

機車車輛零件 合理的化学热处理法

科托夫著



机械工业出版社

机 車 車 輛 零 件

合 理 的 化 学 热 处 理 法

科 托 夫 著

常 青 譯



机 械 工 业 出 版 社

1 9 5 9

出版者的話

在本書中敘述了機車車輛零件的固体渗碳、气体渗碳及高温气体氰化的合理工艺規程。在附录中載有参考各机务段及機車修理工厂的先进經驗而制訂出来的機車車輛零件化学热处理的一些技术指导。

本書可供機車車輛制造工厂、機車車輛修理工厂及机务段以及其他机械制造工厂热处理車間的热处理工、工長及工艺师参考。

苏联 О. К. Котов 著 Рациональные методы химико-термической обработки деталей подвижного состава. Трансжелдориздат (1956 年第一版)

*

*

*

NO. 1767

1959 年 4 月第一版 1959 年 4 月第一版第一次印刷

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 字数 48 千字 印張 $1\frac{15}{16}$ 0,001—5,050 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业營業許可証出字第 003 号 定价(11) 0.39 元

目 录

序言	1
I 零件表面强化的作用及方法	5
II 零件的渗碳	7
用黄血盐渗碳	7
固体渗碳剂	9
在机车車輛修理厂及机务段中合理的渗碳工艺方法	19
零件渗碳以后的热处理	29
III 气体渗碳	31
过程的实质, 气体的成分及设备	31
在机务段及机车車輛修理厂中零件的气体渗碳	35
气体渗碳的合理工作方法	37
IV 鋼制零件的高温气体氮化	49
过程的实质, 规范及设备	49
机车零件的气体氮化	44
V 渗碳工艺学的特殊問題	47
适用于渗碳的鋼	47
渗碳时的缺陷	47
渗碳零件的质量检查	50
不应当渗碳的零件表面的預防	51
VI 結論	52

附 录

1 机车零件高温气体氮化及随后热处理的规范	54
2 固体渗碳的技术指导	57
3 零件在II-35型井式爐中气体渗碳的技术指导	59
4 零件在II-35型井式爐中高温气体氮化的技术指导	60

序 言

在改善機車車輛利用方面，以及進一步增加機車的平均日車公里和檢修公里方面，具有重大意義的是在機務段及鐵路運輸工廠中廣泛地採用機車及車輛零件的表面強化法。鋼制零件最有效的表面強化法就是化學熱處理，首先是滲碳及氣體氰化。採用這些化學熱處理方法，就能保證機車車輛零件的使用期限大大地增加。

在技術科學副博士科托夫的這本書中，講述了被廣泛用在鐵路運輸中的普通質量碳鋼零件的合理的化學熱處理方法。在書中載有參考各機務段及機車修理工廠的先進經驗而制訂出來的機車車輛零件的固體滲碳、氣體滲碳及氣體氰化方面的一些工藝指導。

所講的這些化學熱處理方法，主要是在機車的一些零件上試驗過的，但這些方法也可以成功地用來強化內燃機車、電氣機車及車輛的所有經受摩擦的零件。

全蘇鐵道運輸科學研究院院長 伊萬諾夫 (И. А. Иванов)

材料及結構試驗室主任 沙波夫 (Н. П. Шапов)

1 零件表面强化的作用及方法

機車車輛彈簧裝置圓銷及銷套，以及制動裝置的某些零件，在使用過程中都是在受應力狀態的條件下工作的。由於扭力作用的結果，當零件表面上有各種糙度、凹穴、劃傷、細裂紋或其他能引起應力更大集中的缺陷時，應力在這些零件表面上的不均勻分布，往往會導致這些零件的過早損壞。

經驗證明，為了提高這些零件的強度及耐久性，採用各種化學熱處理的方法，來強化零件的表面層是合理的。例如，由於氣體滲碳、淬火及回火的結果，Ct. 5 號鋼的疲勞極限從 25.3 公斤/公厘²（在正火狀態下）增加到 66 公斤/公厘²，而這種鋼在氣體氮化以後的耐磨性，較淬火并回火後硬度為 44R_c 的鋼增加了 5~17 倍。

