

编号：冶字（66）05
总字：第12号

内部资料
注意保存

出国参观考察报告

日本压力加工考察报告

（日本八幡炼铁厂高频热处理钢轨）

冶金工业部科技情报产品标准研究所

一九六六年三月

目 录

一、日本八幡炼铁厂钢轨热处理概况.....	(1)
二、日本八幡炼铁厂钢轨的热处理.....	(2)
(一) 热处理钢轨的材质.....	(2)
(二) 关于热处理深度的研究.....	(9)
(三) 试验的分析.....	(13)
(四) 结束語.....	(14)

日本八幡炼铁厂的高频热处理钢轨

王厂、梁永谦、黄德琛、陈延鏢、

彭天乾、任銀虎、郭連儉、

一、日本八幡炼铁厂钢轨热处理概况

八幡炼铁厂钢轨热处理的研究和生产已有十多年历史，並取得一些进展。该厂采用2000赫芝的高频电流对钢轨进行加热。淬火和回火所用的水压为 0.2公斤/厘米^2 。在连续操作线上对轨头的顶部及側部进行全长热处理，与普通钢轨比较，其耐磨损性能提高2倍，疲劳强度提高30%。这种钢轨，大部分是用在弯道、桥梁或隧道。他们认为这些地方磨损比较快，采用热处理的钢轨可以延长使用年限。随着机车速度的提高，对钢轨质量的要求也日益严格。

八幡炼铁厂的钢轨热处理车间是一个独立车间，位于重轨车间的側面，需要热处理的钢轨用火车运入车间内，热处理过的钢轨也是用火车运出；钢轨长度为25米。

车间的跨度为18米，长度为215米。

车间内共有3条热处理线即A、B、C三条线，A、B线功率各为600千瓦，C线为300千瓦，分别用两台1100马力和1台480马力高频发电机供电，发生的高频电流，通过蓄电器，並以低电压高电流通过高频变压器来供给加热线圈。热处理方式是采用感应加热，与轨头形状相吻合的特制加热线圈及水冷喷嘴，能够在轨头的顶部及側部进行淬火和回火。淬火段有4个长约为200毫米的加热线圈，回火段有2个长约为200毫米的加热线圈，热处理时加热线圈固定。在机组中钢轨用2对直流电机传动的夹送辊来传送，送进速度通常控制在 $6.2\sim 10.5\text{毫米/秒}$ 之间，钢轨在移动的时候是按加热→水冷却→回火→水冷却方式进行热处理的，淬火线圈和回火线圈都是与电源直接连结的，因此可以稳定地进行淬火与回火。为了减少钢轨在热处理后的变形，钢轨从回火线圈出来后，依靠钢

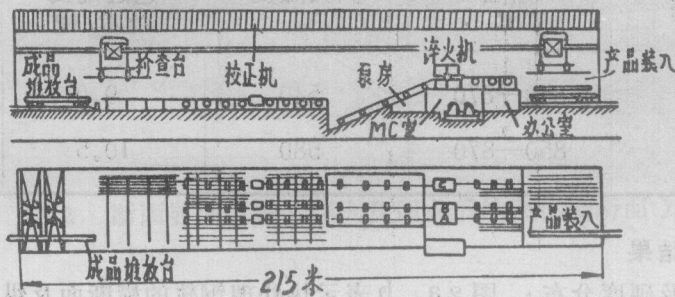


图1 设备布置略图

轨的自重，沿着倾斜 12° 左右的斜面向下滑动。

在热处理过程中，钢轨是用端部的孔与连接板连结的，这样就可以连续地淬火及回火。

热处理后的钢轨用吊车送到矫直作业线上进行矫直，矫直作业线也是3条，与热处理线相适应。每条矫直线上设一台100吨液压矫直机，而翻转仍用人工操作，矫直后的钢轨即为成品。车间内操作工人很少，每班不超过10人。由于日本经济危机，目前该车间三条作业线仅有一条在生产。

二、日本八幡炼铁厂钢轨热处理

本文基本是按该厂最近的一份试验报告介绍的，现将该报告主要部份摘录如下。

(一) 热处理钢轨的材质

1. 试验钢轨及热处理：用1962年3月所生产的钢轨作试验，钢轨型号为P50及P40型。

在试验过程中，与过去的50公斤P·S或37公斤A·S型钢轨进行了比较。表1表示成份的分析值。

成份分析值

表1

钢轨种类	Ch. No	C	Si	Mn	P	S
P 50	H 6076	0.67	0.19	0.77	0.018	0.019
P 40	H 3974	0.62	0.16	0.74	0.012	0.021

热处理后的轨头顶表面的肖氏硬度为 50 ± 3 ，表2是热处理条件。

热处理条件

表2

钢 轨 种 类	加热温度 °C	回火温度 °C	送进速度 毫米/秒	使 用 线
P 50	850—870	540	9.0	C
P 40	850—870	580	10.5	B

