

压铸技术及压铸合金的发展与应用*

李荣德 于海朋 袁晓光

(沈阳工业大学材料科学与工程学院 沈阳 110023)

摘要: 简述了压铸发展的历史及压铸技术的发展状况。叙述了压铸铝合金、镁合金、锌和锌铝合金的研究开发与应用状况, 分析了压铸合金有待进一步研究开发的问题。

关键词: 压铸技术 压铸合金

中图分类号: TG244.3

0 前言

压力铸造作为一种终形和近终形的成形方法, 具有生产效率高、经济指标优良、铸件尺寸精度高和互换性好等特点, 在制造业获得了广泛的应用和迅速的发展, 铸件已成为许多产品的重要组成部分。随着轿车、摩托车、内燃机、电子通信、仪器仪表、家用电器和五金等行业的飞速发展, 铸件的功能和应用领域不断扩大, 从而促进了压铸技术不断发展, 压铸合金品质不断提高。

1 压铸技术的发展历史与现状

压铸的出现至今已有 150 年的历史。1855 年 O. Mergenthaler 将活字射缸浸入熔融合金中生产出条型活字铸件; 1869 年 C. Babbage 采用“锌强化铅锡合金压力铸造法”生产一些零件; 1872 年开始使用一种手动的小型压铸机生产留声机上的 Pb-Sn 合金小零件; 1904 年 H. H. Franklin 公司压铸出汽车连杆轴承, 从此刚刚诞生的汽车工业取代印刷业而成为铸件的主要用户; 1905 年 H. H. Doehler 发明了既能生产铅锡合金又能压铸锌合金的压铸机; 1914 年 H. H. Doehler 采用气压使金属液沿流道上升而充型的压铸机, 可用于铝合金压铸。20 世纪 20 年代美国的 Kipp 公司制造出机械化的热室压铸机, 但铝合金液有浸蚀压铸机上钢铁零部件的倾向, 铝合金在热室压铸机上生产受到限制。C. Roehri 制造出冷室压铸机, 这一发明是压铸技术的重大进展, 使铝合金、黄铜合金的压铸成为现实。20 世纪 50 年代大型压铸机的诞生, 为压铸业开拓了许多新的

领域。随着压铸机、压铸工艺、压铸型及润滑剂等压铸技术的发展, 压铸合金也经历从铅到锌、铝、镁和铜, 最后到铁合金的发展过程, 随着压铸合金熔点的不断增高而使铸件应用范围也不断扩大^[1]。

压铸及其相关技术涉及机械制造、液压传动、材料、冶金、电气、电子、传感器、检测、自动化、计算机和化工等许多学科领域, 并向边缘学科渗透。近些年来, 随着现代科技和工业技术的进步, 压铸技术取得了突飞猛进的发展, 主要表现在以下几个方面。

(1) 压铸机及外围设备整体性能和控制系统水平大幅度提高。国外知名品牌压铸机均采用电液比例及电液伺服控制技术、计算机控制技术, 以及新型液压元器件和传感器等, 对压铸过程实施实时闭环控制、工艺参数跟踪检测和自动反馈等, 提高了压铸工艺优化水平和压铸机工作的可靠性。模温机、喷涂机、定量浇注机(泵)、取件机和切边机等外围设备自动控制水平的提高, 保证了铸件精度和质量稳定性^[2,3]。

(2) 压铸过程计算机模拟技术的研究开发加深了对压铸充型、凝固过程规律的认识, 在铸件设计、压铸型设计和铸件生产过程中发挥越来越重要的作用^[4-7]。压铸过程是一个复杂的流动、传热和传质过程。采用 CSM、CIP 和 FEM 法分别解析热流和凝固过程、求解高精度的液流自由表面和显示三维解析效果, 从而可以预测缺陷产生的位置, 并能解析预防缺陷的途径。利用 CAE 模拟分析诸如流场、压力场、热应力和压铸周期等, 从而可以预测最佳压射速度、压铸模热循环等工艺参数。

(3) 薄壁铸件成形技术的开发与应用为实现轻量化的目标创造了条件^[8]。锌合金铸件壁厚可达到 0.3 mm, 铝和镁合金铸件壁厚在 1 mm 以下。除了减轻重量外, 薄壁铸件的优点是铸件的激冷表皮层厚度约 0.5 mm, 若壁厚为 1 mm 时, 则压

* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。国家自然科学基金资助项目(50275098)。20030630 收到初稿, 20030820 收到修改稿

铸件完全是表皮层,从而有利于提高强度。除了合理的压铸件结构外,薄壁压铸件成形关键是获得最佳的液流速度及合理的热流控制^[1]。根据与薄壁压铸件有关的压铸机压射工作特性,采用CAD设计浇注系统和热流平衡,并对压铸工艺参数的有效检测和控制,提高了薄壁压铸件压铸工艺水平。

(4) 压铸型材质和制造技术的发展提高了压铸型的使用寿命和压铸件质量。随着电渣重熔精炼技术的发展和新型热作模具钢的出现,压铸型材料品质大幅度提高。如锌、铝和镁合金压铸型材质大多采用H13(4Cr5MoSiV1)钢代替3Cr2W8V,与H13相对应的W302(奥地利)、ASSAB8407(瑞典)、X40CrMoV51(德国)和SKD61(日本)等模具钢也普遍应用^[9]。黄铜合金则采用H19钢^[10]。模具CAD/CAM/CAE的开发应用,在流场及温度场分析的基础上,进行优化浇注系统、铸型热平衡和确定压铸工艺参数等方面辅助设计。压铸型型腔、型芯采用数控加工、电加工技术,模具配合实施CAD/CAM,采用真空淬火、高压气淬和盐浴渗氮等热处理工艺和后续精加工技术,使压铸型制造向高精度化和高效率化发展^[11,12]。

(5) 压铸型涂料的开发改善了铸型润滑特性,提高了压铸件表面质量。水基乳化涂料具有良好的成膜性、抗焊合性和残留物少和发气量低等特点,已经成为目前压铸型的主体涂料^[13]。为了改善环境,提高压铸型和冲头寿命,减少压铸件表面流痕和减少压铸件的气体含量,开发了无机粉状固体涂料(脱模剂和冲头润滑剂)。压铸涂料定量控制设备和压室冲头自动清理润滑装置的开发应用,使压铸工艺水平发生跃变^[14]。

(6) 压铸新工艺的开发应用大大提高了压铸件力学性能、物理性能和耐蚀性能,尤其是气密性、

热处理性和焊接性。如真空压铸、充氧压铸、半固态压铸和挤压铸造等技术的采用,改善压铸过程的成形条件,显著提高压铸件内在质量^[15,16]。

我国的压铸业发展迅速,至今仍保持着年增长8%~12%的势头,但也存在许多问题和差距^[17]。诸如在压铸机械、压铸模具的设计、制造和管理等方面与世界先进水平尚有很大的差距^[12,18],必须大力研究开发和引进消化压铸设备和压铸技术,尽快赶上世界先进水平。

2 压铸合金的发展与应用状况

作为压铸技术的重要组成部分,压铸合金包括铝合金、镁合金、锌和锌铝合金、铜合金、黑色金属和金属基复合材料。铜合金压铸件具有很高力学性能和耐腐蚀性。与其他有色金属相比,铜合金压铸所需的压力和压铸温度都很高(982~1066),明显缩短压铸型的寿命,导致压铸黄铜合金铸型成本较高。当零件需要较高的强度、耐腐蚀性或耐磨性时,选择铜合金压铸成形比起其他工艺方法还是比较经济的。由于铸型材料的原因,黑色金属的压铸成形目前应用尚不广泛。现今广泛应用的是铝合金、镁合金和锌合金。

随着压铸件功能和应用领域不断扩大,压铸合金性能的内涵也不断拓展,诸如力学性能、物理性能、压铸成形性能、机加工性能、表面处理性能、耐腐蚀性、耐磨性和焊接性等。要生产优质经济的压铸件,在压铸合金方面不仅要考虑压铸合金性能和化学成分,还要优选成本与性能的均衡,以及安全性、使用寿命周期及再循环利用等问题。

