

87.108
RTC
7

一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊
(7)

彈簧熱處理的研究

人民鐵道出版社

105
147



一九五六年全國鐵道科學工作會議

論文報告叢刊

(7)

彈簧熱處理的研究

一九五六年全國鐵道科學工作會議論文編審委員會編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府十七號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印刷(北京市建國門外七聖廟)

1957年7月第1版

1957年7月第1版第1次印刷

印數0001—1,000冊

書號: 774 開本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印張: $3 \frac{1}{2}$ 字數

統一書號: 15043·329 定價: (9) 0.40

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车辆、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京、唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向、和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并无主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经做过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步的改进。

铁道部技术局

1957年2月

目 录

机车车辆弹簧热处理的研究.....	邓 洋 李家驹 曾训一 章武华	(2)
机车车辆弹簧热处理图片集.....	邓 洋 李家驹 曾训一	(18)
破猛弹簧钢回火的研究.....	曾训一	(44)

機車車輛彈簧熱處理的研究

鄧 洋 李家駒 曾訓一 章武華

在機車車輛上彈簧是一很重要的部件。用量多、線徑粗，是鐵路用彈簧的特點。近年來鐵路現場學習蘇聯經驗，製造彈簧採用60T2鋼和55T2鋼以代替高炭彈簧鋼，但生產中存在許多問題。1955年我院應鐵道部工廠管理局和車輛局的要求，針對這些問題進行研究試驗，專題工作人員在學習了蘇聯先進經驗——快速加熱後，深入幾個重點工廠，總結了現場經驗，提出了生產中的問題和改進的意見，介紹了快速加熱方法，並針對現場還沒有掌握矽錳彈簧鋼性能的問題，進行了矽錳彈簧鋼與高炭彈簧鋼的比較研究。本文便是這部份工作的總結。

目 次

- 一、製造彈簧所用的原材料
 - I、一般討論——對彈簧鋼材的要求
 - II、矽錳彈簧鋼與高炭彈簧鋼的比較研究
- 二、彈簧熱處理的改進
 - I、加熱規程
 - II、淬火和回火作業
- 三、彈簧實物的疲勞試驗
 - I、試驗品
 - II、彈簧疲勞試驗
- 四、結論

一、製造彈簧所用的原材料

1. 一般討論——對彈簧鋼材的要求：

對彈簧材料的性能，一般要求其在熱處理以後：

1. 具有高的彈性，具體些說具有高的屈服點；或者更準確些說，具有高的比例極限，這樣，彈簧在使用中不易發生永久變形；
2. 具有高的強度，包括靜力學強度和疲勞強度，特別是缺口疲勞強度；
3. 能耐沖擊負荷，特別是對機車車輛緩沖彈簧來說；
4. 具有一定的范性。

為了滿足以上要求，需要採用適當的鋼種和熱處理。

選用鋼材時，除了要考慮彈簧本身的具体工作条件和其重要性外，對鋼材來說還應該考慮各種元素（普通的和合金的）對鋼的性能的影響、生產的難易（熔鑄、軋制）和成本，此外還應該考慮它在熱處理時的表現。

選用的鋼應該易於熔鑄、偏析輕微、含夾雜物少，因為有害的夾雜物常引起疲勞破壞。

軋制品的表面質量應該良好，必須強調指出，對彈簧鋼材的表面質量要求應該嚴格，表面疵病和脫炭極大地降低耐疲勞性能，這種數據在文獻中屢見不鮮。

從熱處理方面說，選用的鋼材應該有適宜的可硬性，加熱時不易氧化和脫炭，淬火時不易出裂紋，不易過熱。

一般說來，對彈簧鋼的要求便是這些。

2. 矽錳彈簧鋼與高炭彈簧鋼的比較研究

以往，鐵路工廠沿用日、美規格，製造彈簧習慣用高炭鋼（0.95—1.05% C，相當於SAE 1095），現在學習蘇聯，採用蘇聯規格，製造機車車輛彈簧採用矽錳鋼（ГОСТ 2052—43中的60C2和55C2）。根據文獻記載[1]，矽錳鋼優於高炭鋼，然而鐵路工廠却有相反的反映，究竟矽錳鋼較高炭鋼優異之處何在，這是一個可以探索的問題。在戚廠研究該廠的彈簧生產情況時，對這個問題曾在現場就地作過一些試驗，限於現場條件和時間，試驗中有些缺點，因而回院後對這些試驗在更加嚴格的試驗條件下重核了一次，表明以前所得的結論，基本上正確。

以下是重核試驗的數據：

試驗所用材料是撫順煉鋼廠生產的，其化學成分見表1。

試驗用鋼材的化學成分

表1

鋼 種	成 分, %						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
矽 錳	0.58	1.75	0.78	0.021	0.007	0.05	0.05
高 炭	1.02	0.24	0.28	0.014	0.004	0.07	0.05

1. 回火性

試樣尺寸為矽錳鋼 $20\phi \times 10$ 公厘，高炭鋼 $14\phi \times 9$ 公厘，淬火情形前者為 870°C 淬油，後者為 830°C 淬水，淬火後檢查硬度表明所有樣品確已完全淬硬。在硝鹽中於不同溫度回火半小時後空冷，測定硬度結果如圖1。

