

脉冲电流处理方式对45钢凝固组织的影响

张西锋¹ 袁守谦¹ 魏颖娟¹ 邱斌¹ 杨拉道² 谢东钢²

(1 西安建筑科技大学冶金工程学院,西安 710055; 2 西安重型机械研究所,西安 710032)

摘要 45钢(0.43% C)在10 kg中频感应炉出钢前(凝固前)经2 600 V、0.862 Hz、电容器电容量200 μF脉冲电流处理60 s和钢水在铸模凝固过程用相同参数的脉冲电流处理3.5 min后发现,两种脉冲电流处理方法均能改善钢的凝固组织:增加等轴晶和减少柱状晶数量,并减少魏氏组织,使珠光体片层间距减小;同时改善了钢的成分偏析,碳、硫、磷的偏析指数分别由未经脉冲电流处理的1.257、1.502和1.384降低至脉冲电流处理的1.125~1.194、1.067~1.300、1.227~1.092。

关键词 脉冲电流处理 45钢 凝固组织

Influence of Pulse Current Treatment Method on Solidified Structure of a 45 Steel

Zhang Xifeng¹, Yuan Shouqian¹, Wei Yingjuan¹, Qiu Bin¹, Yang Ladao² and Xie Donggang²

(1 School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055; 2 Xi'an Heavy Machinery Research Institute, Xi'an 710032)

Abstract With pulse current (2 600 V, 0.862 Hz, capacitance of capacitor 200 μF) treated liquid 45 steel (0.43% C) for 60 s before tapping from 10 kg medium frequency furnace (before solidification) or with same pulse current treated liquid for 3.5 min during solidified process in casting mold, it was found that both pulse current treated methods all were able to improve solidified structure of steel, i. e. increased equiaxial crystal, decreased columnar crystal, reduced Widmannstatter structure and decreased interlamellar spacing of pearlite, besides to improve chemical composition segregation, the segregation index of carbon, sulphur and phosphorus respectively decreased to 1.125 ~ 1.194, 1.067 ~ 1.300 and 1.227 ~ 1.092 with pulse current treatment from 1.257, 1.502 and 1.384 without pulse current treatment.

Material Index Pulse Current Treatment, 45 Steel, Solidified Structure

电脉冲细化金属凝固组织技术是在金属凝固过程或凝固前给金属液施加选定的脉冲电流,以达到控制金属凝固组织性能的方法。该技术具有无污染、设备简单、操作方便、投资少、效果显著等优点,被誉为绿色凝固细晶新技术^[1,2]。

1 实验材料和设备

实验所选用的炉料为Φ35 mm 45钢,其主要化学成分如表1所示。实验主要设备为脉冲信号发生器(图1),主要靠储能电容的充放电来产生脉冲电流,并通过调节充电电压的大小来改变输出脉冲电压值,其他辅助设备有中频感应炉(CW-1JJ)等。

2 实验过程

2.1 凝固前的脉冲电流处理

表1 45钢的主要化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 45 steel / %

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 0.43 | 0.22 | 0.58 | 0.020 | 0.003 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |

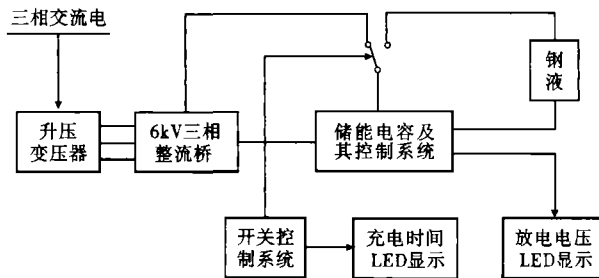


图1 脉冲信号发生器原理示意图
Fig. 1 Sketch of principle of pulse generator

将预先称好的45钢加入10 kg的中频感应炉(CW-1JJ),通电进行加热熔化,待钢水熔化后用光学高温计进行测温,使钢水温度达到1 540℃左右,并保温5 min使钢水成分及温度均匀;用铝丝进行脱氧后,直接将电极插入感应炉的钢水中,关闭感应炉电源开关,再启动脉冲信号发生器。主要输出电参数:电压2 600 V,频率0.862 Hz(充电时间0.73 s,放电时间0.42 s),电容器电容量200 μF,进行凝固前脉冲电流处理,处理时间60 s,并将处理后的钢