鋼制零件最通用的表面強化法是：

熱處理法 在使用這種方法時，只是將鋼制零件的表面層加以淬火：高頻率電流表面淬火及火焰表面淬火都屬於這種方法；

電解法 在使用這種方法時，是在鋼制零件的表面上，從電解質中淀積出某種比基體金屬更為硬的，從而顯著增加零件的耐磨性的元素（例如鉻）；

機械法 在使用這種方法時，是用滾子輾壓、噴珠硬化等等來達到表面層的強化的；

化學熱處理法 在使用這種方法時，是用滲入各種元素的方法，如碳——滲碳（增碳），氮——滲氮，碳及氮——氣體氮化鉻——滲鉻等等，來改變表面層的化學成分。

最近，採用了聯合表面強化法，例如，滲碳後再噴珠硬化；噴珠硬化後再電解滲鉻（多孔滲鉻或致密滲鉻）等等。

在待滲鉻的零件表面上淀積出一層電解鉻，而這種電解鉻具

有比基体金屬硬度高出数倍的硬度。因此，这种零件渗鉻以后，其表面能承受摩擦。摩擦零件在渗鉻以后的耐磨性增加了好几倍，因为渗鉻層，特别是多孔渗鉻層，具有非常高的耐磨性及良好的抗磨性能。

其他一些表面加工方法——高頻率电流表面淬火、火焰表面淬火——不仅能增加淬火層的硬度，也能提高表面層的强度。

当鋼制零件进行化学热处理时，表面層的化学成分發生变化。同时使零件具有一些可貴的性能。低碳鋼在渗碳时，其表面層增碳，所以在淬火以后变得很硬，具有相当大的强度、高的耐磨性及疲劳强度，但冲击韧性較小。当用其他元素，例如用鉻饱和时，使鋼制工件（零件）在鹼性介質及某些酸类中具有非常高的耐蝕性，也使它具有較高的耐磨性。

在上列的表面强化法中，铁路运输方面使用最广泛的就是固体渗碳。但是由于木炭（渗碳剂）的热傳导系数較小，需要很長的加热時間，所以使用这种方法时的劳动生产率不高。生产率比較高的方法就是气体渗碳，使用这种方法时，是用天然气体或高温分解气体，以及焦炭、苯、煤油及鉆子油作为渗碳剂。当气体渗碳时，可以控制碳在渗碳層中的含量。经过气体渗碳的鋼制零件，正如下面即将講到的那样，其机械性能将大大增高，而鋼的組織也将大大地改善。

气体渗碳今后的發展是高温气体氰化，其特征就是較气体渗碳时的劳动量要小，同时渗碳后鋼制零件的机械性能及疲劳强度都比較高。

在很多机务段，甚至在某些機車修理厂中，还在采用着效率低而又陈旧的表面强化法——用黃血盐[●]〔鉄氰化鉀[●]或“兰鉀”（Синекалий）〕渗碳。

上面所列举的每一种表面强化法，都具有本身的特点，当从

● 即亞鉄氰化鉀 ($K_3Fe(CN)_6$)，見后。——譯者

● 即赤血盐 ($K_3Fe(CN)_6$)。——譯者

这些方法中选择某种方法时，应当考虑这些特点。例如，低碳鋼不能进行高频淬火，因为由于低碳鋼的不可淬性，效果是不大的，相反，如将低碳鋼进行气体渗碳或高温气体氰化，就会在增加其耐磨性及提高其机械性能方面，得到較大的效果。

II 零件的渗碳

用黃血盐渗碳

用亞鉄氰化鉀 $[K_4Fe(CN)_6]$ 的渗碳如下：在任 何一种加热爐（火焰爐或电爐）中，用噴嘴火焰的鍛工爐口、用高頻率电流等等将零件加热到 $840\sim 900^{\circ}C$ ；然后在零件上撒布亞鉄氰化鉀粉末，亞鉄氰化鉀粉末即行熔化，这时，零件的表面層就被碳及氮所饱和。然后将零件重新加热，并在水中淬火。在采用这种渗碳方法时，扩散（渗碳）層的深度是数公忽到0.1公厘。

