

文章编号: 1004-0609(2004)07-1162-06

减速减压工艺对镁合金压铸件质量与性能的影响^①

刘文辉^{1, 2}, 刘艳改¹, 熊守美¹, 柳百成¹, 王 罡¹,

侯 骏², 佟国侗², Y. Matsumoto³, M. M. H. Kochi³

(1. 清华大学 机械工程系, 北京 100084; 2. 中国一汽 铸造有限公司, 长春 130011;

3. Toyo Machinery & Metal Co Ltd, Fukusato, Futamichi, Akashi-shi,

Hyogo-ken, 674-0091, Japan)

摘 要: 以镁合金发动机缸盖罩盖为研究实例, 对镁合金压铸过程中减速减压工艺对型腔内压力变化、铸件外观质量、铸件性能、铸件内孔洞的影响进行了研究。结果表明: 镁合金压铸充型过程中采用减速或减压工艺会造成型腔内充填压力降低, 导致铸件表面质量下降; 分别采用减速或减压工艺, 型腔内的增压压力稍有降低, 铸件内孔洞数量和尺寸稍有增加, 铸件强度和密度随之降低; 同时采用减速和减压工艺, 型腔内充填压力和增压压力显著下降, 铸件内孔洞数量和尺寸明显增加, 铸件强度和密度随之显著下降。

关键词: 镁合金; 压铸; 减速; 减压; 表面质量; 性能

中图分类号: TG 146

文献标识码: A

Influence of decreasing speed technology and decreasing pressure technology on quality and properties of magnesium alloy die castings

LIU Wen-hui^{1, 2}, LIU Yan-gai¹, XIONG Shou-mei¹, LIU Bai-cheng¹, WANG Gang¹,

HOU Jun², TONG Guo-dong², Y. Matsumoto³, M. M. H. Kochi³

(1. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Foundry Ltd. of the First Automotive Works, Changchun 130011, China;

3. Toyo Machinery & Metal Co Ltd, Fukusato, Futamichi, Akashi-shi,

Hyogo-ken, 674-0091, Japan)

Abstract: A magnesium cylinder head cover was used to experimentally study the influence of application of decreasing speed technology(denoted as DST) and decreasing pressure technology(denoted as DPT) on pressure variations in the die cavity, the surface quality, properties and gas porosity of magnesium alloy die castings. The results show that the application of DST and DPT during mold filling of magnesium die casting leads to the decrease of filling pressure and the decrease of surface quality of the castings. Application of DST or DPT respectively causes the decrease of the pressure during pressure intensification stage and a little increase of the number and size of gas porosity in the castings. As a result, the tensile strength and density of the castings decrease. Application of DST and DPT simultaneously causes a great decrease of filling pressure and the pressure during pressure intensification stage and a sharp increase of the number and size of gas porosity in the castings. Accordingly, the tensile strength and density of the castings decrease greatly.

Key words: magnesium alloy; die casting; decreasing speed; decreasing pressure; surface quality; property

基金项目: “清华-东洋镁铝合金成形技术研究开发中心”研究开发项目; 国家自然科学基金资助项目(50275081); 教育部博士后专项基金资助项目

收稿日期: 2003-10-15; 修订日期: 2004-03-18

作者简介: 刘文辉(1964-), 男, 高级工程师, 博士研究生。

通讯作者: 刘艳改, 博士; 电话: 010-62794482-802; E-mail: liuyangai@mail.tsinghua.edu.cn

镁合金具有许多优良的性能, 如质轻、比强度和比刚度高、耐冲击、阻尼吸震、导热性好、防磁、良好的加工性能和抛光性能、环境保护好等^[1-15], 因此在航空工业、汽车工业和电子通讯工业中得到越来越广泛的应用^[2, 4-7]。在镁合金开发产品领域的应用进程中, 最主要的成形加工技术当首推压铸方法, 镁合金压力铸造件占镁合金铸件的 90% 以上^[8-10]。但是由于镁合金的流动性好, 在压铸过程中很容易产生飞边毛刺。针对这一情况, 设备制造商在压铸机上增加了减速、减压功能, 很好地解决了铸件飞边毛刺的问题, 但同时也带来了其他一些质量问题^[11]。本文作者以镁合金发动机缸盖罩盖为研究实例, 探讨了镁合金压铸充型过程中减速减压工艺对铸件质量和性能的影响。

