50kg／m P74 (U74) 重轨轨端热处理新工艺

——帽形淬火

叶炳巡

（攀枝花钢铁研究院）

通过对轨端感应加热、均热、冷却、自回火全过程的温度测量和分析，以及对淬火层的形状、各种机械性能、金相组织的检验，制定出符合 GB2585—81有关规定的新的淬火工艺—帽形淬火。

一、序　言

重轨轨端帽形淬火是当今世界上重轨热处理的一种新工艺，它可使整个淬火层围上轨头（如图1），因此，加强了该部位的耐磨性并使轨端踏面与侧面抗车轮磨损的能力和轨端出现最大接触应力（剪应力）处的机械性能同时得到提高。因而对提高线路接头质量，减少线路养护工作，延长使用寿命等提供了优越的技术条件。但是我国自五十年代生产铁路用轨以来，对轨端热处理一直采用淬火层为平面形的淬火工艺，如图2所示。这种工艺的主要缺点是轨端下腭与鱼尾板接触处，以及轨两侧均未经强化处理，在使用中受鱼尾板磨损而产生间隙，钢轨两侧，特别是弯道外股内侧其磨损更为严重，因而降低了线路接头质量，增加了线路接头的养护量。据铁路部门提供的情况表明：在线路养护工作中，包括轨端下腭及两侧磨损在内的线路接头养护量（人力、材力等方面）占线路总养护量的70%左右。

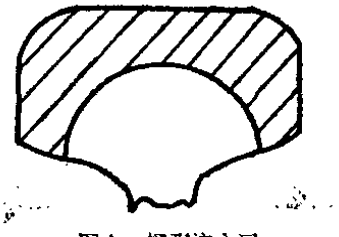

图1　帽形淬火层

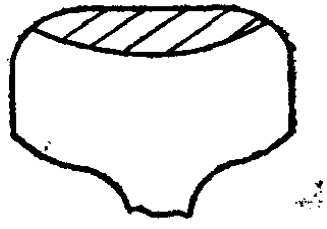

图2　平面形淬火层

为了适应我国铁路运输向重载、高速方面发展的需要，攀研院同包钢合作，通过三年半的试验、试生产及在线路上铺轨试验，完成了这一新工艺研究。结果表

明：完全符合GB2585—81〔1〕钢轨新标准中有关帽形淬火的技术要求。于1984年4月在包钢通过部级鉴定。包钢按此工艺正式投入生产，每年按200000t重轨计算，可增加经济收益100万元。

二、试验(生产)用重轨钢种

试验采用包钢按YB32—60标准生产的P74（U74）重轨用钢。具体炉罐号及其情况如表1所示。

试验用重轨钢炉罐号及化学成分　　表1

编号	炉罐号	C	Si	Mn	P	S	低倍检验	落锤挠度	热锯白点	缓冷情况
1	B803209 甲	0.79	0.24	0.88	0.025	0.025	合格	40	无	正常
2	B802290 甲	0.73	0.19	0.87	0.022	0.018	合格	40	无	正常
3	B803148 乙	0.69	0.23	0.92	0.029	0.022	合格	41	无	正常
4	B802411 甲	0.79	0.22	0.84	0.025	0.032	合格	40	无	正常
5	B802435 乙	0.67	0.21	0.80	0.026	0.030	合格	42	无	正常

三、试验设备

1．包钢轨梁厂的苏制ОКБ—816型中频轨头淬火装置。该装置由卧式电动中频发电机组和轨头淬火机床两大部分组成。

2．攀枝花钢铁研究院研制的50kg/m重轨轨端帽形感应器（图3）〔2〕。

3．包钢轨梁厂研制帽形淬火喷水器（图4）〔3〕

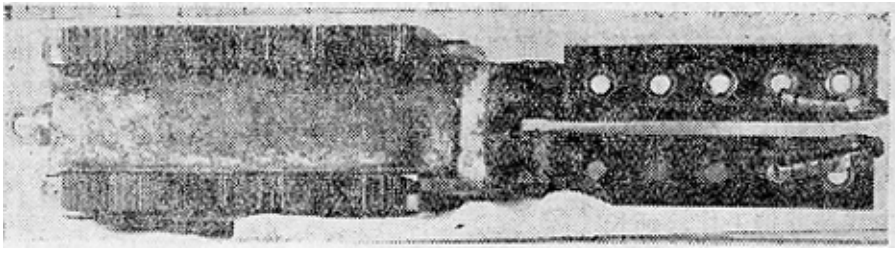

图3　PBM—81系列重轨帽形淬火感应器

图4　BMP—3型重轨帽形淬火喷水器

四、试验结果及分析

（一）P74（U74）重轨帽形淬火工艺温度控制

根据Fe—Fe_3C状态图和P74钢的CCT曲线〔4〕，结合本试验采用的中频感应加热装置具有加热速度快，使P74钢轨奥氏体化的温度比一般淬火法高的特点，为确保淬火温度较为均匀的要求，以及利用余热进行自回火等工艺技术条件，帽形淬火工艺的温度控制为：