可見為了得到相同的硬度，矽錳鋼的回火溫度較高炭鋼的可以高約 40°C 。這對解除彈簧淬火時所引起的殘余張應力，也就是對彈簧的疲勞強度和使用壽命提高是有益的。

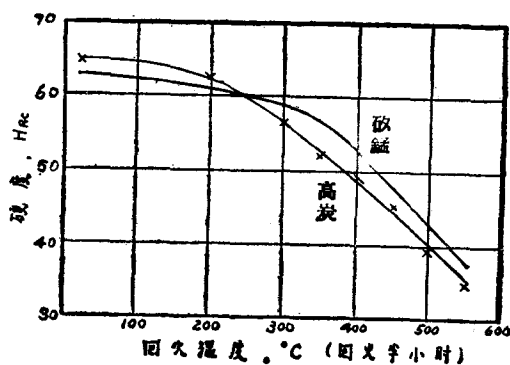


圖1. 矽錳鋼與高炭鋼回火性的比較

2. 热处理后的机械性能

抗張試样尺寸为 $d_0 = 10$ 公厘, $l_0/d_0 = 5$, 冲击試样为标准梅氏試样, 試样均在加工后热处理, 淬火加热爐内系中性气氛, 回火在硝盐中进行, 回火温度系根据預备試驗使两种鋼回火后得到近似的硬度而确定的, 採用相同硬度作为比較基礎的原因是彈簧实物質量的重要指标是硬度。

測屈服点系用机械式引伸計 ($\frac{1}{100}$ 公厘) 採用給定形变法, 結果列于表 2。

冲击試样在热处理后曾用銅絲沾凡尔砂研磨以消除橫向刀痕。冲击試驗机擺能為 15 公斤米。試驗結果也列入表 2。

矽錳鋼和高炭鋼的机械性能比較

表 2

鋼 种	热 处 理	硬度 H_{RC}	σ_B 公斤/公厘 ²	σ_s 公斤/公厘 ²	σ_s/σ_B	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	a_k 公斤公尺/公分 ²
矽 錳 鋼	860°C 淬豆油, 480°C 回火半小时油冷	45.1	147.3	131.6	0.895	11.4	34.8	4.76 ± 0.18
高 炭 鋼	820°C 淬豆油, 440°C 回火半小时油冷	45.3	148.8	113.3	0.763	11.2	31.8	2.08 ± 0.20

試驗結果表明, 在相同的硬度下, 两种鋼的抗張强度近似, 但矽錳鋼的屈服点高得多。它的屈服比高得多, 这表示用矽錳鋼作彈簧彈性好。

高炭鋼冲击試样的实际硬度还偏低些, 然而高炭鋼的冲击值远較矽錳鋼的低。預計它的低温冲击韌性更差 [2], 这当然是与鋼中含炭量有联系的。因此用高炭鋼作緩冲彈簧, 特别是在寒冷地区使用的緩冲彈簧是不適宜的。

3. 可硬性

試样为非标准頂端 淬火 試样 ($20\phi \times 100$ 公厘)。淬火温度矽錳鋼为 860°C, 高炭鋼为 820°C。加热保温时间为 45 分鐘。

試驗結果見圖 2 和表 3。

高炭鋼的可硬性低得很多, 这

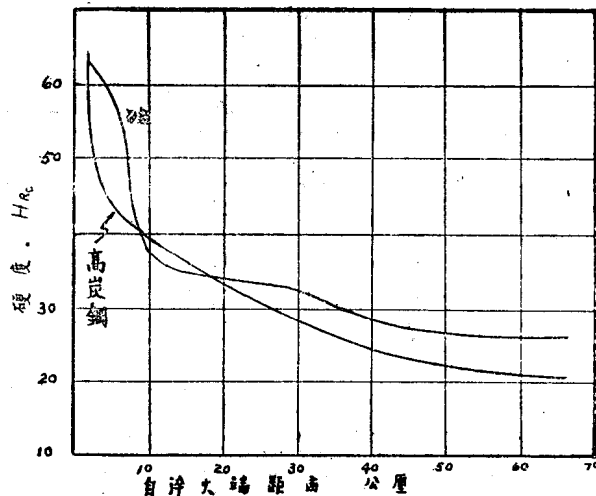


圖 2. 矽錳鋼和高炭鋼的可硬性比較

矽錳鋼和高炭鋼可硬性比較数据

表 3

鋼 种	J—50, 公厘	J—45, 公厘
矽 錳 鋼	7.0	7.5
高 炭 鋼	2.2	3.5

便使得高炭鋼制的彈簧寿命短，易發生永久变形，並且制造線材粗的重型彈簧难以达到技術要求。

4. 氧化傾向

鋼的耐氧化能力是用样品加热前后的重量差求得的。样品 尺寸为 $16\Phi \times 9.5$ 公厘。为了避免脫炭引起重量变化，試驗在氮氣中進行，样品在各个温度氧化一小时后淬火，使氧化皮脫落一些。

氧化后的样品進行陰極酸洗，电解液为 60°C 的 10% HCl，电流密度約为 80 安/公分²。高炭鋼氧化皮易脫落，酸洗半分鐘即可，矽錳鋼 1~2 分鐘。酸洗后样品为銀灰色。試驗結果如表 4。

矽錳鋼与高炭鋼的氧化傾向比較

表 4

鋼 种	在各温度($^{\circ}\text{C}$)加热1小时引起的氧化損量, 克/公分 ² $\times 10^3$		
	850	900	950
矽 錳 鋼.....	3.66	35.0	44.6
高 炭 鋼.....	4.96	40.8	55.9