为了檢查渗碳層的質量，在莫斯科—庫爾斯克—頓巴斯鉄路的留布里諾机务段中，曾經用亞鉄氰化鉀对 Cr. 2号鋼及 Cr. 3号鋼試件进行了渗碳。試件用高頻率电流加热，然后撒布黃血盐，并在水中淬火。从圖1及圖2中可以看出，在所有的情况下，渗碳層的深度都小于0.1公厘。圖3所示，是一个与圖2中相同的試件的，但放大了500倍的显微組織。在試件的表面上，有一層薄的沒有被腐蝕的白色地帶，这証明了碳及氮的飽和是很高的。这一白色層很硬，但也很脆。当在洛氏硬度計上試驗时，用150公斤的荷重才将这層压陷。銼刀在这种表面上要打滑，而不能在它上面留下显著的痕迹。用亞鉄氰化鉀渗过碳的零件的使用情况証明，它的耐磨性很低。但是尽管它的效果很小，这个方法还是得到了广泛的推广。莫斯科站的很多机务段（索尔契罗沃奇納亞及里霍包雷两机务段除外），都采用这种方法。在莫斯科—庫爾斯克—頓巴斯鉄路的莫斯科客运机务段中，就是用亞鉄氰化鉀对連杆肘

銷、制動裝置傳動杠杆銷、彈簧裝置圓銷和十字頭圓銷、連杆肘銷套、彈簧吊杆墊板、大小彈簧吊杆銷以及其他零件進行滲碳的。在莫斯科—梁贊鐵路的莫斯科客運機務段及莫斯科基輔機務段中，也都是採用的這種滲碳方法。