终止加热表面温度：950～1000℃

均热后的淬火温度：850±25℃

自回火温度：470～550℃

为了制定较合理的帽形淬火工艺，除了对试验中有关电工参数进行记录外，还进行了帽形淬火全过程温度测量，得到时

间—温度的变化曲线，并相应做了金相和硬度分布检验。电参数随时间变化曲线如图5所示。

从图5可以看出，在整个加热过程中，电流（I）、电压（U）和功率（P）自开始加热后6s左右达最大值，然后随加热时间的增加而逐渐下降；功率因素（cosφ）与以上变化时间相同，即由超前0.9经1至滞后0.98；激磁电流（－I）控制在5～6A。经归纳计算，各电参数的变化范围（用分子表示）和平均值（用分母表示）如下：

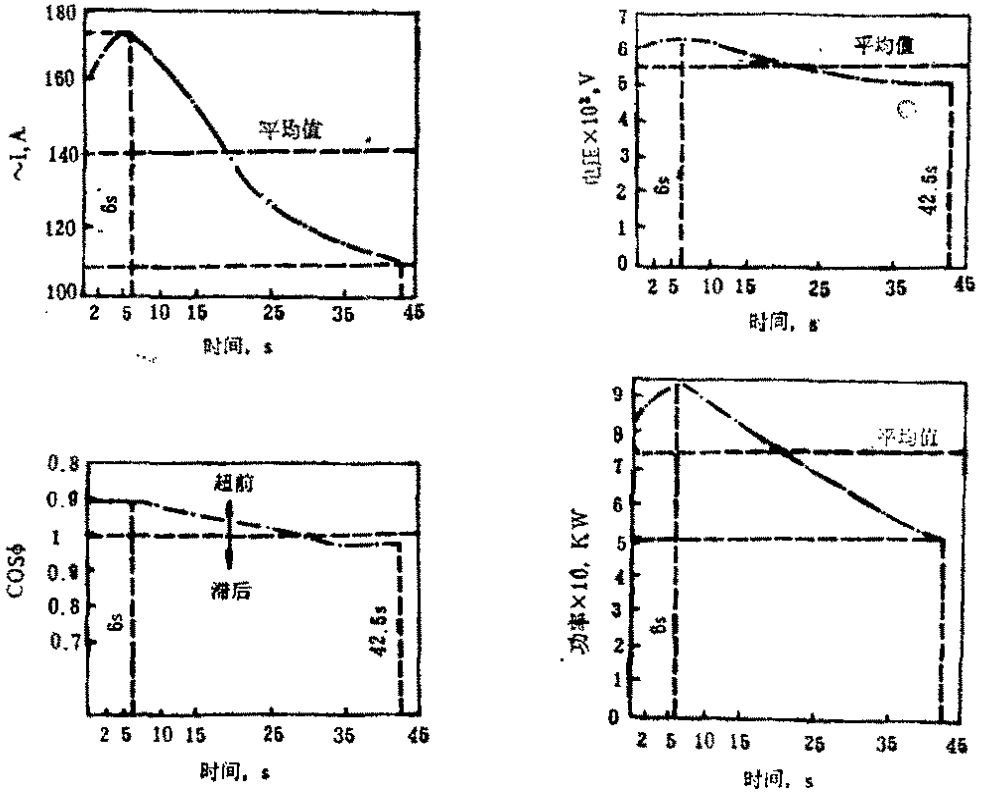

图5　各电参数随加热时间变化曲线（激磁电流—I＝5－6A）

①电流（I）：$\frac{173\sim110}{140}$A

②电压（U）：$\frac{620\sim500}{550}$V

③功率（P）：$\frac{93\sim50}{75}$kw

在电参数不变的情况下，进行了加热时间为43s，均热时间为8.5s，喷水时间为7s，水温为43℃，水压为3kg/cm²情况下的帽形淬火全过程的温度场测量[5]。距轨端20mm横截面上各测温点的时间—温度曲线见图6，7。