由以上結果可知，高炭鋼易氧化，氧化的惡果不僅在於減小鋼材尺寸，而且常減小淬硬深度。

5. 脫炭傾向

試样尺寸为 $18\Phi \times 20$ 公厘，試样表面氧化会影响脫炭，故採用無氧化性的湿 氫 为 爐 气。試样在各温度加热一小时后爐冷再用金相法檢查脫炭深度，結果見表 5。

矽錳鋼与高炭鋼的脫炭傾向比較

表 5

鋼 种	在各温度($^{\circ}\text{C}$)加热一小时引起的脫炭深度, 公厘		
	850	900	950
矽 錳 鋼.....	0.20	0.23	0.45
高 炭 鋼.....	0.17	0.21	0.30

加热后試样表面为銀灰色，表明加热时样品确未氧化。

上述結果表明矽錳鋼易脫炭。前已提及，脫炭使彈簧的寿命大受損害。

6. 夾雜物

矽錳鋼中含强脫氧能力的 Si，含夾雜物較多。这点業經我們以前定量鑑定所肯定，結果如表 6。

矽錳鋼与高炭鋼中夾雜物含量的比較

表 6

鋼 种	鋼中夾雜物含量, 重量%
矽 錳 鋼.....	0.0624
高 炭 鋼.....	0.0225

7. 鋼料成本

根据威厂1955年8月份資料，两种鋼的成本比較如表7：

矽錳鋼与高炭鋼生產成本比較

表7

鋼 种	成 本	
	元/噸	%
高 炭 鋼.....	304.2	100
矽 錳 鋼.....	323.8	106

虽然上表所述僅系一个月的情形，但原材料成本的波动是不大的。因而上述数据基本上可以代表二种鋼的生產成本。

矽錳鋼的成本較高炭鋼略高，但所差無几。

8. 生產上的困难

高炭鋼是普通炭鋼，生產上当然没有什么困难。

矽錳鋼屬低合金鋼，根据很多文献記載[1][3]和威厂反映，它的軋制还是比较困难的，主要是表面易出疵病。

9. 小結

上述研究結果，綜合列於表8。

矽錳鋼与高炭鋼的比較

表8

項 目	矽 錳 鋼	高 炭 鋼
回 火 性	可在較高温度回火，有利於淬火所引起的張應力的消除，有利疲勞性能	相 反
熱處理后機械性能 ($H_{Rc}=45$ 時)	屈 服 比	低 (0.763)
	塑 性	略低 ($\psi=31.8\%$)
室溫沖击值, 公斤公尺/公分 ² ($H_{Rc}=45$ 時)	顯 著 高 (4.76 ± 0.18)	顯 著 低 (2.08 ± 0.20)
可硬性.....	顯 著 高	顯 著 低
氧化傾向.....	小	大
脫炭傾向.....	大	小
夾雜物含量.....	較髒(0.0624%重量)	較淨(0.0225%重量)
生產上的困难.....	較難軋制出良好表面	無
成 本.....	略 高 (106%)	略低(100%)

从上表可知，矽錳鋼的优点多，主要是屈服比高、可硬性大。当然它也不是很滿意的彈簧材料，它的一些缺点应进一步加以研究，有的缺点，則可通过操作上的改进而減輕。如脫炭可以通过快速加熱來減輕或避免。与此相反，高炭鋼的缺点是很多的，主要如屈服点低、可硬性低等。因而根据上表的比較，可以得出結論採用矽錳鋼作机車車輛彈簧較高炭鋼适宜得多。

二、彈簧熱處理的改進

在彈簧生產中，除了嚴格檢查原材料外，主要的問題還需要有一個正確的穩定的加熱規程及正確的淬火回火作業以控制生產質量。

1. 加熱規程

1. 過去在生產中存在的問題

各鐵路工廠的彈簧加熱爐均是燃煤反射爐。一般是爐膛較小，爐子比較破舊，縫隙很多，爐溫不均勻。有的工廠的加熱爐爐溫燒不高，而且爐上沒有溫度指示儀表，根本不控制爐溫，有的工廠因反射爐較少，甚至在高溫爐內同時進行高低溫作業。

以往高溫加熱操作的特點是：爐中經常保持大批鋼料，爐溫波動很大、加熱時間極長、加熱週期不定，甚至有的工廠採取了不必要的過多的加熱次數。

這樣的加熱結果，嚴重地損害了彈簧的質量，主要表現在：

(1) 產品質量不穩定。因為爐溫波動大，加熱週期不定。

(2) 氧化嚴重。在現場檢查，發現以往氧化脫皮使彈簧線徑減小達0.5~1.0公厘，彈簧線徑減小，顯著的降低彈簧的剛度，此外，彈簧因嚴重氧化致使表面極為凹凸不平（典型的例如圖3），從而大大的降低了彈簧的疲勞強度〔4〕，而且由於原氧化皮的存 在還使彈簧的淬透性變差。



圖3. 因嚴重氧化致表面凹凸不平的彈簧，×0.5

(3) 脫炭嚴重。彈簧表面的實際總脫炭層，經檢查有達0.80公厘者（表9，圖4）。由於脫炭層的存在，彈簧鋼的疲勞強度將顯著降低，降低程度隨脫炭的嚴重程度而增長〔5〕，此外深的脫炭引起的危害不能用噴彈表面強化來挽救。

