

金属学与热处理手册

第五分册

表面处理

冶金工业出版社

73

金屬学与热处理手册

第五分册 表面处理

H. T. 古德佐夫

M. Л. 別伦施捷茵 主編

A. Г. 拉赫施迪特

北京編譯社 譯 吳兵 校

冶金工业出版社

金屬学与热处理手册
第五分册 表面处理

北京編譯社 譯

— * —

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

中央民族印刷厂印刷

新华書店发行

— * —

1959年8月第一版

1959年8月北京第一次印刷

印数 7,010册

開本850×1163·1/32·150,000 字·印張6— $\frac{14}{32}$ ·

— * —

統一書号 15032·1722 定价 0.82 元

DT64/23
本書內容包括金屬與合金的研究試驗方法、鋼的結構和現代的狀態圖。根據各國最近的科學成就敘述鋼的熱處理，其中包括熱處理方法的分類、加熱與冷卻時的轉變、等溫轉變等。對蘇聯工廠廣泛採用的熱處理和表面化學熱處理分別作了研究。

書中列舉了各種鋼特別是合金鋼的詳細特性數據。用了較多的篇幅介紹現代機械製造工業部門必需的具有特殊物理性能和化學性能的鋼與合金。闡述了熱處理的設備和工藝。詳細論述採用成套設備及建立流水作業線時使用的進步處理方法。

本書適合冶金和機械製造廠、實驗室、科學研究機關的工程技術人員和高等學校學生閱讀。

全書分十一篇，約有 126 万字，是由幾個單位共同翻譯的。由於篇幅較大，而且譯者脫稿時間先後不一，不能同時合訂出版。為了及時滿足廣大讀者需要，本書中文譯本分十一冊出版。各分冊內容如下。

第一分冊——試驗與研究方法

第二分冊——鋼的結構

第三分冊——鋼的熱處理

第四分冊——半制品的結構、性能和熱處理

第五分冊——表面處理

第六分冊——建築鋼

第七分冊——機械製造鋼

第八分冊——工具鋼

第九分冊——特殊鋼與特殊合金

第十分冊——鑄鐵的成分與性能

第十一分冊——熱處理車間的設計原理與典型設備

第五分册目录

第五篇 表面处理

第32章	鋼的高頻电流加热表面淬火法	1
1.	感应加热时的相变	3
2.	鋼感应加热的热参数	6
3.	高频淬火的加热规范对于鋼的組織和硬度的影响	12
4.	高频淬火对于鋼的机械性能的影响	20
	靜力弯曲	20
	抗扭强度	21
5.	处理渗碳制件时感应淬火法的应用	26
6.	用高频电流加热淬火的制件	27
7.	在工厂条件下感应淬火法的掌握	31
第33章	鋼用气体火焰加热的表面淬火法	34
1.	方法的說明和使用范围	34
2.	淬火的方法。設備	34
3.	工艺规范	47
4.	产品質量和技术經濟指标	52
第34章	噴鉄砂处理	54
1.	操作要点。应用范围	54
2.	操作的設備和材料	55
3.	操作工艺。技术检查	56
4.	噴鉄砂处理对于鋼的組織和性能的影响	62
第35章	化学热处理	76
1.	扩散过程的一般规律〔1—3〕	76
2.	扩散层的組織	78
3.	固体金屬內扩散过程的数学解釋	81
4.	鋼的渗碳	86
	溫度、操作時間和鋼的成分对渗碳結果的影响	87
	渗碳用鋼	91
	鋼在固体渗碳剂中的渗碳	96
	鋼的气体渗碳	102

鋼在液体介質中的滲碳	110
气体滲碳和固体滲碳后的热处理	111
滲碳鋼的組織和性能	116
5. 滲氮	124
抗蝕滲氮	125
为增强合金鋼的表面而进行的滲氮处理	132
6. 鋼的氰化	145
机器制造用鋼的氰化。液体氰化	147
氰化槽的消毒	155
气体氰化〔52—55〕	155
机器制造用氰化鋼的組織和性能	157
高速鋼和高鉻工具鋼的低溫氰化	158
7. 滲鋁，滲鉻和滲硅	163
第36章 金屬鍍层	177
1. 鍍层的工艺規程	178
2. 表面的机械准备方法	180
3. 表面的化学准备	184
4. 鍍层的种类	189
鍍鋅	189
鍍鎳	193
鍍銅	193
鍍銀	195
鍍鉻	195
鍍錫	198
黑色金屬的化学鍍层	199