从图6来看，整个全过程大致可分五个阶段：

（1）除下圆角⑦点的温度外，其他六点从开始加热起至20—35s内，表面温度在845～920℃之间，才使轨头表层内的铁素体完全溶解到奥氏体中。

（2）其后，各测温点经过8～23s至加热终止(43s)时的阶段是使奥氏体均匀化的加热阶段，加热终止时温度为920～1090℃。

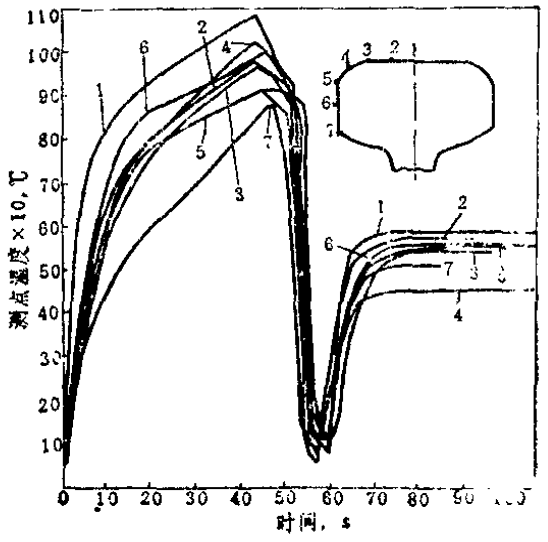

图6　表面各测温点的时间—温度曲线

（3）接着仍为奥氏体化的均热阶段。经过8.5s，各点温度从加热终止时的温度降到850～925℃。

（4）随后在此温度下进行喷水淬火。

（5）最后是在空气中利用淬火余热经过23s自回火阶段，回火温度在460～590℃之间。

由图6还可知，在0～6 s内⑦点与其他点的升温速度基本一致。而从6 s开始，⑦点的平均升温速度比其他点慢1/2～3/4，终止加热时的温度为840℃左右，并在此温度下延续了1～2 s后才进入均热阶段。均热到750℃后随即进入淬火、回火阶段，在这两个阶段中的温度变化情况与其他点基本相同，回火温度达520℃。从⑦点曲线看，该处在进行淬火前，已经完成了相变过程，但奥氏体均匀化的程度不及其他测温点。

至于⑦点在第6 s后升温速度减慢的原因大致有如下几个方面：

a．电流、电功率、电压在6 s以前处于上升阶段，6 s以后整个截面都达居里点以上，此时μ＝1，功率处于重新分布和下降阶段，相应加热强度减弱。

b．该点不象其他测温点那样被罩在感应器内，而是基本露在空气中，因此通过对流和辐射的热损失比其他点大。这两者的损失是随温度增加而增加。在6 s以前钢轨表面温度较低，损失较小，所以其升温速度基本上同其他点升温速度相似；6 s以后损失增加，功率降低，使升温速度减慢。加热终止时最高温度也比其他点低。

c．该点至感应器下端的距离大，因此磁力线散射比其他点大，使电效率降低。

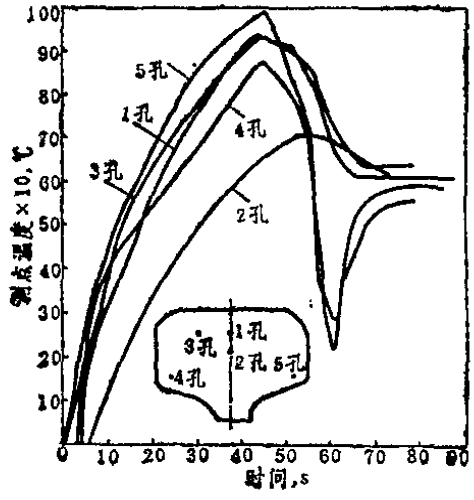

图7　距轨端20mm横断面处内部各测温点的温度—时间曲线

从图7来看，情况大致与表面相似：

（1）除2#孔外，其他各孔在加热后的0.5～2.5s才开始升温；在加热后30～40s，温度达到780～855℃；随后一直到加热终止后又持续升温2 s左右，温度上升到800～990℃。可见各孔已进行相变，但奥氏体均匀化程度不尽相同。