彈簧實物實際總脫炭層深度及實際晶粒大小的檢查

表9

編號	彈簧名稱	鋼種	總脫炭層，公厘		實際晶粒大小，級	備註
			範圍	平均（8個讀數平均）		
1	客車均衡內簧	砒錳鋼	0.25~0.50	0.39	1/3	長廠新制簧，切取小試樣在鹽浴中加熱正火後，檢查脫炭深度
2	”	高炭鋼	0.53~0.72	0.66	2	”
3	”	砒錳鋼	0.41~0.53	0.47	5/4	”
4	”	”	0.22~0.43	—	—	”
5	”	”	0.60~0.80	0.70	—	戚廠新制簧，卷簧與開螺距加熱後取樣檢查
6	50噸車外簧	”	0.67~0.80	0.72	—	在皇廠以32φ×250公厘原材料隨50噸外簧工藝順序加熱，試樣能代表實物

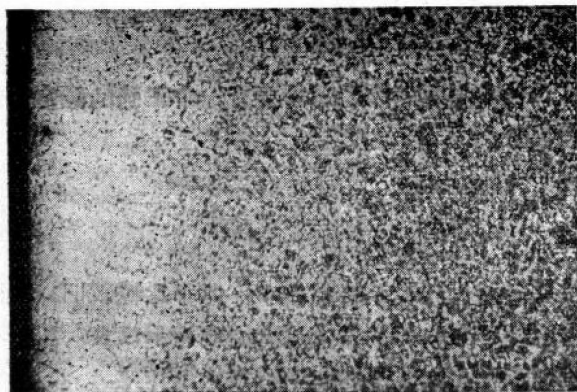


圖4. 表 9中5号样品的脫炭層，
2% HNO_3 腐蝕， $\times 100$

圖5. 表 9中6号样品的脫炭層，
2% HNO_3 腐蝕， $\times 75$

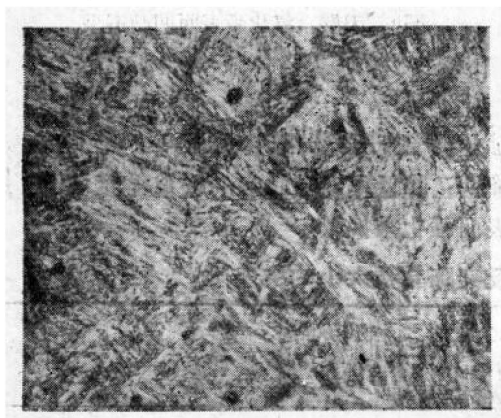
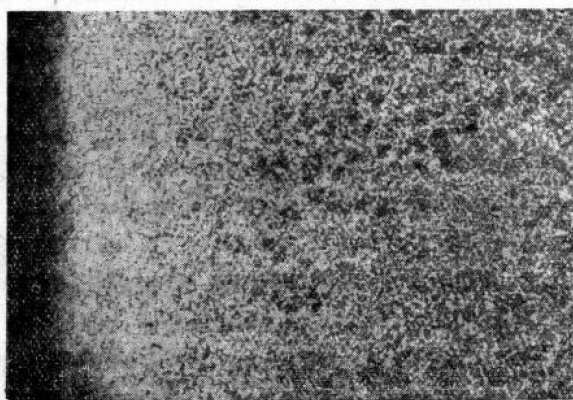


圖6. 破錳鋼彈簧實物的金相組織。粗的回
火馬氏體。2% HNO_3 腐蝕， $\times 500$

(4) 过热与过燒。我們曾檢查了許多
破損彈簧，常發現过热，表現為粗大的晶粒
(表9)、極粗的金相組織(圖6)，粗糙的
斷口(圖7)。

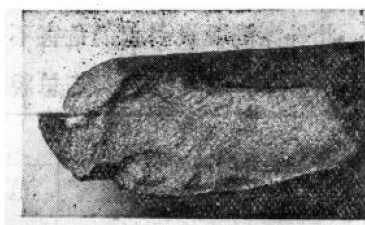


圖7. 試壓破損的彈簧斷口，
斷口極粗。 $\sim \times 1$

过热状态淬火时易產生淬火裂紋，相同硬度具較低的韌性；在合金結構鋼中晶粒粗大
还降低淬火回火后的鋼材的塑性。

我們進行了过热組織与未过热組織的性能比較，試驗用60T2 鋼，成分見表1。抗張試
样尺寸为 $d_0=10$ 公厘， $l_0/d_0=5$ 。冲击試样为梅氏标准試样。試样經热 处理得相同硬
度。过热組織与未过热組織的机械性能比較列在表10。

过热組織与未过热組織的性能比較

表10

試 样 号	热 处 理	实际晶粒 大小, 級	H_{RC}	抗 張 試 驗					α_{ic} 公斤-公尺 /公分 ²
				σ_B 公斤/公厘 ²	σ_s 公斤/公厘 ²	δ_5 %	ψ %	σ_s/σ_B	
1	860°C淬火, 480°C回火	7	~44.4	150.4	133.6	10.75	36.0	0.889	3.10±0.17
2	加热到 1160°C, 860°C淬火, 480°C回火	混合晶粒 平均 5級	~43.7	140.0	121.8	8.09	17.6	0.864	2.66±0.18

試驗結果指出, 矽錳彈簧鋼过热后降低了冲击韌性和塑性, 塑性的降低還可在圖 8 上看到, 过热抗張試样呈脆性断裂, 未过热的抗張試样則有很顯著的細頸。

也还發現过过燒的彈簧 (圖 9、10)。过燒現象是加热温度过高引起 MnS 在晶粒間界及 $\{100\}$ 沉澱的結果, 过燒的鋼易產生淬火裂紋, 試压易断, 其延性及冲击韌性均顯著下降, 一般地說抗張强度只有在嚴重的过燒后才下降, 过燒对疲劳强度也有影响。过燒鋼的性能是無法恢复的 [6]。