2. 材质试验结果

(1) 组织及硬度分布：图2a、b表示热处理钢轨的横断面及纵断面的显微组织图。图3表示从轨头顶表面至中心的硬度分布及其显微组织图。

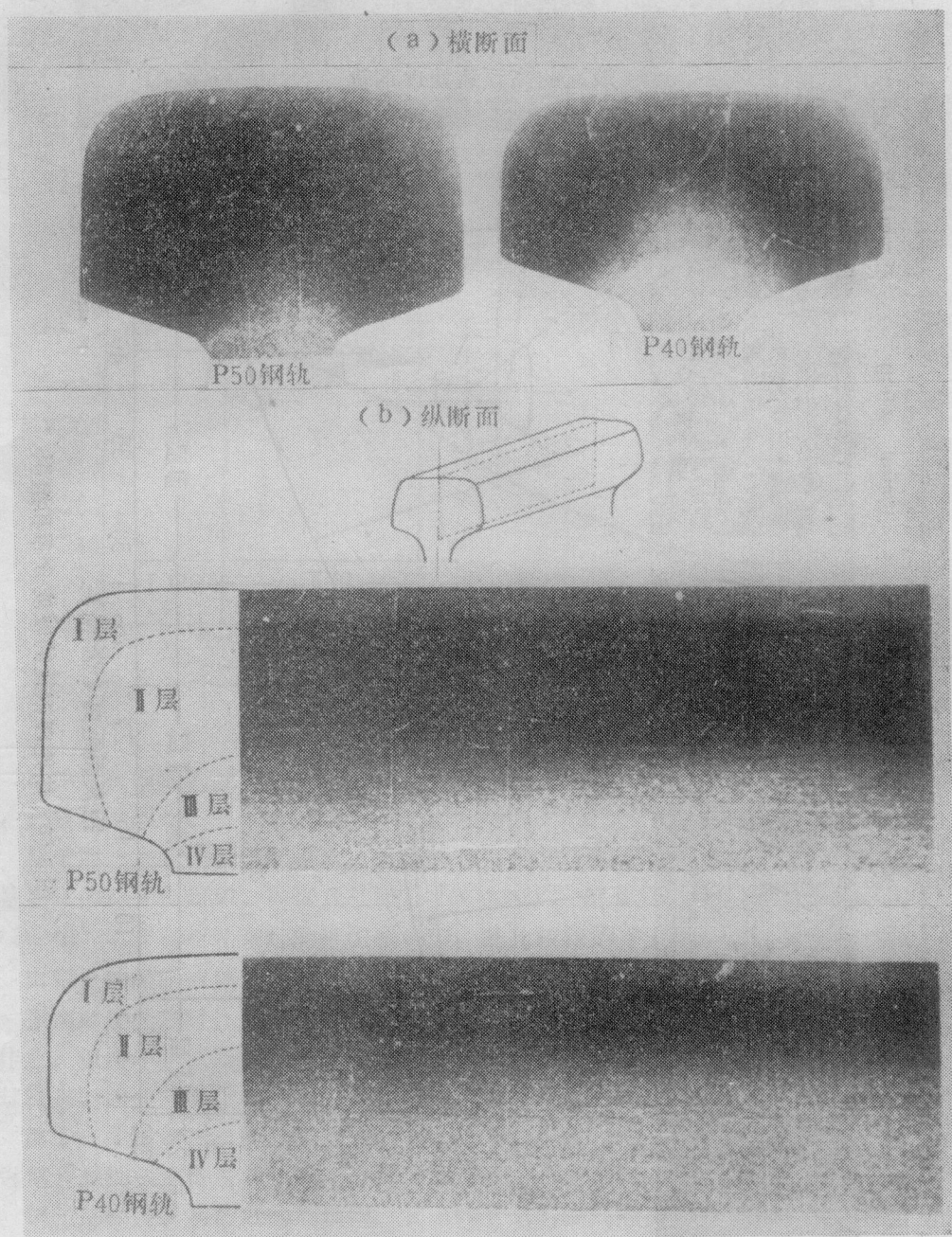


图2 断面显微组织（淬火及回火后的硬化层断面）

最近的高频热处理钢轨

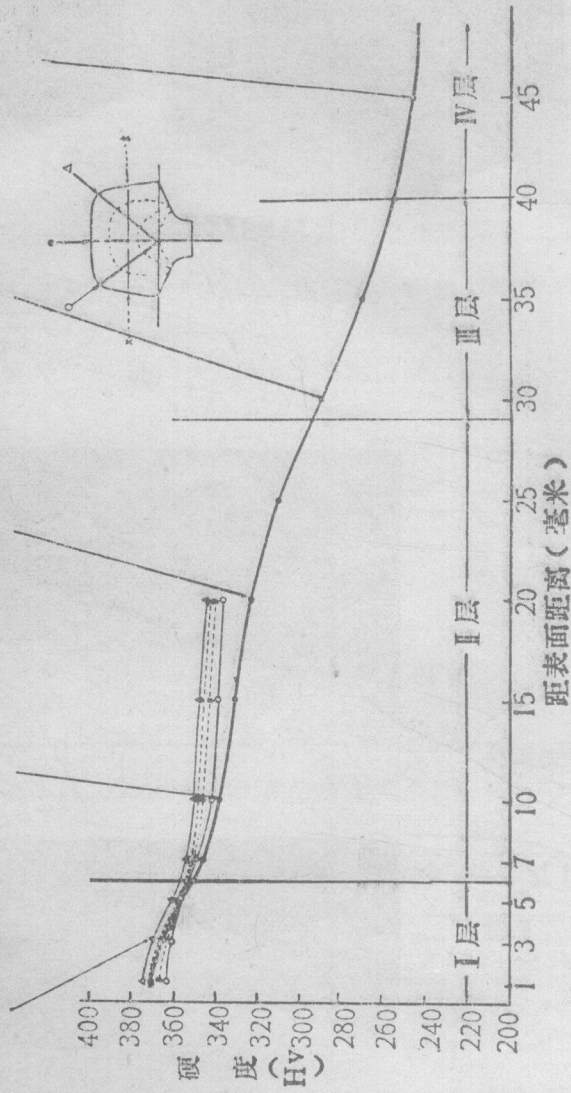
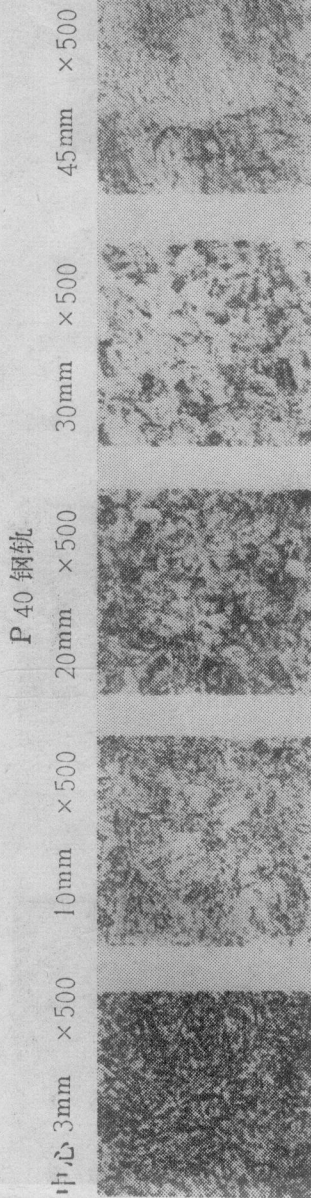


