

用NiO直接合金化制备高铬铸铁试验研究

张鸣一, 高平, 韩剑锋

(内蒙古金属材料研究所, 内蒙古包头 014030)

摘要: 通过以NiO代替Ni进行直接合金化、添加稀土复合变质剂, 对中频炉制备高铬铸铁进行了工艺试验。从高铬铸铁化学成分设计, 熔炼工艺、NiO及稀土变质剂的加入方法、热处理工艺等方面介绍了工艺优化后高铬铸铁的制备方法。以NiO代替Ni, Ni的收得率达到98.9%。采用该工艺制备的高铬铸铁铸态硬度HRC 58~59, 热处理硬度HRC 62.5~63.5。采用该工艺制备的高铬铸铁耐磨性能比高锰钢衬板耐磨性能提高2倍以上, 生产成本降低9.1%~10.6%。

关键词: 氧化镍; 合金化; 变质处理; 高铬铸铁

中图分类号: TG257 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2017) 11-1204-03

Experimental Study on Preparation of High Chromium Cast Iron from NiO Direct Alloying

ZHANG Ming-yi, GAO Ping, HAN Jian-feng

(Inner Mongolia Metal Materials Institute, Baotou 014030, Inner Mongolia, China)

Abstract: The process experiment of the high chromium cast iron preparation by medium frequency furnace was carried out by using NiO instead of Ni for alloying and adding rare earth modification agent. After optimizing, the preparation of high chromium cast iron was introduced from the following aspects: chemical composition design, smelting process, addition way of NiO and modification agent, and heat treatment process. The yield of Ni reached 98.9% by replacing Ni with NiO. The as-cast hardness of the high chromium cast iron prepared by this process is HRC 58-59, heat treatment state hardness is HRC 62.5-63.5. The wear resistance of high chromium cast iron liner prepared by this process is more than 2 times that of high manganese steel liner, and production costs are reduced by 9.1%-10.6%.

Key words: NiO; alloying; modification; high chromium cast iron

高铬铸铁具有较高的硬度, 被广泛应用于冶金、矿山、建材、电力等领域。但其含有Ni、Cr、Mo等贵重金属, 因此其生产成本低, 且高铬铸铁韧性不足, 在使用过程中易发生断裂、碎裂等现象^[1-2]。试验针对矿山用破碎机高铬铸铁衬板制备, 采用低价格NiO代替Ni板作为合金原料, 降低成本; 添加稀土复合变质剂提升性能^[3-4]; 并通过成分分析、性能检测、磨损试验分析, 确定工艺的可行性; 同时为后续使用更廉价的冶金镍渣作为直接合金化原料提供依据和参考。

1 试验方法及过程

采用中频感应炉熔炼高铬铸铁, 衬板铸件模型采用电阻丝手工切割聚苯乙烯泡沫制成, 涂刷水基石英粉专用耐火涂料, 烘干后放入底抽式真空砂箱内, 填砂; 砂箱放置于二维振动台进行砂型紧实振动; 铁液温度达1 480 ℃时出铁并开启抽真空系统, 浇注温度控制在1 420~1 430 ℃; 热处理在SXL-1008程控箱式电炉

内进行; 在铸件本体上采用线切割制备试样; 硬度在TH320洛氏硬度计上测量; 磨粒磨损试验在NUS-ISO3试验机上进行。

1.1 成分设计

通过分析主要合金元素在高铬铸铁中的作用^[5], 确定材料的化学成分, 见表1。Ni不溶于碳化物, 全部进入奥氏体, 可提高合金淬透性, 同时可降低马氏体转变温度 (M_s), 含量控制在1.0%以下; Mo一部分进入碳化物, 一部分溶于奥氏体, 溶于奥氏体的钼可以提高淬透性, 对降低马氏体转变温度起到一定作用, 同时具有细化晶粒的作用, 含量控制在0.4%~0.6%; Mn可消除硫的有害作用, 稳定奥氏体, 但剧烈降低马氏体转变温度, 含量较高时会引起碳化物粗化, 所以含量控制在0.6%~1.0%; Cr是形成 $(FeCr)_7C_3$ 型碳化物的主要元素, Cr含量大于12%以后 $(FeCr)_7C_3$ 型碳化物形态为断续网状或块状, 致使铸件具有高的抗冲蚀性和较好的力学性能, Cr除与碳形成碳化物外, 尚有部分