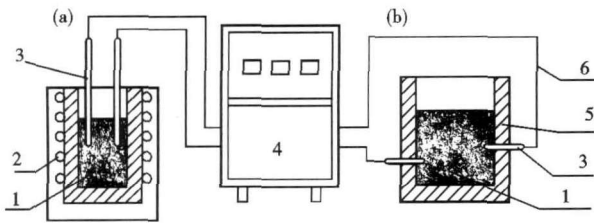


图2 脉冲电流处理实验示意图:(a)凝固前脉冲电流处理;(b)凝固过程脉冲电流处理,1- 钢水,2- 感应炉,3- 电极,4- 脉冲信号发生器,5- 保温浇铸型,6- 导线

Fig. 2 Sketch of pulse current treatment test: (a) pulse current treating before solidification; (b) pulse current treating during solidification, 1- liquid steel, 2- induction furnace, 3- electrode, 4- pulse generator, 5- casting mold with insulating plate, 6- conductor

水浇铸到预先用绝热板组合的方形铸型,尺寸(mm)为 $75 \times 75 \times 75$,实验示意图如图2(a)所示。

2.2 凝固过程的脉冲电流处理

凝固过程进行脉冲电流处理是将感应炉熔化的钢水保温、脱氧,再浇铸到预先用绝热板组合的方形铸型中(尺寸同前),打开脉冲信号发生器的电源开关进行脉冲电流处理,直到钢水全部凝固为止,脉冲电流处理的总时间为3.5 min,其处理的电参数同样为:电压2 600 V,频率0.862 Hz,电容器电容量200 μF (图2b)。

3 实验结果与分析

3.1 宏观组织

低倍组织检验发现,未经过脉冲电流处理的45钢试样中心为粗大等轴晶区,其最外层由细小等轴晶构成非常薄的激冷层;在激冷层内部为柱状晶层,其占据了试样1/2的断面积,且一次晶发达,二次晶明显,如图3(a)所示;而在凝固过程进行脉冲电流处理后,整个试样均是细小均匀的等轴晶,柱状晶基本消失,如图3(b)所示。在凝固前进行脉冲电流处理的试样中,等轴晶增加,柱状晶减少,如图3(c)所示。因此,该技术在小铸坯试验时,可采用在中间包钢水中插入电极进行凝固前脉冲电流处理,而对板坯及大断面的铸坯,可在结晶器内施加脉冲电流,以改善铸坯凝固组织。

对于凝固前进行脉冲电流处理的机理,主要是脉冲电流改变液体金属结构,增加液态金属中大尺寸的原子团簇,为凝固时提供了足够

量的形核所需晶胚,使晶粒得到细化^[2,3]。而在凝固过程中进行脉冲电流处理的机理,可能是脉冲电流通过熔体时产生电磁收缩力,使形成的树枝晶尤其是细小的树枝晶被碎断成细小的碎粒,游离于熔体中并成为新的晶粒生长核心而形核长大,使凝固后的晶粒得到细化和等轴化^[4-6];或是脉冲电流产生的磁收缩力使熔体被反复的压缩,而使局部区域的液态金属迅速失去过热,增加凝固的过冷度,并对原子扩散的激活能产生影响,使金属凝固的形核率增加^[7];或是脉冲电流降低形核势垒,使结晶形核更容易进行^[8];也可能是脉冲电流产生的Peltier热效应和Jouler热效应^[9,10]等方面均对凝固组织产生影响。

3.2 微观组织

图4(a)为未经过脉冲电流处理的45钢微观组织,其主要由珠光体和魏氏铁素体构成,魏氏铁素体含量比较多,且针状相对较粗大,并有许多插入原奥氏体晶粒内部,其铸态珠光体层间距约为5 μm ,且片层相对较长(图5a)。图4(b)是凝固过程施加脉冲电流的45钢微观组织,其魏氏铁素体含量明显减少,仅在晶界位置形成少量魏氏组织,而珠光体含量显著增加(珠光体增加可能是由于脉冲电流处理后试样局部区域过冷度增加^[7],使得冷却速度加快,奥氏体发生伪共析转变所致^[11]),珠光体片层间距变薄,平均片层间距为0.32 μm ,且珠光体变短,出现不连续状,并在局部区域的珠光体片层被打断,形成短杆状和粒状(图5b)。而对于凝固前施加脉冲电流的45钢微观组织如图4(c)所示,可以看出魏氏组织也明显减少,且小试样整个视场均相同,珠光体片层间距显著变薄,片层间距为0.28 μm (图5c)。

