

硅在分级淬火生产 贝氏体球铁工艺中的作用

徐 杨^①

魏德强

周世康

(机械工程学院) (黑龙江八一农垦大学) (机械工程学院)

摘 要 研究了采用分级淬火工艺生产贝氏体球铁时硅对相变组织及机械性能的影响,发现硅对贝氏体有诱发相变作用,从而可细化组织,提高机械性能,并对此作了理论分析。

关键词 元素硅; 分级淬火; 贝氏体球铁; 诱发相变

中图分类号 TG151.2

Effects of Silicon in Stepped Quenching Bainite Ductile Iron

Xu Yang

Wei Deqiang

(College of Machinery Engineering, CAU) (Heilongjiang Bayi Agriculture University)

Zhou Shikang

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract The effects of silicon on structures, mechanical properties and phase transition dynamics of stepped quenching bainite ductile iron is studied. It is found that the transition in bainite ductile iron can be brought out by silicon, and thus the structure with good mechanical properties can be obtained. The theoretical analysis of this important effect is described.

Key words alloy silicon; stepped quenching; bainite ductile iron; bringing out transformation

采用传统的盐浴等温淬火工艺生产贝氏体球铁,虽然工艺成熟,生产稳定性高,但生产设备一次性投资大,生产过程中能耗高;因此人们正在探讨和开发分级淬火工艺。但低温分级淬火工艺参数难以控制,尚未投入生产应用^[1],因此,研究分级淬火过程中组织及性能的变化规律十分重要。

硅是贝氏体球铁中的重要元素之一,对组织及性能变化的影响很突出,研究硅在分级淬火中的作用对此工艺的应用有深远的意义。

收稿日期:1996-06-17

①徐 杨,北京清华东路 17 号中国农业大学(东校区)61 信箱,100083

1 试验条件与方法

1.1 试样制备

用 1 t 冲天炉熔炼,在炉前加入合金元素。用冲入法进行球化及孕育处理,出铁温度高于 1450 ℃。用高温测温仪测温,用三角试块和炉前快速金相法检测球化情况。冲击试块直接浇注至 20 mm×20 mm×110 mm,其余试样取自 Y 型试块。炉料主要有本溪生铁、碳素废钢、钼铁、高碳铬铁、紫铜丝、75 硅铁孕育剂及稀土镁球化剂等。

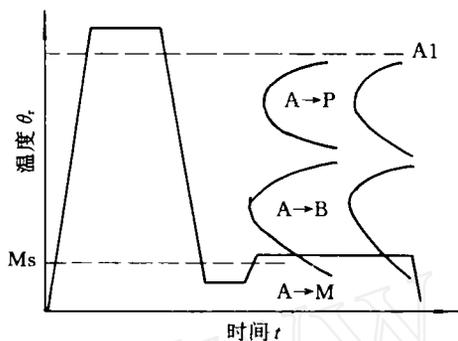


图 1 热处理工艺曲线

1.2 成分及热处理工艺选择

以普通球铁(其中各种元素的质量分数分别为: C, 3.4%~3.9%; Si, 2.4%~3.9%; Mn, 0.16%~0.9%; P, <0.07%; S, <0.03; 残余 Mg, 0.03%~0.06%; 残余 Re, 0.02%~0.03%)为基础进行 Mo, Cr 和 Cu 多元微量合金化。热处理工艺如图 1 所示。

试验所用设备有高温箱式电炉、洛氏硬度计、光学显微镜、300 N 冲击试验机和 X-650 型扫描电镜等。

2 试验结果及分析

2.1 硅对奥氏体化温度的影响

固定上述其他化学成分不变,改变含 Si 量进行试验。奥氏体化温度取为 920 ℃,分级淬火后的硬度变化如图 2 所示。可见, $w(\text{Si})$ 在 2.7%~2.9% 之间时,硬度 HRC 出现峰值;而 $w(\text{Si})$ 超出这个范围(增大或减小)时,硬度均降到 HRC50 以下。这主要是因为含硅量增大时奥氏体化温度升高,使合金中存在铁素体,致使硬度降低;而含硅量减少时,奥氏体含碳量和稳定性增加,导致残余奥氏体量增多,也使 HRC 下降。经过试验和生产验证得出的 $w(\text{Si})$ 与完全奥氏体化温度 θ_t 的关系如表 1。

