DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.10.007

Al-20Si 在连续冷却过程下的组织演变

刘 璇[1,2],李 虎[2],李 春[1,2],南 宁[1,2]

(1.陕西省尾矿资源综合利用重点实验室,陕西 商洛 726000;2.商洛学院化学工程与现代材料学院,陕西 商洛 726000)

摘 要:在井式坩埚电阻炉中对 Al 及 Al-30Si 熔化,采用高低温混合铸造工艺和传统铸造工艺制备 Al-20Si 温度梯度试样,并进行组织演变分析。结果表明,高低温混合铸造工艺所制试样的初生硅形貌优于传统铸造工艺;吸铸温度梯度的降低使初生硅晶粒尺寸减小,有利于细化晶粒;圆整度随着温度的降低而呈现出减小的趋势。

关键词:高低温混合;Al-20Si;过共晶合金;初生硅晶粒;圆整度

中图分类号:TG113.12; TG146.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)10-1050-05

Microstructure Evolution of Al-20Si during Continuous Cooling

LIU Xuan[1,2], LI Hu[2], LI Chun[1,2], NAN Ning[1,2]

(1. Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo 726000, China; 2. College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract: Al and al-30si were melted in a well-crucible resistance furnace. Al-20Si temperature gradient samples were prepared by high and low temperature mixed casting process and traditional casting process. The results show that the morphology of primary silicon is better than that of traditional casting process. The grain size of primary silicon decreases with the decrease of temperature gradient, which is beneficial to grain refinement. The roundness decreases with the decrease of temperature.

Key words: high and low temperature mixing; Al-20Si; hypereutectic alloy; primary silicon crystal; roundness

随着现代工业的发展,工业上对材料轻量化和高强度化的要求越来越大。Al-Si 系合金具有良好的导热性,耐蚀性和耐磨损性,还有较好的体积和尺寸稳定性[1-3],因此广泛用于制造活塞、气缸体、气缸盖等零部件[4,5]。但因其初生硅相比较粗大,严重损害其力学性能,大大限制了铝硅合金的应用范围[6]。通过固溶处理和铸造工艺可以改善铝硅合金中初生硅的形貌和尺寸,提高合金的力学性能,改善合金的塑性和韧性等性能,同时也会提高合金抗腐蚀性能。本文以 Al-20Si 合金作为对象,采用高低温混合和传统工艺制备 Al-20Si 过共晶合金,连续温度梯度冷却吸铸制备试样,研究其温度梯度和制备工艺对初生硅大小、形貌和尺寸的影响。

1 试验

1.1 原料与仪器设备

试验原料:Al-30Si 合金,为过共晶 Al-Si 合金,其含 Si 量为 30%,液相线温度为 850 ℃;纯铝,纯度为 99.99%,熔点为 660 ℃;精炼剂,六氯乙烷。

仪器设备:上海实研电炉有限公司 SG2-12-13 型坩埚电阻炉;上海彼爱姆光学仪器制造有限公司 BM-4XA Ⅱ型金相显微镜;上海爱仪电仪表有限公司 PG-2 型抛光机。

1.2 试验方案

基于液-液混合扩散凝固理论,分别采用高低温混合铸造工艺和传统铸造工艺制备样品。高低温混合铸造工艺:将 Al-30Si 和纯 Al 于两个电阻炉中经熔化、精炼(加入六氯乙烷并迅速搅拌)、除渣(用扒渣勺除去熔体表面的废渣)处理后分别达到 850 ℃和 600 ℃,之后将处理好的 Al-30Si 合金熔体倒入到纯 Al 熔体中,待混合熔体各处温度均匀后分别于 770、760、750、740、730、720、710、700、690 及 680℃用吸铸装置吸铸后水冷,制备高低温温度梯度试样;传统铸造工艺:将 Al-30Si 和纯 Al 放在一个坩埚中熔化、精炼、除渣处理后达到 800 ℃,之后分别于 770、760、750、740、730、720、710、700、690 及 680 ℃用吸铸装置吸铸后水冷,制备铸态温度梯度试样;之后将吸铸的试样截取成 2 cm 左右的试样。最后严格按标准制备金相试样,用 0.5%的 HF 溶液腐蚀 7~9 s 后,烘干试样并观察金相组织。