图 3 (a) 热处理钢轨的硬度分布和组织

P 40 钢轨

中心 3mm × 500 10mm × 500 20mm × 500 30mm × 500

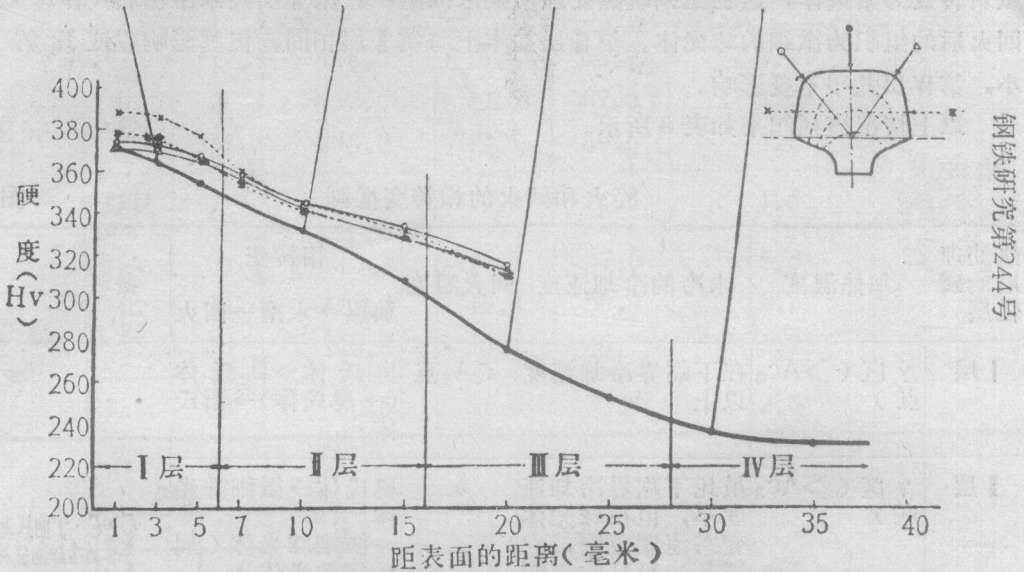
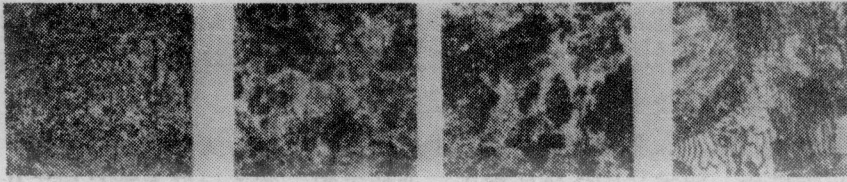


图 3 (b) 热处理钢轨的硬度分布和组织

从钢轨横断面的显微组织来看，热处理所波及的热影响层的分布类似于轨头部的形状，大体可分四层。

从硬度分布或显微组织来看，接近头顶部的第 I 层呈索氏体组织， $Hv \geq 350$ 。第 II 层呈屈氏体珠光体组织，粒度比较细， $Hv \geq 290$ 。第 III 层呈珠光体组织，粒度更细， $Hv \geq 240$ 。第 IV 层与轧制时的组织相类似，是比较粗的珠光体， $Hv = 230 \sim 240$ 。

由以上的组织或硬度变化的倾向来看，淬火至回火阶段的相转变推测有如下情况：

在高频热处理时，为了使加热→水冷→回火过程连续进行，加热至水冷阶段必须连续作业，但由于钢轨断面内各部位在冷却途中已进入回火状态，从而不能保持完全连续冷却状态。因此只有结合 C、C₁、T 曲线来考虑才比较容易地确定热处理过程中相转变。

第 I、II 层加热温度应完全达到 γ 区域 (Ac_3 点以上)，第 III 层也应加热到 γ 区域，接近第 IV 层的极窄部份加热到 $\alpha + \gamma$ 区域 ($Ac_3 \sim Ac_1$ 点间)。

