

合金元素含量对U75V钢轨过冷度的影响

张冰 高洋 肖卿鹤
 辽宁科技大学应用技术学院 辽宁鞍山 114051

摘要: U75V钢轨是我国铁路建设的主型钢轨, 热处理是其主要强化手段。过冷度 (ΔT) 是U75V钢轨热处理过程中的重要参数。本文采用JMatPro软件计算了具有不同合金元素含量U75V钢轨的CCT曲线, 从中得到珠光体的平衡转变温度和连续冷却使珠光体开始转变温度, 并计算得到 ΔT 。结合正交试验设计方法研究了主要合金元素含量对U75V钢轨 ΔT 的影响。C对 ΔT 有着显著的影响, Mn和Si对 ΔT 有特别显著的影响, 而V对 ΔT 没有显著影响。按 ΔT 的最大化为优化目标, 在不考虑合金元素含量对材料性能其他影响的前提下, 最优的合金元素含量组合为 $A_4B_4C_1D_{1,2,3}$ 。其中, C和Mn的含量范围取上限、Si的含量取下限时更有利于增大U75V钢轨钢热处理的 ΔT 。

关键词: U75V钢轨; 合金元素; 热处理; 过冷度

引言

U75V钢轨是在共析碳钢中添加了Mn, Si, V元素的微合金钢, 其主要合金元素及含量如表1所示^[1], 其室温组织为片层状珠光体+极少量的铁素体。因此, 过冷奥氏体冷却时, 首先在过冷奥氏体的晶界上形核, 除了可能出现的极少量的先共析铁素体外, 铁素体和渗碳体几乎同时生成^[2]。铁素体和渗碳体如此交替形核和长大, 就形成了渗碳体和铁素体片层相间的珠光体组织^[3]。

表1 U75V钢轨钢合金元素含量

C	Si	Mn	S	P	V	Al
0.71-0.80	0.5-0.80	0.75-1.05	≤ 0.03	≤ 0.025	0.04-0.12	≤ 0.01

根据Wang^[4]的研究结果: ΔT 越大, 过冷奥氏体向珠光体转变的驱动力越大, 得到的珠光体片层间距越细小。也受热处理时的冷却速率影响。冷却速度越快, T_s 越低, 发生珠光体转变的过冷度就越大, 所得到的珠光体片层间距越细小, 热处理后钢轨的硬度, 强度等机械性能就越好^[5]。本文将针对U75V钢轨钢, 开展合金元素C, Mn, Si和V对其 T_c 、 T_s 和 ΔT 的影响规律。该研究将对U75V钢轨合金元素的优化设计提供理论依据。

作者信息:

张冰, 女(2001.05-), 汉族, 辽宁阜新人, 本科在读, 研究方向: 机械工程;

高洋, 男(1981.09-), 汉族, 辽宁铁岭人, 硕士, 副教授, 研究方向: 机械工程。

*通讯作者: 肖卿鹤, 男(1989.10-), 汉族, 江西赣州人, 硕士, 讲师, 研究方向: 机械工程。

一、合金元素含量对 ΔT 和Vc的影响

本次研究使用JMatPro软件获得不同合金元素含量的U75V钢轨钢的CCT曲线, 然后通过CCT曲线获得材料的 T_c 和 T_s 。并基于 T_c 和 T_s 计算得到 ΔT 。

将C、Mn、Si和V作为影响因素, 每种元素取4个水平。选择L16(45)正交表, 共需开展16组试验, 各组试验的具体因素、水平组合如表2所示。表中第五列用来作为误差项研究因素对指标的影响程度。

表2 各组试验的具体因素、水平组合

试验编号	因素				
	A (C)	B (Mn)	C (Si)	D (V)	E (Error)
1	1 (0.71)	1 (0.75)	1 (0.5)	1 (0.04)	1
2	1	2 (0.85)	2 (0.6)	2 (0.067)	2
3	1	3 (0.95)	3 (0.7)	3 (0.094)	3
4	1	4 (1.05)	4 (0.8)	4 (0.12)	4
5	2 (0.74)	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3 (0.77)	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4 (0.80)	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

表3 Te、Ts及相应 ΔT 正交试验结果

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8
Te/°C	738.42	739.88	741.25	742.55	736.9	740.84	739.48	743.37
Ts/°C	651.26	649.75	648.4	646.98	645.89	653.9	642.91	650.78
ΔT	0.1180	0.1218	0.1253	0.1287	0.1235	0.1174	0.1306	0.1246
试验编号	9	10	11	12	13	14	15	16
Te/°C	735.45	736.79	743.08	744.44	734.04	737.81	741.74	745.66
Ts/°C	641.1	639.62	656.81	655.14	636.15	643.86	651.95	659.5
ΔT	0.1283	0.1319	0.1161	0.1200	0.1334	0.1273	0.1211	0.1155

