

铸态珠光体球墨铸铁组织形态与性能*

朱先勇 刘耀辉 张英波 宋雨来

【摘要】 在普通球墨铸铁的基础上,加入Cu、Sb合金元素,通过余温正火工艺,获得铸态珠光体球墨铸铁。该铸铁的珠光体含量大于(等于)95%,渗碳体小于(等于)5%,抗拉强度可达700~850 MPa,硬度为280~350 HB,延伸率为3%~5%。扫描电镜及透射电镜分析表明,当加入0.5% Cu、0.02% Sb时,合金主要由珠光体与球状石墨组成,其中铸态珠光体层片间距变小,石墨球细小而均匀,铁素体的形成受到抑制。

关键词: 铸态球墨铸铁 珠光体形态 铜锡合金化 性能

中图分类号: TG143.5

文献标识码: A

Study on Structure Morphology and Properties of Pearlite Nodular Cast Iron

Zhu Xianyong Liu Yaohui Zhang Yingbo Song Yulai

(Jilin University)

Abstract

Based on common nodular cast iron, a pearlite nodular cast iron was obtained by normalizing and adding alloying elements of Cu, Sb. The content of pearlite in alloy exceeded 95% and the content of cementite was under 5%. The tensile strength of this cast iron was up to 700~850 MPa, hardness was 280~350 HB and the specific elongation was 3%~5%. The morphology of pearlite in Cu, Sb pearlite nodular cast iron was studied by transmission electron microscope (TEM) and scanning electron microscope (SEM). The results indicated that the lamellar spacing in pearlite and the dimension of nodular were smaller, and the information of ferrite was impeded due to the addition of 0.5% Cu and 0.02% Sb.

Key words Nodular cast iron, Morphology of pearlite, Cu-Sb alloying, Property

引言

珠光体球墨铸铁具有较高的强度、硬度,并且具有良好的韧性^[1~2],在机械制造业中的用途日趋广泛。制备珠光体高强度球墨铸铁一般有两种方法:通过热处理工艺;通过加入合金化元素在铸态下直接获得珠光体球铁^[3~4]。关于通过热处理工艺获得珠光体球墨铸铁,国内外已开展了大量研究^[5~6],但是热处理工艺复杂、耗电、耗力。生产铸态珠光体球墨铸铁一般常用Cu、Mo、Ni、Zn等合金元素^[7~8],对4

种成分搭配要求严格,且价格都较贵,对于降低成本、简化工艺不利。同时对采用Cu、Sb两种合金元素生产铸态珠光体球墨铸铁及珠光体形态研究较少见,本研究旨在寻求加入低成本的合金元素Cu、Sb及余温正火工艺取代Cu、Mo、Ni、Zn等组合生产铸态珠光体球铁,并分析铸态球铁珠光体的形态及形成过程。

1 试验方法

试验用原材料分别为Q10生铁(4.0%~4.25%

收稿日期: 2006-06-23

* 长春市科技局资助项目(项目编号: 2004176)

朱先勇 吉林大学材料科学与工程学院 高级工程师 博士生, 130025 长春市

刘耀辉 吉林大学教育部汽车材料重点实验室 教授 博士生导师

张英波 吉林大学材料科学与工程学院 博士生

宋雨来 吉林大学材料科学与工程学院 博士生

C、0.8%~1.0% Si、 $m(\text{Mn}) \leq 0.1\%$ 、 $m(\text{S}) \leq 0.03\%$ 、 $m(\text{P}) \leq 0.07\%$ ，其余为 Fe)、45 号废钢、合金炉料(75Mn-Fe、75Si-Fe)。Cu、Sb 合金元素的加入量如表 1 所示。

表1 加入合金元素的质量分数
Tab 1 Adding alloying elements %

试样号	Cu	Sb
1	0	0
2	0.25	0
3	0.50	0
4	0.75	0
5	0.25	0.01
6	0.50	0.01
7	0.75	0.01
8	0.25	0.02
9	0.50	0.02
10	0.75	0.02
11	0	0.02

试验合金在 12 kg 碱性中频感应电炉中熔炼，用光学高温计测量温度，铁水出炉温度为 1450℃，浇铸温度在 1350℃。采用充入法加入孕育剂和球化剂，孕育剂和球化剂分别为质量分数 1.0% 75Si-Fe 和 1.4% 稀土镁(Re3-Mg6)。铁水浇铸成楔形试样(图 1)，浇铸完成后 20~30 min 开箱空冷。将铸锭机械加工成拉伸试样，试样尺寸为 $\phi 4$ mm，长度为 260 mm。