（2）接着是8.5s均热阶段。4#，5#孔经9～10s，温度下降到755℃进行淬火，实际开始淬火时间比喷水时间晚

2.5～3.5s；1#，3#孔经10～13s，温度下降到850～875℃进行淬火，实际开始淬火时间比喷水时间晚3.5～6.5s。

（3）从以上各孔的实际淬火时间起，4#孔经7s温度降至285℃，5#孔经6s温度降至200℃。1#，3#孔分别经20s和15s，温度分别降到625℃和610℃后不再按原降温速度降温，而是随整个轨头回火后的温度降至室温。

（4）回火阶段。4#孔经17s，5#孔经14s后回火温度分别达560℃和580℃。

2#孔，由于它的位置距轨中心端面18mm，升温过程完全靠热传导来进行，所以，在加热后的第5s，才开始得到热量，并以较慢的速度进行升温。经过50s的时间，上升到715℃（可见它没有发生相变）。此时已进入喷水冷却阶段约3.5s。在此时间里，因淬火，温度由表及里急骤下降，淬火层逐渐深入，轨头内的热传导过程处于极不平衡状态。2#孔与淬火层之间相对处于高温状态的金属同时向淬火层和2#孔处作热传导，使2#孔的升温速度有所减慢（2#孔升温速度减慢的转折点实际在终止加热后的第4s，即均热阶段中就已经开始）。在喷水冷却3.5s后的某一瞬间，轨头内的热传导处于相对稳定的动平衡状态；对2#孔周围来说，即大约在本次测温喷水终止时刻左右出现一个准等温状态（715℃），并持续3～4s，紧接着的自回火阶段，由于本身需要自回火而产生热传导，就足以能破坏这种动平衡状态，使2#孔由715℃开始降温。此时被喷水冷却到低温状态的淬火层却吸收热量，开始升温回火。

这样，在轨头冷却淬火的过程中，热传导处于动平衡的这段时间里正是阻止淬火层继续深入的关键所在。也就是说，产生热传导动平衡状态的位置（假设说它是一条“淬火的热传导动平衡带”）正处在淬火层与高温金属的交接处。这是因为：随着外界冷却条件的不同，可能发生以下四种情况。

a.在淬火中热传导动平衡带没有产生前，即终止了强制冷却。那么会因内部温度远大于表面而使刚被冷却的部位重新回升到较高的温度，呈现出淬火层很浅或根本没有的倾向。

b.在淬火中热传导动平衡带产生的过程中就终止了强制冷却。那么同样会因内部温度大于淬火层而发生热传导，使这条动平衡带移向表面，淬火层变浅。

c.在淬火中热传导动平衡带即将被破坏的同时终止了强制冷却（如本测温试验那样），那么淬火层深度即为动平衡带位置。如果此位置能满足淬火层深度的要求，则在相同的加热和冷却条件下，此时是冷却过程中最经济和最佳状态。

d.在淬火中热传导动平衡带被破坏后仍在作强制冷却，那么淬火层深度越过动平衡带的位置继续深入。

因此，若要使淬火层达到标准要求的深度，除必须将该处加热到Ac_3以上的淬火温度外，还可利用热传导动平衡的观点来考虑制定冷却过程工艺。但是动平衡带的位置与钢的成份、加热温度及其温度分布、冷却介质、冷却方法和冷却速度、淬透性等因素有关，要视具体情况分别对待。

从图6，7看出，淬火层在回火过程中回火温度的获得，正是靠2#孔周围的高温金属不断地进行热传导来实现的；而热传导又一次处于动平衡状态时的温度即为回火的最高温度。通过温度曲线和现场实测分析可见，1点处感应器与轨面间隙小于4点处感应器与轨面间隙约1.2mm，因而1点的温度比4点高162℃，可见间隙的

大小对加热温度的均匀分布影响很大。只要设计和调整感应器时尽量保证间隙一致，基本就能保证温度均匀分布。同样，根据冷却和回火温度曲线来改变喷水器的喷水量就可改变各部位的冷却强度。

（二）试验检验结果

从1980年9月至1982年3月共进行236个试样的试验，其中取距轨头20mm处的横向检验样51个。试验前半期横向样形状、尺寸达到技术条件要求的约有96%，试验后半期达99%以上。

