LCC 钢的生产及其缺陷预防

上海宏羿铸造公司 （200021） 王景德

摘要：详细介绍了 LCC 钢的理化性能要求与热处理工艺，同时对 LCC 钢生产中常见热处理缺陷的产生原因进行了分析并提出了预防措施。

LCC 钢是一种具有良好综合力学性能与焊接性能的低碳低温钢。目前，欧盟与美国等国已广泛用于寒冷地区使用的阀门铸钢件上。为扩大出口，我公司从 1996 年开始研制生产 LCC 钢，迄今已生产 LCC 钢阀门铸件数百吨出口英国、美国等国家。铸件内在与外观质量完全符合美国相关标准，受到外商的一致好评。

1. LCC 钢的化学成分与力学性能

（1）化学成分（美国 ASTM A352～83a）见表 1。

表 1 LCC 钢的化学成分（质量分数） （%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	∑Ni+Cr+Mo+Cu+V
≤ 0.25	≤ 0.60	≤ 1.20	≤ 0.04	≤ 0.045	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.03	≤ 1.00

（2）LCC 钢的力学性能（见表 2）。

表 2 LCC 钢的力学性能

抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	伸长率 δ（%）	断面收缩率 ψ（%）	低温冲击值①（-46℃）/J
485～654	≥275	≥22	≥35	≥20（三件平均值）

①夏普 V 形缺口试块，其中一试块的 A_K 最低值≥16J。

2. 化学成分的设计

（1）碳 在低 C 钢中，$w_C \leqslant 0.18\%$ 时，低温 A_K 值随 C 含量提高而增加。$w_C \geqslant 0.18\%$ 后，随 C 含量提高 A_K 不断下降。但 C 含量过低的钢（$w_c < 0.18\%$），因其中珠光体量减少，使抗拉强度与屈服强度很低。因此为保证 LCC 钢有较好的综合力学性能，我们选取 $w_C = 0.18\% \sim 0.22\%$。

（2）硅 Si 是作为脱氧剂加入钢中的，它能还原 FeO，从而消除 FeO 夹杂对钢的不良影响。低 C 钢中的 Si 大部分溶于铁素体中，有助于提高钢的强度。因此在 LCC 钢生产中，我们一般控制 $w_{Si} = 0.45\% \sim 0.55\%$。

（3）磷与硫 P 与 S 对 LCC 钢低温 A_K 值影响极大。随着钢中 P、S 含量的提高，低温 A_K 值急剧下降。P 在组织中析出化合物 Fe_3P，使钢的脆性大大提高，S 在钢中与 Fe 生成化合物 FeS，FeS 与 Fe 又能形成低熔点共晶体，使钢的脆性增大。前苏联要求低温钢中 w_P、w_S 均≤0.02%。在生产中将 P、S 含量控制得越低越好。如注意选料，强化冶炼，将成品钢中的 P、S 含量（质量分数）控制在 0.03%～0.04%是完全可以做到的。

（4）锰 Mn 与 S 生成 MnS，呈点状分布在晶

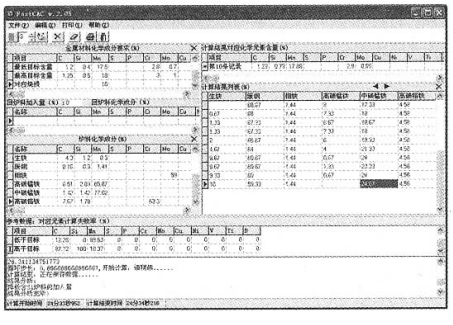


图 3

5. 结语

快速准确配料是保证铸件化学成分，降低生产成本的基础，而根据炉前化验结果快速调整化学成分则是减少合金元素熔炼损耗，降低电耗，延长熔炼设备使用寿命的关键因素，因此使用计算机配料取代传统的人工估算方法，是铸造企业在目前市场条件下挖掘自身潜力，实现节能降耗的有效途径之一。

（20040806）

界之上，有一定塑性。Mn还可细化晶粒，有助于改善低温 A_K 值。故我们生产中常把Mn控制在 $w_{Mn}=1.1\%$左右。

(5) 镍 Ni能显著提高LCC钢的低温 A_K 值，美国要求低温钢中 $w_{Ni}=2.5\%$。我们也作过试验，在LCC钢中加入0.35%～0.50%的纯Ni，低温 A_K 值有较大幅度的提高。