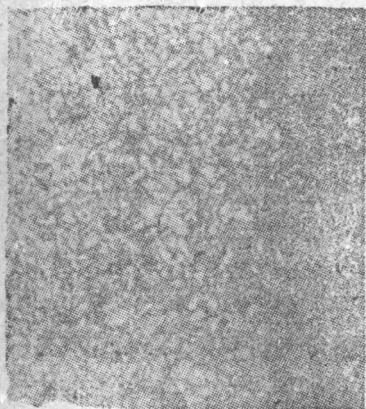


圖1 Ст. 2 號鋼在用亞鐵氰化鉀滲碳以後的顯微組織。×100

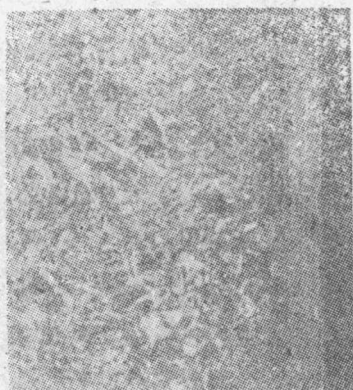


圖2 Ст. 3 號鋼的亞鐵氰化鉀滲碳層淬火後未回火時的顯微組織。×100

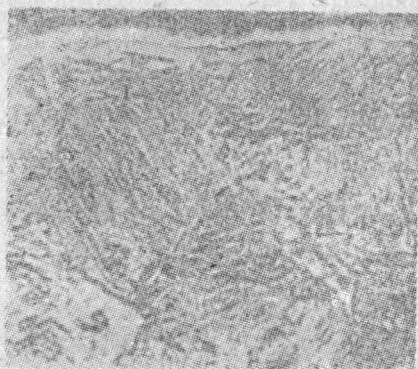


圖3 Ст. 3 號鋼的亞鐵氰化鉀滲碳層的顯微組織。×500

亞鐵氰化鉀滲碳能被广泛应用，是因为这种方法簡單，而且迅速。但是繼續用亞鐵氰化鉀滲碳是不合理的，因为这种滲碳方法几乎不能增加零件的耐磨性。

固体滲碳剂

固体滲碳，目前还是铁路运输中化学热处理的一种主要方法。在有些機車修理厂中，对零件表面層的强化，广泛地采用这种方法，这些零件的一覽表載于表1中。

表 1

機車类型	零 件 / 名 称	滲 碳 剂	滲碳層深度 (公厘)	洛氏硬度 R _C
ΦД和IC	斯維尔德洛夫斯克 機車修理厂			
	月牙板机构圓銷	90%木炭+10%碳酸鈉	1.2	59~62
	彈簧裝置圓銷		1.2	59~62
	機車制動裝置圓銷		1.2	59~62
	煤水車制動裝置圓銷		1.2	59~62
	彈簧吊杆擋鉄		1.2	59~62
	彈簧襯板		1.2	59~62
	連杆肘銷		1.6	59~62
	十字头圓銷		1.6	59~62
	月牙板滑塊		1.6	59~62
	均衡梁螺栓		1.2	59~62
	導輪轉向架搖鞍銷		1.2	59~62
	導輪轉向架搖鞍中心銷		1.2	59~62
月牙板机构及連杆机构的銷套	0.3~0.4		58~60	
機車及煤水車制動裝置板彈簧裝置銷套	0.3~0.4	58~60		
TE, TЛ, TIII, TЭ, TT, T6, 50-101, 94, TM	斯旦尼斯拉夫 機車修理厂			
	連杆肘銷	75~90% 木炭+25 ~10%碳 酸鈉	1~1.5	58~62
	十字头圓銷		1.2~1.5	58~62
	月牙板滑塊銷		1.0~1.5	58~62
	吊杆、拉杆及同動裝置圓銷		0.8~1.0	58~62

(續)

機車類型	零件名稱	滲碳劑	滲碳層深度 (公厘)	洛氏硬度 R_c
TE, TJ, TII, TЭ, TT, T6, 50-101, 94, TM	月牙板机构圓銷 彈簧裝置圓銷 制動吊杆銷 月牙板机构銷套 彈簧裝置銷套 制動吊杆銷套 II及III位連杆的圓柱形銷套 I及IV位連杆的圓錐形銷套 月牙板 月牙板滑塊 尾銷擋片 彈簧墊圈 彈簧襯板	75~90%木炭 +25~10%碳酸鈉	1.0~1.5 1.0~1.5 1.0~2.0 0.6~0.8 0.6~0.8 0.6~0.8 0.8~1.0 0.6~0.8 2.0 1.6~2.0 1.0~1.2 1.0~1.5 1.0~1.5	58~62 58~62 58~62 50~58 50~58 50~58 56~58 56~58 56~58 56~58 56~58 — 45~50
COЭ	普羅列塔爾斯克 機車修理廠 月牙板中部 月牙板机构圓銷 月牙板机构銷套 連杆肘銷套 連杆肘銷 制動裝置傳動杠杆銷 彈簧箍圓銷 彈簧墊圈	85%鑄造 用焦炭+ 15~20% 碳酸鈉	— — — 1.5~3.5 — — — — —	— — — 40~48 — — — — —
CO ^к	查坡洛什機車修理廠 CO ^к 型通風機轉子軸 通風機減速器齒輪(12XH3A 号 鋼) 十字頭圓銷 彈簧吊杆襯板 彈簧吊杆墊圈 月牙板机构銷套 連杆机构圓銷 月牙板机构圓銷 月牙板 鍋爐支座	70~75% 木炭+30 ~25%碳 酸鈉 75~70% 木屑+25 ~30%碳 酸鈉 75%木炭 +25%碳 酸鈉	0.7~1.0 1.0~1.4 1.0~1.5 — — — — — 1.6~2.4 —	— — — — — — — — — —

(續)