钢轨是极接近共析点的高碳钢，其 Ac_3 ， Ac_1 的间隔是非常窄的，所以在这两相共存范围内的加热区域也是极窄的。第 III 层的加热温度在 Ac_1 点以下 α 区域，因为其中有一部份是在再结晶温度以上，所以其后冷却→回火，几乎不发生相转变。

I、II、III 各层的加热温度分布如下：在接近钢轨表面的第 I 层最高，顺次温度降低直至接近 Ac_1 点，其温度分布曲线是呈倾斜状。

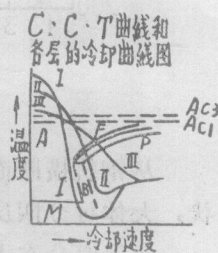
若以水冷却，必须采用不小于下临界冷却速度的冷却速度进行冷却使第Ⅰ层获得马氏体组织。由于第Ⅱ层、Ⅲ层的冷却速度小于下临界冷却速度，所以就产生铁素体的析出及珠光体变态。虽然是属于珠光体的变态范围，但是第Ⅱ层的冷却仍为较快，随着铁素体的析出，又呈屈氏体珠光体组织。第Ⅲ层晶粒稍细则为珠光体组织，第Ⅳ层在 Ac_1 点以下，因水冷却效果较小，几乎不受什么影响。

受回火影响主要是第Ⅰ、Ⅱ层。特别是第Ⅰ层，水冷后就转变为马氏体组织，但回火后重新转变为索氏体，这正是钢轨热处理所要求的组织。第Ⅱ层经水冷呈屈氏体珠光体，回火后的组织为微细的珠光体。第Ⅲ层基本上与第Ⅱ层相同，但其影响程度比第Ⅱ层小，第Ⅳ层几乎不受影响。

以上情况概括起来如表3所示。

淬火和回火的相转变推测

图3

热处理后的硬化层	加热温度	水冷的冷却速度	回火温度	相转变	备 注
				加热→水冷→回火	
Ⅰ层	γ 区 ($>Ac_3$ 点)	在下临界冷却速度以上	$<A_1$ 点	奥氏体→马氏体 (+ 奥氏体)→索氏体	 C·C·T曲线和 各层的冷却曲线图
Ⅱ层	γ 区 ($>Ac_3$ 点)	虽比下临界冷却速度小，但在珠光体变态速度范围，它还是为极高的速度	〃	奥氏体→微细珠光体 →微细珠光体 (屈氏体珠光体)	
Ⅲ层	γ 区 ($>Ac_3$ 点) 或 Ac_3 $\alpha + \gamma$ 区 ($Ac_3 \sim Ac_1$ 点间)	珠光体变态速度	〃	奥氏体→珠光体→ 仍是珠光体 (由于再加热珠光体)	
Ⅳ层	α 区 ($<Ac_1$ 点)		〃	珠光体→珠光体→ 珠光体 (与轧制时的珠光体一样)	

(2) 机械性能：热处理后的钢轨，要进行拉伸及冲击试验。表4表示试验结果，试片是取在Ⅰ、Ⅱ层部份中间①②③位置。试片（其组织为索氏体和屈氏体珠光体）的试验结果：抗张强度为110~120公斤/毫米²，延伸率为18~21%，挠曲率48~52%，冲击值为4.5~5.5公斤—厘米/厘米²，与母材相比，具有极高的韧性。

(3) 落锤试验：母材及热处理钢轨都采用1500毫米长度的试验片，按落锤重量907公斤、落锤高度5.1米 (P40)、7.0米 (P50) 支点间距离914毫米的规定来进行落锤试验。试片的两端连续进行3次试验。

图4表示试验结果，试片尽管经过3次落锤试验，但并未发生龟裂或折断现象，因此热处理钢轨的试片具有良好的抗冲击性能和强韧性。

(4) 磨损：磨损试验的试片取之接近热处理轨头表面的硬化层（第Ⅰ、Ⅱ层）。

试验是在阿姆斯拉（Amsler）型试验机上进行的，供试验用的钢轨试片在两个相互对着的橡皮片之间，用旋转摩擦来测定磨损量，旋转摩擦数达 2×10^5 次。

机 械 性 能

表 4

钢轨种类	试片采取位置		拉伸试验（类似 4 号）				备 注
			抗张强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	挠曲率 %	冲 击 值 公斤-米/厘米 ²	
P 50	硬化层	①	118.3	19.4	51.7	4.9	
		②	113.6	20.6	52.6	4.9	
		③	119.2	19.1	49.6	4.7	
	母材	④	86.3	16.6	24.6	1.6	
P 40	硬化层	①	110.2	17.7	47.6	5.3	
		②	112.3	19.4	50.9	5.8	
		③	110.8	19.1	46.7	5.3	
	母材	④	80.5	18.6	32.8	2.6	

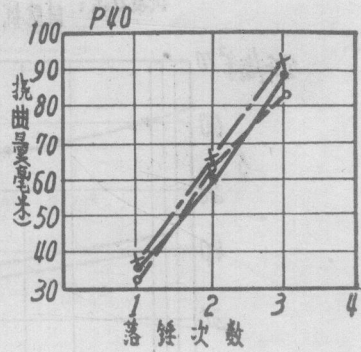
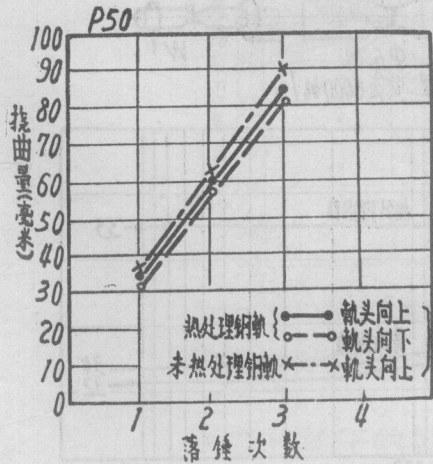