第 五 篇

表 面 处 理

第 32 章 鋼的高頻电流加热表面淬火法

热处理时使用感应加热法可以加强工艺操作，改进产品质量，大大减低制件的加工費用，并能根本改善劳动条件。发现感应淬火法的光荣应归于苏联科学家沃洛格金(В.П.Вологдин)。

高頻表面淬火法的所有主要优点，归根到底是由于能够以高速进行加热所决定的，而其所以能高速加热，则是高頻电流沿制件截面分布的特性所决定的。

大家知道，高頻电流和一切交流电一样，在沿导体流动时主要集中于表面层上。鋼件上所感应的电流大部分(85%)集中于 δ 深度：

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

式中 ρ ——該种鋼的电阻系数；

μ ——导磁率；

f ——电流頻率。

导磁率和电阻系数在居里点和淬火溫度之間的溫度范围内是完全固定的(随溫度而發生的变化很小)。因此，电流透入加热鋼內的深度(“热透入深度”)首先就决定于电流的頻率。电流透入热的鋼和冷的鋼內的深度如表 1 所示。

为了达到尽可能最大的加热速度，必須选择电流的頻率使热透入深度等于或非常接近于淬火层的厚度；而淬火层的厚度是考虑了該制件使用上的要求而规定的。

由此可见，正确地选择所用的电流頻率，乃是决定表面淬火

制件质量的首要因素。正确选用电流的频率也就是解决使用某种类型发电机的合理性问题。

表 1

电流频率和电流透入钢内（45号钢）深度的关系

电 流 频 率 (赫芝)	电 流 透 入 钢 内 深 度 (温 度 $t=800^{\circ}\text{C}$ 时) (公厘)	
	冷 的 钢	热 的 钢
10^8	0.002	0.065
10^6	0.02	0.65
10^5	0.07	2.1
10^4	0.2	6.5
2×10^3	0.5	14.5
0.5×10^2	2.4	91.4

如果淬火的深度必须在2公厘以下,那末,用频率非常高(约100000赫芝)的电流进行感应加热最为合理,这种高频电流通常是用电子管振荡器产生的。

如果根据制件的使用条件,要求淬火深度达6—7公厘时,那就必须使用由机械发电机所发出的频率约为10,000赫芝的电流。

第二个重要问题是选择淬火方法——加热和冷却的方法。

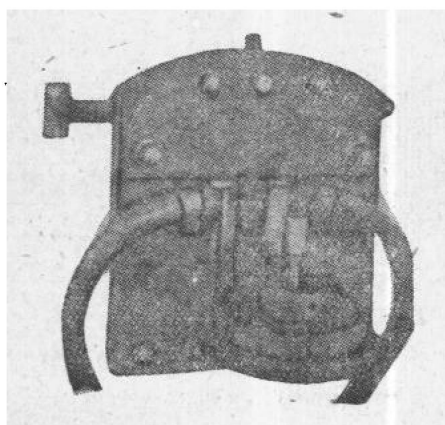


图 1 一次高频淬火时淬火部件的全貌

目前最通用的有三种主要的感应淬火方法。

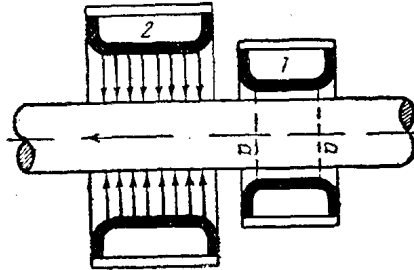
1. 一次淬火法 (图 1) 将所要处理的整个表面同时加热,

随后把它急剧冷却。这种方法最适宜于处理盘形制件——扁平齿轮、圆盘铣刀等等，通常要求使用功率大的发电机。

2. 連續順序淬火法(图 2)，只加热一小部分的表面；随着制件由上往下移动，使其表面順序加热。冷却时和加热时一样，也就是随着制件表面一部分一部分地順序加热后就順序——冷却。