1.淬火层形状

低倍检验：横向淬火层形状如图8，轨中心纵向淬火层如图9。

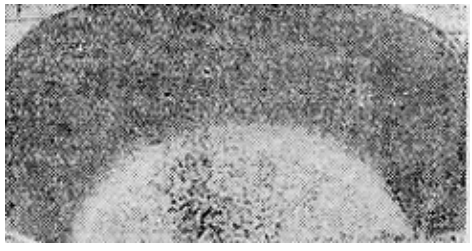

图8　横向淬火层形状

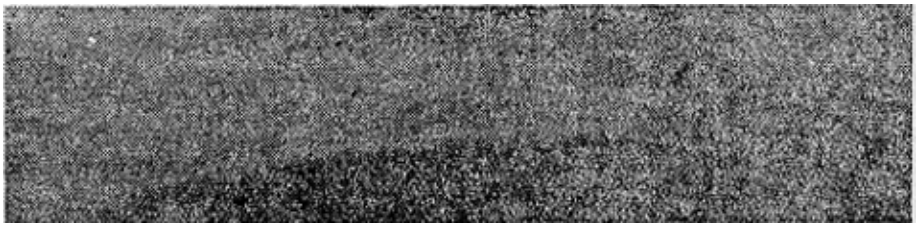

图9　轨中心纵向淬火层形状

2.淬火层的尺寸情况

（1）距轨端20mm处的横向淬火层尺寸见图10、表2。

（2）轨中心线纵向淬火层尺寸见图11、表3。

3.淬火层的显微组织见图12，13，14，15。

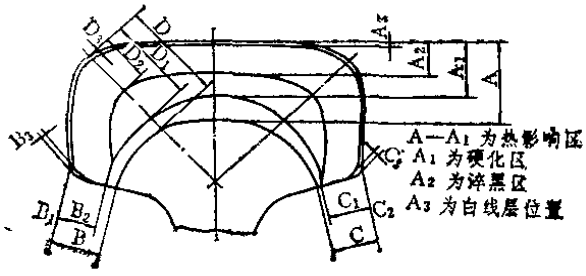

图10　横向淬火层尺寸位置

距轨端20mm处横断面的淬火层尺寸（mm）　　表2

A	A_1	A_2	A_3
$\left(\frac{18\sim23}{20}\right)$	$\left(\frac{13\sim16}{14.5}\right)$	$\left(\frac{6\sim10}{8}\right)$	$\left(\frac{0.4\sim1.0}{0.6}\right)$
B (C)	B_1 (C_1)	B_2 (C_2)	B_3 (C_3)
$\left(\frac{9\sim15}{12}\right)$	$\left(\frac{8\sim13}{10}\right)$	$\left(\frac{8\sim12}{9}\right)$	$\left(\frac{0.6\sim2.0}{1.3}\right)$
D	D_1	D_2	D_3
$\left(\frac{23\sim28}{25}\right)$	$\left(\frac{19\sim24}{21}\right)$	$\left(\frac{8\sim12.5}{10.5}\right)$	$\left(\frac{0.5\sim2.5}{1.5}\right)$

说明：分子为波动值，分母为平均值

4.硬度检验

在距轨端20mm处取横向断面按标准打点作洛氏（HRC）检验；纵向按图16所示作布氏硬度检验。结果见图17，18，19，20，21。

根据硬度检验，情况是良好的：

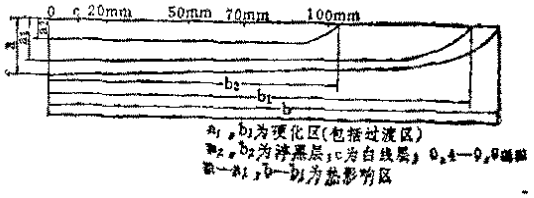

图11 纵向淬火层尺寸位置

纵断面淬火层尺寸（mm） 表3

	0	20	50	70	100
a	$\left(\frac{18\sim23}{21}\right)$	$\left(\frac{17\sim21}{20}\right)$	$\left(\frac{15\sim20}{18.5}\right)$	$\left(\frac{14\sim18}{17}\right)$	$\left(\frac{13\sim18}{15}\right)$
a_1	$\left(\frac{14\sim18}{16}\right)$	$\left(\frac{12.5\sim16}{14.5}\right)$	$\left(\frac{12.5\sim16}{14.5}\right)$	$\left(\frac{12\sim15}{14}\right)$	$\left(\frac{12\sim15}{14}\right)$
a_2	$\left(\frac{6\sim9}{8}\right)$	$\left(\frac{6\sim9}{8}\right)$	$\left(\frac{6\sim9}{8}\right)$	$\left(\frac{6\sim9}{8}\right)$	$\left(\frac{0\sim7}{5}\right)$
b		b_1		b_2	
$\left(\frac{156\sim170}{160}\right)$		$\left(\frac{146\sim160}{150}\right)$		$\left(\frac{90\sim110}{100}\right)$	