2.1 压铸铝合金

压铸铝合金牌号如表1所示。美国标准列出了

表1 压铸铝合金牌号对照表

合金系列	美国 ANSI-AA-1984	日本 JIS H5302-1990	德国 DIN EN1706-1998	中国 GB/T15115-1994
AlSi5	C443.0			
AlSi9			EN AC - AlSi9	
AlSi9.5Mg0.5	360.0		EN AC - AlSi10Mg(Fe)	
AlSi9.5Mg0.5	A360.0	ADC3		YL104
AlSi8.5Cu3.5	380.0		EN AC - AlSi9Cu3(Fe)	
AlSi8.5Cu3.5	A380.0	ADC10	EN AC - AlSi8Cu3	YL112
AlSi9Cu3			EN AC - AlSi9Cu3(Fe)(Zn)	
AlSi11Cu3	383.0	ADC12	EN AC - AlSi11Cu2(Fe)	YL113
AlSi11Cu3.8	384.0			
AlSi12	413.0	ADC1	EN AC - AlSi12(Fe)	YL102
AlSi12	A413.0			
AlSi12Cu2 Mg			EN AC - AlSi12Cu1(Fe)	YL108
AlSi17Cu4.5	B390.0	ADC14		YL117
AlMg5Si		ADC6		YL302
AlMg8	518.0	ADC5	EN AC - AlMg9	

11 个牌号^[19]。以德国为主制订的新版欧洲标准中, 压铸铝合金有 9 个品种^[20]。413.0 和 A413.0、360.0 和 A360.0、380.0 和 A380.0 的合金成分中只是 Fe 的最大允许质量分数不同, 前者 w_{Fe} 2.0%, 后者 w_{Fe} 1.3%。A380.0 具有较高的力学性能和良好机加工性能, 是最广泛使用的压铸铝合金, 如汽车的支架、托架、滑板、刹车毂、泵体和支臂等结构件, 383.0 具有良好抗热裂性能, 383.0 和 A384.0 可以代替 A380.0 用于压铸复杂的零部件以改善压铸成形性能。A360.0 具有较好的耐蚀性、较高的高温强度和塑性, 但压铸成形性能较差。C443.0 尽管应用不广泛且压铸成形性能差, 但在压铸铝合金中塑性最好, 其抗蚀性中等。A413.0 具有较好的气密性, 对于缸体和压力容器是一个很好的选择, 这种合金具有优良的压铸成形性能, 适宜于制造复杂、薄壁及承力要求不严格的零部件, 如仪表盘、盖板、护板和壳体等。B390.0 的热膨胀系数小, 耐磨性优良, 但塑性和机加工性能差, 该合金适用于汽车发动机缸体、变速箱壳体、离合器架、柱塞式压缩机缸体和阀体等。518.0(AIMg8) 具有较好的强度和塑性, 优良的耐蚀性和表面处理性能, 机加工性能好, 但凝固温度范围较宽(535 ~ 621 °C), 热裂倾向大, 压铸成形性能较差。AlMg5Si 合金具有较高的韧性和疲劳强度, 以及良好的焊接性。该合金的性能与壁厚有很大关系, 通过热处理可提高压铸件的刚性和韧性^[19]。

近年来, 汽车上车门组合的铰链和支架、底盘上的发动机悬挂架、十字结构、前端架及减振机构等重要结构件都已采用铝合金压铸件。对于车体零部件要求具有很高吸收冲击功的抗冲击性能和减振性能, 还要具有可焊性和耐应力腐蚀能力。SILAFONT-36 高韧性压铸铝合金已被用于高应力、高负荷结构件设计中^[21]。SILAFONT-36 合金属于低 Fe 高 Mn 含 Sr 的 AlSi9Mg 合金。控制 SILAFONT-36 合金中 Mg 质量分数可获得不同的力学性能, 如 Mg 质量分数为 0.32% ~ 0.40% 时可用于要求伸长率的同时还要求压缩强度的零部件, Mg 质量分数为 0.24% ~ 0.30% 的合金适合于承受冲击的重负荷应力的零部件, Mg 质量分数为 0.18% ~ 0.24% 的合金用于要求高韧性和抗冲击性的零部件, Mg 质量分数为 0.13% ~ 0.19% 时用于要求伸长率高的零部件。为了获得稳定的力学性能, Mg 质量分数的变化控制在 0.07% 范围内^[22]。在 AlSi8.5Cu3.5(YL112) 基础上用稀土元素合金化, 开发 Al-Si-Cu-RE 压铸合金, 该合金具有良好的流动性、耐磨性、气密性和机加工性能, 可用于汽车变速箱、发动机壳体、气阀、