(6) 其他残留元素 Al、Ti、Mo、Cr、V等残留元素只要控制在上述标准规范围内（见表1），对低温 A_K 值无明显影响。

3. 热处理工艺方案的优选

LCC钢是美国标准中的一种低温钢，国内尚无经验借鉴。我们在研制LCC钢过程中，曾经进行过5种热处理方案试验，即：正火+回火；淬火+回火；正火+正火+回火；正火+淬火+回火与淬火+淬火+回火。

试验证明，前三种热处理方案均不能保证LCC钢的综合力学性能，特别是无法获得稳定的低温 A_K 值，后两种工艺方案均能保证LCC钢的各项力学性能达标。

但淬火+淬火+回火的方案工艺较复杂，成本也较高，优点是生产周期有所缩短。在正常情况下生产上没有采用，只有在特殊需要时应用。目前，在一般情况下，我们采用正火+淬火+回火的工艺，现简要介绍如下：

(1) 正火 在电阻炉内加热，温度930℃±10℃，保温4h后出炉空冷。

(2) 淬火 正火后铸件冷却至室温后，在箱式电炉内加热到900℃±10℃保温3h后迅速在水中淬火。这时铸件需在水池中不断上下左右摆动，并用压缩空气吹入水中，同时水温要保持在20～40℃，故需不断向水池中补充冷水，水池上端留有水口，使高温热水溢出。

(3) 回火 淬火后铸件需立即放入回火炉中进行680℃±10℃的高温回火，使晶格畸变减小，淬火应力释放。保温3h后出炉空冷以防回火脆性。

回火后的组织为细薄片珠光体即回火索氏体，各项力学性能优良，-46℃低温 A_K 值达到23～35J。

特殊情况下使用的两次淬火+回火工艺为：淬火900℃±10℃，淬火900℃±10℃与回火680℃±10℃。

4. LCC钢生产中常见热处理缺陷及预防

(1) 裂纹 在铸件厚薄交界或转角处，淬火后易产生裂纹，主要原因是由于淬火应力所造成的。我们发现，随着淬火后停留时间的延长，淬火开裂现象增加（见表3）。因此，淬火后铸件不得长时间存放，需立即投入回火炉中回火，尤其在冬季更要及时回火。

表3 淬火后停留时间对裂纹产生的影响

停留时间/h	0.5	1	4	12	24	48
裂纹数目①	0	0	1	2	2	4

① 铸件总数为40件。

(2) 低温 A_K 不合格或铸件表面硬度不均匀 出现这两种现象的主要原因：一是淬火温度过高或铸件在水池中各处水温差异较大所致。铸件刚入水池时周围的水被加热汽化形成一层蒸汽膜，使铸件与水隔离。它是不良导体，将大大降低铸件冷速，故淬火时铸件要不断摆动并用压缩空气吹入水中，去除铸件表面汽膜，使铸件各处温度一致；二是从加热炉中吊运铸件入水池时吊运速度过慢，尤其在冬季吊运太慢使铸件降温大，导致铸件淬火温度低，影响淬火效果。因此，铸件从加热炉中吊出速度应尽量快些，保证铸件的淬火温度。

(3) 同一炉热处理的三件试块低温 A_K 值相差悬殊 主要原因：一是与冲击试块表面粗糙度及外形垂直度有关，要求试块加工时尺寸要精确，垂直度要好，试块表面应磨光达到 $R_a=1.6\mu m$；二是与试块冷却速度有关。试块在冷却剂中冷却时需冷至比要求测试温度低5～7℃，如要求测试温度达-46℃，试块需冷至-51℃，同时要迅速从冷却剂中取出放在冲击机上；三是与冲击机支承座跨距有关。如跨距大，则 A_K 值小。故支承座跨距在每次测试前应用卡板调到 $40^{-0.5}_{0}$mm，使试块V形缺口对中。

5. 结语

(1) LCC钢是一种低温冲击性能与焊接性能优良的低温钢，目前已被欧美各国广泛用于寒冷地区使用的阀门铸钢上。

(2) 控制低C、低P、S，加入少量纯Ni，是制取优良LCC钢的必要条件。

(3) 选择正火+淬火+高温回火的热处理工艺是生产LCC钢较佳的方案。

(4) LCC钢生产中常见的热处理缺陷，采取相应的对策是可以防止的。 (20040810)