硬度测试在 HB-3000 型硬度计上进行，压头直径 ϕ mm，载荷 750 kg，保压时间为 30 s。测试结

果取 5 个测试值的平均值。抗拉强度的测试在液压式万能力学试验机上进行。采用光学显微镜观察金相组织，腐蚀前观察石墨球的形态、数量、大小及分布。用 3% 硝酸酒精腐蚀后观察金属基体组织，包括铁素体、珠光体及碳化物的数量、大小和分布。将样品切成薄片，经砂纸磨制，再经电解抛光，电解双喷穿孔，最后在氩气保护条件下用离子溅射薄化，最终制成供电镜观察用的金属薄膜，采用 JEM-100CX II 型透射电镜观察珠光体形态。

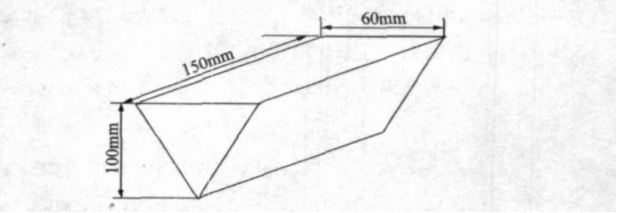


图1 铸件试样示意图

Fig 1 Scheme of castings

2 结果与分析

2.1 Cu、Sb 合金元素对组织的影响

合理搭配 Cu、Sb 合金元素的加入量是获得高强度珠光体组织的关键。当 Cu 加入量小于 0.5%、Sb 小于 0.01% 时，铸态组织中在石墨周围出现一定量亮圈的铁素体(简称牛眼状铁素体，见图 2a)，当加入 0.75% Cu、0.02% Sb 时，出现大量白亮的渗碳体(图 2b)。而加入 0.5% Cu、0.02% Sb 时，铸态珠光体数量最多，且球状石墨圆整，组织为球状石墨+珠光体组织及少量游离碳化物(图 2c 和图 2d)。

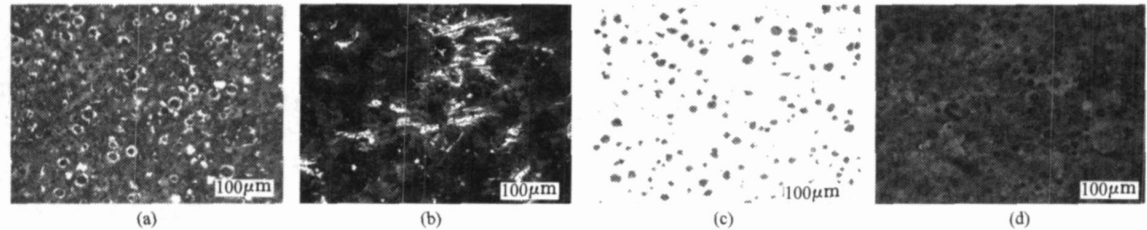


图2 合金的光学金相组织

Fig 2 Optic micrograph of the alloys with different alloying elements

(a) 0.25% Cu 的基体组织 (b) 0.75% Cu、0.02% Sb 的基体组织

(c) 0.5% Cu 和 0.02% Sb 的石墨形态 (d) 0.5% Cu 和 0.02% Sb 的基体组织

Cu 是非碳化物形成元素，它可以降低 Fe-C 原子之间结合力。同时 Cu 为促进石墨化元素，在共晶阶段促进石墨化，改善石墨形态。在共析阶段由于 Cu 原子在奥氏体中的固溶度较高，Cu 原子在基体-石墨之间的界面富集(图 3)，Cu 富集层的存在使得 C 原子扩散受阻，使得 C 原子的扩散析出变得困难。Sb 是促进珠光体形成的元素，在共析转变范围内阻止铁素体从奥氏体中析出，Sb 原子附着在石墨与金

属的相界面上形成富集层，对碳原子的迁移起阻碍作用，因而使石墨球径变小、珠光体数量增加^[9]。当加入 0.5% Cu、0.02% Sb 时，珠光体球墨铸铁不会出现传统球铁中石墨球周围牛眼状的铁素体，同时珠光体球铁性能最佳。

图 4 表明铸态珠光体球墨铸铁的基体主要由板条状 Fe₃C 和铁素体组成，珠光体片间距约 0.3 μm，球状石墨直径约为 6 μm。在石墨球的周围并没有发

现铁素体组织。普通球墨铸铁珠光体的片间距和球状石墨直径分别为 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 和 $8\text{ }\mu\text{m}$ ^[10]。可见,Cu、Sb能够显著降低球墨铸铁中的珠光体片间距和石墨球直径,并抑制铁素体的形成。