收稿日期: 2017-05-02收到初稿, 2017-06-06收到修订稿。

作者简介: 张鸣一 (1990-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为金属材料制备及消失模铸造工艺。电话: 0472-3166238, E-mail:

zmyymjr@126.com

溶解于奥氏体中，提高淬透性，含量控制在17%~19%。

表1 化学成分设计

C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	P	S	Fe
3.2~3.5	17~19	≤0.8	0.6~1.0	0.8~1.0	0.4~0.6	≤0.10	≤0.05	余量

1.2 试验主要原料及加入方法

氧化镍 (NiO) 采用工业用催化剂氧化镍，成分见表2。根据基础热力学数据分析，铁液中固有的C、Si、Mn、Fe均可作为NiO的直接还原元素，NiO可被还原成金属Ni进入铁液中，其收得率几乎为100%^[6]。由于NiO的熔点是1 984 °C，在铁液中以固体形式存在，其密度为6 670 kg/m³比铁液密度小，所以在熔炼前将NiO颗粒置于中频炉底^[7]。

采用优质废钢，并根据碳含量加入相应的增碳剂，将配置好的废钢与增碳剂加入250 kg中频感应炉中。合金料包括钼铁 (0.1% C, 56% Mo)、锰铁 (6.12% C, 65.09% Mn)、铬铁 (6.6% C, 54.5% Cr)、硅铁 (0.15% C, 72% Si)。待炉料基本熔化后加入熔点高烧损小的钼铁，然后陆续加入硅铁、锰铁，由于铬易氧化，在熔炼后期加入。采用稀土硅铁合金变质剂，在出铁液前，加入包中。

表2 工业氧化镍化学成分

NiO	Co	Cu	Fe	Zn	S	ΣCa,Mg,Na	硫酸不溶物	筛除物
77	0.006	0.004	0.007	0.003	0.005	0.38	0.08	0.06

1.3 熔炼工艺

高铬铸铁的熔炼在250 kg中频感应炉内进行，按照已设定铁液的化学成分进行配料计算。装炉时，NiO粉及粒状增碳剂直接装入炉底，炉料要紧密，以求快速熔化；开始通电6~8 min内先以小功率送电，待电流冲击停止后，逐渐将功率增至最大；熔炼过程中应随时推料防止“搭桥”，并陆续添加炉料。在出铁前取样用作化学成分分析。

1.4 浇注工艺

待炉料全部熔化，温度升至1 480 °C时出铁，稀土复合变质剂和铝加入在烘烤到位的铁包底中（铁包烘烤温度>600 °C，包衬为红黄颜色状态），并开启真空泵，负压为-0.03 MPa，铁液镇静2~3 min，待温度达到1 420 °C时，进行浇注，浇注时加强挡渣。浇注完成后将负压调整为-0.025 MPa，抽真空保持15 min关闭真空泵，铸件于砂箱内保温8 h开箱。铸件在空气中冷却。