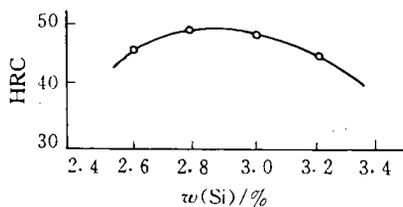


图 2 含硅量与硬度的关系

表 1 $w(\text{Si})$ 与完全奥氏体化温度 θ_t 的关系

$w(\text{Si})/\%$	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6
$\theta_t/^\circ\text{C}$	880	900	920	940	960	970

2.2 硅对贝氏体球铁的诱发相变作用

用 $w(\text{Si}) = 2.80\%$, 3.30% , 3.50% 和 3.77% 的冲击试样做分级淬火试验,其他成分同 2.1。性能测试结果如图 3 所示。随着含硅量的增加,硬度不断提高,冲击韧性也有所增强。从金相照片(图 4)可以看出,随着含硅量的增加,贝氏体基体得以细化,白亮区减少,马氏体数量

略有增加,但马氏体周边的贝氏体针更细小。 $w(\text{Si}) > 3.3\%$ 时,贝氏体针沿马氏体周边向外生长,即对贝氏体的形成产生诱发作用,而且随含硅量的增加,这种诱发相变的作用更加显著,诱发的贝氏体针也越多越细;而 $w(\text{Si}) < 2.8\%$ 时无明显诱发相变作用。形成这种现象的主要原因如下。

1) 含硅量提高,导致碳在奥氏体中的溶解度相对减小,从公式^{[2]①}

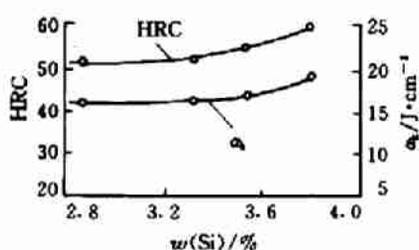
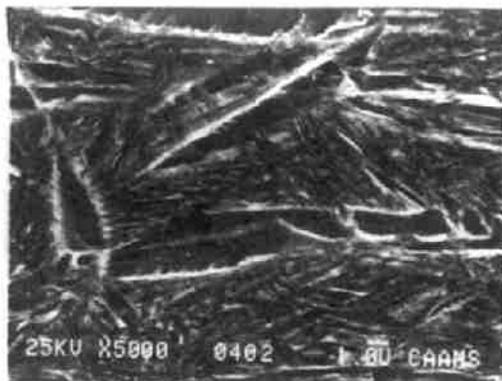


