影响900A钢轨淬火均匀硬化层的主要因素

汪广志，李春霞，买岸雨，李亚娟，张利，张宏利

摘要：通过大量的试验研究发现控制好900A牌号钢轨的淬火温度、回火温度、感应器等主要影响因素，使心部硬化层均匀分布，就能完全满足道岔产品的技术要求。

关键词：900A钢轨淬火；均匀硬化层分布；影响因素

BS100A钢轨的材料牌号为900A，单重50.18kg/m，轨高152.4mm，轨头宽69.8mm，轨底宽133.35mm，性能指标符合BS11-1985英标规定。铁路标准道岔钢轨件淬火技术要求规定：钢轨轨头表面淬火后截面硬化层的硬度在40～32HRC，淬火层上*a*、*b*、*c*线位置硬度值保持一致性，由表及里递减分布（表面到8mm深范围），如图1所示。在工艺试验过程中通过切片反复检查，我们发现*a*、*b*、*c*线位置中的*a*线硬度达标率为87%，而*b*、*c*线硬度达标率为100%（见表1）。为提高*a*线位置硬度达标率，获得钢轨淬火均匀化硬化层，本文对900A牌号钢轨化学成分、中频感应淬火温度、回火温度、感应器、频率及冷却速度等几个主要影响因素进行了详细分析。

1. 化学成分

钢轨的化学成分对奥氏体化加热温度有一定影响，碳含量越低，淬火温度越高。某轧钢厂生产的900A牌号钢轨实物轨头的化学成分如表2所示。

从表2中可以看出：进厂钢轨原材料复验的各元素含量在BS11-1985英国标准规定的下限值；900A牌号的钢轨与TB2344-2012规定的U71Mn牌号相比，C、Mn的下限均低0.05%左右，这就使其奥氏体连续冷却转变图（图2中红虚线）比U71Mn钢轨的转变图（图2中黑实线）左下移一些。可以看出，900A钢轨欠速淬火时，轨头表面和心部需要更快一些的冷却速度，才能实现不稳定过冷奥氏体A在A_1～560℃

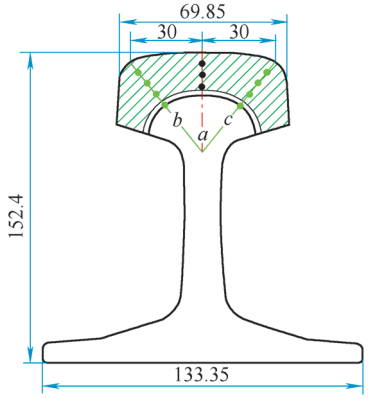


图1　900A牌号钢轨中频感应淬火硬化层示意

表1　900A牌号钢轨轨头感应淬火均匀硬化层达标率

淬火钢轨头横截面	3点硬度HRC	达标率（%）	硬化层形状
*b*线位置	32～40	100	帽型
*a*线位置	32～40	86～90	帽型
*c*线位置	32～40	100	帽型

表2　钢轨牌号及化学成分（质量分数）　（%）

牌 号	C	Si	Mn	P	S
900A BS11-1985标准规定	0.60～0.80	0.10～0.50	0.80～1.30	＜0.040	＜0.040
U71Mn TB2344-2012标准规定	0.65～0.76	0.15～0.58	0.70～1.20	＜0.030	＜0.025
900A实物(轨头1)	0.6	0.21	0.95	0.013	0.014
900A实物(轨头2)	0.63	0.18	0.88	0.012	0.013

范围内实现向珠光体P组织转变，与U71Mn钢轨比较实际淬火温度范围变窄了一些，试验生产中表现为不容易淬火。如果冷却速度稍慢一些，常温下轨头淬火硬化层中金相组织珠光体P含量变少，强度、硬度偏低一些。

2. 淬火温度和回火温度

钢轨轨头中频感应淬火时采用连续加热法，钢轨固定在机床移动台车面上，淬火变压器和感应器固定悬挂在台车上方。当台车以一定速度向前移动，前面感应器加热和后面喷雾盒冷却同时进行，完成轨头全长均匀加热淬火。淬火时，900A钢轨加热温度确定应结合钢轨原始组织和加热速度及碳含量高低来考虑：当Ac_1以上的加热速度为200～300℃/s，加热时间为5～6s，淬火温度取900～960℃。碳含量在BS11标准上限时，取淬火温度下限值；碳含量在BS11标准下限时，取淬火温度上限值。淬火温度不宜过高，否则会出现奥氏体晶粒粗大，出现魏氏体组织的概率加大，硬度降低的可能性也加大。另外，淬火温度与功率和车速也有一定的关系，当输出功率P大时，淬火加热温度高，反之亦然。车速高时，淬火加热温度低，反之亦然。

淬火冷却速度快慢由喷雾盒喷雾量大小控制，900A钢轨淬火后采用余热自回火，回火温度控制在410～470℃，以便获得合适的金相组织。常温下轨头表面一般获得8mm深的硬化层，组织为细片状珠光体，洛氏硬度在40～32HRC。如果回火温度过低，硬度超过40HRC，硬化层中出现异常硬相组织的概率加大，淬火应力也加大；如果回火温度过高，硬度低于32HRC，金相组织中出现的粒状细珠光体概率加大，淬火应力也变小。生产试验中，通过观察淬火钢轨轨头表面氧化皮颜色，大致判断出淬火加热温度、回火温度及硬度情况。900A钢轨表面呈现棕红色，硬度合适，说明加热温度、回火温度符合要求；若表面呈现青色，说明硬度不合适，加热温度、回火温度低。