1 实验

1.1 实验方案

工艺实验在 650t (BD-650V4-N) 压铸机上进行。采用 4 种工艺方案: 1) 没有减速减压 (Without DST and DPT); 2) 减压 (DPT); 3) 减速 (DST); 4) 同时减速减压 (DST and DPT)。分别对 4 种工艺条件下压铸镁合金发动机缸盖罩盖型腔内压力、表面质量、力学性能、孔洞分布形态和尺寸进行测试。每种工艺条件压制 7 件, 对测试指标求平均值。其他工艺条件为: 模具温度 200 °C; 浇注温度 660 °C; 料柄厚度 20 mm; 增压启动时间 30 ms; 压室温度 230 °C; 高速起速位置 210 mm; 高速速度 70 m/s; 铸造压力 63 MPa; 低速速度 0.4 m/s; 增压位置 265 mm。

1.2 铸件结构和工艺参数

发动机缸盖罩盖铸件及浇注系统如图 1 所示, 图中 p_1 与 p_2 点为型腔内压力、铸件密度、强度、气孔分布的测试位置。合金材料采用 AZ91D 镁合金。

铸件结构参数为: 零件质量 1 099 g; 投影面积 73 780 mm²; 最小壁厚 2.3 mm; 最小壁厚所占比例 85%; 最大壁厚 10 mm; 最大壁厚所占比例 6%; 空间对角线长度 462 mm。

铸造工艺参数为: 压室面积 7 850 mm²; 浇口面积 326 mm²; 内浇口厚度 1.3 mm; 压室长度 315 mm。

1.3 测试方法

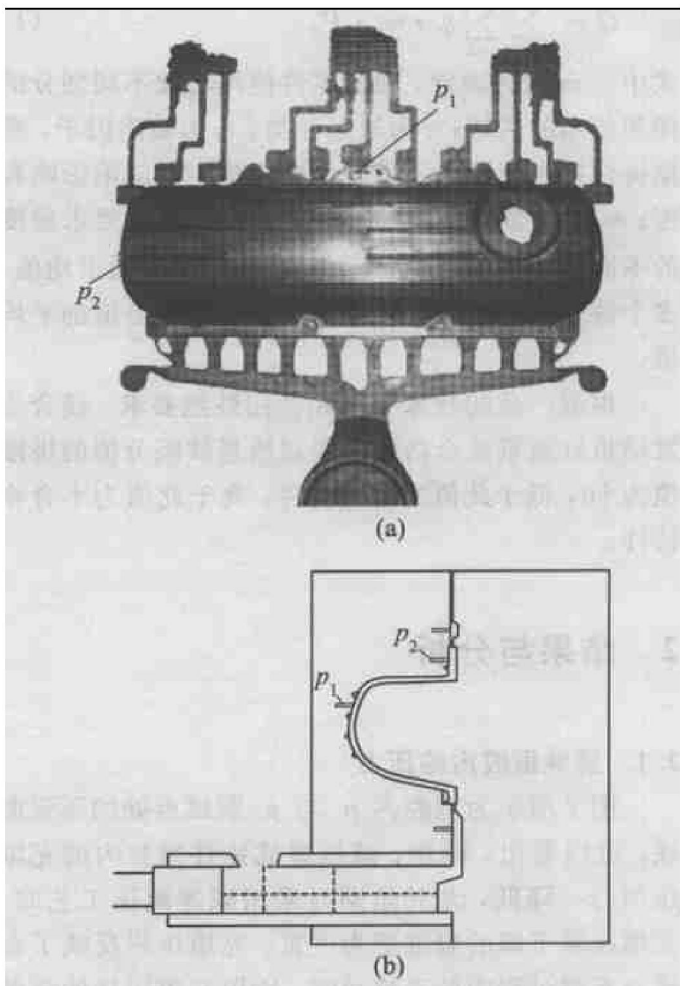


图 1 发动机缸盖罩盖铸件(a)及浇注系统(b)

Fig. 1 Casting structure(a) and runner system(b) of cylinder head cover component

(Points p_1 and p_2 are locations to measure

pressure in die cavity and to get samples to test quality, density and tensile strength of casting)