收稿日期:2019-07-22

基金项目:商洛学院科学研究项目(16SKY003);陕西省大学生创新创业训练计划项目(20172735)

作者简介:刘 璇(1989-),陕西商洛人,硕士,讲师.研究方向:铝合金及铝基复合材料.电话:0914-2322255,E-mail:mmjcs168@qq.com

2　试验结果与分析

2.1　Al–20Si 不同制备方案下金相组织演变

将不同方案制备的 Al-20Si 与纯 Al 和 Al-30Si 的金相组织进行对比，观察其组织演变规律。纯 Al、Al-30Si、高低温混合铸造工艺制备的 Al-20Si 和传统铸造工艺制备的 Al-20Si 的金相组织图分别如图 1 的(a)、(b)、(c)、(d)所示。

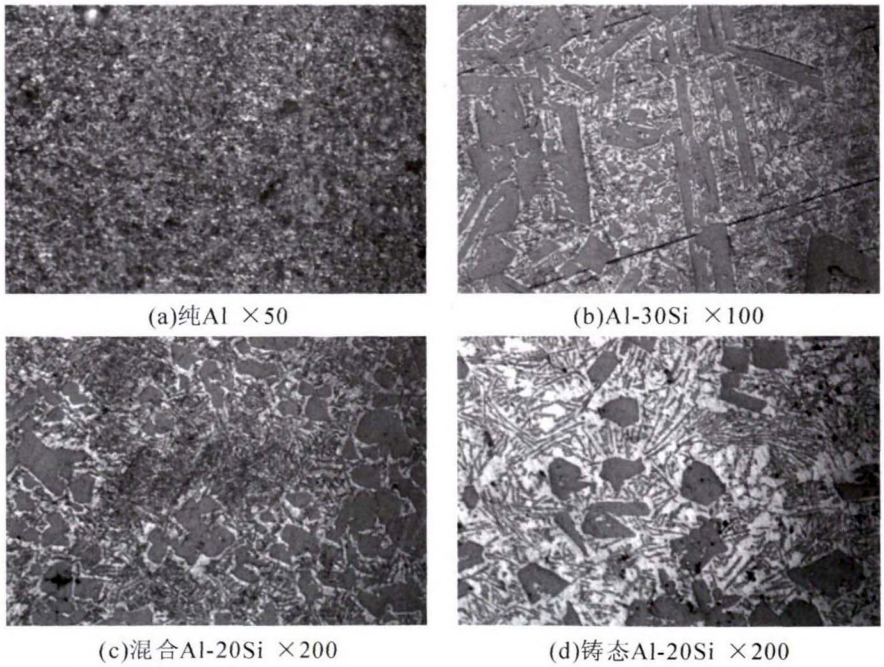
从图 1 看出初生硅的形态和分布不同，图 1(b)中的初生硅相分布杂乱且粗大，形态呈现大块状和大长条状，共晶硅呈细长的针状分布且没有规律；图 1(c)中白色 α-Al 相聚集分布，发生球化并分布在初生硅周围，初生硅呈块状、条状且形状彼此不同、大小不一，都有尖锐的棱角，针状的共晶硅分布密集；图 1(d)中初生硅分布比较均匀，形态为相差不大的块状组织，没有尖锐的棱角，针状共晶硅数量较少。图 1(c)(d)的初生硅晶粒明显细化，为块状的分布均匀的初生硅相，没有图 1(b)中粗大的板条状初生硅相。图 1(c)(d)相比，图 1(c)中初生硅增多且分布较为均匀，晶粒尺寸相差不大的块状，针状共晶硅较少，图 1(d)中初生硅相分布数量较少，稀疏，形态不一，块状、板条状。α-Al 均匀分布在初生硅相和共晶硅相之间，有一定的球化现象。所以可得出结论：对同一铝硅合金，不同的工艺，导致合金的组织是不同的。对于本实验而言，用高低温混合工艺制备得到的 Al-20Si 合金组织分布优于传统熔融铸态工艺的 Al-20Si 组织。