图 2 連續順序淬火法的示意图

1—感应器；2—喷射器



这种方法在处理表面大的制件时最为合适；使用这种方法时，可以利用功率不大的发电机。决定加热表面大小的感应器高度，是根据发电机的功率选定的。

3. 用直通电流法淬火(图 3)；加热是在电流直接通过零件的情况下进行的。外形复杂的零件(螺絲板、燕尾槽等等)或直径很小的孔(拉綫模、阴模等)，淬火时可以使用这种方法。

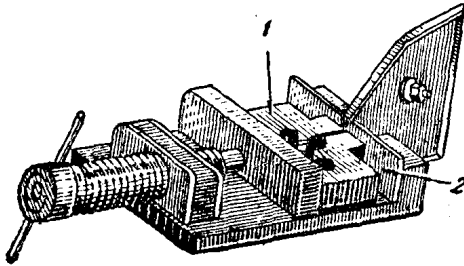


图 3 用直通电流法淬火的装置

1—加热的制件；2—感应器

1. 感应加热时的相变

感应加热时，相变的主要特点如下：

1. 相当于电流透入深度的整个加热层，实际上是同时发生相变的，因为到淬火的时候这整个加热层的温度，接近完全相等。图4是截面上温度分布的示意图。

这样的温度场可以产生许多重要的优点：

- a) 减少（但不是消除）过热的危险；
- 6) 在整个淬火层内建立几乎相同的组织，因而也就相应地获得相同的性能。

2. 相变的动力学决定于一系列的扩散过程，在高速加热时相变就转移到更高的温度区间（参看图5的示意图）。

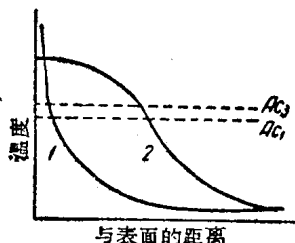


图4 淬火时截面上温度的变化

1—用氢气-乙炔火焰加热；2—感应电热

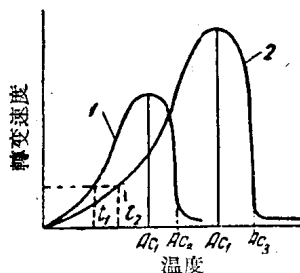


图5 加热时的相变示意图

1—普通淬火；2—高频淬火

在快速感应加热的情况下，转变速度非常小的第一阶段在温度 (t_2) 高于缓慢炉热的温度 (t_1) 时结束。转变的进一步发展（速度已较第一阶段快）也以在感应加热的情况下进行的温度较高。由于这个原因，高频淬火是在加热到比普通炉子加热时更高的温度下进行的。在 A_{c3} （按平衡图）以上的转变程度是与加热速度有着直接的关系。根据 X-射线照像测定淬火钢（含碳 0.75%）马氏体内含碳量的结果，可作为这些情况的实验证明。如果说在加热到 780° 进行普通淬火后奥氏体中的碳便完全溶解，那末在加热速度 $120^\circ\text{C}/\text{秒}$ 的高频淬火时，只有加热至 920° 才能使碳得到完全溶解（表 2）。

3. 珠光体-奥氏体转变不是在一个不变的温度 A_{c1} 发生的，而是发生于某个温度范围内，加热的速度越大，发生珠光体-奥氏体转变的温度范围就越大。而且转变是在温度略高于 A_{c1} 时

开始，这时已为奥氏体晶核的产生和稳定存在创造了足够的条件。

表 2

含碳 0.75 % 的鋼感应淬火时，碳在奥氏体中的溶解程度与
淬火温度的关系；加热速度 120°C/秒

淬 火 温 度 (°C)	淬火后馬氏体中碳的含量 (%)	溶解的完全程度 (%)
720	0.29	38
760	0.34	45
840	0.52	69
880	0.64	85
920	0.75	100
960	0.75	100
1000	0.75	100

4. 如果說緩慢加热时，輸入的热量等于或仅稍大于珠光体-奥氏体轉变时吸热反应所需的热量（加热曲綫上的“平台”），那末在感应加热（内部热源）时，把供应的热量增加到大大超过珠光体-奥氏体轉变时吸热反应所需的热量是没有原則性的困难的。供应的热量超过轉变所需热量的多余部分，則用于迅速提高被加热金屬的温度。