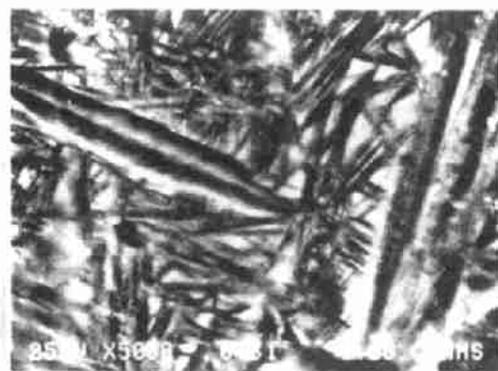
图 3 诱发相变中含硅量对机械性能的影响



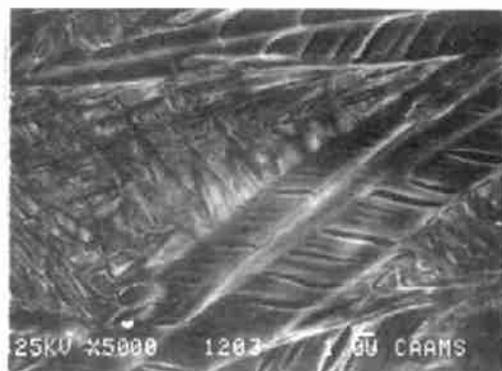
(a) $w(\text{Si}) = 2.8\%$



(b) $w(\text{Si}) = 3.3\%$



(c) $w(\text{Si}) = 3.5\%$



(d) $w(\text{Si}) = 3.77\%$

图 4 含硅量对贝氏体诱发相变的影响($\times 5000$)

$$\theta_{\text{Ms}} / \text{C} = 520 - 300w(\text{C}) - 50w(\text{Mn}) - 30w(\text{Cr}) - 20[w(\text{Ni}) + w(\text{Mo})] - 5[w(\text{Cu}) + w(\text{Si})]$$

(式中 $w(\cdot)$ 为试样中各种元素的质量分数)可以看出,碳对马氏体相变温度 θ_{Ms} 的降低作用比硅大得多,同时 Si 的细化共晶团及提高奥氏体化温度的作用也使 θ_{Ms} 升高,故含硅量高实际导致 θ_{Ms} 升高。这样,在分级时间相同的情况下增大了奥氏体转变的过冷度 $\Delta\theta$, 由于形核率 $I = A \exp(B/\Delta\theta)$ (式中 A 和 B 为常数)^[1], 所以随着过冷度的增大,形核率呈指数上升趋势。此时

① 原文中公式为 $M_s(\text{C}) = 520 - 320\text{C} - 50\text{Mn} - 30\text{Cr} - 20(\text{Ni} + \text{Mo}) - 5(\text{Cu} + \text{Si})$

奥氏体中产生的小核胚是从面心立方的母相中转变来的体心立方(正方),这种体心立方核心可以作为铁素体或贝氏体核心,也可以作为马氏体核心;但要成为马氏体核心则需要更大的动力^[2],即 $\Delta\theta$ 要更大。由于本研究中采用的分级淬火的 $\Delta\theta$ 不很大,且时间短,不可能为马氏体相变提供足够的动力,所以这些核胚大部分作为等温转变时贝氏体的核心和基底,从而诱发了贝氏体相变,细化了贝氏体组织,使硬度和韧性提高。

2)含Si量增大时孕育往往很充分,得到数量多而细小圆整的石墨(见图5),即共晶团得以细化;且硅促进贝氏体相变,在等温转变中白亮区减少,有利于韧性提高。

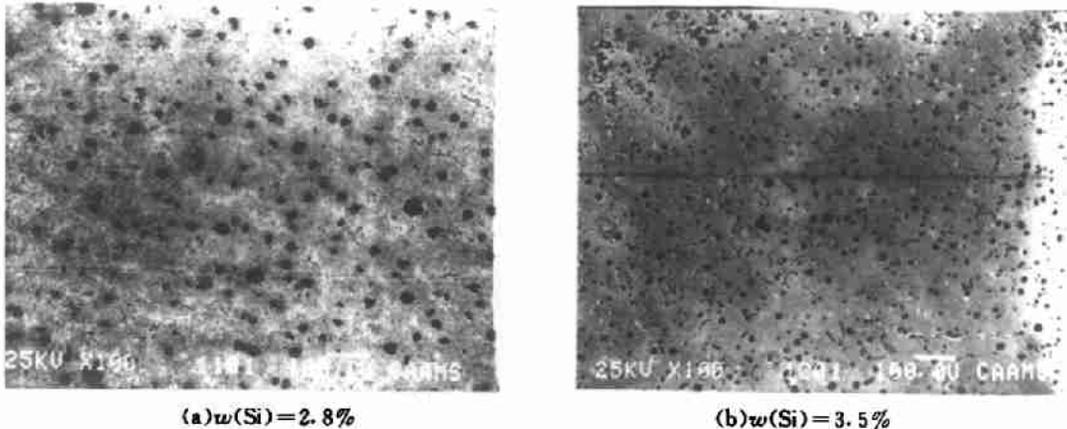


图5 含硅量对高锰贝氏体球铁中石墨球大小及白区多少的影响($\times 100$)