2.2　高低温混合铸造工艺不同温度梯度 Al–20Si 试样的组织演变

高低温混合铸造工艺制备的 Al-20Si 温度梯度试样的金相组织如图 2 所示，不同温度下其晶粒尺寸和圆整度的变化如图 3 所示。

由图 2 可知，金相组织中白色的为 α-Al 相，黑色的块状为初生硅相，针状物为共晶硅相，其分布无明显规律。图 2 中(a)(d)(e)(g)中出现白色 α-Al 相，球化现象明显。(a)中初生硅相分布很少为小块状初生硅，α-Al 相分布较多，球化现象严重。图 4(f)(g)(h)和图 4(a)(b)(c)比较，初生硅分布的数量减少，分布稀疏，初生硅的晶粒尺寸减小，针状的共晶硅也增加。该图可以看出，初生 Si 形貌由粗大片状组织转变成了短片状组织。总体看来随着吸铸温度的降低，初生硅明显变小，分布趋于均匀化，针状的共晶硅增多[9]。

图 3 可知，随着吸铸温度的降低，初生硅的尺寸先减小随后会在 700 ℃会出现尺寸的增大。在 770 ℃时初生硅尺寸为 34.75 μm，温度降至 750 ℃尺寸减小为 28.56 μm，在 700 ℃初生硅尺寸最小 23.39 μm，温度降至 680 ℃又增加到 26.76 μm。而初生硅的圆整度也是先减小然后在 700~740 ℃趋于平稳，随着温度进一步降低，初生硅的圆整度有所增加。770 ℃圆整度为 2.21，700~740 ℃圆整度基本维持在 1.53~1.58，680 ℃圆整度有增加到 1.81。整体看来，经过在不同的温度梯度下，初生硅尺寸发生了一定程度的细化。随着吸铸温度的降低，出生硅的晶粒尺寸在逐渐减小，圆整度也随之而下降。共晶 Si 片层