圖8. 过热与未过热抗張試样的斷口



圖9. 过燒彈簧的斷口×1.4

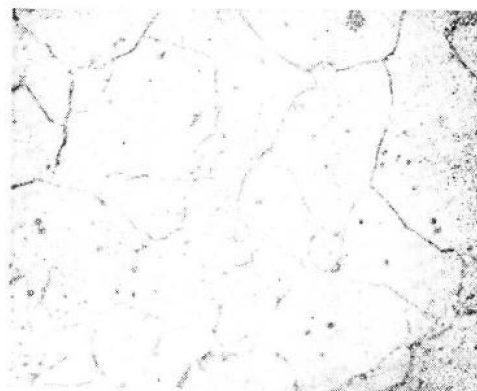


圖10. 过燒彈簧的金相样品, 硝酸液腐蝕后顯示出过燒組織×75

2. 加热規程的改進

落后的加热規程对彈簧質量引起了許多極嚴重的危害, 因此, 这样的加热規程不应再繼續採用。

根据彈簧生產的特点, 高温加热各工序均应採用流水作業的快速加热規程以保證彈簧的質量, 快速加热的方法 [7] 是: 嚴格保持較高而穩定的爐温, 鋼料在爐中架空, 裝料出料实行流水作業, 嚴格控制鋼料在爐中停留的時間, 由加热時間來控制鋼料的加热温度, 並且減少不必要的加工作序, 根据第一机械工業部苏联專家捷哥洽廖夫同志的建議, 卷簧时, 加热爐爐温应維持在 1150~1170°C, 在穩定的爐温条件下, 通过試驗找出鋼料达到卷簧温度所需的加热時間, 合適的卷簧温度为 890~900°C; 淬火加热时, 爐温应維持在

960~980°C，通过時間控制彈簧的淬火溫度。

我們在現場期間曾幫助一些工廠試驗推廣快速加熱。由於工廠無溫度指示儀表，加熱爐又有缺點，對快速加熱的正確執行是有一些影響的。雖然如此，我們根據各爐子的具體情況，根據鋼料顏色判斷溫度，進行了快速加熱試驗以探求不同線材直徑的彈簧在爐中的加熱週期與流水線拍節。試驗證明，在各鐵路工廠全面推行快速加熱是完全可以行得通的。至於某些加熱爐的缺點對快速加熱不能十分相適應，今後現場應力求改進。

根據我們的試驗，快速加熱的顯然可見的效果是：

(1) 爐溫穩定，鋼料加熱時間穩定，掌握方便，鋼料加熱均勻，產品質量穩定。

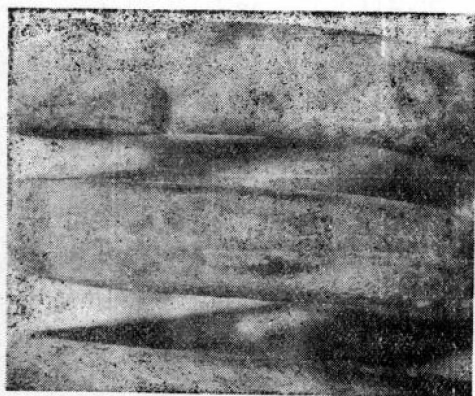


圖11. 快速加熱的產品，較光滑的表面
(30噸貨車外簧) $\times 0.5$

(2) 爐溫高，加熱時間短，減輕了氧化脫炭。從圖11可見採用快速加熱的結果，氧化皮非常薄，表面相當光滑。

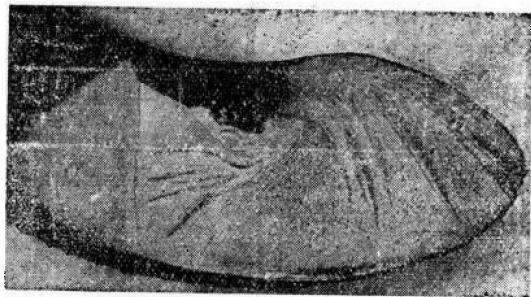


圖12. 快速加熱得到細致的斷口
 $\sim \times 1.2$

(3) 因爐溫穩定，加熱時間控制嚴格，可保證鋼材不致過熱過燒，從而產品在熱處理後得到良好的組織，因而斷口細致（圖12）。

(4) 流水作業必然提高勞動生產率與設備利用率。

2. 淬火和回火作業

1. 淬火作業

淬火作業對於彈簧的彈性及疲勞強度均有極其重大的影響。我們要求彈簧淬火後的金相組織為細馬氏體。為了達到這個目的，必須選用正確的淬火操作。

以往，鐵路工廠常用的淬火作業有許多是極不正確的，今後不應再繼續採用，主要為：

(1) 過熱狀態淬火：或是彈簧加熱到過高的溫度淬火，或是加熱到過高溫度後整形俟彈簧降到淬火溫度時淬火。二者均使彈簧保持了過熱組織。

(2) 過低的淬火溫度：彈簧出爐後，經劈螺距、整形，簧溫已降到淬火溫度以下，再淬火。這樣的彈簧硬度不合要求，金相組織中出現大量的上貝茵體、淬火屈氏體和鐵素體。顯著降低彈簧的彈性和使用壽命。