3.3 对成分偏析的影响

未经过脉冲电流处理的试样,断面中心区域的

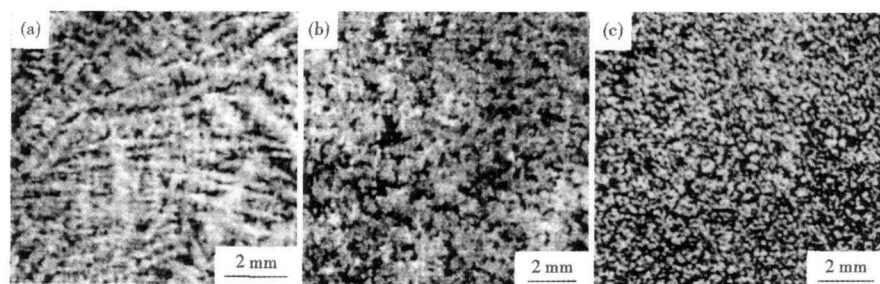


图3 45钢凝固宏观组织:(a)未经过脉冲电流处理;(b)凝固过程脉冲电流处理;(c)凝固前脉冲电流处理

Fig. 3 Macrostructure of 45 steel: (a) without pulse current treatment; (b) with pulse current treatment during solidification; (c) with pulse current treatment before solidification

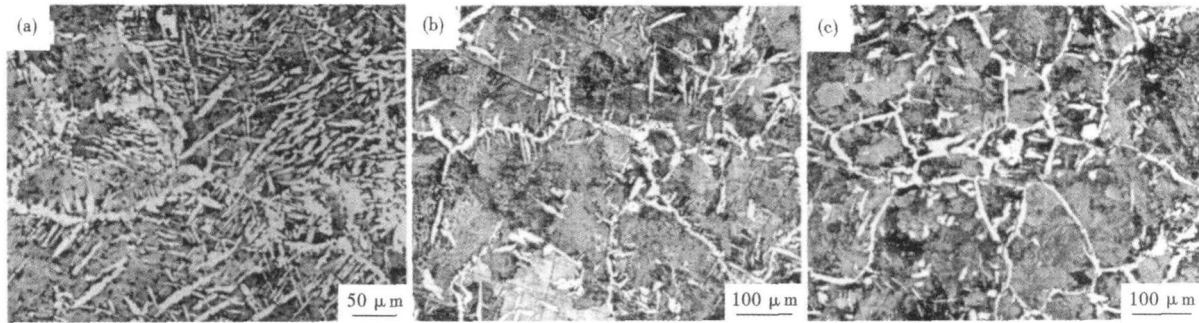


图 4 45 钢显微组织:(a) 未经过脉冲电流处理;(b) 凝固过程脉冲电流处理;(c) 凝固前脉冲电流处理

Fig. 4 Microstructure of 45 steel: (a) without pulse current treatment; (b) with pulse current treatment during solidification; (c) with pulse current treatment before solidification