图 4 落锤试验结果

试验条件:

钢 轨 种 类	落 锤 重 量 公斤	落锤高度 米	支点间距离 毫米
P 50	907	7.0	914
P 40	907	5.1	914

图 5 a、b 表示试验结果（为了便于比较，並附有普通钢轨试验结果）。

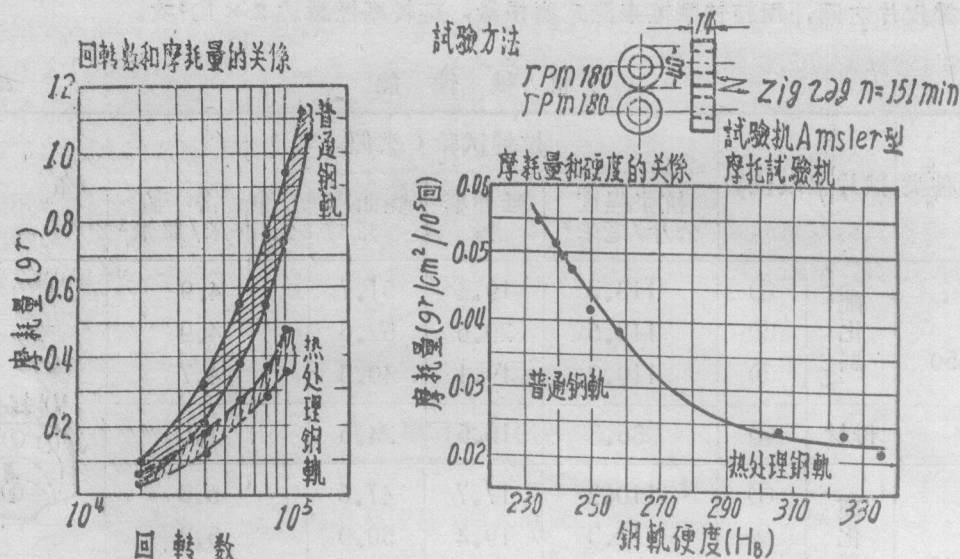


图 5 磨耗试验结果

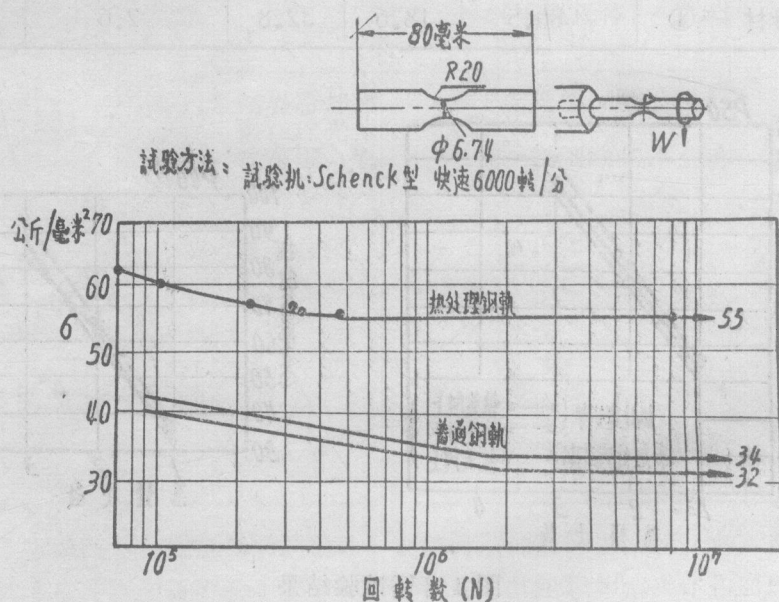


图 6 小型迴转弯曲疲劳强度 (S—N 曲线)

从图可以看出，热处理钢轨的磨损量仅为普通钢轨 1/3 以下。耐磨损性极为良好。

试验结果与试片所取的位置有关，其结果是取第 I 层和第 II 层的平均数值。若取最接近轨头表面的第 I 层时，其组织为索氏体组织，则可以得到更好的结果。

(5) 疲劳强度：八幡炼铁厂曾从热处理钢轨硬化层上切取的试片进行过小型迴转弯曲疲劳试验，用热处理钢轨实物作过单侧弯曲疲劳试验，並与普通钢轨作了比较。

图 6 表示小型迴转弯曲疲劳试验的结果 (S—N 曲线)。热处理钢轨的疲劳强度为

58公斤/毫米²，普通钢轨的疲劳强度为32~34公斤/毫米²。

图7表示单侧弯曲疲劳试验结果。与小型廻转弯曲疲劳试验一样，热处理钢轨弯曲疲劳强度在47公斤/毫米²以上，而普通钢轨实物仅为36~37公斤/毫米²。

经热处理的钢轨具有良好的弯曲疲劳性能，主要是热处理过程中组织发生了变化，但不能因此而忽视残余应力的影响。

普通钢轨由于轧制后的矫直，在轨头表面仍存有少许残余拉应力，而热处理钢轨，由于淬火、回火、变态应力及断面内组织的变化，使轨头表面上存有的残余压应力向缓和弯曲应力方向发展，以此作为解释疲劳性能提高原因之一。

