

冒口对铬铁矿砂砂型铸造 A201 铝合金铸件微孔隙之影响

郭永圣

(台湾建国科技大学)

摘要：以 100%铬铁矿砂使用 CO₂ 法制作砂型，并系统改变 A201 铝合金平板铸件的长度、厚度及冒口大小的方案设计，研究砂型中 A201 铝合金平板铸件微孔隙的变化情形，进而探讨铸件的健全性，可于铸造实务工作时，作为冒口设计及金属凝固之参考。实验结果显示了适当尺寸的冒口设计与铸件的尺寸的关系，有助于获得健全性的铸件。此外，A201 铝合金平板铸件微孔隙的变化受铸造方案的影响，铸件补缩状况欠佳时与微孔隙变化有关联性。

关键词：冒口；A201 铝合金；微孔隙；铬铁矿砂

Influence of Riser System on the Porosity Content of A201 Aluminum Alloy Castings in Chromite Sand Molds

Kuo, Yeong-Sant

(Department of Mechanical Engineering, ChienKuo Technology University)

Abstract: Systematic change of riser size together with variations of thickness and length of A201 aluminum alloy plate castings were studied to investigate the correlation between riser system and porosity content. The molds with end chill for plate castings were made of 100% chromite sand by CO₂ process. If soundness throughout the whole plate casting has to be guaranteed, the riser diameter should be proper design to the dimension of the plate. The Porosity content of A201 aluminum alloy plate casting is governed by riser diameter, thickness and length of the plate.

Key words: riser; A201 aluminum alloy; porosity content; chromite sand

1 前言

A201 铝合金在铸造用铝合金中，具有最佳的抗拉强度及屈服强度，目前已广泛应用于航天及军事武器系统领域中，但因其具有 124~127℃ 的宽凝固范围^[1]，致铸造性能不如 A356、A357 等铝硅系列合金优良；以往的研究中显示凝固范围越宽，合金铸造性能越差。

在含银 1.0wt.% 的 A201 铝合金冒口补缩的研究中，显示对使用小冒口补充的平板铸件，其微孔隙在长且薄的平板铸件中间部位，有明显增加的现象；但是在 A206 铝合金的研究中^[2]，却未见到类似的现象；此外二者的力学性能也有一段差距。然而 A201 与 A206 铝合金的差异，仅在于前者含有银，后者未含银，有研究^[3]显示银含量会影响微孔隙，但未提到冒口补缩的影响。

而由铸件的补缩行为影响显示，铸件冷却速率越快，力学性能越佳^[4-6]；但 Chamberlain 及 Sulzer^[7]持的看法是合金成分是影响力学性能的因素，对同一种合金成分的铸件而言，成分若未改变，则微小的变化，应该不是影响力学性能的主要因素。由以往的研究显示，微孔隙、DAS、第二相的组成、或是其分布及形状，均是影响力学性能的因素^[1, 8-11]，但基本原因可归纳为铸件的冷却速率。

归纳前人有关冷却速率的研究中，大部分均使用厚度不同的铸件，以获得铸件不同的冷却速率，再由此探讨其对铸造性质的影响^[12]，研究工作采取此种方法，可获得一定的数据，但对实务工作而言，有所欠缺，不同尺寸的铸件，应使用适当尺寸的冒口，以建立良好的凝固顺序，得到健全铸件；亦有研究

用不同的铸型材料，以利于铸件获得不同的冷却速率，方便于研究。

铬砂(Chromite sand, FeCr_2O_4)为一种具高热传导性及密度的材料，在从事砂型铸造时，其激冷的效果，已在钢铁的砂型铸造中被验证^[13、14]，但在铝合金铸造的研究中，却甚少被报道。在本研究中，使用铬铁矿砂制作不同的砂型，结合不同尺寸的柱状冒口，并且变化平板铸件的厚度及长度，探讨具激冷效果的铬铁矿砂对 A201 铝合金铸件微孔隙的影响。

A201 铝合金的标准中，Ag 的含量为 0.4%~1.0%，这是 A201 价格昂贵的主因。本研究使用合规格 1.00% 银的 A201 铝合金，进行系统的研究。