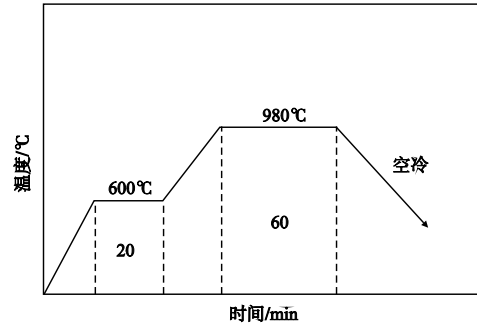
1.5 热处理工艺

为提高铸件使用寿命，对铸件进行淬火+回火处理，见图1。

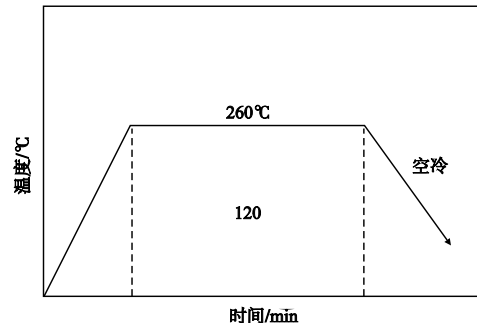
1.6 耐磨性能测试

为对比工艺改进后高铬铸铁衬板与传统高锰钢衬

板的耐磨性能，分别从高铬铸铁衬板及高锰钢衬板上取样，进行磨粒磨损试验。试样尺寸50 mm×50 mm×4 mm，在NUS-IS03型磨粒磨损试验机上进行磨损试验，并记录试样减重量。



(a) 淬火工艺



(b) 回火工艺

图1 试验铸件热处理工艺

Fig. 1 Test casting heat treatment process

2 试验结果分析

2.1 化学成分

化学成分采用光谱分析（只能测量金属元素含量）+化学（湿法）分析，对样块进行成分分析，其结果见表3。

表3 铸件化学成分

分析方法	C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	P	S
设计成分	3.2~3.5	17~19	≤0.8	0.6~1.0	0.8~1.0	0.4~0.6	≤0.10	≤0.05
光谱分析		20.4		0.80	0.91	0.48		
湿法分析	3.16	18.4	0.76	0.78	1.00	0.466	0.07	0.018

根据表3，所制备的高铬铸铁铸件成分均在设计成分范围内。试验中以NiO代Ni，Ni的收得率可根据公式：

$$Ni收得率 = \frac{\text{实际Ni量}}{\text{加入的总Ni量}} \times 100\% =$$

$$\frac{\text{装炉量} \times \text{实测铸件Ni含量}}{\text{NiO催化剂加入量} \times \text{催化剂中NiO含量} \times \text{Ni在NiO中质量分数}} \times 100\%$$

其中，装炉量为190 kg，铸件Ni含量为1.0%（以湿法分析结果为准）；工业催化剂中NiO的含量为77%，NiO中Ni的质量分数为78%，NiO实际加入量为3.2 kg，计算可得Ni收得率为98.9%；文献[6]介绍，NiO可被还原成金属Ni进入铁液中，其收得率几乎为100%，因其

采用纯试剂的实验室模拟,故收得率较高;该试验中采用工业试剂,NiO的密度较铁液轻,加入的NiO有少量未及反应便上浮至铁液表面,随铁液渣被扒除,故收得率不能达到100%。

2.2 硬度测试

试样取自试验衬板铸件内浇道,经铸态、热处理后测试其表面硬度如表4。对目前市场广泛使用的KmTBCr20铸铁试样进行铸态、热处理态表面硬度测试,如表5。

表4 试验试样硬度

Table 4 Test specimen hardness

试样	硬度HRC
铸态	58~59
980℃×60 min空冷, 260℃×120 min空冷	62.5~63.5

表5 KmTBCr20试样硬度

Table 5 Sample hardness of KmTBCr20

试样	硬度HRC
铸态	52~53
980℃×60 min空冷, 260℃×120 min空冷	58~60

由表4、表5可以看出,与KmTBCr20铸铁相比,试验制备的高铬铸铁铸态硬度提高HRC 5~7,这是由于,在铸造时,加入的稀土复合变质剂中稀土元素富集在共晶碳化物的长大方向,阻碍碳化物长大,并增加碳化物形核,改善碳化物的形态及分布^[9];经980℃正火后,试验制备的高铬铸铁与KmTBCr20铸铁硬度均明显提高,这是由于正火处理后组织更加均匀,降低了铸造过程中产生的内应力,并析出大量二次碳化物,二次碳化物的存在起到弥散强化作用^[10]。