采用阿基米德法进行密度测试(测试精度 1 mg)。从测试点取样加工成截面尺寸为 8 mm × 1.5 mm 的试样, 在 Instron 1186 型万能电子试验机上进行拉伸实验。采用光学显微镜观察抛光试样表面的气孔形态及分布, 利用自编的 MATLAB 孔洞处理软件对气孔分布照片进行处理, 计算孔洞所占总面积的百分比和孔洞的平均直径。在图 1 所示的 p_1 与 p_2 点安装压力传感器, 对型腔内的压力变化进行测试。

1.4 铸件外观质量的评定

首先用铜刷将铸件表面的涂料层刷掉, 然后对铸件表面的缺陷, 如冷隔、褶皱、流痕、浇不足、裂纹、缩陷等, 按一定的评定标准用肉眼进行观测评定, 将评定结果根据式(1)计算铸件外观质量的缺陷分值 Q 。

$$Q = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \eta_i \cdot \omega_j \cdot \bar{P}_{ij} \quad (1)$$

式中 m 为区域数, 根据零件使用功效不同划分的面积相当的区域; n 为缺陷种类; η_i 为缺陷因子, 根据铸件技术标准与使用性能要求确定的缺陷影响程度; ω_j 为加权系数, 对所划分区域对质量要求程度的不同给出的系数值; $\bar{P}_{ij}$ 为子缺陷分值的平均值, 多个铸件某一区域某一种缺陷的子缺陷分值的平均值。

根据产品的技术要求和性能要求, 镁合金发动机缸盖罩盖合格铸件表面质量缺陷分值的极限值为 50, 低于此值为合格铸件, 高于此值为不合格铸件。

2 结果与分析

2.1 铸件型腔内的压力

图 2 所示为型腔内 p_1 与 p_2 测试点处的压强曲线。可以看出, 减速、减压造成铸件型腔内的充填压强(p_F)降低, 尤其是同时采用减速减压工艺时, 充填压强下降的幅度更为严重。充填压强反映了金属液充型过程中的充填动能, 所以充填压强的降低将会导致铸件充型过程中表面缺陷的出现。在单独采用减速或减压工艺时, 型腔内的增压压强(p_I)降低很小, 但是在同时采用减速减压工艺时, 增压压强降低严重, 增压压强反映了型腔充满后及液态金属凝固过程中设备施于金属液的压强, 它直接影响铸件的性能和质量。

2.2 铸件表面质量

观察发现, 采用减速、减压工艺后铸件的飞边毛刺明显减少, 但是铸件的外观质量有所降低, 尤其是同时采用减速减压工艺时, 铸件表面质量严重恶化。图 3 所示为不同工艺方案下铸件表面质量缺陷分值的计算结果。由于采用减速、减压工艺使得金属液充填型腔时的充填压力下降, 造成金属液充填型腔时的动能减小, 使金属液的充型能力降低, 结果使铸件的表面缺陷, 如冷隔、浇不足、流痕等, 大量增加, 导致铸件表面质量下降。同时采用减速减压工艺时, 由于型腔内金属液的充填压力显著降低, 结果造成铸件的表面质量严重恶化。