注：分子为波动值，分母为平均值

（1）硬化区和过渡区的硬度符合GB2585—81技术条件的要求；

（2）硬化区通过过渡区到基体的硬度，基本是均匀过渡；

（3）左右两侧硬度基本对称；

（4）硬化区淬硬层的深度在10mm以上，硬化区长度能保证在30～70mm范围内，过渡区能保证在80mm以上。

5.淬火层的机械性能检验情况

按规定取样做$\sigma_{0.2}$，σ_b，δ_5，Ψ和a_K性能检验，结果见表4。

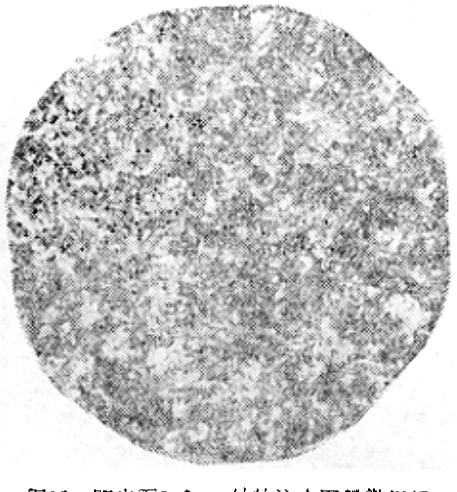

图12 距表面3.6mm处的淬火层显微组织
索氏体＋细片状珠光体 ×450

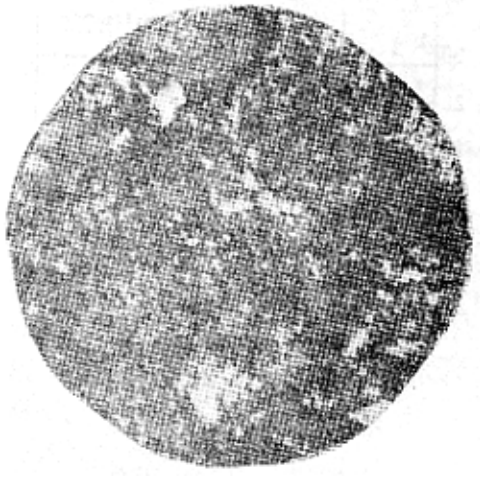

图13 距表面12mm处的淬火层显微组织
细片状珠光体＋索氏体 ×450

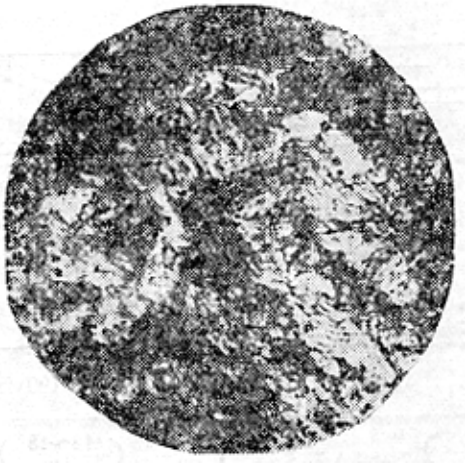

图14　距表面30mm处的淬火层显微组织（基体）片状珠光体　×450

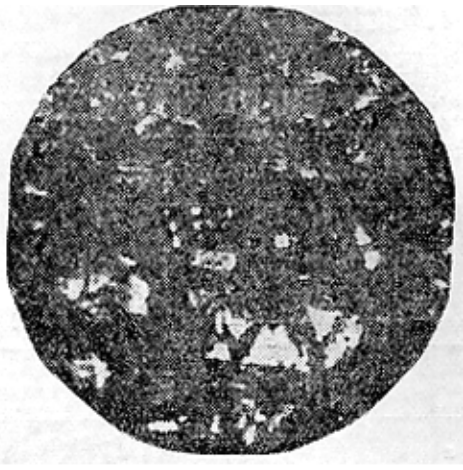

图15　白线层组织为贝茵体＋索氏体（距表面0.46～0.7mm）　×450

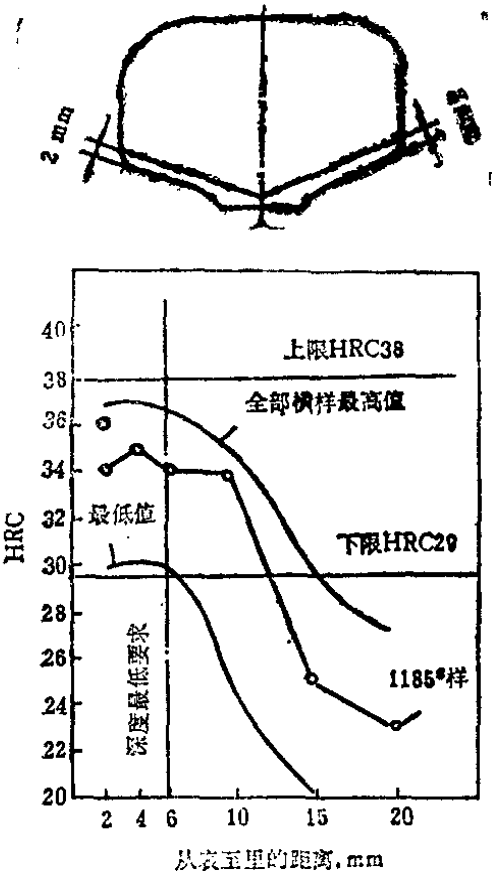

图16　下腭内2 mm处硬度

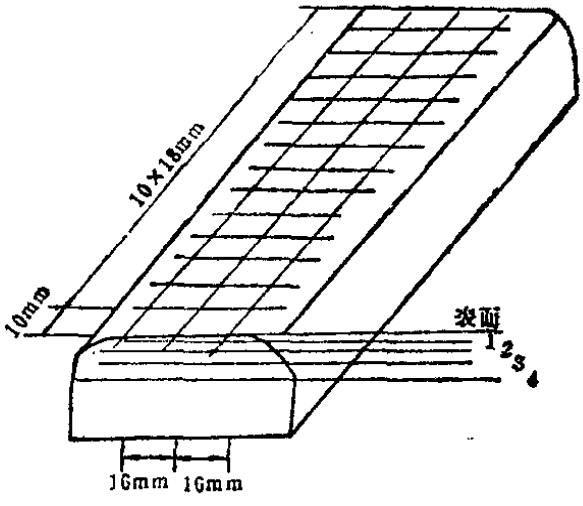

图17　纵向布氏硬度打点位置

表面：磨削掉脱碳层作
1面：距踏面2 mm
2面：距踏面6 mm
3面：距踏面10mm
4面：距踏面15mm

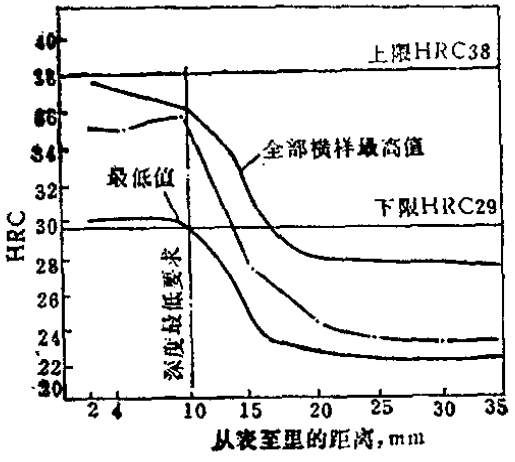

图18 轨中心线踏面下硬度

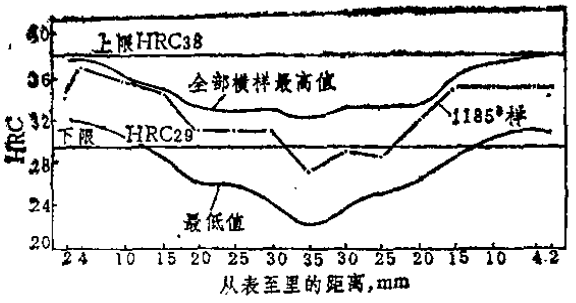

图19 踏面下15mm处硬度

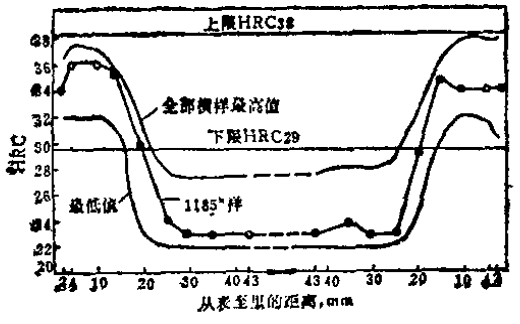

图20 上圆角角平分线上的HRC硬度曲线

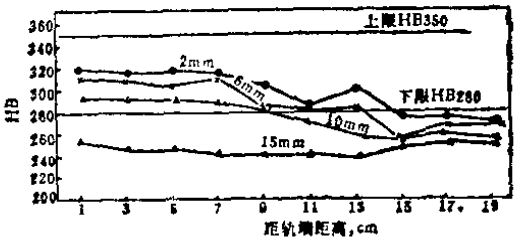

