属中,这些残余金属液在凝固时由通常的树枝状晶体变成球状的等轴晶体,成为变形抗力较低、流动性良好的金属糊状物,这样可方便地进行各种后续成形加工.该技术由于专利的保护和一些技术难题没有解决,商业化生产进展缓慢^[14].

半固态成形技术有如下特点:材料的显微组织被细化,减轻了内部缺陷和偏析;半固态金属变形抗

力降低,可制造出近净成形制品;利用半固态糊状金属的高粘性,可均匀地混入异种材料和密度差大的金属,从而制造出新型复合材料和新成分合金.

由于镁合金锭料在二次加热时易氧化烧损,一般的半固态成形工艺不适合镁合金,为此,美国 Dow Chemical 公司开发了适合于镁合金的半固态触变成形工艺^[15-16],并于1991年由 Thixomat 公司正式推出第一台镁合金半固态触变成形机,使镁合金半固态成形技术走向了商业化.目前,半固态金属成形技术已经在美国、日本、意大利等国家进入工业化应用.

2.3 触变注射成形

美国 Dow Chemical 公司于1991年推出了第二代半固态压铸设备即触变注射成形机,其锁型机构与普通压铸机相同,而压射机构是带有电加热装置的螺旋式压射机构^[17],其主要组成如图2所示.

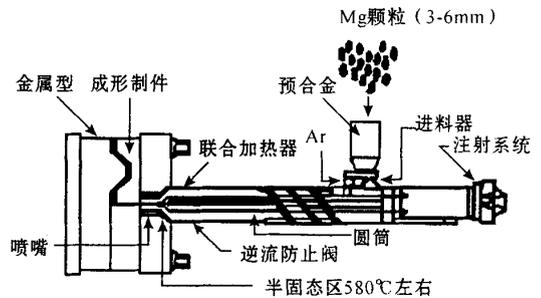


图2 触变注射成形机示意图

Fig. 2 Sketch chart of thixo-injection

工作原理:首先利用专门的机械装置将铸锭切成3~6mm的颗粒,然后在室温下通过料斗预合金化并送入高温螺旋混合机中加热,加热的同时受到机器剪切,加热能量由感应加热线圈和电阻加热元件提供,采用Ar作为保护气体,金属变为半固态后,将其放入定量触变浆料收集器中,当固相率达到30%~50%时,以混料螺旋为活塞,通过喷嘴将半固态金属高速射入到压铸模具内,经保压凝固,最后得到制件^[18-19].

触变注射成形技术的主要特点^[20]:(1)镁锭无需预热及熔化,成形工艺简单、成本低;铸造温度比传统压力铸造温度低90~120℃;金属无需熔融处理,避免了镁合金熔化损害.(2)半固态成形镁合金的孔隙率为0.4%~1.8%,而普通压铸成形的镁合

金孔隙率为 2.5%~3.0%,改善了制件质量,提高了制件的力学性能;对比 ASTM 颁布的标准,该技术提高了合金的延伸率;压缩量和残余应力降低,改善了零件的直线度,提高了制件尺寸的稳定性;公差减小,易制造出近净成形制品^[20];比刚度、比强度及耐热性提高;改善了阻尼性能,可屏蔽电磁干扰。

3 镁合金的应用现状

德国杜伊斯堡大学的 Hartmann 教授在第 63 届世界铸造会议上指出^[21]:由于设计的产品越来越轻量化,因此铸造行业中铝合金铸造件的产量在不断增加,镁合金铸件的需求量呈大幅度上升的趋势。

作为主要结构部件,镁合金的应用受到了广泛重视。一般含 9%铝、2%锰的镁合金作为轻质结构材料,主要用于汽车、电子及航空航天等行业中,特别是在汽车行业得到了更广泛的应用。据统计,在 1982~1992 年的 10 年间^[22],北美的压铸镁合金以 20% 的速度增长,欧洲的增长速度更是超过了 60%,其中汽车工业占 80%~90%。2006 年全球镁合金压铸件的需求量是 1996 年的 4 倍,约 20 万吨^[7]。目前,镁合金压铸汽车零件种类已超过了 60 种,如仪表盘、座位架、方向盘、引擎盖、变速箱等。镁合金压铸件的优点主要有:重量轻,产品集成化程度高,可将 30~60 个零件集成为一片压铸件;零件的抗冲击能力强,降低了震动与噪声,回收再利用性好。世界著名的汽车制造商如福特、通用等,纷纷通过用镁合金零部件来改进汽车的性能。

由于镁合金密度小和良好的电磁屏蔽性,非常适合于便携式电子产品和通讯器材,其应用领域还在不断扩大。我国台湾镁压铸技术比较发达,镁压铸企业约有 30 多家(少数设在大陆),拥有冷室、热室