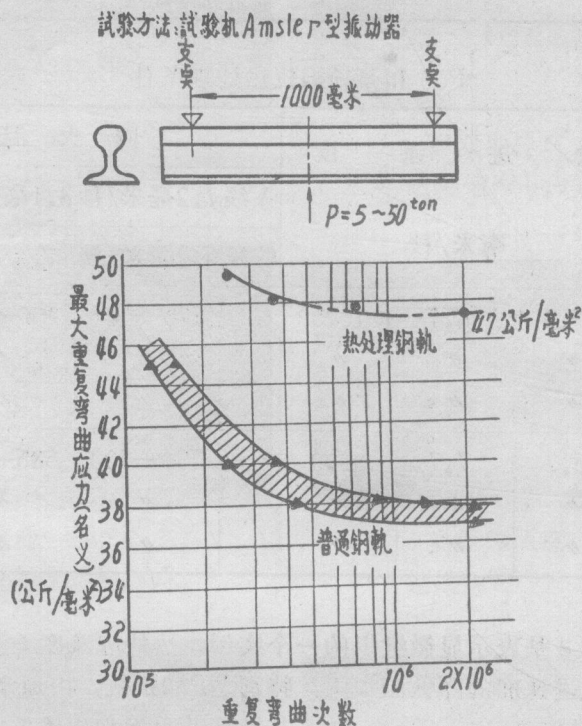


图7 实物弯曲疲劳强度(S—N曲线)

(二) 关于热处理深度的研究

按照日本过去的所谓“国有铁路说明”规定，热处理钢轨的深度须在15毫米以上。但由于铁路货运的增加，牵引吨位的增大和高速行驶，对使用的条件要求日益严格，所要求的热处理深度也就愈来愈深。该厂为了满足用户要求，增加热处理钢轨深度，在现有的基础上对热处理条件重新进行了研究，现已投入实际生产。现将该厂有关热处理深度及其热处理条件介绍如下（着重介绍加热温度和送进速度对热处理深度的影响）。

1. 试验钢轨及热处理：试验用的钢轨是1962年6月生产的P50及P40钢轨，表5表示ChNo在盛钢桶内的成份。表6表示热处理条件。

加热温度：过去为860℃，现为880℃、900℃。送进速度：A线由原来的10.5毫米/秒改为8.1毫米/秒、7.2毫米/秒；C线由9.0毫米/秒改为7.7毫米/秒、6.2毫米/秒，每

一个部分都改为3个阶段，并对热处理深度及其有关的问题进行了研究。

试验材料的成份（取自盛钢桶）

表 5

钢轨种类	Ch No	C	Si	Mn	P	S
P 50	H 1012	0.64	0.17	0.75	0.013	0.025
P 40	H 9696	0.63	0.16	0.74	0.017	0.019

P50 和 P40钢轨热处理条件

表 6

使用 线	加热温度 ℃	送 进 速 度			回 火 温 度 ℃		
		毫米/秒			A 线 7.2毫米/秒 8.1毫米/秒 10.5毫米/秒		
					C 线 6.2毫米/秒 7.7毫米/秒 9.0毫米/秒		
A 线	860	7.2	8.1	10.5	585—605	590—610	590—610
	880	"	"	"	"	"	"
	900	"	"	"	"	"	"
C 线	860	6.2	7.7	9.0	580—600	585—605	590—610
	880	"	"	"	"	"	"
	900	"	"	"	"	"	"

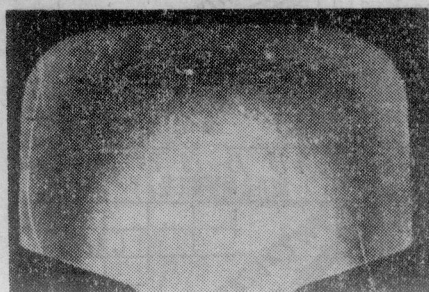
2. 试验结果：图 8 是表示显微组织的一个实例。热处理深度（至第Ⅲ层深度）随着加热温度的提高和送进速度的降低而加深，特别是P50钢轨，由原来的860℃，10.5毫米/秒的送进速度改为900℃，7.2毫米/秒，其深度几乎增加1倍。

图 9 表示加热温度、送进速度与硬度分布的关系，随着加热温度的提高，送进速度的减小，其硬度分布是呈斜坡状的。以此表示钢轨热处理深度的大小。

图10表示加热温度、送进速度与第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ层所看见的热处理深度的关系。第Ⅰ层是完全的淬火→回火层，其深度主要取决于成份和粒度等，加热温度，送进速度的影响则比较小。而对第Ⅱ层第Ⅲ层的深度，即热处理深度是随着加热温度升高、送进速度的降低而加深。

根据这些结果，要使P50钢轨的热处理深度在35毫米以上，P40在30毫米以上，其热处理条件可参照表 7 来确定。

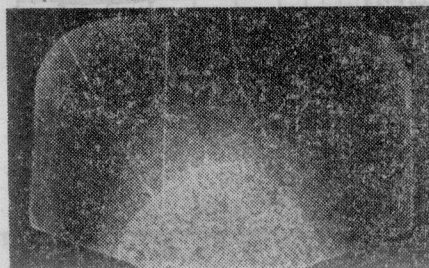
为了保证P50的热处理深度在35毫米以上及P40在30毫米以上，热处理条件必须分别选择为：加热温度在880℃以上、送进速度在7.2毫米/秒以下和加热温度在880℃以上、送进速度在7.7毫米/秒以下（或加热温度在900℃以上、送进速度在8.1毫米/秒以下）。