(3) 淬水：某些廠新制或檢修某些圓彈簧不易通過試壓時，常採用淬水的辦法，以期達到試壓要求，據我們試驗，矽錳鋼淬水發生淬火裂紋的傾向是很大的。事實上，矽錳鋼的可硬性很高，油淬已能達到要求，水淬只能造成彈簧的災害。

(4) 『一次处理』：某些工厂对于機車及貨車板簧採用『一次处理』的办法。彈簧从爐中取出轆片整形后放在掛鈎上淬入油池，浸一下后又立即取出。取出时彈簧尚暗紅色，在空气中停留数秒鐘后又淬入油池，在油池中停留数秒鐘后又复取出掛在空中任其附着的油燃燒完畢后空冷。这样就算处理完畢。『一次处理』所得的組織为貝茵体与淬火屈氏体，其彈性和疲劳性能都比較差。而且这样处理方法，很难保証產品質量一致。

(5) 線徑較粗的彈簧淬油时不攪动：这样的操作，降低彈簧硬化深度及淬硬程度，从而降低彈簧强度、彈性。

正确的淬火作業應該是：

(1) 爐上按裝Pt—PtRh热电偶，爐溫穩定在 960°C — 980°C 。採用流水作業的快速加熱。

(2) 通过試驗找出彈簧达到淬火溫度所需在爐中停留的时间。嚴格控制彈簧的淬火溫度，55 T 2鋼的淬火溫度範圍为 $870\sim 890^{\circ}\text{C}$ ，60 T 2鋼的为 $850\sim 870^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 線材直徑較粗的彈簧在淬入油池时必须擺动。彈簧从油中取出时应不再發煙。

(4) 淬火池应定期更換新油，以保証油的淬透能力，油溫不能高于 80°C 。

淬火后的金相組織应为細小的馬氏体，但線徑較粗的矽錳鋼彈簧淬火后常存在有相当量的下貝茵体組織，因此，我們曾研究了下貝茵体对彈簧鋼材性能的影响，試驗用60 T 2鋼（成分見表1）。抗張試样为 $d_0=10$ 公厘， $l_0/d_0=5$ ，冲击試样为标准梅氏試样，一組抗張与冲击試样在 860°C 加熱於 300°C 硝鹽中等溫得10%，30%，100%下貝茵体，然后淬油，另一組抗張与冲击試样加熱 860°C 淬油得 $\sim 100\%$ 馬氏体，然后将二組試样回火至相似硬度比較其机械性能，其結果如表11、12。

下貝茵体量对鋼材性能的影响

表11

編號	熱 處 理	硬 度 H_{Rc}	抗 張 試 驗				
			σ_B 公斤/公厘 ²	σ_S 公斤/公厘 ²	δ_5 %	ψ %	σ_S/σ_B
1	860°C 淬火，480°C 回火40分鐘	45.2	152.2	136.5	13.7	45.3	0.90
2	860°C 加熱，300°C 等溫淬火得10%下貝茵体，480°C 回火40分鐘	43.6	153	136.5	13.5	39.3	0.89
3	860°C 加熱，300°C 等溫淬火得30%下貝茵体，480°C 回火40分鐘	45.0	151.5	135.5	12.5	40.3	0.90
4	860°C 加熱，300°C 等溫淬火得100%下貝茵体，480°C 回火15分鐘	43.5	147.5	133.0	17.4	53.5	0.90

下貝茵体量对冲击性能的影响

表12

編 号	熱 處 理	硬 度	α_K ， 公斤-公尺/公分 ²
1	同表12.	46.5	3.71
2		47.1	3.15
3		47.1	3.10
4		45.6	3.98

由試驗結果可知，淬火得下貝茵體對彈簧的性能無顯著影響，但如淬火操作不當，則不但產生下貝茵體，而且將產生上貝茵體與淬火屈氏體，後二者將降低彈簧的彈性和使用壽命。

2. 回火作業

回火是為了消除彈簧由於淬火所引起的內應力，並獲得最好的綜合機械性能，回火作業是決定彈簧最後性能的，所以這一工序十分重要。

圓彈簧回火後的硬度，根據ГОСТ 1452-53的規定為 $\sim R_c 40-47$ ，扁簧的為 $\sim R_c 39-45$ ，因為彈簧淬火回火後硬度在此範圍之內具有最好的綜合機械性能，我們曾就60T2鋼（成分為：0.56% C，0.82% Mn，1.79% Si，0.030% P，0.010% S）進行了機械性能試驗以証實這一事實。

60T2鋼熱處理後的機械性能（870°C 淬油）

表13

試樣號	回火溫度 °C	抗張試驗						硬度 H_{Rc}
		比例極限 公斤/公厘 ²	屈服點 公斤/公厘 ²	抗張強度 公斤/公厘 ²	比例極限 抗張強度比	$\delta_5, \%$	斷面收縮率 %	
1	—	—	—	99.6	—	0.02	0.0	60.5
2	180	—	—	132.6	—	0.61	0.0	57
3	250	—	—	156	—	1.9	0.8	54
4	300	169.5	—	186	0.91	4.1	7	57
5	350	183.5	—	193	0.95	7.1	20.0	55.5
6	400	171	179	191.1	0.90	6.2	24.0	49.5
7	450	130	145	158.2	0.82	10.4	36.0	45.5
8	500	114	120.5	135	0.84	10.3	34.0	41
蘇聯標準	400~510	—	>120	>130	—	$\delta_{10} \geq 6$	>30	—