2.3 铸件内的孔洞

图 4 所示为铸件测试点 p_1 处所取试样抛光后

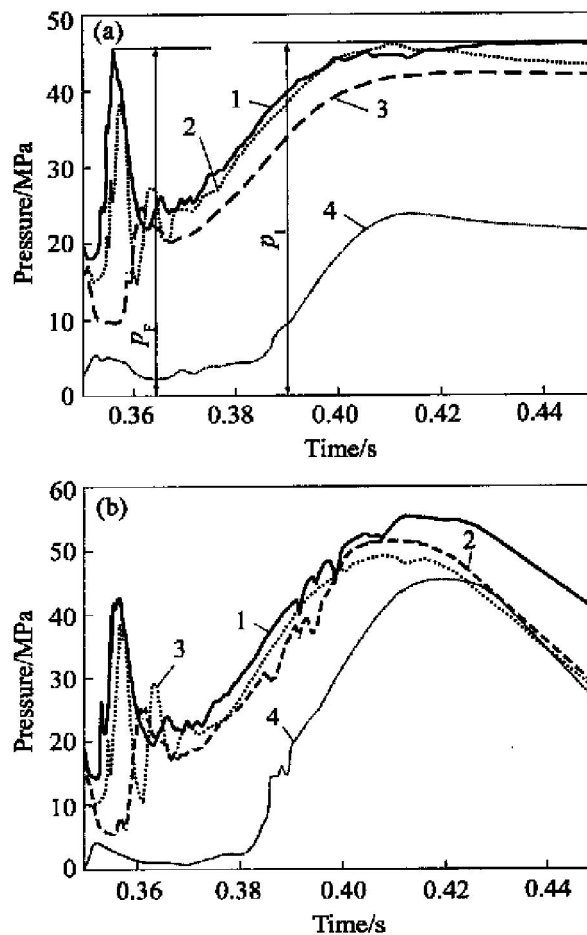


图 2 充型凝固阶段型腔内 p_1 (a) 和 p_2 (b) 测试点处的压强曲线

Fig. 2 Pressure curves at points p_1 (a) and p_2 (b) in die cavity during mold filling and solidification stages

1) —Without DST and DPT; 2) —DPT; 3) —DST; 4) —DST and DPT

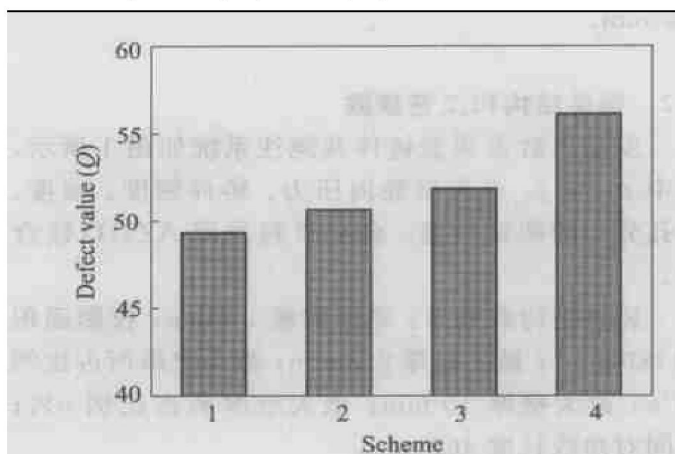


图 3 不同工艺方案下铸件表面质量的缺陷分值

Fig. 3 Defect values of surface quality of castings under different schemes (1—Without DST and DPT; 2—DPT; 3—DST; 4—DST and DPT)