压铸机及触变成形镁压铸机约 200 台。台湾的压铸镁合金材料主要用于手提电脑、移动电话和数字相机三大产品上,详见表 1^[23]。

镁合金作为质量轻、刚性好的强韧性材料,用于航空、航天器和导弹等方面,可增加有效载荷和飞行距离,降低使用成本。因此,在二次世界大战期间镁合金就已在航空领域中得到应用^[24]。镁合金同时具有耐冲击、美观等特性,也广泛用于体育器材、办公用品及家庭工具等方面。

4 结 语

当前,世界各国许多大学和科研机构及公司都在从事镁合金成形技术的研究工作。在众多的成形技术中,触变注射成形技术为镁合金的应用开辟了新途径,但由于发达国家对其设备和技术的垄断,造成该技术的推广应用受阻。我国是镁金属生产大国,出口量逐年增加,但是主要以低附加值的初级原料镁锭为主,这是由于我国在镁合金成形技术的研究方面,特别是半固态成形和塑性成形加工方面与发达国家还有很大差距。因此,加强镁合金成形技术的研究和设备开发,具有重要的意义。

参考文献:

- [1] NUSSBAUM A I. 52nd annual IMA world magnesium conference[J]. Light Metal Age, 1995, 53(7-8): 59-61.
- [2] BROWN B. 49th annual magnesium conference[J]. Light Metal Age, 1992, 50(5-6): 21-24.
- [3] FLETEREN R V. Magnesium for automotive applications[J]. Advanced Materials & Process, 1996(5): 33-34.
- [4] BRALOWER P M. Automotive die cast magnesium reviving up for the 21st century[J]. Die Casting Engineer, 1997(5/6): 68-70.
- [5] 陈振华. 镁合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 5.
- [6] DWAIN M M. A global review of magnesium parts in automobiles[J]. Light Metal Age, 1996, 54(10): 62.
- [7] 刘金海, 李国祿, 刘根生. 镁合金成形工艺及应用研究进展[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(8): 1-2.
- [8] HU H. Squeeze casting of magnesium alloys and their composites[J]. Journal of Materials Science, 1998(33): 1579-1589.
- [9] 陶海, 赵晓举, 黄有成. 液态模锻的应用和发展[J]. 四川有色金属, 2002, 20(4): 4-6.

表 1 台湾电子产品用镁压铸件的产量

Table 1 Yield of magnesium die-castings in electron product of Taiwan province

产品	年份	世界产量 /万台	台湾产量 /万台	用镁量 /t
手提电脑	1999	1780	820	660
	2000	2000	1000	780~900
移动电话	1999	13000	3900	15
数字相机	1999	530	90	2.16

- [10] 罗守靖. 钢质液态模锻[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990: 8.
- [11] 曾昭昭. 特种铸造[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1990: 5.
- [12] 蒋鹏, 贺小毛, 张秀峰. 半固态金属成形技术的研究概况[J]. 塑性工程学报, 1998, 5(3): 1-7.
- [13] 蒋鹏, 贺小毛, 张秀峰. 半固态成形在工业生产中的应用现状与前景[J]. 模具技术, 1998(5): 15-23.
- [14] HANS J H. Semi-solid processing of alloys and composites[J]. Foundry Management & Technology, 1998(9): 51-54.
- [15] NUSSBAUM A I. Semi-solid forming of aluminium and magnesium[J]. Light Metal Age, 1996, 54(6): 5-19.
- [16] ANN A. Thixomoulding of magnesium components experiencing rapid commercial growth [J]. Diecasting World, 1996(6): 27-28.
- [17] 汪之清. 国外镁合金压铸技术的发展[J]. 铸造, 1997(8): 48-51.
- [18] 李元东, 郝远, 陈体军, 等. 镁合金半固态成形的现状及发展前景[J]. 特种铸造及有色合金, 2001(2): 77-78.
- [19] 罗守靖, 杜之明. 半固态金属加工(SSP)分类及新发展[J]. 热加工工艺, 1999(5): 16-22.
- [20] 倪红军, 王渠东, 丁文江. 镁合金半固态铸造成形技术(SSP)的研究与应用[J]. 铸造技术, 2000(5): 36-39.
- [21] 黄乃瑜. 铸件量化、精确化的新进展[J]. 特种铸造及有色合金, 1999(1): 52.
- [22] 韩薇. 中国镁工业的进展与展望[J]. 世界有色金属, 1997, 218(10): 33-40.
- [23] 文华里. 我国台湾省的铝镁工业现状[J]. 轻金属, 2000(11): 3-6.
- [24] 刘天湖, 孙友松. 新材料新工艺在新型汽车开发中的应用[J]. 金属成形工艺, 2001, 19(1): 49-51.

Research into magnesium alloy forming technology and its developing status quo

LI Tian-sheng, XU Hui

(Hunan Institute of Technology, Hengyang 421008, China)

Abstract: The characteristic of magnesium and magnesium alloy especially focus on its forming technology and processing characteristic are exposed. The main application domain and present status of magnesium alloy are pointed out.

Key words: magnesium alloy; forming technology; application