2 实验方法

在本研究中变化平板铸件的厚度及长度，并使用不同尺寸的柱状冒口，铸件热处理后，进行力学性能测试及微孔隙的量测，以获得实验数据。

2.1 砂型制作

本实验中所使用的平板铸件及浇冒口设计如图 1 所示。冒口的高度为直径的 1.5 倍，实验中冒口的直径 (R) 有四种尺寸，平板铸件的宽度保持在 14 cm，厚度 (T) 有两种尺寸，长度 (L) 则有三种尺寸，冷铁的材质为低碳钢。冒口及平板的尺寸组合如表 1 所示。造型所使用的原砂为 100% 的铬铁矿砂，以 CO_2 造型法制作。所有的平板铸件在 $720 \pm 5^\circ\text{C}$ 进行浇注。表 1 中所列的每一组合条件，均浇注三次进行微孔隙测试。

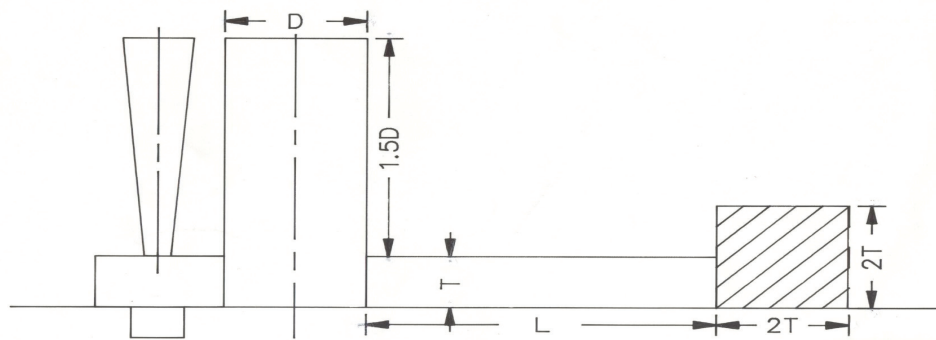


图 1 平板铸件及浇冒口设计

表 1 冒口及平板的尺寸组合

板厚/cm		1			2		
板长/cm		10	20	30	10	20	30
冒口 直径 (cm)	3	X	X	X			
	4	X	X	X	X	X	X
	6	X	X	X	X	X	X
	8				X	X	X

注: X 表示制作了铸件

2.2 合金配制

本实验中所使用 A201 铝合金由 A206 铝合金一次铸锭，加入纯度为 99.99% 的纯银粉末而成。当 A206 铝锭熔解之后，将定量的银粉加入，配制含 1.00wt.% Ag 的 A201 铝合金。

2.3 密度试片制作

制作密度试片，主要目的为测量其中孔隙的数量，密度试片切取的位置如图 2 所示，而后由冒口至冷端，每 2.5 cm 切取一小块，以阿基米德法测试密度。密度的测试，系使用小数点以下 4 位的电动天平，量测试片空气中及液体中之质量，本实验中的液体系采用高纯度无水酒精，以期减少试片表面张力造成的实验误差，由测得之质量经公式（1）换算成密度。

$$\frac{W_a}{(W_a - W_1) / D_1}$$

式中： W_a 为空气中试片质量， W_1 为酒精中试片质量， D_1 为无水酒精密度
微孔隙量之计算则由公式（2）计算而得

$$P = (D_s - D) / D_s \times 100 \quad (2)$$

式中： P 为微孔隙含量，(%), D_s 为标准密度， D 为试片密度

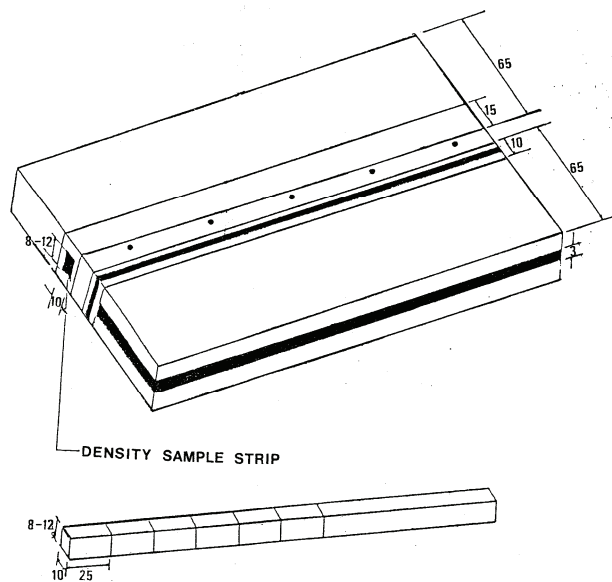


图 2 密度试片切取的位置

2.4 试片编号

本实验中所测试的试片编号为 $R-T-L$ ， R 代表冒口直径， T 为平板铸件厚度， L 为平板铸件长度。例如 3-1-10 代表冒口直径为 3cm，平板铸件的厚度是 1cm 而长度是 10 cm 的实验组合。