3. ∏形感应器

感应器是将高频电流转化为高频磁场对钢轨轨头进行感应加热的能量转换器，其直接影响着钢轨轨头加热淬火质量及效率。∏形感应器一般由汇流板、冷却管、感应圈及导磁体等组成，如图3所示。试验生产中，900A钢轨轨头感应加热是否均匀与感应器设计结构及选择有较大关联度。

感应器工作时，由于尖角效应的存在，宽69.85mm的钢轨轨头踏面两侧圆弧处淬火加热温度比踏面中心处温度要高出50～60℃。比如，当测温仪测的钢轨轨头两侧R12mm圆弧处温度值显示为900～960℃时，轨头踏面中间位置温度只达到860～910℃，加热中会出现15～20mm宽的“黑带”现象。喷雾淬火后钢轨硬化层截面的b和c线位置洛氏硬度值比a线位置硬度值通常自然要高出2～3HHRC，也是导致a线位置洛氏硬度达标率86%～90%的主要原因之一。

因此，为了实现900A钢轨轨头踏面R12mm圆弧位置和中心位置感应加热温度差小于20℃的目标。有必要对∏形感应器结构予以改进，轨头轨顶面和侧面与感应器之间增设10～15mm间隙，感应圈内轮廓设计成与钢轨轨头

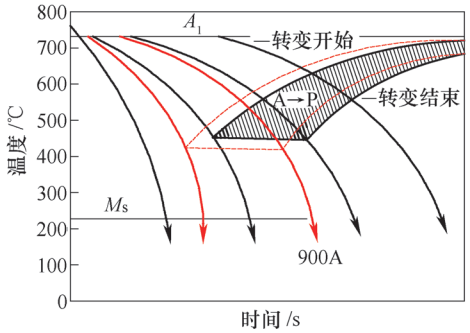


图2 900A牌号钢轨过冷奥氏体连续冷却转变图

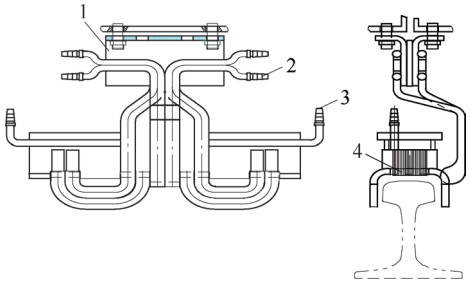


图3 ∏形感应器结构示意

1. 汇流板 2. 感应圈 3. 冷却管 4. 导磁体

相互吻合的外形，增设踏面外凸*R*14mm圆弧，减少两圆角处感应电流密度过大、削弱了该处加热温度过高现象，如图4所示。

4. 频率

中频感应淬火主要是利用感应器线圈在中频（1～4.5kHz）交流电作用下，在线圈内外产生交变磁场，当钢轨轨头放入感应器线圈内时，钢轨头表面就会产生与感应器电流频率相等、方向相反的感应电流，这个感应电流也称“涡流”回路。“涡流”主要集中在钢轨轨头的表面，称之为“趋肤效应”。利用这个原理我们可以使钢轨轨头表面层快速加热到淬火温度，立即快冷到室温，钢轨轨头表面便能获得帽型的淬火硬化层壳，提高900A钢轨的使用寿命。

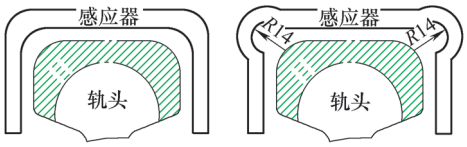
感应电流透入钢轨轨头表层的深度主要与电流频率有关，对于900A轨道钢轨而言， 800℃时，电流透入深度Δ（单位mm）与电流频率f存在以下关系：

$$\Delta = 500/f^{1/2}$$

由此可见，频率越高，电流透入深度越浅，反之亦然。因此我们应依据900A钢轨轨头淬火要求的不低于8mm硬化层深度的规定，控制透入深度$\Delta \geqslant 18$mm，同时控制淬火机床的频率f=900～2600Hz；轨头表面获得的加热层淬火温度均匀，进而保障冷却后的洛氏硬度（HRC）均匀化。

5. 冷却速度

900A牌号钢轨的淬火区域与U71Mn牌号钢轨相比是较窄的，因此试验生产中要严格控制冷却速度快慢。由于环境温度、喷雾盒喷嘴、风压及水压等因素均制约着喷雾盒的冷却速度，因此冬季喷雾量大小取工艺规定参数的下限值，夏季喷雾量大小取工艺规定参数的上限值；应定期对喷雾盒喷水嘴清洗水垢，确保有效喷雾量；淬火操作期间，喷到轨头上的雾量应大小均匀对称，依据情况不断调整位置，使喷雾盒中心线与900A钢轨淬火中心线始终重合，防止偏移。



（a）改进前　　（b）改进后

图4　冂形感应器结构改进前后示意

6. 结语

为使900A钢轨淬火时获得均匀硬化层，在进行轨头表面感应淬火时应注意以下几点：

（1）控制好900A钢轨的化学成分，特别是碳含量的高低。

（2）淬火温度在930～970℃，整个轨头加热温度均匀，温差＜20℃。

（3）控制好淬火频率f和钢轨移动车速，加热透入深度要远大于硬化层深度。

（4）控制好冷却速度，轨头冷却均匀化，回火温度在410～470℃。

作者简介：汪广志、李春霞、买岸雨、李亚娟、张利、张宏利，中铁宝桥集团天元实业发展有限公司技术部。

MW 20170822