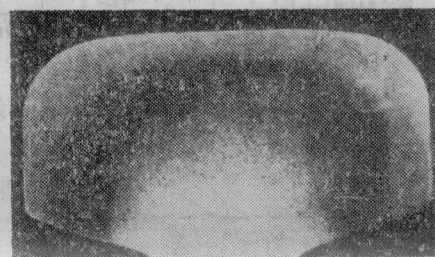
热处理温度 860°C
送进速度 10.5毫米/秒



热处理温度 860°C
送进速度 9.0毫米/秒



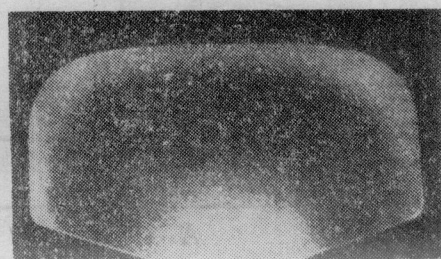
热处理温度 880°C
送进速度 8.1毫米/秒



热处理温度 880°C
送进速度 7.7毫米/秒



热处理温度 990°C
送进速度 7.2毫米/秒
P50钢轨



热处理温度 900°C
送进速度 6.2毫米/秒
P40钢轨

图8 显微组织

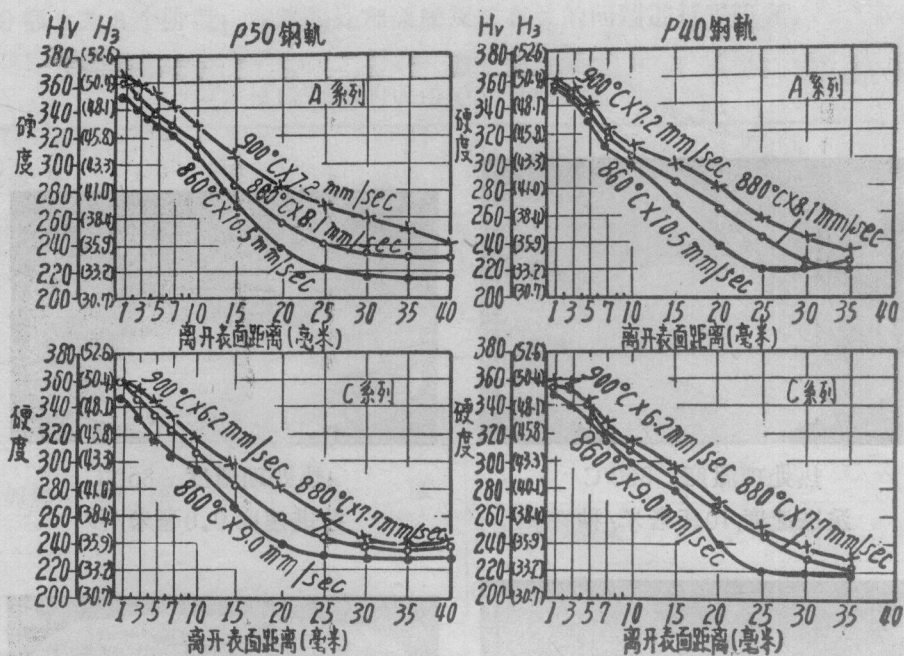


图9 加热温度、送进速度和硬度分布的关系

热 处 理 条 件

表 7

加 热 温 度	送 进 速 度	A 线			C 线		
		7.2	8.1	10.5	6.2	7.7	9.0
860°C		×	×	×	×	×	×
880°C		0	×	×	0	×	×
900°C		0	×	×	0	×	×

加 热 温 度	送 进 速 度	A 线			C 线		
		7.2	8.1	10.5	6.2	7.7	9.0
860°C		0	×	×	×	×	×
880°C		0	×	×	0	0	×
900°C		0	0	×	0	0	×