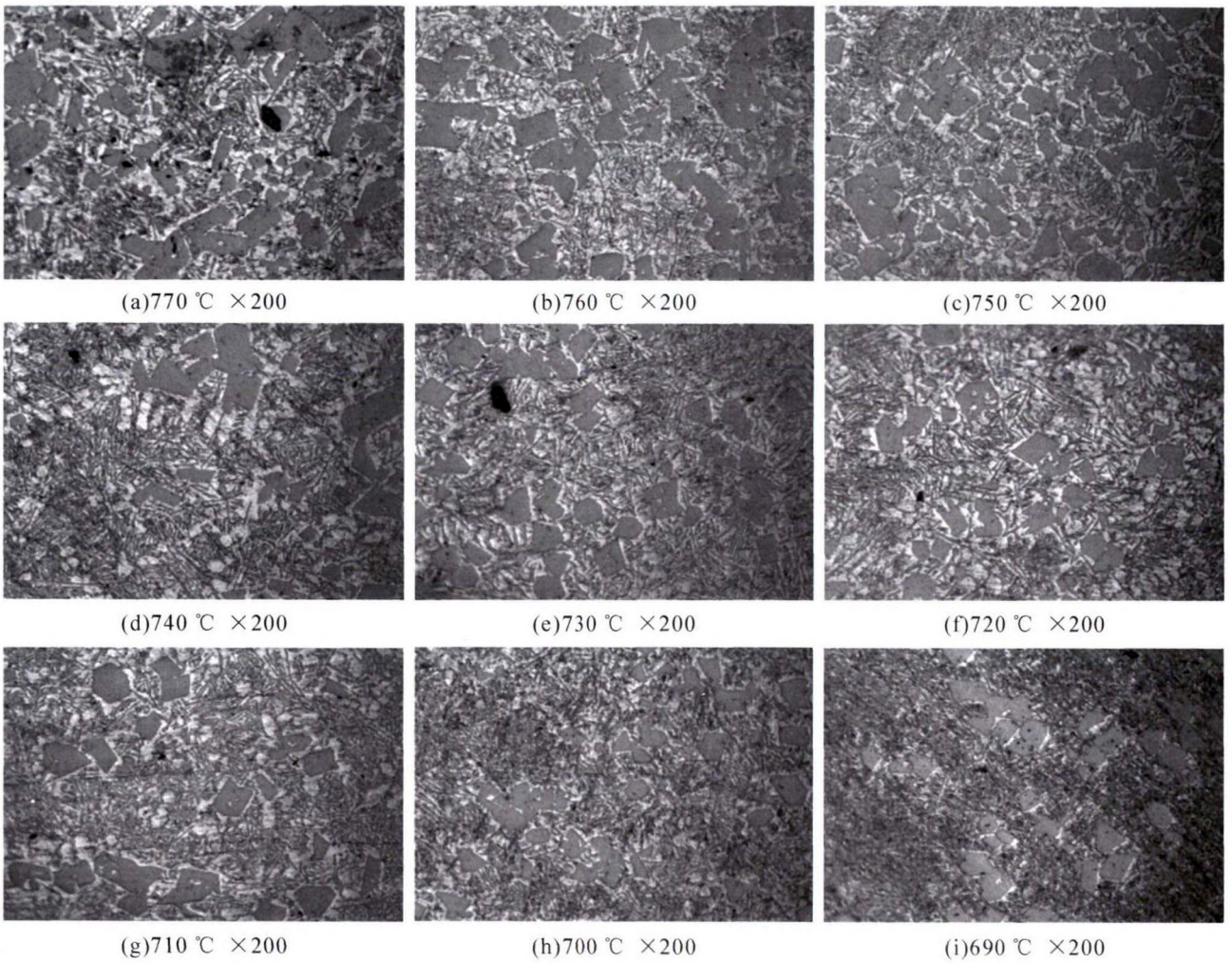


(a)纯Al ×50　(b)Al-30Si ×100

(c)混合Al-20Si ×200　(d)铸态Al-20Si ×200

图 1 不同工艺下 Al-20Si 金相组织

Fig.1 Microstructure of Al-20Si with different processes



(a)770 ℃ ×200　(b)760 ℃ ×200　(c)750 ℃ ×200

(d)740 ℃ ×200　(e)730 ℃ ×200　(f)720 ℃ ×200

(g)710 ℃ ×200　(h)700 ℃ ×200　(i)690 ℃ ×200

图 2 高低温混合 Al-20Si 的金相组织

Fig.2 Microstructure of Al-20Si of mixed with high and low temperature

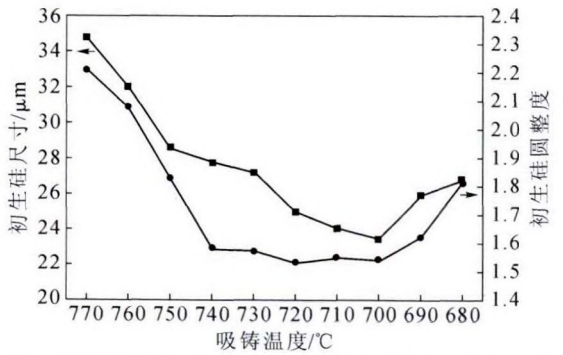


图 3 高低温混合 Al-20Si 晶粒尺寸和圆整度的变化图

Fig.3 Changes of grain size and roundness of mixed Al-20Si with high and low temperature