图21 含碳量为0.69—0.79%试样的轨中心线各层HB硬度值平均曲线

机 械 性 能 比 较 表4

试样编号		$\sigma_{0.2}$ kg/mm²	σ_b kg/mm²	δ_5 %	ψ %
轨 态		64	97.8	9.9	13.8
$d_0=$ ϕ6mm	4517	77.5	107.0	11.0	44.0
	4518	83.0	112.0	14.5	51.5
	4519	82.5	111.0	13.0	47
	4431	93.5	124.0	12.5	44.0
	4432	92.0	124.0	12.5	44.0
	4433	91.0	124.0	13.5	47.0
$d_0=$ ϕ10mm	4517	77.5	112.0	16.0	49.5
	4518	因拉力试样车偏而没做成			
	4519	76.0	108.0	12.0	37.5
	4431	因拉力试样车废，没有做成			
	4432	86.5	125.0	10.0	39.0
	4433	81.5	119.0	11.5	42.0

试样编号	a_k, kg·m/cm²		
	+20℃	−20℃	−40℃
44轨态	1.5	1.2	0.7
4427	3.0	1.4	0.9
4428	3.5	1.6	1.0
4430	3.4	1.3	0.8
45轨态	1.4	1.2	1.0
4521	4.3	3.0	1.3
4524	4.3	3.8	1.0
4525	4.0	3.9	1.8

说明：轨态的机械性能取交货数据；轨态冲击试样取与样轨同一成份的钢轨

五、结 语

由上所述的各项检验来看，包钢50 kg／m P74（U74）重轨轨端帽形淬火试验取得比较理想的结果，各项考核内容达到了GB2585—81号“铁路用38—50kg/m

钢轨技术”中有关技术要求。

1.淬火层形状符合帽形淬火技术条件要求。

2.硬化层深度：端面下达10 mm 以上，下腭处可深入到6 mm以上。

3.硬化区能保证在30～70 mm，过渡区能保证大于80mm。

4.硬化层硬度已达HB280～350，由表及里均匀过渡。纵向过渡区的硬度递减比较满意。