轮毂及电子产品和航空器件^[23]。

铝合金压铸件向结构复杂、薄壁和高性能、高精度以及集成化方向发展。作为结构复杂和薄壁的例子, 如采用 AlSi8Cu3(Fe) 合金制造大型客机上的化学供氧装置支座, 其最小壁厚 1 mm, 最小铸孔直径 0.8 mm; 采用 AlSi13 合金制造电气控制装置的散热器, 以最小壁厚保证最大的散热面积。作为高性能和高精度的例子, 如采用 AlSi10MgMn 合金制造轿车前轴的整体托架, 该托架是连接和固定轿车前轴的所有重要部件, 在力学性能和尺寸精度上都有很严格的要求; 采用 AlSi10Mg(Fe) 合金压铸医疗器械中保育箱加热元件的定子, 其特点是压铸件上加热螺旋体没有沿圆周增设任何附加支架而整体铸出, 甚至连加热元件接线部位也清晰可见; 采用低 Fe 的铝合金材料获得高断裂韧度的压铸件, 应用于汽车油槽、支架和后桥等。作为集成化的例子, 如采用 AlMg5Si2Mn 合金制造的轿车门组合结构件, 由 10 个压铸件组焊而成; 集机座、吹风机和热交换器于一体的轿车立式加热和热交换器用吹风机零件, 机座和吹风机采用 AlSi10Mg(Fe) 合金, 热交换器采用 AlSi12(Cu) 合金, 该铸件结构复杂, 发挥了压铸铝合金的导热性、耐热性和成形性好的特点^[24]。

2.2 压铸镁合金

以 Mg-Al 二元合金为基础加入 Mn、Zn、Si 和 RE 等合金元素, 构成 AZ、AM、AS、AE 系列压铸合金牌号, 如表 2 所示。AZ91D 具有较好的耐蚀性、优良的压铸成形性能和较高强度, 是最广泛应用的一种高纯度压铸镁合金。AM60B、AM50A 和 AM20 合金应用在需要良好伸长率和冲击韧性且具有一定强度和耐蚀性的场合。随着含铝量降低, 压铸成形性能和强度下降, 塑性提高, 因此在符合使用要求的情况下应当首选 Al 质量分数高的镁合金。AS41B 和 AE42 合金应用在需要高温强度、抗蠕变及良好塑性和耐蚀性的场合^[19]。

近年来, 轿车对减轻车重、提高燃料经济性、降低尾气排放量和提高安全驾驶性能的要求日益迫切, 压铸镁合金在汽车制造业的应用出现持续快速增长的势头。采用镁合金压铸结构件的有: 变速箱壳体、曲轴箱、传动轴外壳、离合器座、座椅架、发动机盖、进气歧管、空调机外壳、油泵壳体、过滤器外壳、方向盘和仪表板等, 正在开发的有车门框架、大型外部车身部件、发动机体和支梁等^[25,26]。信息产业也积极开发镁合金压铸件, 尤其是随着数字化技术的发展, 电子元器件趋向于高度集成化、轻薄化和微型化, 镁合金是电子产品的最佳壳体材

料,如手机外壳、笔记本电脑壳体、数码照相机和 数码摄录像机壳体等^[27]。

表 2 压铸镁合金牌号对照表

合金系列	美国 ASTM-B93&B94	日本 JIS-H2222&H5303	德国 DIN-1729	中国 JB3037
Mg Al9Zn0.7Mn0.2	AZ91B	MD11B	GD-MgAl9Zn1	YM5
Mg Al9Zn0.7Mn0.2	AZ91D	MD11B		
Mg Al8Zn0.7Mn0.22	AZ81		GD-MgAl8Zn1	
Mg Al6Zn0.7Mn0.25			GD-MgAl6Zn1	
Mg Al6Mn0.3	AM60A	MD12A	GD-MgAl6Mn	
Mg Al6Mn0.3	AM60B	MD12B		
Mg Al5Mn0.35	AM50A			
Mg Al4RE2.4Mn0.3	AE42			
Mg Al4Si1Mn0.37	AS41A	MD13A	GD-MgAl4 Si1	
Mg Al4Si1Mn0.37	AS41B			
Mg Al2Mn0.55	AM20			

注：ASTM B94, 压铸件；国际镁合金协会, 铸锭。

镁合金的耐蚀性较差,为了提高压铸镁合金的耐蚀性,应严格控制镁合金中杂质元素(如 Fe、Cu、Ni 等)和夹杂物质量分数,提高镁合金纯净度是扩大应用范围的技术关键^[28,29]。