5. 在普通緩慢加热时，珠光体-奥氏体的轉变在鉄素体轉变为奥氏体之前就告結束。鉄素体-奥氏体的轉变是在碳不断扩散的条件下进行的；轉变結果而形成的奥氏体含碳多于原来的鉄素体。奥氏体量的增加决定于碳在鉄素体-奥氏体交界上的扩散速度。

在快速感应加热时所供給的热量是很大的，超过珠光体形成奥氏体所需的热量几十倍以上，而且其中大部分热量用于提高温度，因此在珠光体未来得及轉变为奥氏体之前，金屬就可能已加热到同質異形轉变的温度（ $t=910^{\circ}$ ）。在这种情况下，同質異形轉变将在珠光体区域尚未完全轉变成奥氏体之前先行結束。

在加热速度超过碳的扩散过程的条件下，由于温度迅速提

高，可能使鉄素体轉变为低碳奥氏体。

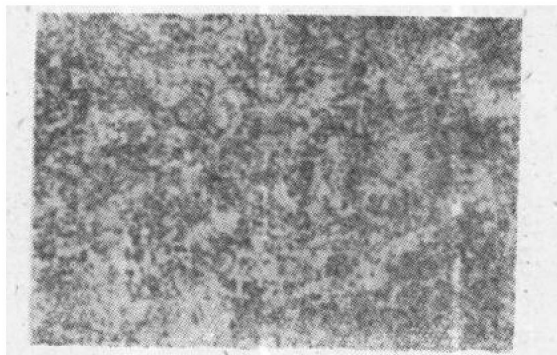


图 6 Y8 鋼由 930° 淬水后所得的組織，加热速度 $1950^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 。照片是从經电解腐蝕的磨片上摄取的。 $\times 500$

图 6 是以 $1950^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 速度加热到 930°C 水淬后的 Y8 鋼的显微組織；珠光体内的渗碳体仍保留片状性質。这一点說明了当加热速度很高的情况下，甚至在 $t = 930^{\circ}$ 时珠光体区域轉变为奥氏体的过程尚未結束。

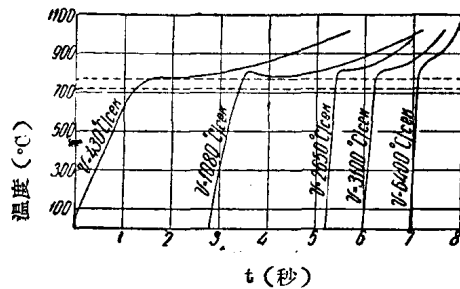
由此可见，感应加热时相变的第五个特点是：珠光体-奥氏体轉变的終了溫度可能移至超过自由鉄素体同質異形轉变的溫度。

2. 鋼感应加热的熱参数

图 7 是利用示波器記載过程的方法所得出的加热曲綫。在表面层失去鉄磁性后，表面层的加热大大减緩，这是由于电流的重新分布和制件各个截面上的溫度梯度产生相应的变化而造成的。随着这种变化而发生的热量向内层的急速迁移，不仅仅可能使表面层溫度停止上升，甚至也可能使表面层受到某些程度冷却。按照图 8 所列的示意图，加热的动力学可以随制件的形状和尺寸、鋼的成分和原始組織的性質而发生变化。加热动力学的区别决定相变进行的各种条件。但如果为了实践的目的，容許有一定程度的誤差，則把室溫到淬火溫度的整个加热过程分为二个基

本不同的阶段就够了：1) 由室温到居里点；2) 由居里点到淬火温度（图9）。

图7 35号钢的加热
曲线，试样 $d=12$ 公厘



根据感应加热时发电机和加热装置的类型，加热速度在居里点以下的温度区间内和在居里点以上的温度区间内（图9的曲线1和2）有很大的区别。因此，在相同时间内加热到相同温度时，通过发生形成奥氏体主要过程的温度区间的時間是不相同的。根据这个原因，不应当采用一个总的時間（相应地也不应当采用平均加热速度）作为感应加热的客观参数。