機車類型	零件名稱	渗碳剂	渗碳層深度 (公厘)	洛氏硬度 R_C
TO, O ^B , TY23, TB, TII3, OK-1-22, TЭТОБ., TB	利沃夫機車車輛修理廠			
	連杆圓銷	85~90%木炭+10~15%碳酸鈉	—	—
	十字頭圓銷		1.2~2.0	50~58
	連杆銷套		0.8~1.6	—
	月牙板机构銷套		0.8~1.6	—
	月牙板机构圓銷		0.8~1.6	—
	月牙板		0.8~1.6	—
	月牙板滑塊		1.6~2.4	—
	均衡梁圓銷		1.6~2.4	—
	彈簧吊杆銷		1.2~2.0	—
	均衡梁銷套		1.2~2.0	—
	彈簧墊圈		1.2~2.0	—
	彈簧及均衡梁的襯板		1.2~2.0	—
	傳動螺杆的杠杆銷		1.2~2.0	—
制動傳動裝置銷套	0.8~1.6		—	
重要螺栓的端部	0.8	—		
TЭ1, TЭ2	阿斯特拉罕斯克 內燃機車修理廠			
	均衡梁圓銷 (Ст. 3 号鋼; 20 及 12XH3A 号鋼),	半焦炭渗 碳剂 (外 購的)	保持14~ 18小时	50~60
	銷套		—	—
	牽引动力机的齒輪		—	—
电气機車	齐略賓斯克电气 機車修理廠			
	尺寸为124×74×5.3的成組彈簧 片的渗碳	80~85% 木炭+20 ~15%碳酸 鈉	0.3~0.8	35~55
	齒輪 $\begin{cases} D=230 \\ \Pi=100 \end{cases}$ (12XH3A 号鋼)	80~85% 木屑+20 ~15%碳酸 鈉	2.0~3.0	$H_B=228$ ~255

(續)

機車類型	零件名稱	滲碳劑	滲碳層深度 (公厘)	洛氏硬度 R_c
9及0 ^{II}	梯比里斯 機車車輛修理廠	液態牛 及炮 噴的品 產油石	1.2~1.6	54~58
	十字頭圓銷			
	連杆圓銷			
	月牙板圓銷			
	彈簧圓銷			
	連杆環			
	連杆銷套			
	月牙板銷套			
	彈簧襯板及墊圈			
	月牙板			
	均衡梁銷			
	均衡梁墊板			
	月牙板滑塊			
CO	波勒塔夫及第涅伯彼 特羅斯克機車修理廠	75~70% 向日葵子 外殼及25 ~30%碳 酸鈉	1.2~2.0	58~62
	整個月牙板系統			
	月牙板滑塊			
	連杆、十字頭及彈簧圓銷			
	銷套、環、襯板			

滲碳後的零件質量，在很大程度上與其下一步的熱處理規範有關，特別是那些用合金鋼制成的零件，因為這時在表面滲碳層中形成最後的金屬組織；而零件的機械性能及使用期限，主要地是由表面滲碳層的金屬組織所決定的。但是滲碳劑的成分也有重大的影響。

固體滲碳劑必須具備：а)析出足夠數量的碳原子，而使鋼迅速增碳的能力；б)較高的導熱性；в)較小的收縮；г)足夠的強度；除此而外，在固體滲碳劑中，不應當有硫、磷及其他有害雜質。所採用的滲碳劑在成分上是各種各樣的，而名稱也非常繁多。

最通用的渗碳剂是木炭及催渗剂——碳酸钡、碳酸钠及其他碳酸盐的混合物。

苏联工业按照 ГОСТ 2407-51 出产的渗碳剂，被认为是一种最通用的固体渗碳剂，其成分的百分比如下：

	1 級	2 級
水分.....	5	5
碳酸钡.....	20~25	20~25
碳酸钙.....	3.5	5.0
普通硫●.....	0.06	0.1
二氧化硅.....	0.5	1.5
揮發物.....	10	10
雜質.....	1.5	2.0
顆粒尺寸为 3~8 公厘的木炭.....	余 數	