解决镁合金氧化活性给压铸工艺过程 and 环境保护带来的问题是非常重要的^[30]。用熔剂覆盖和除气精炼会排出酸雾,腐蚀建筑结构和环境;用 SF₆ 混合气体保护,对地球产生温室效应。研究开发高效、低污染、低成本的熔炼保护介质和相应的工艺及装备已势在必行。

2.3 压铸锌合金和锌铝合金

压铸锌合金和锌铝合金牌号如表 3 所示。锌合

金包括 Zamak2、Zamak3、Zamak5 和 Zamak7, 锌铝合金包括 ZA8、ZA12 和 ZA27 等^[19]。Zamak 合金可采用快速循环的热室压铸工艺,铸件具有无毛刺、无斜度和非常接近的公差等特点。Zamak3 锌合金应用最广泛,它具有力学性能、铸造性能和经济性的最佳组合,用于制造形状复杂且具有很好的表面光洁度的铸件。Cu 质量分数高的 Zamak2 合金进一步增强了合金耐磨性,但却降低尺寸和性能的稳定性的。Cu 质量分数低的 Zamak5 合金具有较高的抗蠕变性能,但塑性有所降低。含 Ni 的 Zamak7 合金是一种特殊的高纯度锌合金,流动性较好,适用于薄壁件成形。

表 3 压铸锌合金和锌铝合金牌号对照表

合金系列	美国 ASTM-B86	日本 JIS	德国 DIN-1743	中国 GB-T13818
ZnAl4 Mg0.035 Cu3	AC43A(Zamak2)			YX043
ZnAl4 Mg0.035	AG40A(Zamak3)	ZDC-2	GD- ZnAl4	YX040
ZnAl4 Mg0.055 Cu1	AC41A(Zamak5)	ZDC-1	GD- ZnAl4 Cu1	YX041
ZnAl4 Mg0.013Ni0.013	AG40B(Zamak7)			
ZnAl8.4 Mg0.023 Cu1	(ZA8)			
ZnAl11 Mg0.023 Cu0.88	(ZA12)			
ZnAl27 Mg0.015 Cu2.25	(ZA27)			

注：括号内指商业代号。

迅速发展的高铝锌基合金以其具有优异的力学性能、耐磨性能、机加工性能和低能耗、无污染等特点,引起人们极大兴趣。含有较高 Al 和 Cu 的锌铝合金比 Zamak 合金具有强度高、耐磨性好和抗蠕变性能优良,密度小等特点。ZA27 合金在已列入标准的牌号中熔点高、强度高和密度低。锌铝合金主要是作为替代铜合金的减摩耐磨材料及替代铝合金和铸铁的结构材料。锌铝合金经 Mn 或 Si 合金化,可进一步提高耐磨性和耐热性,应用于有高耐磨性和耐热性要求的场合^[31,32]。经 RE 变质的 ZA27 合金,提高了阻尼性能,尤其是应用在频率高于

70 Hz 的场合,减振效果更明显^[33]。

与铝合金和镁合金相比,锌合金成本低,具有较高的强度和硬度及较好的伸长率和冲击韧度,且能成形为形状复杂、薄壁、表面光滑和高尺寸精度的压铸件,但密度大。锌合金压铸所需的压力小且温度低,明显延长压铸型寿命。锌合金在小型压铸件上应用范围很广,最常用于小型压铸件的是 Zamak 和 ZA8 合金。ZA8 合金是唯一能用于快速热室压铸工艺的锌铝合金,它在热室压铸锌合金中强度最高和抗蠕变性能最好^[19]。Zamak 合金和 ZA8 合金明亮的镀铬特性是五金、玩具、模型和装饰品

制造业优先选择的合金。

锌合金压铸件为电子产品提供了一种解决电磁屏蔽问题的良好途径^[34], 锌合金比其他压铸合金更易压铸成薄壁件, 薄壁锌合金压铸件用于电气产品屏蔽时显示出较大的优势。锌合金通常允许断面变化较大并维持接近的尺寸公差。

3 结 论

为了满足现代工业发展的要求和增强在世界压铸市场的竞争力, 必须大力研究开发压铸技术, 尽快赶上世界先进水平。随着现代压铸技术的迅速发展, 压铸件趋向于大型化或微型化、复杂化、薄壁化和集成化的方向发展, 压铸合金的研究开发也必须使其性能趋于多元化, 以适应不断扩大的压铸件功能和应用领域的需求。