3)硅能增加奥氏体中碳的活度,加速相变,缩短孕育期,对贝氏体相变不产生拖曳作用,促进贝氏体相变更完全,有利于性能的提高。

4)在分级淬火中产生的马氏体,在随后的等温转变中变成回火马氏体,这种马氏体与贝氏体复相组织的韧性并不降低^[3]。

由此可见,在本研究的试验条件下, $w(\text{Si}) > 3.3\%$ 时,含硅量越大,贝氏体诱发相变越明显,组织越细化,硬度和韧性亦高,机械性能更优异。

2.3 Si-Mn的互补作用

钼是提高淬透性,有利于贝氏体生成的主要元素之一,但钼价格昂贵,因此用廉价的合金元素代替Mo生产贝氏体球铁是一项很有意义的工作,我国锰资源丰富,价格较低,同时锰又是一种能较好提高淬透性的元素,因此可以用锰代替钼;但锰含量过高($w(\text{Mn}) > 0.5\%$)时白亮区增多,韧性下降。由于Si与Mn在球铁中的偏析情况相反,凝固结晶时的许多作用可互补,因此需考查提高Mn含量时含Si量对贝氏体球铁组织及性能的影响。

试验用冲击试样的其他成分同2.1,取 $w(\text{Mn}) = 0.88\%$ 与 $w(\text{Si}) = 2.8\%$, 3.5% 和 3.8% 相匹配,采用图1所示分级淬火工艺,试验结果如表2。显然,高锰贝氏体球铁含Si量高时综合机械性能好。这主要由于Mn是正偏析元素,会降低奥氏体化温度,增加奥氏体中含碳量,使碳的活度下降,稳定了奥氏体,对贝氏体转变起拖曳作用,使白亮区增加;而Si却相反,它是负偏

表2 高锰贝氏体球铁中硅对机械性能的影响

$w(\text{Si}) / \%$	HRC	$\alpha_k / \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$
2.8	53	9.1
3.5	54	14.2
3.8	54	15.1

析元素,能提高奥氏体化温度,增加碳的活度,细化共晶团,促进贝氏体相变,从而使白亮区减少,如图5所示,故韧性提高;但Si和Mn的偏析程度不同,Mn的偏析系数约为3~5,而Si的偏析系数仅0.8~1.0^[3],因此在确定Si与Mn的成分分配比时要考虑其偏析程度的影响。在本试验条件下, $w(\text{Si}) : w(\text{Mn}) \approx 4$ 时较佳。含Si量过高易造成石墨漂浮和热处理前铸件过脆等缺陷。

可见,适当地提高含Si量对以锰代铝生产贝氏体球铁是十分必要的。

3 结 论

1)含硅量不同时对应的最佳奥氏体化温度 θ_r 不同,且 θ_r 随含硅量的增加而升高。

2) $w(\text{Si}) > 3.3\%$ 时对贝氏体相变具有显著的诱发作用,可以得到组织细化、综合机械性能优异的贝氏体球铁。

3)硅与锰的合理搭配对生产高锰贝氏体球铁非常必要。

参 考 文 献

- 1 周世权. 分级等温淬火球墨铸铁的组织与性能. 热加工工艺, 1993(5): 17~19
- 2 徐祖耀. 马氏体相变与马氏体. 北京: 科学出版社, 1980. 46
- 3 徐祖耀, 刘世楷. 贝氏体相变与贝氏体. 北京: 科学出版社, 1991. 87
- 4 徐 杨. 贝氏体球铁热处理新工艺:[学位论文]. 北京: 北京农业工程大学, 1994