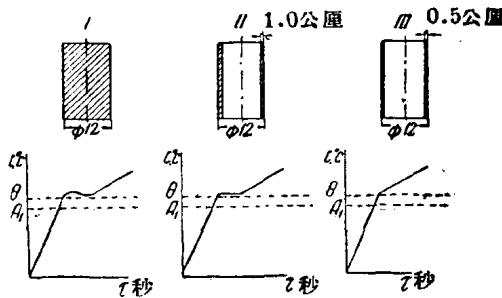


图8 感应加热动力学的几种形式（随热量向试样内层迁移的变化而定）

I—实心试样的加热；II—壁厚1公厘管子（在本例子中）的加热；III—壁厚0.5公厘管子（在本例子中）的加热

钢感应加热的客观参数是：淬火温度和相变区内的加热速度。

一次加热时淬火温度是用光电高温计测定，連續順序淬火时淬火温度則用灯絲隱灭式光学高温计测定（如图10所示）。熾热

灯絲是預先調整到要进行淬火的溫度，在加热过程中使制件加热部位的顏色达到和熾热灯絲的顏色一致。

为了計算在某个溫度区間內的加热速度，就必须有加热曲綫，这种曲綫或用示波法得出（见图 7），或简单地根据加热到规定溫度所必需的时间作出。无论用哪一种方法，所得出来的曲綫都能說明各該具体条件（給定的鋼的成分、制件的类型、具体的感应器和具体的发电机）下加热过程的进展。

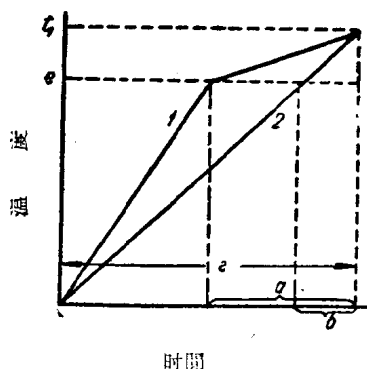


图 9 溫度随时间的变化性質与单位功率的关系（示意图）

1—在居里点以上大大減緩速度的加热； 2—在居里点溫度以上不減緩速度的加热

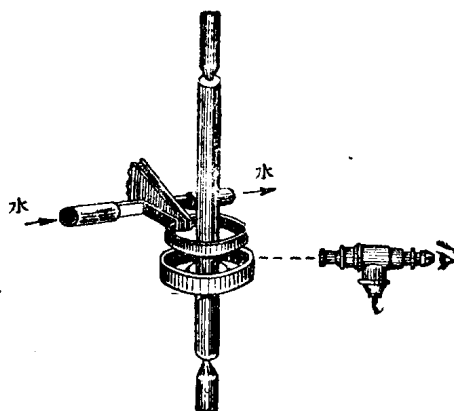


图 10 利用光学高溫計測量高频加热的溫度

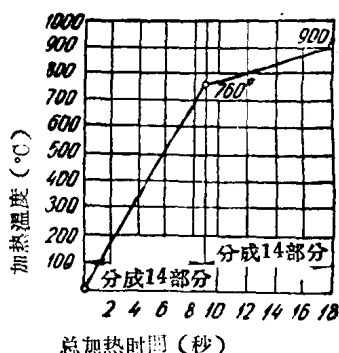
我們来研究一下图 11 上簡化的典型曲綫所用的計算加热速度的方法。在該情況下，第二个溫度区間到 900°C 为止（由居里点开始），該溫度区間所需的加热时间与由室溫到居里点（ 760°C ）的溫度区間所需時間相同。

将 760° 到 900° 的溫度区間分成 14 个部分，每个部分相当于 10° 。同样将通过上述溫度区間所需的时间也分成 14 个部分。

因为由室溫加热到 760° 的时间同样是这么长，那末在这种情况下也应当将它分成 14 个部分。两个溫度区間的时间单元是相同的，但溫度单元各不相同。在上面的溫度区間，溫度单元为