这种渗碳剂的优点，就是木炭以一層碳酸盐的薄膜被复。这种渗碳剂是化学工业部出产的，并以邦裘日渗碳剂（Бондюжский кабыризатор）著称。除了这种渗碳剂以外，还出产了一种半焦炭渗碳剂（ГОСТ 5535-50），这种渗碳剂虽然不如邦裘日渗碳剂，但在使用它时所得到的效果，还是接近邦裘日渗碳剂的。

渗碳时渗碳剂是要消耗的。因此，要将以前用过的渗碳剂筛分一下，再补充 20~25% 的新渗碳剂。附加碳酸钡的渗碳剂，要比含有碳酸钠的渗碳剂消耗得少。

例如向日葵子的外壳、木屑这类渗碳剂，只能使用一次，然后这些渗碳剂几乎要完全丢掉。同时，渗碳后零件的淬火，是在渗碳加热以后直接进行的。

从表 1 的资料中可看出，在一些机車修理厂中所使用的渗碳剂，不論是成分或是它的渗碳能力，都是多种多样的。斯坦尼斯拉夫、梯比里斯及查坡洛什工厂的渗碳剂，应当列为强作用力的渗碳剂。这些工厂的渗碳剂成分上的特点，就是碳酸盐的含量

大。波勒塔夫工厂的渗碳剂，以及含有10~15%碳酸盐的木炭混合物，应当列为中等作用力的渗碳剂。由木屑及碳酸钠混合物制成的渗碳剂（齐略宾斯克电气机车修理厂及查坡洛什等工厂的），应当列为作用力弱的渗碳剂。采用向日葵子的外壳及木屑作为渗碳剂，不仅是因为经济，而且还因为它没有那种在用木炭工作时所产生的灰塵及污物，而改善了劳动条件。除此而外，零件在这种渗碳剂中渗碳以后也比较干净。有些工作人员认为这种渗碳剂的缺点，就是渗碳速度较其他混合物为小，同时收缩较大，而当收缩时，零件的表面就要裸露出来。

为了弄清向日葵子外壳的渗碳能力，我们曾经进行了下列试验。将Ст. 3号鋼試件放入由81%向日葵子外壳及19%碳酸钠（ Na_2CO_3 ）混合物组成的渗碳剂中。渗碳是在930°C时进行的。在加热爐中同时放入四个套筒：第一个套筒装有被封在含有10%碳酸钠的邦裘日渗碳剂中的試件；第二个套筒装有含20%木炭的邦裘日渗碳剂；第三及第四个套筒则装有上述比例的向日葵子外

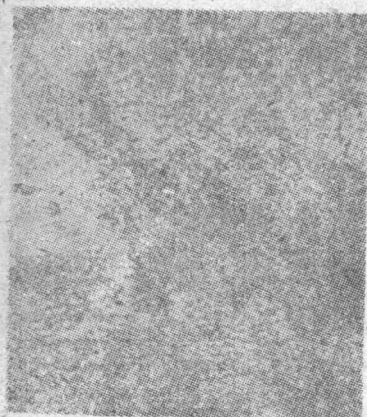


圖4 Ст. 2号鋼在由81%向日葵子外壳及19%碳酸钠組成的渗碳剂中保持8小时渗碳以后的渗碳層組織。×500



圖5 Ст. 2号鋼在保持3小时渗碳以后的渗碳層組織。×500

壳及碳酸鈉的混合物。第一、第二及第四这三个套筒，当温度为 930°C 时，在加热爐中保持8个小时，而第三个套筒則保持3个小时。显微組織的研究証明，渗碳層的碳飽和呈共析状，但第一个特殊处理的套筒除外，在第一个套筒中具有深度为 $0.3\sim 0.4$ 公厘的渗碳体網状組織。在向日葵子外壳中渗碳时的渗碳層深度，在保持3小时的情况为 0.8 公厘，在保持8小时的情况为 1.5 公厘。在邦裘日渗碳剂中保持8小时，渗碳層的深度为 1.4 公厘。从圖4及圖5所示的显微組織中可看出，当在含有19%碳酸鈉的向日葵子外壳中渗碳时，表面層碳的飽和，無論是深度或是組織都是令人滿意的，它同在邦裘日渗碳剂中的渗碳層沒有区别。渗碳層中沒有鉄素体，而在組織中也沒有游离渗碳体，这就証明了渗碳層是被碳所共析飽和的。