抗張試樣仍用 $d_0 = 10$ 公厘， $l_0/d_0 = 5$ ，在870°C 鹽浴中加熱15分鐘後淬油，再經不同溫度回火半小時，結果見表13及圖13。

由實驗可知，60T2鋼淬火後在450~500°C 回火，具有最好的綜合機械性能，即具有較高的比例極限/抗張強度比、較高的塑性和合要求的硬度。抗張強度過高（即硬度過高），疲勞持久極限反而降低（圖14），所以要求彈簧在回火後的硬度在 $R_c 40 \sim 47$ 之內。

各鐵路工廠的彈簧回火作業，過去存在的問題較大，主要為：

（1）許多廠沒有專用的回火爐，沒有溫度指示儀表；

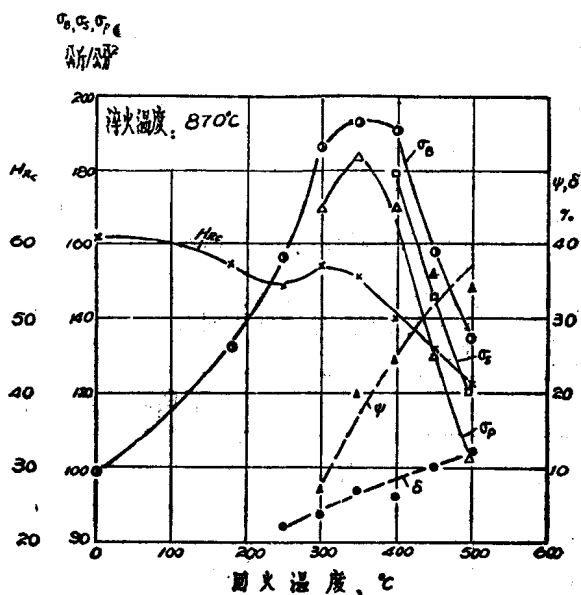


圖13 60T2鋼熱處理後的機械性能

(2) 除个别工厂外，都採用燃煤反射爐回火，这类爐子爐膛温度不均匀，爐温不穩定；

(3) 在操作上許多厂採用高温短時間的办法，这种操作不能使彈簧受熱均匀，不能保証彈簧达到所要的回火温度，不能保証彈簧質量穩定和合格，我們曾檢查几个厂的高温回火彈簧，都是硬度偏高的；

(4) 个别工厂也有在很低温度的反射爐中進行彈簧回火作業，其結果是回火后的彈簧硬度过高。

顯然，回火操作必須改進，以保証彈簧的質量，正确的回火作業應該是：

(1) 利用燃煤反射爐回火时，亦应按裝溫度計嚴格控制回火爐温度，由于爐膛內爐温分布不均，应用已知硬度的淬火試棒擺在爐膛內不同位置，在一定温度下回火，再測回火后試棒的硬度，从而确定爐膛內温度均匀的区域，以后再以彈簧实物掛試棒，進行回火温度試驗，确定出回火硬度最好，壓縮情况最好的回火爐温作为最好的回火规范，回火時間必須充分（1小时）回火时应經常翻动彈簧使其受熱均匀。

(2) 最好採用帶風扇的馬弗爐或硝鹽回火爐，既可保証質量，又能提高生產效率。

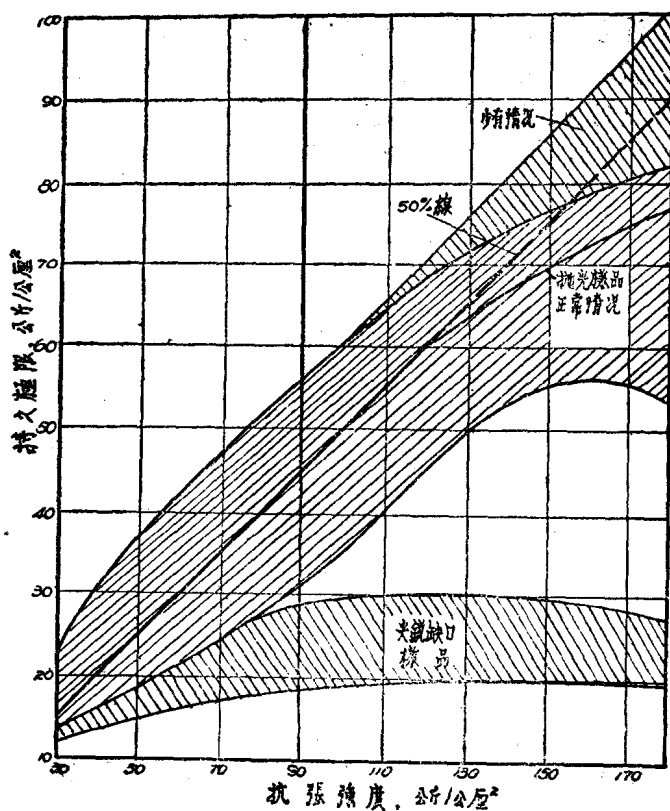


圖14 鋼的抗張強度与持久極限（弯曲）的关系[8]

三 彈簧实物的疲劳試驗

1. 試驗品

試驗品系50噸鑄鋼轉向架外圓彈簧，以这种彈簧做試驗，是根据車輛局的提議而确定的。

簧由天津車輛彈簧厂供給，全部制造及热处理过程中都有本院彈簧專題工作人員参加。

彈簧的原材料为大連鋼厂產 60T2鋼，根据該厂質量保証書，化学成分为 0.59% C, 0.71% Mn, 1.77% Si, 0.022% P, 0.010% S。

