

探析合金元素对低合金耐磨铸钢力学性能的影响

付卓曦

西安煤矿机械有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 该文章通过开展实验研究的方式, 以 C、Si、Mn、Mo 与 Nb 五种合金元素为例, 分别分析各元素对低合金耐磨铸钢力学性能的影响。实验结果表明, 五种合金元素的合理搭配可使钢的淬透性得到显著提升, 在力学性能影响方面, 元素含量可对钢的硬度与韧性产生影响, 由高到低排列为 Mn、C、Si、Mo、Nb。

[关键词] 合金元素; 低合金耐磨铸钢; 力学性能

DOI: 10.33142/ec.v3i3.1573

中图分类号: TU621

文献标识码: A

Effect of Alloy Elements on Mechanical Properties of Low Alloy Wear-resistant Cast Steel

FU Zhuoxi

Xi'an Coal Mining Machinery Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Through the way of experimental research, this paper analyzes the influence of five alloy elements (C, Si, Mn, Mo and Nb) on mechanical properties of low alloy wear-resistant cast steel. The experimental results show that the hardenability of the steel can be significantly improved by the reasonable combination of the five alloy elements. In terms of mechanical properties, the element content can affect hardness and toughness of steel, which is arranged as Mn, C, Si, Mo and Nb from high to low.

Keywords: alloy elements; low alloy wear-resistant cast steel; mechanical properties

引言

现阶段, 耐磨材料在钢铁制造中得到广泛应用, 以合金白口铁为主, 但其韧性较差, 且价格较高, 只有在高强度冲击条件下适用。而在中、低冲击条件下, 可采用低合金耐磨钢, 该材料在硬度、耐磨性、韧性等方面具有较大优势, 且生产成本不高, 因此受到广泛关注。

1 实验材料与方法

1.1 仪器与设备

在本实验中, 以圆棒铸钢为主要原料, 尺寸为 $400 \times 40 \times 30\text{mm}$, 抗拉强度约为 600MPa , 伸长率在 5% 左右; 其次为纯铌与纯钼, 利用真空电弧熔炼成原料, 在天平中称取重量, 精度为 0.01g , 在原料中加入元素钼含量, 每间隔 0.15% 增加一个点, 共计增加 5 个成分点。经过电弧熔炼, 使试样变成球冠形, 横截面的直径为 $36\text{--}38\text{mm}$, 厚度范围为 $8\text{--}12\text{mm}$, 质量在 $100\text{--}110\text{g}$ 之间。通过光谱仪对纽扣锭的化学成分进行分析, 并将其放在 1000°C 环境下均匀化退火, 保温 2h 后炉冷。

1.2 实验方法

采用正交实验法, 在钢固态相变具有强烈反应的五种合金元素, 即 C、Si、Mn 与 Mo、Nb, 每个元素 3 个水平, 按照正交表开展实验, 剩余元素含量为 1.00%, 将试样放入温度为 880°C 的环境下, 空淬 2h, 再在 250°C 环境下回火 2.5h, 将所得材料的洛氏硬度与冲击韧性作为实验指标。全部材料在 30g 中频无芯感应电炉中熔炼, 铸成水玻璃形状的试块, 线切割后形成多个试样, 尺寸为 $10 \times 10 \times 55\text{mm}$, 所采用的炉料为生铁、废钢、锰铁与硅铁等等, 放入电阻炉中进行热处理, 再利用 HR150 洛氏硬度计, 对其硬度值进行检测, 采用型号为 JB30A 的冲击试验机, 对其冲击韧性进行检测, 对三次实验结果取均值, 利用光学金相显微镜进行分析^[1]。

2 实验结果与分析

2.1 碳

随着碳含量与钢硬度不断增加, 冲击韧性逐渐降低, 其受影响的程度在锰之后。在固溶强化作用中, 碳属于关键元素之一, 将其放入铁素体基体中, 在位错作用下, 逐渐靠近位错线形成柯氏气团, 不但使 Q 增加, 还使 K 也随之提升, 计算公式如下:

$$W=Q+K$$

式中, W 代表的是韧性; Q 代表的是位错晶体运动所受摩擦阻力; K 代表的是钉扎系数, 随着位错运动摩擦阻力提升, 钢的硬度随之增加, 韧性值降低。

2.2 硅

随着硅含量的不断增加, 硬度与韧性先增加后降低, 在含量为 1.30% 左右产生最大值。在铁素体之中, 硅产生的固溶强化作用在碳与磷之后, 在锰之前, 因此可提高钢的硬度与强度。当硅中钢含量较低时, 铁素体中含有大量渗碳体, 在

碳化物作用下产生许多裂纹，不利于钢的韧性发展。随着硅含量不断增加，因硅可使碳在奥氏体中活度增强，减少碳化物的析出，在贝氏体发生转变时，未成功转变的残余富碳被保留下来，使钢的韧度得以提升。但是，如若硅的含量过多，也会影响铁素体的韧度，并容易出现淬火裂纹，加上残余奥氏体的影响，使钢的硬度降低。此外，硅在推迟钢中碳化物朝着渗碳体而转变，在晶粒边界进行粗化，对低温回火的温度要求提高，因此钢中硅的含量在 1.0—1.5% 之间为最佳状态。