5.硬化层的金相组织为细珠光体组织，没有过热现象和由淬火引起的裂纹。

6.淬火层机械性能比轧态有很大提高。

致　　谢

提供资料和参加试验工作的有刘秉能、刘光华、李国安等同志，在此表示感谢。

参　考　文　献

〔1〕包钢轨梁厂汇编，包钢重轨轨端帽形淬火鉴定资料二，1982. 8 .26

〔2〕攀枝花钢铁研究院，重轨轨端帽形淬火感应器的研制（包钢重轨帽形淬火鉴定资料四），1982. 8 .26

〔3〕包钢轨梁厂，包钢重轨轨端头帽形淬火鉴定资料五，1982. 8 .26

〔4〕包钢钢研所，全长淬火热处理工艺的基础研究，包钢科技，3(1981)

〔5〕攀研院，包钢帽形淬火温度场测量总结报告（包钢重轨轨端帽形淬火鉴定资料六），1982. 8 .26

（上接第17页）

〔4〕Handfied, G., Vicosity and structures of industrial high TiO_2 slags, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.10, 3(1971)

〔5〕Bell, B., The Behaviour of Titania in Metallurgical slags, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.21, 2(1982)

〔6〕詹星，小高炉冶炼钒钛磁铁矿解剖研究，钢铁钒钛，2(1984)

〔7〕Chukukere, E.U.and Ross, M.U., Reduction Kinetics in Titaniferous slags, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.11, 12(1972)

〔8〕攀枝花钒钛磁铁矿选矿烧结高炉冶炼试验资料汇编（内部资料），1982

〔9〕重庆大学，钒钛铁精矿球团氧化固结机理（内部资料），1983

〔10〕杨世泽，燕养球团及其冶金性能考查（内部资料），1984