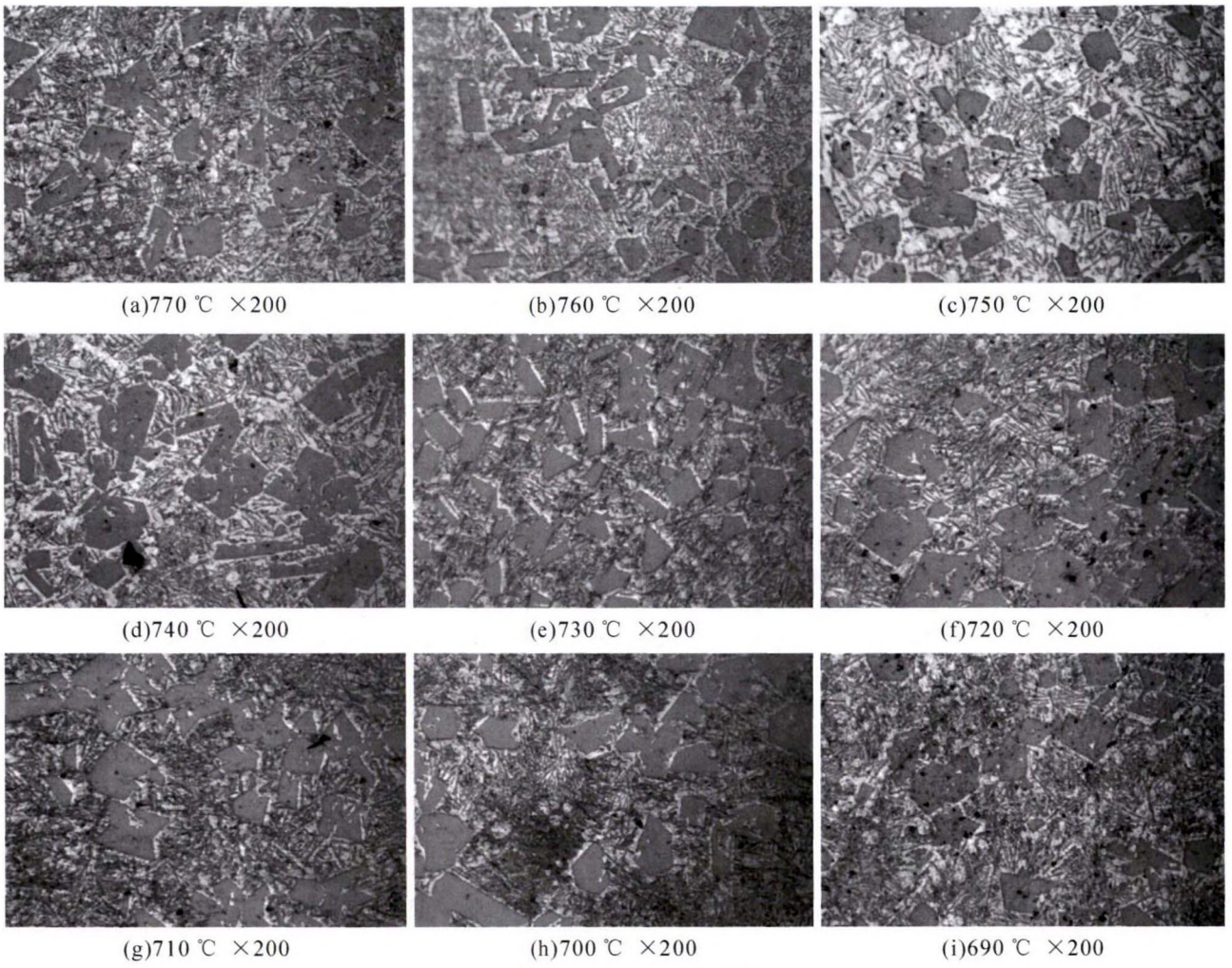
之间的间距减小，尖端消失，端部发生钝化，其长度和宽度的尺寸减小。

2.3 传统铸造工艺不同温度梯度 Al-20Si 试样的组织演变

传统铸造工艺制备的 Al-20Si 温度梯度试样的金相组织如图 4，不同温度下其晶粒尺寸和圆整度的变化如图 5。

由图 4 看出：在铸态的 Al-20Si 金相组织图中分布着块状、条状的初晶硅和针状的共晶硅。块状、条状的初晶硅大小不一、形状彼此不同，都有尖锐的棱角，且棱角分明。图 4(a)~ 图 4(e)的组织中初生硅由(a)的粗大板状会逐渐演变到(e)中的块状的初生硅。图 4(f)~ 图 4(i)的组织中观察到，初生硅形态变化不是很明显，但是数量在减少，(f)中的大块状到(i)中小块状，数量分布稀疏。在块状的初晶硅表面我们还可以看到部分黑色的物质和气孔；共晶硅呈细长的针状，且有向初生硅偏聚的趋势，这是因为共晶组织中与先共晶相相同的相有沿先共晶相生长的趋势，从而使得共晶硅大部分向初生硅聚集。从图 4 的不同浓度梯度分析可知，温度的降低，初生硅的形态的晶粒大小都发生变化，形变均匀，晶粒尺寸变小，α-Al 相球化明显。针状共晶硅会增多，分布在初生硅和 α-Al 相之间。