3 结果与讨论

表 2 所示为本实验中所配 A201 铝合金成分的分光仪测试值与标准成分的参考，由表中可见本实验中的铝合金成分合于规格。

表 2 A201 铝合金成分的分光仪测试值与标准成分

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Ag
含量	<0.05	<0.10	4.83	0.28	0.30	0.21	0.97
标准成分/%	<0.05	<0.10	4.0~5.0	0.2~0.3	0.18~0.35	0.15~0.35	0.4~1.00

在图 3-图 5 中显示不同铸造方案条件下平板铸件的微孔隙。在图 3-图 5 的三图中均显示微孔隙有从冒口端向冷铁端下降的趋势，一般而言，由铸件的补缩行为影响显示，铸件冷却速率越快，力学性能越佳。小冒口(直径 3cm 及 4cm)与长度 20cm 及 30cm 铸件的组合中，均可明显见到在铸件中部位，微孔隙有上升的现象，其量高于冒口端及冷铁端。对于小冒口(3cm 及 4cm)及薄铸件(1cm)而言，其微孔隙在铸件中间位置较冒口端及冷铁端为高。形成的原因应该是来自于垂直于铸件上下两面的冷却效应所致，这种冷却效应，让小的冒口无法建立足够的热梯度，也因为凝固造成冒口无法补缩，以致产生较差的凝固状况，造成铸件中间部位的微孔隙升高。

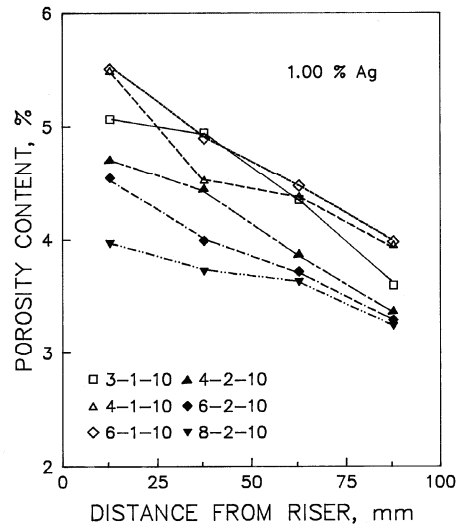


图3 R-T-10 试板的微孔隙含量

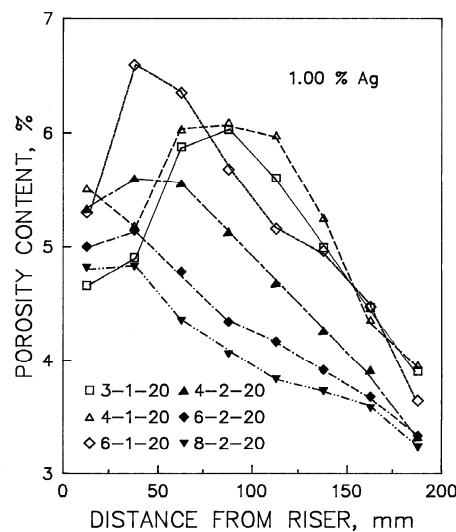


图4 R-T-20 试板的微孔隙含量

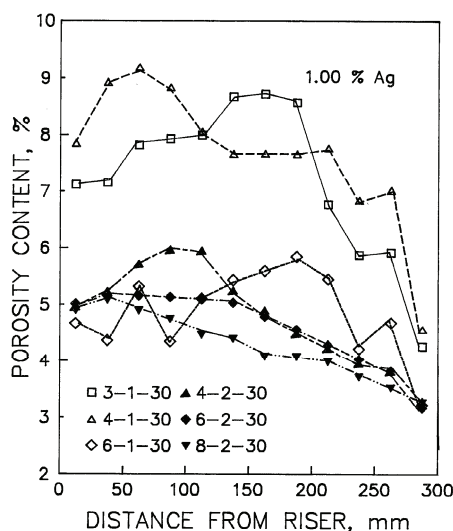


图5 R-T-30 试板的微孔隙含量

另一普遍的现象是微孔隙有自冒口端逐渐往冷铁端减少的现象，这亦显示冷铁的冷却效应或是尾端效应(end effect)较诸于冒口的补缩效应，对铸件的微孔隙影响较大，其原因应该是冷铁端冷却较快，有较微细的铸造结构组织，故有较少的微孔隙；而冒口端的冒口虽然对铸件的补缩有其效果，但是因为冷却较慢，以致其微观组织尺寸较大。