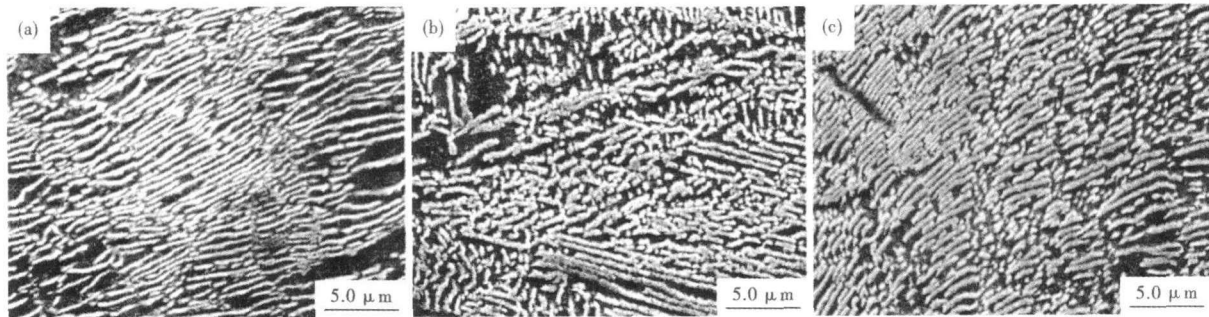


图 5 45 钢珠光体形貌, SEM:(a) 未经过脉冲电流处理;(b) 凝固过程脉冲电流处理;(c) 凝固前脉冲电流处理

Fig. 5 Morphology of pearlite of 45 steel, SEM: (a) without pulse current treatment; (b) with pulse current treatment during solidification; (c) with pulse current treatment before solidification

碳、硫、磷含量明显高于边沿区域的含量,碳的偏析指数(中心碳含量和边沿碳含量之比)为 1.257,硫、磷的偏析指数分别为 1.502、1.384;在 45 钢凝固前和凝固过程进行脉冲电流处理的成分偏析均得到改善。凝固过程进行脉冲电流处理的碳、硫、磷偏析指数分别为 1.125、1.067、1.227,而在凝固前进行脉冲电流处理的碳、硫、磷偏析指数分别为 1.194、1.300、1.092。所以两种不同处理方式均能使 45 钢的成分偏析得到改善。可能是由于未经过脉冲电流处理的铸坯中树枝晶生长比较发达,当凝固界面以树枝晶方式生长时,碳、硫、磷等溶质元素将沿纵向排出,纵向的溶质传输将引起严重的成分偏析,但经过不同的脉冲电流处理后,铸坯凝固组织明显改善,柱状晶减少,等轴晶增加,使得宏观成分偏析得到改善。

4 结论

(1) 两种脉冲电流处理均能明显改善 45 钢凝固组织,使柱状晶减少,等轴晶增加,形成的魏氏组织减少,珠光体增加,且使珠光体片层间距变薄。

(2) 经过两种不同脉冲电流处理后,45 钢的成分偏析得到改善,碳、硫、磷的偏析指数明显降低。

参考文献

- 1 范金辉,李仁兴,华勤,等.脉冲电流对过共晶灰口铸铁凝固组织的影响.钢铁研究学报,2004,16(5):59
- 2 张西锋,袁守谦,魏颖娟,等.电脉冲细化 HRB335 螺纹钢凝固组织的实验.热加工工艺,2008,37(11):22
- 3 唐勇.电脉冲作用下液态金属结构及其对碳钢凝固组织改善的研究:[博士学位论文].北京:北京科技大学,2000
- 4 Nakada M, Shiohara Y, Flemings M C. Modification of Solidification Structures by Pulse Electric Discharging. ISIT International, 1990, 30(1):27
- 5 管炳涛,崔建忠,巴启先.高密度脉冲电流作用下 LY12 铝合金的凝固组织.特种铸造及有色合金,2000(4):4
- 6 Li Jianming, Li Shengli, Li Jin, et al. Modification of Solidification Structure by Pulse Electric Discharging. Scripta Metallurgica et Materialia, 1994, 31(12):1691
- 7 鄢红春,何冠虎,周本谦,等.脉冲电流对 Sn-Pb 合金凝固组织的影响.金属学报,1997,33(4):352
- 8 秦荣山,鄢红春,何冠虎,等.直接晶化法制备块状纳米材料的探索:脉冲电流作用下无序金属介质的成核理论.材料研究学报,1995,9(3):219
- 9 万钢,武保林,赵玉华.凝固过程中电流作用机制评述.铸造技术,2005,26(5):435
- 10 何树先,王俊,周尧和.电流在金属凝固过程中的应用.特种铸造及有色合金,2001(5):28
- 11 刘宗昌.珠光体转变与退火.北京:化学工业出版社,2007

张西锋(1981-),男,硕士研究生,细化晶粒方法的研究。

收稿日期:2008-07-10