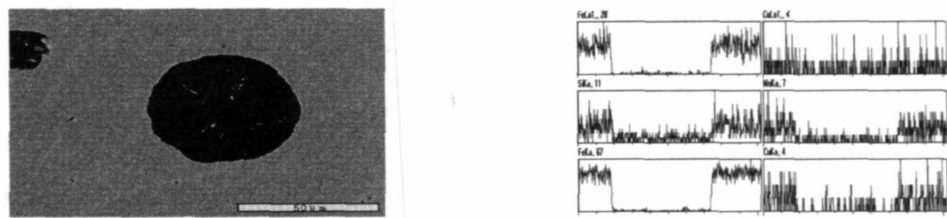


图3 含Cu、Sb 球墨铸铁的微观组织及其线性分析
Fig 3 SEM microstructure and linear analysis of nodular cast iron

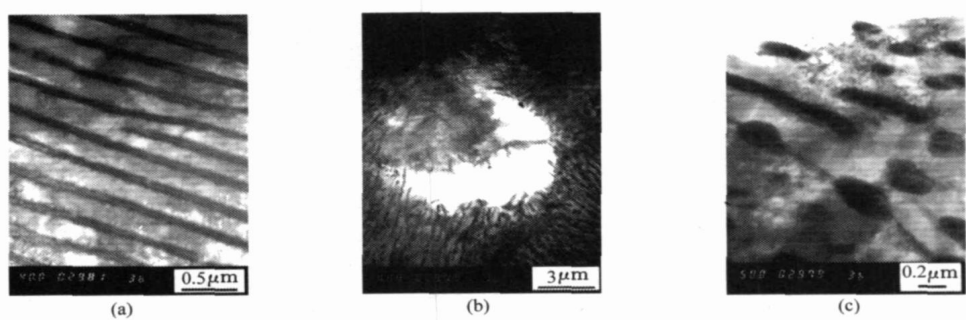


图4 0.5%Cu-0.02%Sb 球墨铸铁的TEM 形貌
Fig 4 TEM micrographs of 0.5%Cu-0.02%Sb nodular cast iron

2.2 Cu、Sb 对机械性能的影响

在同一工艺条件下,不同化学成分球墨铸铁抗拉强度和硬度及延伸率的试验数据见表2和图5。结果表明随着Sb的含量增加,球墨铸铁的强度和硬度明显增加,而随着Cu含量的增加,球墨铸铁的强度和硬度增加,当Cu含量过高时,球墨铸铁的强度和延伸率反而下降。当加入0.5%Cu、0.02%Sb时,球墨铸铁的铸态拉伸强度和硬度性能达到最佳值,分别为785M Pa和280 HB,相当于QT800-2的水平。当Sb含量超过0.02%时,石墨形状恶化,延伸率明显下降,球墨铸铁变脆,整体性能下降。

表2 不同合金成分球墨铸铁的机械性能

Tab 2 Mechanical properties of the alloys with different compositions

编号	强度/M Pa	硬度/HB	延伸率δ/%
1	550	190	11.0
2	605	195	10.5
3	700	235	10.0
4	680	230	9.5
5	700	240	3.2
6	720	245	3.0
7	650	235	3.1
8	710	230	4.0
9	785	280	3.0
10	710	260	2.8
11	600	210	3.0

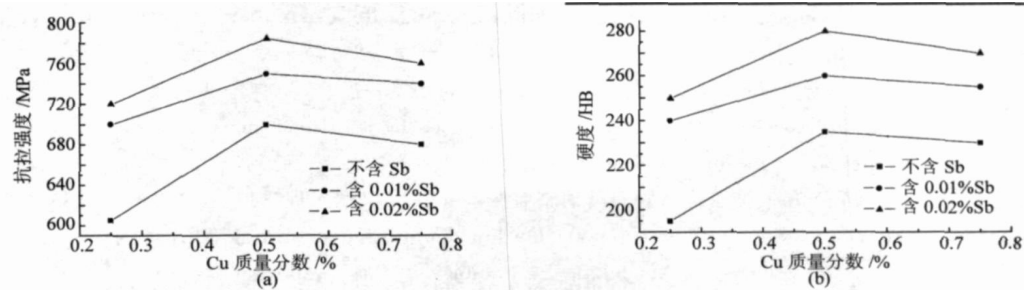


图5 不同成分球墨铸铁的抗拉强度和硬度曲线
Fig 5 Curves of the tensile strength and hardness for the alloys
(a) 抗拉强度 (b) 硬度