試件的热处理証明，試件在水中淬火以后的硬度范围为 $62\sim 66\text{Rc}$ 。可見，当在添加碳酸鈉的向日葵子外壳中渗碳时，所得到渗碳層的硬度、深度及显微組織都是最好的，因而，这种渗碳剂在南方地区可以推荐作为木炭的代用品。在中央科学研究所(ЦНИИ)中所进行的一些試驗，以及很多机务段及機車車輛修理厂的工作实践，都沒有証实在向日葵子外壳及碳酸鈉混合物中的渗碳速度比較小的这种推测。

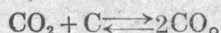
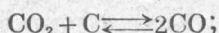
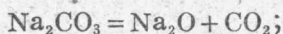
渗碳过程的化学反应 当鋼与渗碳剂接触时沒有空气(气相)存在，实际上鋼是不可能被固体碳所增碳的。試驗証明，在純氮介質中，不会發生渗碳。現在一致認為，渗碳只能經過气相来实现。在装有木炭的箱子中有空气；空气中的氧和碳反应后产生气相——二氧化碳(CO_2)。当温度增高时，就按 $\text{C} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}$ 的方式生成一氧化碳。这个反应随着温度的增高，要按下面的式子进行，所以当其与鋼制零件的表面層接触时，一氧化碳即行分解：



而析出原子碳 $\text{C}_{\text{鋼}}$ ，这个原子碳就被鋼制零件的表面層所吸收。这

个反应是可逆的，并与温度及压力有关。

但是在所采取的温度下用纯木炭渗碳时，碳的饱和过程进行得较慢。因此，要在木炭中加入催渗剂：碳酸钠 (Na_2CO_3)、碳酸钡 (BaCO_3) 或其他碳酸盐。从这些盐类中产生渗碳气体（一氧化碳）是按下列反应进行的：



按照普拉夫斯基 (Г. Ф. Пулавский) 的资料，催渗剂添加到 4 % 以上时，就已经不再增加渗碳层的深度了。因此，按普拉夫斯基的意见，加入大量的催渗剂是没有根据的。但是大部分工厂都采用比例为 15~20 % 碳酸钠及 85~80 % 木炭的渗碳剂。

在固体渗碳剂中渗碳用的设备，无论是对于渗碳过程进行的速度，或是对于渗碳零件的质量都有很大的影响。设备必须符合下述基本要求：保证连续的温度检查，并将温度保持在一定的范围内。一些机车修理厂（哈尔科夫、罗斯托夫、第涅伯罗彼得罗夫斯克、波勒塔夫等等）的调查证明，在

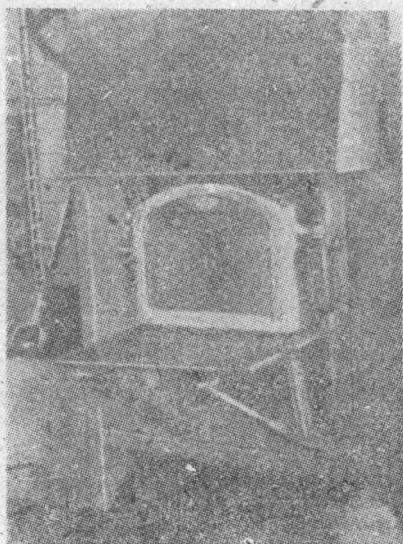


圖 6 H-30 型电爐。

这些工厂以及很多其他工厂中，为了渗碳都装置了燃烧固体燃料的爐子（煤炭加热），控制这种爐子的温度是困难的，因此，也就不可能保证零件渗碳后的高质量。在某些机车修理厂（利沃夫、