2.3 耐磨性能测试

分析记录数据,对两块试样磨损往复次数-累计减重量用Origin软件进行直线拟合,分别得到如图2所示的试样磨损率^[11]。

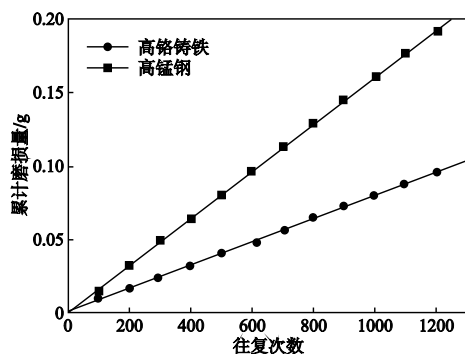


图2 试样往复次数与累计减重量关系

Fig. 2 Relationship of the reciprocating number-weight reduction

图中两种试样磨损对应的斜率分别为: $K_{\text{高铬铸铁}}=7.96 \times 10^{-5}$; $K_{\text{高锰钢}}=1.66 \times 10^{-4}$,从直线斜率可以得出:工艺优化后衬板的耐磨性能是高锰钢材质衬板耐磨性能的2.08倍。

2.4 效益分析

以试验中的设计成分(Ni: 0.8%~1.0%)为依据,生产一吨高铬铸铁,需用工业催化剂(含77%NiO)13.4~16.7 kg;若使用高纯镍板需8.1~10.1 kg;当前市场含NiO工业催化剂价格为60~65元/kg,高纯镍板价格为150~170元/kg,试验生产的高铬铸铁成本约8 500~9 000元左右;通过计算,以NiO代Ni的生产工艺可降低成本9.1%~10.6%。

3 结论

(1) 工艺优化后制备的高铬铸铁衬板铸态硬度HRC 58~59,热处理态硬度HRC 62.5~63.5,铸态较KmTBCr20铸铁硬度提高HRC 5~7;热处理后较KmTBCr20铸铁硬度提高HRC 2~3。

(2) 试验中以NiO代Ni进行直接合金化制备高铬铸铁,Ni的收得率为98.9%。

(3) 与传统高锰钢衬板相比,试验制备的高铬铸铁衬板耐磨性能是其2倍以上。

(4) 以NiO代替Ni板制备高铬铸铁,生产成本降低9.1%~10.6%。

参考文献:

- [1] 李卫,周平安,陈华辉.耐磨新材料新技术研究开发与耐磨材料产业化:第十届全国耐磨材料大会述评[J].铸造,2004(7):503-510.
- [2] 王春景,邓鸿运,陈自立,等.高铬铸铁生产及应用实例[M].北京:化学工业出版社,2011:2-5.
- [3] 阴世河,姜炳焕.变质处理对改善铬26白口铁性能的研究[J].铸造,1987(7):17-20.
- [4] Zhi X H, Xing J D, Fu H G, et al. Effect of fluctuation, modification and surface chill on structure of 20%Cr hypereutectic white cast iron[J]. Materials Science and Technology, 2009, 25(1): 56-60.
- [5] 陈壕壕,余自更,许光奎,等.合金高铬铸铁及应用[M].北京:冶金工业出版社,1999:14-24.
- [6] 邱国兴,王学恩,郭新超.转炉炼钢过程中镍氧化物直接合金化的热力学分析[J].山东冶金,2010,32(3):42-44.
- [7] 曹磊,高运明,朱苗勇.转炉炼钢过程氧化镍直接合金化研究[J].中国冶金,2009,19(5):21-25.
- [8] Sun Y. Transport of polystyrene decomposition products and its role in controlling casting defects in aluminum EPC casting[D]. Missouri: University of Missouri-Rolla, 1992.
- [9] 杨军,王斌,杨眉,等.瞬时变质处理对高铬铸铁组织和性能的影响[J].铸造,2009,58(2):57-63.
- [10] 刘嘉,张锁梅,赵爱民,等.热处理对高铬铸铁组织和硬度的影响[J].热加工工艺,2010,39(9):28-31.
- [11] Yaer X, Shimizu K, Matsumoto H, et al. Erosive wear characteristics of spheroidal carbides cast iron[J]. Wear, 2008, 264(11-12): 947-957.

(编辑:潘继勇, pjj@foundryworld.com)

(选自《铸造》2017年第11期)