二、合金元素含量对 ΔT 的影响

Te、Ts及相应 ΔT 的正交试验结果如表3所示，可以看到，随着合金元素含量的改变，Te在734.04~745.66℃范围内变化，波动范围为11.62℃，Ts在636.15~659.5℃范围内变化，波动范围为23.35℃。相应的过冷度在0.1155~0.1334范围内变化。

为研究各合金元素的含量对 ΔT 的影响趋势和影响程度，对正交试验结果开展极差分析，如表4所示。

表4 ΔT 极差分析结果

因素	A (C)	B (Mn)	C (Si)	D (V)
k_{1j}	0.1235	0.1168	0.1258	0.1240
k_{2j}	0.1240	0.1216	0.1246	0.1240
k_{3j}	0.1241	0.1264	0.1233	0.1240
k_{4j}	0.1243	0.1311	0.1222	0.1239
R	8.69E-4	1.44E-2	3.61E-3	1.99E-4

表4的极差分析结果可以看出：U75V钢轨钢合金元素对其热处理 ΔT 的影响程度从大到小依次为Mn>Si>C>V。Mn元素的含量对 ΔT 影响最明显，随Mn含量增大， ΔT 明显增大，由0.1168增大至0.1311。Si元素含量对 ΔT 影响程度小于Mn，且Si对 ΔT 的影响趋势与Mn相反，随着Si含量增大， ΔT 有较为明显减小趋势，由0.1258降低至0.1222。C和V元素的含量对 ΔT 影响较小。随着C元素含量的增大， ΔT 有增大的趋势，但增大趋势不明显，仅0.1235增大至0.1243。V元素含量对 ΔT 几乎不产生影响。

结论

采用JMatPro软件结合正交试验设计方法研究了主要合金元素对U75V钢轨Te、Ts以及 ΔT 的影响，主要结论包括：

1) 合金元素对U75V钢轨 ΔT 的影响程度从大到小依次为Mn>Si>C>V。Mn和Si对 ΔT 有特别显著的影响，C元素对 ΔT 有着显著的影响，而V对 ΔT 没有显著影响。

2) 随Mn含量的增大， ΔT 明显增大，由0.1168增大至0.1311。随Si含量增大， ΔT 有明显减小，由0.1258降

低至0.1222。随着C元素含量增大， ΔT 有增大的趋势，但增大趋势不明显，仅0.1235增大至0.1243。

3) 按 ΔT 的最大化为目标，最优的合金元素含量组合为A4B4C1D1，2，3。其中，C和Mn的含量范围取上限、Si的含量取下限时更有利于增大U75V钢轨钢热处理的 ΔT 。

参考文献

- [1]Ding Hui, Dai Jianwen, Dai Ting, Sun Yiwei, et al. Effect of preheating/post-isothermal treatment temperature on microstructures and properties of cladding on U75V rail prepared by plasma cladding method[J]. Surface and Coatings Technology, 2020, 399: 126122.
- [2]Jorge-Badiola D, Iza-Mendia A, Rodriguez-Ibabe J M, et al. Influence of Thermomechanical Processing on the Austenite - Pearlite Transformation in High Carbon Vanadium Microalloyed Steels[J]. ISIJ International, 2010, 50(4): 546-555.
- [3]叶红, 沟引宁, 张春艳.金属材料与热处理[M].北京, 化学工业出版社, 2015.
- [4]Wang Mingming, Yang Zhinan, Zhang Fucheng. Effects of alloying elements and cooling rates on the high-strength pearlite steels[J]. Materials Science & Technology Mst A Publication of the Institute of Metals, 2017, 13a(14), 1673-1680.
- [5]Kang H, Wang Z H, Li Y Y, et al. Relationship between Rockwell hardness and pearlite lamellar spacing of hardened layer under different cooling rates for U75V 60kgm1 heavy rail[J]. Materialwissenschaft and Werkstofftechnik, 2021, 52: 460-467.
- [6]王鲁, 杨钢, 刘正东, 等.基于Thermo-Calc和JMatPro模拟计算的新型镍基合金设计[J].材料热处理学报, 2017, 38(4): 193-199.
- [7]王立新.包钢U75V钢轨在线热处理工艺及性能研究[D].内蒙古, 内蒙古科技大学, 2016.