2.3 锰

通过对合金元素的研究可知，锰对钢的硬度与韧度的影响最大，当锰含量不断增加时，钢的硬度急速上升，但韧度却持续降低。钢中的部分锰存在于铁素体中，剩余形成锰合金渗碳体。在强化作用影响下，碳化物与基体得以增强，进而提高钢的硬度与强度，在基体中的合金渗碳体可使钢的硬度显著提升，但在晶界位置的渗碳体则具有割裂基体的作用，此种作用是有害的，可随着锰含量的提高而增强，极大的影响钢韧度。但是，该作用可通过热处理，使晶界位置的碳化物逐渐溶解，以此减少对钢韧度的不良影响^[2]。

锰的作用在于降低奥氏体的分解速度，加速珠光体运转速度，在钢中的扩散速度低于铁与碳，使奥氏体出现珠光体转变的领先相成核难度增加，延长孕育期，钢的 C 曲线朝着左右大幅摆动，淬火速度明显降低，钢的淬透性显著提升。同时，锰在一定程度上可以替代 Mo 的作用，使钢在空冷环境下，仍然可获得贝氏体组织，当锰含量不断增加时，B/M 中的 M 含量也会随之增加。此外，锰对钢的 Bs 与 Ms 点也具有较大影响。

$$Bs(^{\circ}C) = 630 - 45Mn - 40V - 35Si - 30Si - 15W$$

$$Ms(^{\circ}C) = 550 - 361C - 35V - 17Ni - 5(Mo + W) + 30A$$

当 Bs 与 Ms 点降低，贝氏体的板条细化，钢中残余奥氏体的含量增加，并使钢的强度与韧度随之提升。通过对多个方面的综合考虑可知，随着锰含量的不断提升，钢的硬度更强，但韧度却不断降低。

2.4 钼

在本次实验中，钢的硬度与钼含量之间存在紧密联系，当钼含量增加时，钢的硬度也随之提升。当钼含量处于中低程度时，则差异不够明显，在处于中等含量时冲击韧度达到最大值，但对钢性能的影响却较小。钼的存在可使钢的 C 曲线朝着右侧移动，并使钢的淬透性得以提升，其影响程度超过铬，但低于锰。在钼的作用下，钢 C 曲线珠光体逐渐变为贝氏体，阻碍铁素体的转变，延长孕育期，由于对贝氏体的影响不够明显，导致转变区逐渐朝着左侧突出，使钢在空冷环境下仍可获得贝氏体。在中强碳化物中，钼属于重要元素之一，在钢中以碳化物形式存在，并分散在基体中，使基体强度变大，进而增加钢的硬度。但是，当钼含量过多时，钼碳化物的数量不断提升，在晶界位置的碳化物开始对基体产生割裂作用，致使钢的韧性降低。此外，钢中钼还可使铸态组织得以细化，使回火更加稳定，在相变时减少碳化物的析出进而使钢的韧度得以改变，综合性能得以增强。

通过本次实验研究可知，为了提高钢的韧度、耐磨性，可采用性价比较高的低合金耐磨铸钢，并对钢的成本进行考虑，在 C、Si 与 Mn 中取中限，在 Mo 中取中小限。最后开展验证实验，将试样放入温度为 880℃ 的环境下，空淬 2h，再在 250℃ 环境下回火 2.5h，钢成分与性能测试结果如下表 1 所示。

表 1 钢成分与性能测试结果

试样编号	C	Si	Mo	HRC
1 号	0.40	1.30	0.20	50.2
2 号	0.40	1.30	0.20	51.5

由于钼的含量不同，对试样的力学性能变化情况绘制曲线，通过曲线分析可知，试样强度、硬度与钼含量之间属于正比例关系。当 Mo 含量低于 0.4% 时，并在贝氏体强化作用下，可使硬度与强度飞速增长；当 Mo 含量超过 0.4% 时，该元素的固溶度可达到最大状态，贝氏体强化成为试样强度增加的重要因素。因此，当钼管理超过 0.5% 后，钢的硬度、强度虽然有所增加，但速度开始放缓；当含量超过 0.823% 时，样品的布氏硬度与拉伸性能达到最大，但塑性逐渐降低。由此可见，当 Mo 含量为 0.3—0.5% 之间时，钢的综合力学性能处于最佳状态。

2.5 铌

对于不同的 Nb 来说，其力学性能变化情况不同，当铌含量增加时，在细晶强化作用下，钢的强度、硬度均显著提升，伸长率减少，强塑积液处于先上升后降低的状态。当铌含量为 0.057% 时，钢中的强塑积为最大值，这意味着当铌含量处于 0.04—0.06% 之间时，钢的综合性能为最佳。

结束语

综上所述，五种合金元素的合理搭配可使钢的淬透性得到显著提升，钢中 C 与 Mn 含量增加可使钢的硬度提升，韧度降低，在力学影响方面，Mn 的影响最大，C 次之，硅、钼和铌对钢性能的影响相对较小，当处于中等含量时，可使钢的综合性能最佳，考虑到成本因素，在碳、硅、锰中应取中限，在钼与铌中应取中下限。

[参考文献]

- [1] 贺年兵, 唐建新. 合金元素对低合金耐磨铸钢力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2019(01): 4-5.
 [2] 张懿, 唐建新, ZHANG Yi, 等. 锰含量和热处理对中碳低合金耐磨铸钢强韧性的影响[J]. 热加工工艺, 2019, 40(2): 179-181.

作者简介: 付卓曦 (1992-), 男, 陕西渭南市人, 汉族, 大学本科学历, 助理工程师, 研究方向机械加工与制造。