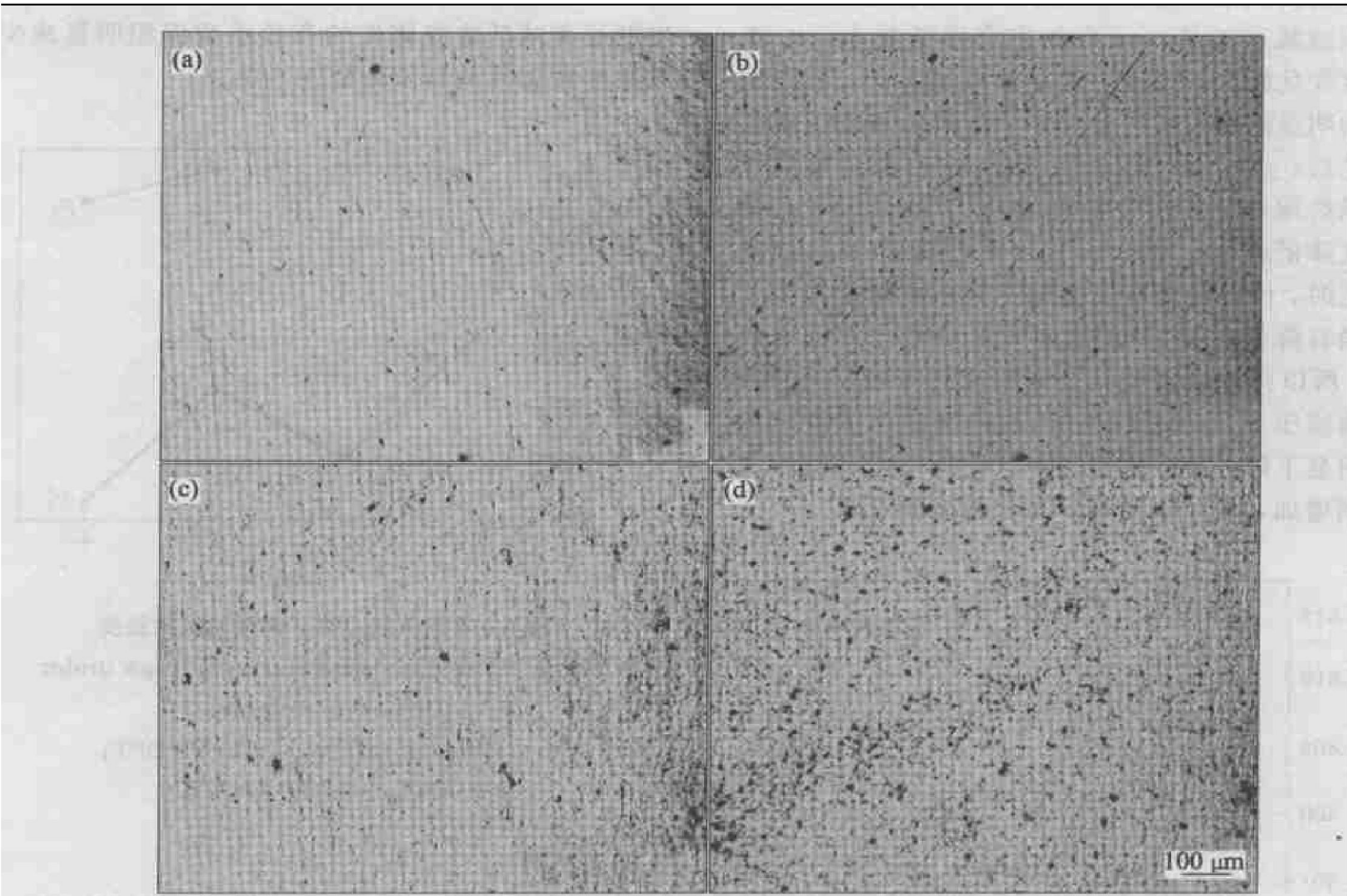


图 4 铸件 p_1 测试点处所取试样表面孔洞的光学显微照片

Fig. 4 Optical photos of gas porosity of specimens taken from point p_1 in castings under different schemes
(a) —Without DST and DPT; (b) —DPT; (c) —DST; (d) —DST and DPT

表面孔洞的光学显微照片。图 5 所示为不同工艺方案下铸件 p_1 与 p_2 测试点处孔洞的面积分数和平均直径的计算结果。可见单独采用减速或减压工艺时,铸件内孔洞的面积分数和尺寸均有所增加;同时采用减速减压工艺时,铸件内孔洞的面积分数和尺寸明显增加。金属液凝固过程中型腔内的增压压力增加时,作用在金属液上的补缩压力随之增加,铸件就会得到有效补缩,结果铸件内形成缩孔和缩松的倾向减少。较高的增压压力还会将卷入的气体进一步压缩,使气孔的面积分数和尺寸减小。与不采用减速减压工艺相比,单独采用减速或减压工艺时,型腔内的增压压力下降,结果造成孔洞的面积分数和尺寸随之提高;同时采用减速减压工艺时,型腔内的增压压力显著降低,结果导致铸件内孔洞的面积分数和尺寸大幅度增加。

2.4 铸件的强度和密度

不同工艺方案下铸件 p_1 与 p_2 测试点处所取试

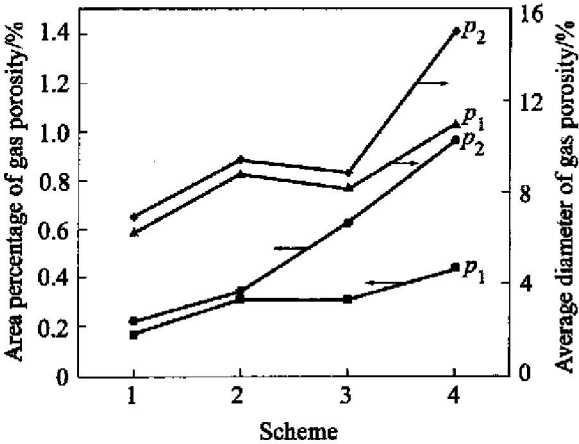


图 5 不同工艺方案下铸件 p_1 与 p_2 测试点处孔洞的面积分数和平均直径

Fig. 5 Area percentage and average diameter of gas porosity at points p_1 and p_2 in castings under different schemes
(1 —Without DST and DPT; 2 —DPT; 3 —DST; 4 —DST and DPT)