原材料的脫炭層，最少处：痕跡；最多处：0.39公厘，平均：0.19公厘（14个讀数的平均值），脫炭層的特点是無全脫炭層。

卷簧加熱和淬火加熱，都採用快速加熱的方法。

卷簧加熱的爐溫為 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。加熱時間10分 $\sim$ 11分50秒。

淬火加熱的爐溫為 $945\sim 1010^{\circ}\text{C}$ ，加熱時間為17分40秒 $\sim$ 20分40秒。

試驗彈簧第Ⅴ號帶有 $32\Phi\times 50$ 公厘試棒，淬火後作了以下檢查：

(1) 硬度：試樣二端由中心向外的硬度為

H_{Rc} 59.4, 60, 60.5, 61.5, 62.0

試樣自中間切開，自中心向外的硬度

H_{Rc} 52.0, 58.0, 59.0, 60.5

(2) 金相：晶粒大小為7級。

試棒外層為馬氏體，試樣中心有大量非馬氏體產物（圖15，16）。



圖15 試棒外層的金相組織，馬氏體
2%硝酸酒精腐蝕 $\times 750$



圖16 試棒中心的金相組織，馬氏體和非馬氏體產物，2%硝酸酒精腐蝕 $\times 750$

彈簧在反射爐中於 500°C ，回火1小時，回火後空冷。

彈簧又經試壓合格。

2. 彈簧疲勞試驗

1. 計算

50噸外圓簧的基本尺寸為：

線徑——32公厘；

簧圈內徑——80+1 公厘；

簧圈平均直徑——112公厘；

自由高—— $212 + \frac{4}{2}$ 公厘；

全壓縮高——176公厘。

根據彈簧的基本尺寸求得：

外圈彈簧的剛度

$$K_1 = \frac{P}{f} = \frac{Gd_1^4}{64r_1^3n_1} = 166 \text{ 公斤/公厘}$$

內圈彈簧的剛度

$$K_2 = \frac{P}{f} = \frac{Gd_2^4}{64r_2^3n_2} = 41.5 \text{ 公斤/公厘}$$

式中， G ——剪切彈性模數， $G=8000$ 公斤/公厘²。

每一車輛支持在16組內外彈簧上，因為內外彈簧是並列的，故總剛度

$$K = 16K_1 + 16K_2 = 3320 \text{ 公斤/公厘}$$

50噸貨車自重=21.6噸

50噸貨車載重=50噸

故滿載時車輛總重=50+21.6=71.6噸=71600公斤

但彈簧不承受車輛下部重量，車輛下部重量估計為11.5噸，因此車輛滿載時彈簧所受靜荷重為：71.6—11.8=59.8噸。

求得車輛滿載時彈簧的靜撓度

$$f_{cr} = \frac{p}{H} = \frac{59800}{3320} = 18 \text{ 公厘}$$

所以，在車輛滿載時，外圈彈簧受靜負荷

$$P_{cr} = 18 \times 166 = 3000 \text{ 公斤}$$

外圈彈簧在車輛滿載時受靜應力

$$\tau_1 = \frac{8 P_{cr} D}{\pi d^3} = 26.1 \text{ 公斤/公厘}^2$$

$$\tau_1 \cdot k = 38.6 \text{ 公斤/公厘}^3 \quad \left(k = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c} \right)$$

車輛運行中常發生震動，彈簧受到最大壓縮，彈簧的最大壓縮量 f_{max} 等于

$$f_{max} = \text{自由高} - \text{全壓縮高} = 36 \text{ 公厘}。$$

故外圈彈簧所受的最大負荷

$$P_{max} = 166 \times 36 = 5970 \text{ 公斤}$$

外圈彈簧所承受的最大應力

$$\tau_{max} = \frac{8 P_{max} D}{\pi d^3} = 52.0 \text{ 公斤/公厘}^2$$

$$\tau_{max} \cdot k = 77 \text{ 公斤/公厘}^2$$

2. 疲勞試驗

試驗在 Mohr & Federhaff 制25噸彈簧疲勞試驗機上進行，試驗的方法尽可能地接近彈簧在車輛上的工作條件。

每個彈簧先承受3000公斤負荷（分別被壓下18~20公厘）。然後再週期地（每分鐘65

彈簧負荷與撓度的關係

表14

彈簧號	壓縮前高 公厘	3000 公斤 負荷時高， 公厘	撓 度 公厘	5970 公斤 負荷時高， 公厘	撓 度 公厘	撓 度 差 公厘	壓縮後高 公厘	永久變形 公厘
II	214	195	19	179	35	16	214	0
III	213	194	19	178	35	16	213	0
IV	211	193	18	178	33	15	211	0
V	207	187	20	170.5	36.5	16.5	205	2
VI	212	193	19	176	36	17	212	0
VII	212	194	18	180	32	14	212	0

次）分別被壓下14~17公厘，也就是週期地承受最大負荷5970公斤，彈簧的負荷與撓度關係如表14所示。

表中的壓縮前高與基本尺寸中的自由高數值不同，是因為彈簧的二端支撐面經過加工磨平，以使二支撐面與試驗機的工作面密切接觸、彈簧的中心軸線與試驗機的工作面垂直。

V號彈簧在試壓時即發現永久變形，III號彈簧在試驗過程中發生故障，這二個彈簧未得出數據，其餘四個彈簧的試驗結果列在表15中。