3 结束语

在普通球墨铸铁中加入0.5%Cu、0.02%Sb时,能保证铸态珠光体数量在90%以上,珠光体球墨铸

铁不会出现传统球铁中石墨球周围牛眼状的铁素体。珠光体的片层间距由 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 下降到 $0.3\text{ }\mu\text{m}$,石墨球直径变小。这种新型球墨铸铁的抗拉强度达到785M Pa,硬度可达230~280 HB。

参 考 文 献

1 M isaka Yoshitaka, Kawasaki Kazuhiro, Komotori Jun Fatigue strength of ferritic ductile cast iron hardened by super rapid induction heating and quenching[J] Materials Transactions, 2004, 45: 2 930~ 2 935

2 Sunada Hisakichi, Fukaura Kenzo Relationship between microstructure and impact strength of ferritic ductile cast iron for cask use[J] Zairyo/Journal of the Society of Materials Science, 1996, 45: 316~ 320

3 Bosnjak B, Radulovic B, Pop-Tonev K Influence of micro-alloying and heat treatment on the kinetics of bainitic reaction in austempered ductile iron[J] Journal of Materials Engineering and Performance, 2001, 10: 203~ 211

4 Refaey A, Fatahalla N Effect of microstructure on properties of ADI and low alloyed ductile iron[J] Journal of Materials Science, 2003, 38: 351~ 362

5 Hayrynen Kathy L ADI another avenue for ductile iron foundries[J] Modern Casting, 1995, 85: 35~ 37

6 Salzbrenner Richard, Crenshaw Thomas B Effects of sample size and loading rate on the transition behavior of a ductile iron (DI) alloy[J] ASTM Special Technical Publication, 1993, 1 189: 840~ 857

7 Caldera M, Rivera G L, Boeri R E, et al Precipitation and dissolution of carbides in low alloy ductile iron plates of varied thickness[J] Materials Science and Technology, 2005, 21: 1 187~ 1 191

8 El-Din H, Nofal A, Ismail A Hot working of ductile iron alloyed with molybdenum [J] Canadian Metallurgical Quarterly, 2000, 39: 345~ 360

9 Li Zhenhua, Li Yanxiang Effect of Sb on the graphite morphology and mechanical properties in heavy section ductile iron[J] Materials Science Forum, 2005, 5: 2 769~ 2 772

10 原田昭治, 小林俊朗 球墨铸铁的强度评价[M] 沈阳: 东北大学出版社, 2001

(上接第 178 页)

表 3 在线监测试验结果

Tab 3 On-line monitoring experimental result 个

试验组序号	平均钻孔数	钻头折断数
1	49.6	10
2	45.1	1
3	40.7	0

5 结 论

(1) 理论分析及试验表明, 基于小波神经网络

的微钻头状态监测法是有效的。

(2) 通过试验对比, 本文的小波神经网络具有映射精度高、收敛速度快的优点。

(3) 利用Labview 软件开发一套微孔钻削在线监测软件系统, 实现微钻头状态实时监控。

(4) 实时监测的效果与所取的监测阈值有关, 当取较小的阈值时, 预防钻头折断的效果好, 但报警前钻孔数量相对较少, 生产中应根据实际情况恰当选择阈值大小。

参 考 文 献

1 Yang Zhaojun, Chen Yanghong, Yang Yonghai Study on the life distribution of micro-drill [J] Journal of Engineering Manufacture Proceedings: B, 2002, 216(3): 301~ 305

2 钟秉林, 黄仁 机械故障诊断学[M] 1 版 北京: 机械工业出版社, 1997

3 Masory O. Machining process using multi-sensor reading fused by artificial neural network[C] // 7th International Conference on Computer-aided Production Engineering, 1999: 261~ 270

4 陈超, 徐建林, 黄建龙 基于人工神经网络的刀具状态监控系统[J] 机械工程学报, 2002, 38(8): 135~ 138

5 Yang Zhaojun, Cui Yaxin, Sun Yanhong, et al On-line monitoring of drilling thrust of micro-drills [C] // 7th International Conference on Progress of Machining Technology, ICPMT', 2004: 660~ 663

6 李智华, 王细洋 小波神经网络在故障诊断中的应用[J] 制造技术与机床, 2005(8): 86~ 90

7 杨兆军, 杨永海, 鄂世举, 等 微小钻头钻削扭矩极限值的分布规律[J] 吉林工业大学学报: 自然科学版, 1999, 29(4): 67~ 71