参 考 文 献

- 1 Kaye A, Street A. 压铸冶金学. 黄杏蓉等译. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 2 Iten L. New die casting machines for solutions in the future. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 186~193
- 3 Shoukou Kubota. Introducing a casting system to achieve high quality die cast parts. 见: 第三届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 261~271
- 4 Eisuke Niyama. Recent developments in die casting simulation. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 7~10
- 5 R Rösch R, Becker H H, Kluge S, et al. Simulation aided design and process development for magnesium high pressure die castings. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 231~239
- 6 钱万选. 压铸填充过程的理论探讨. 特种铸造及有色合金, 2001(压铸专刊): 1~4
- 7 Liang H Y, Hou H, Xu H. Application of ABX in the process of mold filling simulation for casting. 见: 第三届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 303~308
- 8 菱昭省三. 日本应用镁合金于 IT 产业的情况. 见: 第三届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 39~43
- 9 潘宪曾. 压铸模设计手册. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 10 北美压铸协会(NADCA)压铸件生产技术标准(连载之三). 于海朋等译. 压铸世界, 2002(3): 32~40
- 11 Schmauser H R. Nitriding of pressure die casting dies and tool elements. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 198~203
- 12 蔡紫金, 潘宪曾. 我国压铸模制造简况. 特种铸造及有色合金, 2000(增刊): 6~9
- 13 韩宝刚. 压铸水基涂料的应用与发展. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 29~33
- 14 赵龙德. 压铸涂料定量控制设备. 特种铸造及有色合金, 2001(压铸专刊): 17~18
- 15 彭晓东, 刘相果, 刘江, 等. 轻合金无气孔压铸技术进展. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 23~28
- 16 Young K, Eisen P. New die casting technologies-markets and applications. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 83~94
- 17 宋才飞. 我国压铸工业现状与发展方向. 特种铸造及有色合金, 2000(增刊): 1~2
- 18 彭余恭. 我国压铸机械的现状与发展方向. 特种铸造及有色合金, 2000(增刊): 3~5
- 19 北美压铸协会(NADCA)压铸件生产技术标准(连载之四). 于海朋等译. 压铸世界, 2002(4): 24~36
- 20 戴文兵. 关于铝合金压铸件新版欧洲标准的介绍. 压铸世界, 2003(1): 27~29
- 21 Schultz W F, Downey W T. 压铸工业的发展趋势. 马阳麟, 赵大志译. 压铸世界, 2002(3): 18~26
- 22 渡边修一郎. 汽车压铸件用高韧性压铸合金 SILAFO-NT-36. 王云昭译. 压铸世界, 2003(1): 2~5
- 23 冯俊, 鲍卫宁, 冯洁. 新型铝硅铜压铸合金. 特种铸造及有色合金, 2001(2): 56~57
- 24 周静一译. 2002 年铝合金压铸件评奖会. 压铸世界, 2002(4): 4~5
- 25 陈立禾, 赵慧杰. 工业欧洲镁压铸及其在汽车工业中的应用发展概况. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 16~22
- 26 Robert E. Magnesium alloy and their applications. Light Metal AGE, 2001(6): 54~56
- 27 翟春泉, 曾小勤, 丁文江, 等. 镁合金的开发与应用. 机械工程材料, 2001, 25(1): 6~10
- 28 Rajan Ambat, Naing Naing Aung, Zhou W. Study of corrosion behaviour of AZ91D die castings. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 101~106
- 29 Song G L, Andrej Atrens, Matthew Dargusch. Influence of microstructure on the corrosion of diecast AZ91D. Corrosion Science, 1999, 41: 249~273
- 30 俞继志. 浅析镁合金压铸的历史、现状和未来. 特种铸造及有色合金, 2001(压铸专刊): 72~75

- 31 于海朋, 张尚洲, 李荣德, 等. 锰对挤压铸造 ZA43 合金组织和性能的影响. 第二届中国国际压铸会议论文, 2000 : 156~160
- 32 耿浩然, 马家骥, 贾均. ZAS35 高强韧锌基耐磨合金的研制. 特种铸造及有色合金, 1999(增刊) : 64~66
- 33 谭银元. 稀土对 ZA27 合金阻尼性能的影响. 特种铸造及有色合金, 2002(2) : 53~54
- 34 Ling T. EMI shielding characteristic of zinc die castings. 见: 第二届中国国际压铸会议论文集, 沈阳: 东北大学出版社, 2000 : 108~115