10°。在下面的溫度區間（对本例來說）溫度單元則等于 $\frac{760-20}{14}$
 $= 53^\circ$ 。

图 11 含碳 0.57% 和含路
2% 的鋼，在用 ПЗ—46 电子
管振荡器和单圈感应器加热
时的感应加热曲线



我們再用具体的例子來說明下一步的計算过程。

假設制件的长度 $L=210$ 公厘，在高度 $h=10$ 公厘的感应器
內加热时經過 18.5 秒鐘达到 970° 溫度，試求出加热的速度。

計算时我們建議采用以下的公式：

$$v_{\bullet} = \frac{(t_{\text{зак}} - \Theta) (L - l)}{(B_t - B_{\Theta}) h}。$$

已知值： $t_{\text{зак}}$ ——淬火溫度； Θ ——居里点； B_t ——达到淬
火溫度时的总加热時間。

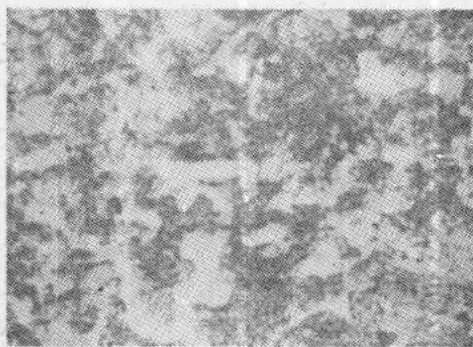
未知值： $v_{\bullet}$ ——在相变范 围內加 热的速度； B_{Θ} ——加热到
居里点所耗的时间單元。

我們是这样求出 $B_t - B_{\Theta}$ 之差的： 加热到居里点所耗的时间
共为 14 个部分： 由居里点加热到 970° 所耗的时间为 21 个部分

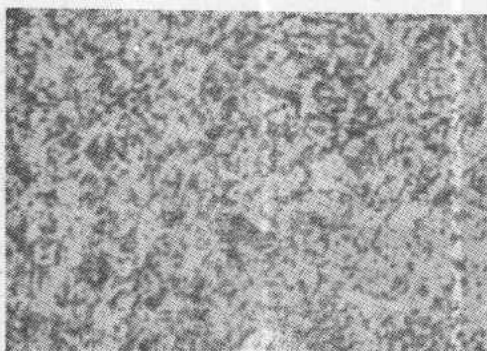
（按照每一部分相当溫度 10° 时所得的数： $\frac{970-760}{10} = 21$ ）。

因此，达到 $t=970^\circ$ 时需要耗費 $21+16=37$ 个相等 時間 单
元。

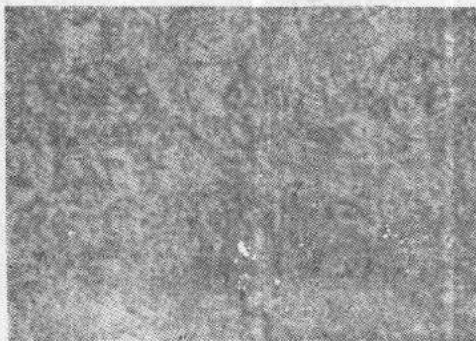
那末，总時間（18.5秒）是 37 个部分，而 $B_t - B_{\Theta}$ 之差（x秒）
是 21 个部分。



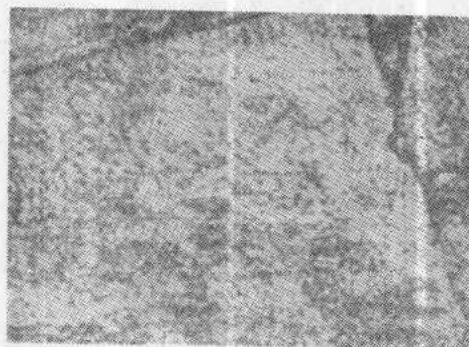
a



b



c



δ

图 12 高频淬火的温度对于 50 号钢组织的影响。×500

a—原始组织；b—在加热速度380~400°C/秒时，
由 $t=860^{\circ}$ 温度高频淬火后钢的组织；в—同上，
由 $t=940^{\circ}$ 温度高频淬火后钢的组织；г—同上，
由 $t=1100^{\circ}$ 温度高频淬火后钢的组织；д—同上，
由 $t=1320^{\circ}$ 温度高频淬火后钢的组织