O—能满足热处理层深度要求

X—不能满足热处理层深度要求

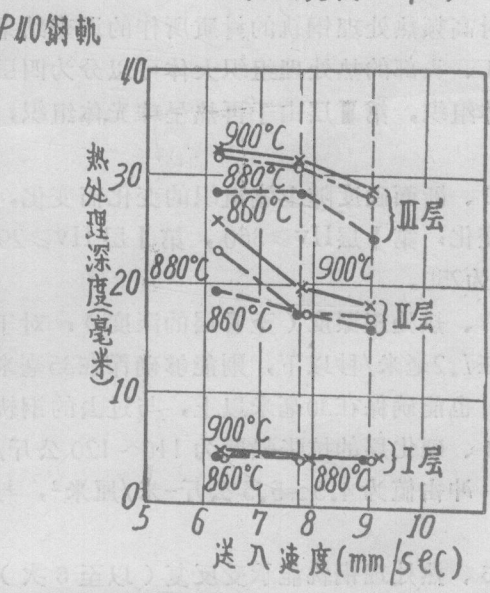
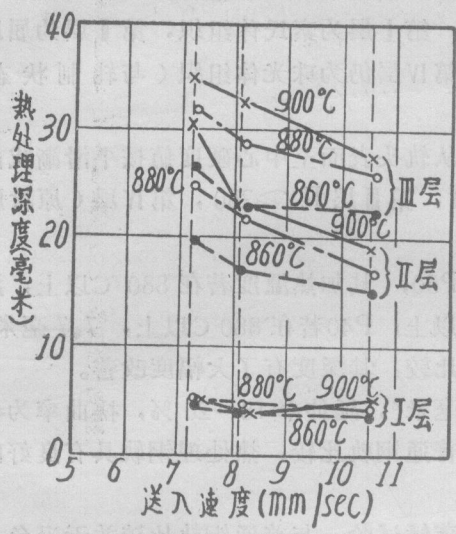
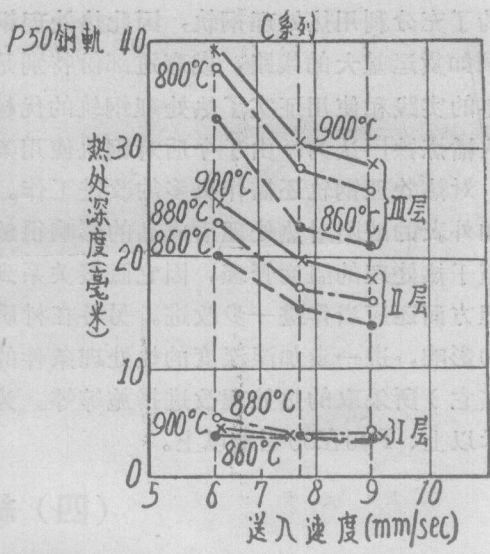
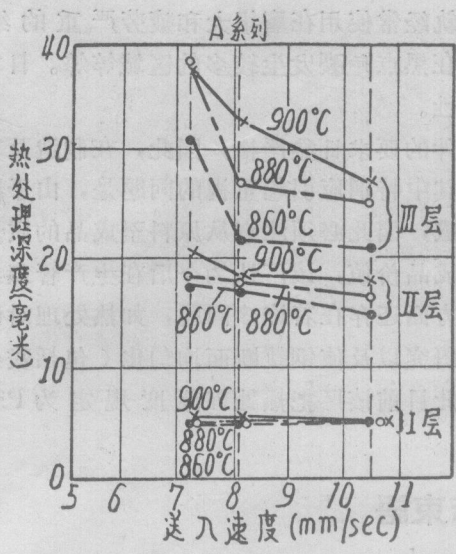


图 10 加热温度、送进速度与热处理深度的关系

(三) 试验的分析

根据上述各种材质的试验结果，热处理钢轨材质的特征大致可归纳为如下 3 个方面。

- 1、硬化层曲线可以绘成极为平滑的流线，形状类似于头部。由轨头表面向中心其硬度分布呈平滑的渐减曲线，这些都被显微组织所证实的。
- 2、热处理钢轨的硬化层不仅比普通钢轨具有更高的抗张强度，而且延伸率，挠曲率和冲击值等的韧性值也很好。换言之，即有良好的强韧性。
- 3、疲劳强度高，而且有良好的耐磨损性。

为了充分利用热处理钢轨，因此热处理钢轨经常使用在磨损大和疲劳严重的线路上，例如货运量大的线路，或弯道部份特别是在黑点龟裂发生较多的区域等等。日本经过多年的实践和使用证实了热处理钢轨的优越性。

八幡炼铁厂认为：由于今后对钢轨使用条件的要求日益严格，因此，在制造及其他方面，对热处理钢轨还需作更多的改进工作。其中特别应引起重视的问题是，由于原料内部和外表的缺陷对热处理后成品的影响很敏感，因此必须注意从原料至成品的质量管理。至于热处理的温度管理，因它直接关系到成品价值，该厂认为今后在生产管理或温度管理方面还应当作进一步改进。另外在材质方面还存在着许多问题，如热处理对硬度分布的影响，进一步加深深度的热处理条件的研究以及使钢轨断面均匀化（包括残余应力及其它）所采取的热处理改进措施等等。为此目前该厂把热处理深度规定为P50在35毫米以上、P40在30毫米以上。

(四) 結束語

对高频热处理钢轨的材质所作的调查结果，归纳起来有如下情况。

1、头部的热处理组织大体可以分为四层：第Ⅰ层为索氏体组织，第Ⅱ层为屈氏体珠光体组织，第Ⅲ层由于再热呈珠光体组织，第Ⅳ层仍为珠光体组织（与轧制状态一样）。

2、断面硬度随上述组织的变化而变化，从轨头表面至中心硬度值按平滑渐减曲线规律变化：第Ⅰ层 $Hv \geq 360$ ，第Ⅱ层 $Hv \geq 290$ ，第Ⅲ层 $Hv \geq 250$ ，第Ⅳ层（原材质） Hv 约为250。

3、热处理深度（至Ⅲ层的深度）：对于P50，其加热温度若在 880°C 以上，送进速度在7.2毫米/秒以下，则能够确保在35毫米以上；P40若在 880°C 以上，7.7毫米/秒以下，也能确保在30毫米以上，与过去的钢轨比较，其深度有了大幅度改善。

4、硬化层的抗张强度为110~120公斤/毫米²，延伸率18~20%，挠曲率为48~52%，冲击值为4.5~5.5公斤-米/厘米²，与普通钢轨比较，热处理钢轨具有良好的强韧性。

5、热处理钢轨能承受反复（以至3次）落锤试验，与普通钢轨比较并无逊色。

6、磨损量仅为普通钢轨的1/3。

7、疲劳强度：热处理钢轨小型廻转弯曲疲劳强度约为55公斤/毫米²，实物弯曲疲劳强度约为47公斤/毫米²，与普通钢轨相比分别提高了60%及30%。

521.24
907
408231
资料