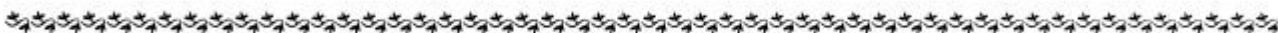
Li Rongde Yu Haipeng Yuan Xiaoguang
(Shenyang University of Technology)

Abstract : The development and its history of die casting technology is reviewed. The research and application of various die casting alloys such as aluminum, magnesium, zinc and ZA alloys are discussed. And at the same time, analysis concerning with the issues of further development towards die-casting alloys is carried out.

Key words : Die-casting technology Die-casting alloy

作者简介: 李荣德, 男, 1960 年出生, 工学博士, 教授, 博士生导师, 兼任中国机械工程学会铸造分会副理事长, 全国压铸委员会理事长。主要研究方向为挤压铸造及有色合金。发表学术论文约 100 篇, 曾获国家发明奖一项, 省部级科技进步奖一、二、三等奖各 1 项, 省级教学成果一等奖 2 项等。

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE DIE-CASTING TECHNOLOGY AND ALLOY



《机械工程学报》被 EI 检索论文目次(2002 年第 11 期)

负载模拟器的评价指标体系.....	焦宗夏 华清 王晓东等 (26)
电液负载模拟器的精确数学模型.....	华清 焦宗夏 王晓东等 (31)
傅里叶变换与小波变换的统一数学模型.....	钟佑明 秦树人 汤宝平 (36)
管道形轮腿式月球探测机器人.....	刘方湖 马培荪 陈建平 (42)
关于重新建立平面、球面机构与结构自由度计算新公式的研究.....	欧阳富 张士成 刘彦华等 (49)
6-UPS 型并联机构的刚体动力学模型.....	郭祖华 陈五一 陈鼎昌 (53)
基于离散傅里叶变换与谐波平衡法的行星齿轮系统非线性动力学分析.....	孙涛 胡海岩 (58)
水轮机尾水管内部压力脉动试验研究.....	何成连 王正伟 邱华 (62)
四叶片差速器的理论研究.....	陈明 李丽伟 焦映厚等 (66)
人一车一路闭环系统操纵稳定性的模糊评价及其仿真.....	孔繁森 郭孔辉 孙光升等 (75)
环形起重设备的局部动力效应和抗震分析.....	曲淑英 王心健 曲乃泗等 (80)
预测钛合金超塑成形 - 扩散连接(SPF/DB)界面层的断裂韧度.....	吴诗q 向毅斌 (84)
微型轴承性能的测试与分析.....	陶益民 姚振强 袁焱章等 (88)
基于流函数法的铝型材挤压导流模合理设计.....	贾俐俐 高锦张 (92)
双辊铸轧薄带钢侧封板材料评价及热应力有限元模拟.....	李朝锋 邱洪双 张晓明等 (96)
机械零件分类编码的数字特征.....	李凌丰 (100)
基于形状特征的自由曲面建模技术.....	陈浪 秦大同 郑小光 (105)
机床床身自准直设计原理及其在导轨磨床中应用的研究.....	于骏一 闫占辉 曾福胜等 (109)
半主动直接输出反馈变结构控制电流变阻尼器减振研究.....	蔡良斌 陈大跃 黄震宇等 (113)
基于任务执行全过程的工作流建模方法.....	郝永平 王崇海 宁汝新等 (119)
基于 BP 神经网络优化算法的工程车辆挡位判断的训练及仿真.....	戴群亮 赵丁选 (124)
微线段齿轮的根切分析.....	王爱群 李荣刚 冯显英等 (128)
降低渗硼层本质脆性对其摩擦磨损特性的影响.....	许斌 李木森 (131)
一种视觉导航的实用型 AGV 设计.....	王荣本 储江伟 冯炎等 (135)
虚拟加工中的加工误差分析与预测.....	马玉林 付宜利 孙宏伟 (139)
神经网络共轭梯度优化算法在激光加工定位中的应用.....	侯祥林 虞钢 虞和济 (143)
装备故障仿真及评估方法.....	贾长治 王兴贵 马吉胜等 (147)
非接触式转子泵转子理论型线与实际型线设计.....	张铁柱 张洪信 赵红 (152)