样的密度测试结果如图 6 所示。可以看出, 单独采用减压或减速工艺, p_1 点的密度降低较小, p_2 点的密度变化较大; 同时采用减速减压工艺, 两点的密度均明显降低。从图 2 可知, 单独采用减压或减速工艺后, p_1 点的增压压力变化较小, 铸件凝固过程中始终保持较为一致的补缩压力, 所以 p_1 点处的密度降低较少。对于 p_2 点, 单独采用减速或减压工艺时, 该处的增压压力与不采用减速减压工艺相比稍有降低, 铸件内的孔洞面积分数与尺寸有所增加, 所以铸件的密度有一定程度的降低。同时采用减速减压工艺时, p_1 与 p_2 点处型腔内的增压压力均明显下降, 增压压力的降低使铸件内孔洞所占的比例增加, 结果导致铸件的密度显著下降。

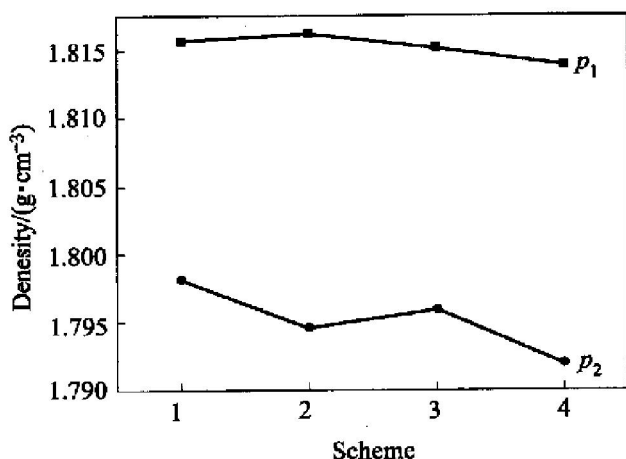


图 6 不同工艺方案下铸件的密度

Fig. 6 Density of castings under different schemes

(1—Without DST and DPT; 2—DPT; 3—DST; 4—DST and DPT)

图 7 所示为不同工艺方案下铸件 p_1 与 p_2 测试点处所取试样的抗拉强度测试结果。可以看出单独采用减速或减压工艺时, 铸件的强度下降幅度较小, 但是当采用同时减速减压工艺时, 铸件的强度大幅度下降。这是由于压铸过程中单独采用减速或减压工艺时, 型腔内的增压压力降低较少, 铸件在凝固过程中所受的补缩压力与不采用减速减压工艺时相比相差较小, 这样铸件内缩孔、缩松以及气孔所占截面面积的百分比与孔洞的尺寸相差较小, 铸件密度相差也较小, 铸件的有效承载面积变化较小, 结果铸件的抗拉强度相差也较小。同时采用减速减压工艺时, 由于铸件型腔内的充填压力和增压压力都有大幅度的下降, 铸件在凝固过程中没有足够的有效补缩压力使铸件得到补缩, 结果铸件内部产生缩孔和缩松的倾向增加, 气孔数量和尺寸也增

加, 铸件密度明显降低, 孔洞率的显著增加以及密度的显著减低造成铸件的有效承载面积明显减少, 结果导致铸件的强度大幅度下降。

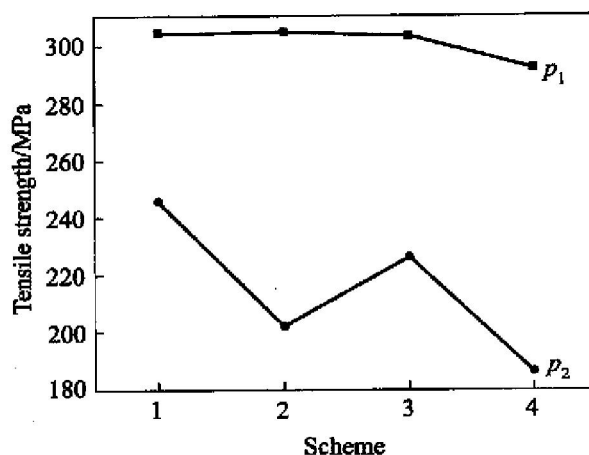


图 7 不同工艺方案下铸件的抗拉强度

Fig. 7 Tensile strength of castings under different schemes

(1—Without DST and DPT; 2—DPT; 3—DST; 4—DST and DPT)