由图 5 可知，传统铸造工艺下，吸铸温度由 770 ℃降至 730 ℃时晶粒尺寸由 41.97 μm 减小到 28.05 μm，随后在温度的进一步降低，又会使得其尺寸增大，达到 700 ℃时，初生硅尺寸有变化到 33.36 μm，其后



(a)770 ℃ ×200　(b)760 ℃ ×200　(c)750 ℃ ×200

(d)740 ℃ ×200　(e)730 ℃ ×200　(f)720 ℃ ×200

(g)710 ℃ ×200　(h)700 ℃ ×200　(i)690 ℃ ×200

图 4 铸态 Al-20Si 的金相组织

Fig.4 Microstructure of as-cast Al-20Si alloy

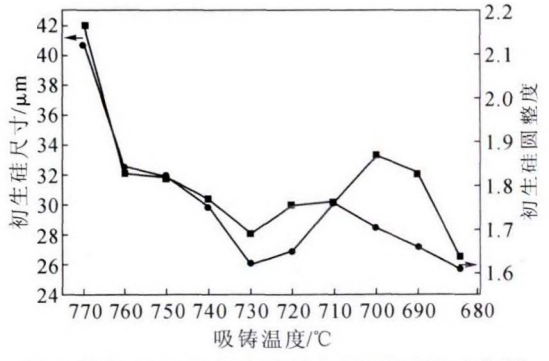


图 5 铸态 Al-20Si 初生硅尺寸和圆整度的变化图

Fig.5 Changes of grain size and roundness of as-cast Al-20Si alloy

温度减低初生硅尺寸减小，直到 680 ℃变为 26.53 μm。吸铸温度的变化也引起圆整度的变化，770 ℃到 730 ℃之间圆整度逐渐减小，由 2.12 减小到 1.62，随后温度进一步减小，圆整度会有所增加，710℃圆整度增加为 1.76，继续分析可知，温度和圆整度会同步变化，都在减小。到达 680 ℃变到 1.61。总体看来：吸铸温度的降低，初生硅的晶粒尺寸和圆整度会呈现出同步调的、逐渐减小的趋势[10]。

由图 3 和图 5 相比较可得出：相同温度两种不同工艺下，770 ℃时高低温混合工艺的初生硅晶粒尺寸和圆整度分别为 34.75 μm 和 2.21，传统铸造工艺的初生硅晶粒尺寸和圆整度分别为 41.97 μm 和 2.12。在 770~680 ℃的温度区间内，高低温混合的初生硅晶粒尺寸变化幅度小约为 7.99 μm，而传统铸造中初生硅晶粒尺寸变化幅度大约为 15.44 μm，变化幅度大，从而严重影响组织变化导致材料的力学和力学性能变差。得出结论：新工艺高低温混合会使初生硅晶粒尺寸减小，明显细化，新工艺优于传统铸造工艺。

3 结论

(1)铝硅合金的制备，由金相组织分布可得高低温混合的新工艺优于传统铸造工艺。

(2)高低温混合工艺下，不同温度下吸铸，金相组织的演变规律也不同，随着温度的降低，初生硅的圆整度也是先减小然后在 700~740 ℃趋于平稳，随

(下转第 1063 页)