Mallya 及 Panchanathan^[15]的研究中曾指出四种判定铸件健全性的方法，铸件的微孔隙是判定的方法之一，其研究认为微孔隙应在 2.0%以下时，铸件方可称为健全性。但本研究显示，微孔隙的量普遍高于 3%，但在其它的研究^[11]中显示，部分铸件的力学性能仍可达到规格之要求，由以上的资料可说明，以冷却速率较快的铸型铸造的铸件，可容许较多的微孔隙量，而力学性能之所以能有较高的抗拉强度，应该与较细的微观组织有关，其因除冷铁作用外，亦可归之于本研究使用冷却速率较快的铬铁矿砂制做砂型，在铸件冷却时，得到较微细的铸造组织所致。

4 结论

- (1) 冒口端的微孔隙较冷铁端为高，薄铸件的微孔隙也较厚铸件多。
- (2) 冷铁的冷却效应较诸于冒口的补充效应，对铸件的微孔隙影响较大。
- (3) 在本实验中的条件下，长度为 10cm 和 20cm 铸件以及部分 30cm 铸件之中间部位微孔隙升高的原因，应该是来自于垂直于铸件上下两面的冷却效应所致。

参考文献：

- [1] Y.S. Kuo, B.C. Wang, Y.W. Lee, Y.L. Lin, and E. Chang, "The Study of Castability and Mechanical Properties of High Strength A201 Aluminum Alloy," CSIST Report (1989) .
- [2] Y.W.Lee, Master Thesis "A study of Castability And Mechanical Properties of A206 Aluminum Alloy," NCKU Tainan (1987) .
- [3] 辛虎, "A201 铝合金之研究," 台铝公司研究报告, 高雄 (1983) .
- [4] A.L. Kearney, and A.J. Raffin, "Mechanical Properties of Aluminum Castings Alloy X206.0-T4 and X206.0-T7 VS Comparable Alloys at Various Cooling Rates," *AFS Transactions*, Vol.85, (1977) 559-570.
- [5] K.J. Oswalt, and M.S. Misra, "Dendrite Arm Spacing (DAS) A Nondestructive Test to Evaluate Tensile Properties of Premium Quality Aluminum Alloy (Al-Si-Mg) Castings," *AFS International Cast Metals Journal*, (March 1981), 23-40.
- [6] K. Radhakrishma, and S. Seshan, "Nomogram for the Selection of Chill in Aluminum Alloy Castings," *British Foundryman*, (1983), 83-86.
- [7] B. Chamberlain, and J. Sulzer, "Gas Content and Solidification Rate Effect on Tension Properties and Soundness of

- Aluminum Casting Alloys,” *AFS Transactions*, Vol.72, (1964), 600-607.
- [8] G.K. MacAllister, “Effect of Cooling Rates on the Mechanical Properties of A206.0-T4 and A206.0-T71 Aluminum Alloy Castings,” *AFS Transactions* Vol.97, (1987)775-786.
 - [9] R.E. Spear, and G.R. Gardner, “Dendritic Cell Size,” *AFS Transactions*, Vol.71, (1963), 209-215.
 - [10] O.A. Atasoy and H.E. Exner, “Effect of Slow Cooling Rate on the Microstructure of Sr-Modified Al-Si Eutectic Alloys,” *Cast Metals*, Vol.1, (1988), 86-90.
 - [11] Y.S. Kuo, “Study of Microstructure on the Mechanical Properties of A201 Aluminum Alloy Castings”, *Foundry Technology (Zhuzao Jishu)*, Vol.27 No.11, (Nov. 2006), 1196-1199.
 - [12] N.S. Mahadevan, M.R. Seshadri, and A. Ramachandran, *The British Foundryman*, Vol. 64, Part.II, (1971), 60
 - [13] A. Petro and R.A. Flinn, “Mold-Metal interactions Between Chromite Sand and Cast steel,” *AFS Transactions* Vol.86, (1978), 357-364.
 - [14] J. Biel, K. Smaliuskas, A.Petro and R.A.Flinn, “Variable Affecting Chromite Sand Performance in Molds, ” *AFS Transactions* Vol.88, (1980), 683-694.
 - [15] U.D. Mallya, and V. Panchanathen, “Section Feeding Efficiency Factor — Anew Parameter For Soundness Evaluation,” *AFS Transactions* Vol.82, (1974), 165-168.