3 结论

1) 采用减速或减压工艺导致铸件充型过程中的充填压力降低, 同时采用减速减压工艺时铸件型腔内的充填压力和增压压力都大幅度下降。

2) 采用减速或减压工艺会减少铸件飞边毛刺的产生, 但是造成铸件的表面质量下降, 尤其是同时采用减速减压工艺时铸件的表面质量严重恶化。

3) 单独采用减速或减压工艺时, 铸件内的气孔数量及尺寸稍有增加; 同时采用减速减压工艺时, 气孔数量及尺寸显著增加。

4) 单独采用减速或减压工艺时, 铸件的密度和抗拉强度稍有降低; 同时采用减速减压工艺时, 铸件的密度和强度明显降低。

REFERENCES

- [1] 吴炳尧. 镁合金压铸技术分析[J]. 铸造, 2000, 8: 443 - 445.
WU Bing-yao. Analysis of magnesium alloy die casting technology[J]. Foundry, 2000, 8: 433 - 445.
- [2] Friedrich H, Schumann S. Research for a "new age of magnesium" in the automotive industry[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001. 117: 276 - 281.
- [3] 翟春泉. 镁合金的开发与应用[J]. 机械工程材料,

- 2001, 25(1): 6-10.
- ZHAI Chun-quan. Development and application of magnesium alloy in China[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2001, 25(1): 6-10.
- [4] 汪之清. 国外镁合金压铸技术的发展[J]. 铸造, 1997, 8: 48-50.
- WANG Zhi-qing. Development of magnesium alloy die-casting technique overseas[J]. Foundry, 1997, 8: 48-50.
- [5] 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, 1999, 3: 54-57.
- ZHANG Yong-zhong, ZHANG Kui, FAN Jian-zhong, et al. Magnesium die-casting alloys and their applications in automotive industry[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 1999, 3: 54-57.
- [6] 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.
- LI Xiao-min. The application in automobile of die-casting magnesium alloy and its developing prospect[J]. World Nonferrous Metals, 2001, 9: 16-18.
- [7] 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, 12: 1-4.
- JI Ze-sheng, LI De-feng, SUN Rong-bin. Development conditions of the magnesium alloy die-casting technology[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2001, 12: 1-4.
- [8] 谭建波, 李立新, 张国青, 等. 镁合金压铸的现状与发展趋势[J]. 热加工工艺, 2002, 3: 57-58.
- TAN Jian-bo, LI Li-xin, ZHANG Guo-qing, et al. Present status and development trend on die-casting for Mg alloy[J]. Heat Working Technology, 2002, 3: 57-58.
- [9] 曾大本, 李培杰. 镁合金压铸业现状及发展趋势[J]. 铸造, 2000, 12: 871-874.
- ZENG Da-ben, LI Pei-jie. Development status and prospect of magnesium die casting in China[J]. Foundry, 2000, 12: 871-874.
- [10] 潘宪曾. 镁合金在中国压铸工业中的应用[J]. 铸造, 2001, 6: 303-309.
- PAN Xian-zeng. Application of magnesium alloy in die casting industry of China[J]. Foundry, 2001, 6: 303-309.
- [11] 刘红梅, 李鸿义, 赵浩峰. 镁合金压铸装备的发展[J]. 山西机械, 2003, 3: 1-4.
- LIU Hong-mei, LI Hong-yi, ZHAO Hao-feng. Development of magnesium alloy die-casting equipments[J]. Shanxi Machinery, 2003, 3: 1-4.
- [12] Tai C C, Lin J C. A runner-optimization design study of a die-casting[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 84: 1-12.
- [13] Mordike B L, Ebert T. Magnesium-properties-applications-potential[J]. Materials Science and Engineering, 2001, A302: 37-45.
- [14] 余琨, 黎文献, 王日初, 等. 变形镁合金的研究、开发及应用[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(2): 277-288.
- YU Kun, LI Wen-xian, WANG Ri-chu, et al. Research, development and application of wrought magnesium alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2003, 13(2): 277-288.
- [15] 黄晓锋, 周宏, 何镇明. 镁合金的防燃研究及其进展[J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(2): 271-274.
- HUANG Xiao-feng, ZHOU Hong, HE Zhen-ming. Research and development on ignition proof magnesium alloys[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(2): 271-274.

(编辑 杨兵)