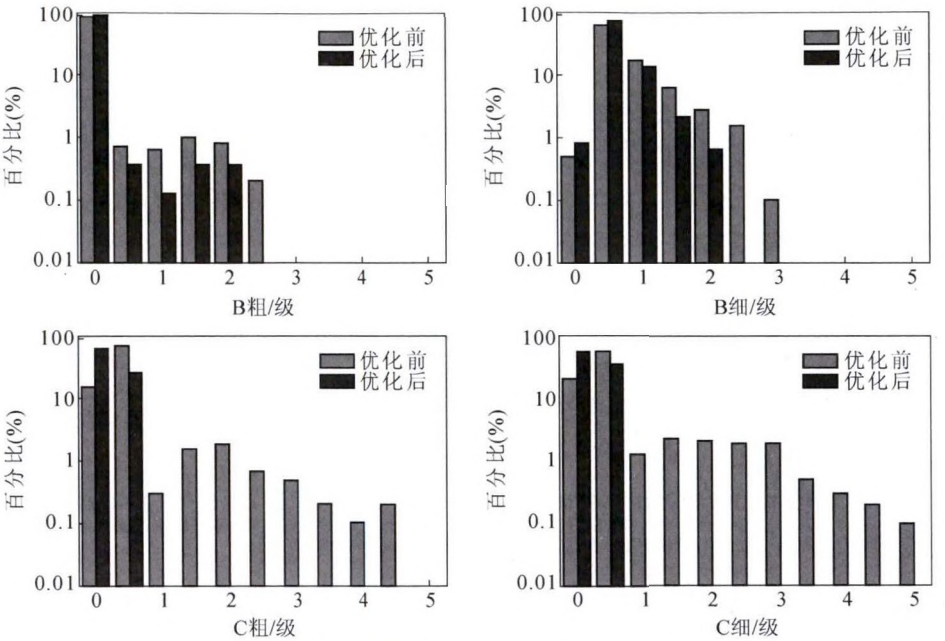


图 7 工艺优化前后轧材 B、C 类夹杂物控制情况

Fig.7 Control of B and C inclusions in rolled materials before and after process optimization

究[J]. 铸造技术，2018，39(4):747-750.

[2] 董履仁，刘新华. 钢中大型非金属夹杂物[M]. 北京：冶金工业出版社，1991，3-6.

[3] 李道明. 不锈钢中非金属夹杂物的危害及去除 [J]. 山西冶金，2008，4: 24-26，55.

[4] 王火清，宋 波. 熔炼过程产生的夹杂物对高强钢疲劳失效的影响[J]. 铸造技术，2017，38(7): 1620-1624.

[5] 张欣杰，张欢欢，崔利民. 奥氏体不锈钢夹杂物控制工艺技术探讨[J]. 中国冶金，2018，26(1): 45-48.

[6] Zhao F X, Liu J P, Huang J H, et al. Analysis of the Wedge Tip Fillet for Central Defeats in the Process of Cross Wedge Rolling 4Cr9Si2 Valve steel[J]. Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, 2013, 706: 3-6

[7] 张爱梅. 非金属夹杂物对钢性能的影响 [J]. 物理测试，2006,24(4):42-44.

(上接第 1053 页)

着温度进一步降低。初生硅的尺寸先减小随后会在 700 ℃会出现尺寸的增大。

(3)传统铸造工艺下，吸铸不同温度梯度下，金相组织的演变规律可知：随着温度的下降，初生硅的晶粒尺寸和圆整度都随之降低。

参考文献：

[1] 赵爱民，毛卫民，甄子胜，等. 冷却速度对过共晶铝硅合金凝固组织和耐磨性能的影响 [J]. 中国有色金属学报，2001(5): 827-833.

[2] 庞金辉，崔庆玲，王明星，等. 硼对 Al-20Si 合金初晶硅的细化作用[J]. 特种铸造及有色合金，2010，30(1):85-88，127.

[3] Gao B, Hao Y, Wang Z, Tu GF, et al. High current pulsed electron beam treatment of hypereutectic Al-17.5Si alloy[J].Transactions of Materials and Heat Treatment, 2011, 31(9):115-118.

[4] 吴岳壹，陈耘，陈敏，等. 过共晶铝合金汽缸体的挤压铸造[J]. 兵器材料科学与工程，2005(5):35-37.

[5] 苏愉钦，黄晓灵，刘晓萍. 高硅铝合金的喷射成形与组织性能研究[J]. 铸造技术，2018，39(11):2490-2493.

[6] 王西方，赵越. 烧结工艺对汽车用高硅铝合金组织和性能的影响[J]. 铸造技术，2016，37(8):1684-1685，1697.

[7] 罗松，魏晓伟，郑丽，等. 高温纯铝低温高硅铝合金熔体混合对组织的影响[J]. 铸造，2013，62(4):337-339.

[8] 张威，阎峰云，杨小建，等. 等温处理工艺对触变压铸 Al-30Si 合金组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺，2012，41(19):20-22.

[9] 李庆林. 过共晶 Al-20%Si 合金 Si 相形态的演变及性能研究[D]. 兰州：兰州理工大学，2014.

[10] 党博，坚增运，常芳娥，等. 熔体温度处理对 Al-25%Si 合金凝固特性及组织的影响[J]. 铸造，2015，64(8):789-795.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2020 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25 元/本　海外定价：25 美元/本