

渗碳淬火 实用技术

〔日〕内藤武志 著

机械工业出版社

渗碳淬火实用技术

〔日〕内 藤武志著
陈祝同 刘惠臣 译
樊东黎 赵国泰 校



机械工业出版社

本书主要包括渗碳操作、渗碳钢的热处理、渗碳钢的热处理设计、渗碳钢的检查等内容,比较系统地介绍了渗碳热处理技术的理论和方法,并把重点放在用理论指导实际生产方面,同时对影响质量的种种因素作了详细的分析,提出了提高和控制质量的措施。

本书可供从事金属热处理工作的技术人员和工人阅读,也可供产品设计人员和有关专业的师生参考。

浸炭焼入れの実際

著 者 内藤武志

昭和54年8月30日初版発行

◆ ◆ ◆

渗碳淬火实用技术

〔日〕内藤武志 著

陈祝同 刘惠臣 译

樊东黎 赵国泰 校

◆

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

◆

开本 787×1092 1/32·印张 8 1/2·插页12·字数 199 千字

1985年3月北京第一版·1985年3月北京第一次印刷

印数 00,001—10,400 定价 1.75 元

◆

统一书号: 15033·5665

推 荐 序 言

目前，世界钢铁年产量已高达约七亿吨，单是我国就达到一亿吨。钢铁生产约占金属总产量的百分之九十五以上，促成钢铁如此大量生产和利用的原因，在于地壳内的资源丰富、冶炼容易，同时也由于钢本质坚韧且其性能能在相当广的范围内变化这一特点。

钢的渗碳热处理是通过使本来坚韧的钢的表面强化，显著改善钢制零件的耐磨性和耐久性等，并使作为原料的钢的性能提高百分之一百乃至百分之二百，同时成为支持以汽车和工程机械为代表的各种机械工业发展的重要材料技术。

渗碳这一技术的历史是悠久的，但是在我国象今天这样广泛普及，起着重要作用的关键，主要是起于第二次世界大战后从美国引进了气体渗碳技术。在这以后的大约三十年里取得技术上的迅速发展。在专业书籍和技术杂志中也看到很多讲解渗碳技术的内容和文章。但是，在这些著作和文献中，没有看到类似这样的书，即，使渗碳热处理技术的理论和实际操作全面体系化，对质量、产量以及成本这一工厂生产的最重要的问题作详细解释，就这一点来说本书的确是独特的，可以说是对生产现场真正有用的技术书。

作者内藤武志博士从岩手大学金属学系毕业后，在东京工业大学已故岡本正三教授的研究室与我同事了四年，1963年进入小松制作所工作。开始时分配在栗津工厂热处理现场工作，特别值得提到的是他在从事渗碳热处理的实际业务的同时热心于改进现场技术，依据新的构思制出了露点仪，并提

出了利用直读式发光分光分析装置，正确地测定渗层碳浓度分布的方法等方案。以后转入技术研究所工作，在改进渗碳件质量，特别是在促进快速热处理的研究和实用化等方面取得优异成绩，1972年由于“关于利用渗碳材料的快速加热淬火处理改善材质的研究”在东京工业大学取得工学博士学位。

本书是由既是优秀的研究人员又是技术人员的内藤博士，把理论和实际结合得象性能良好的齿轮严密啮合那样紧密的技术书籍。对于这样的专业书来说，由于存在专有技术 (Know-how) 的问题，对最先进的技术进行解说是比较困难的，而本书敢于对其进行解说，同时提出为将来发展打基础的简明理论和基本观点，因此是一本绝好的技术书。

在向著者致以衷心的赞词的同时，向允许本书公开出版的小松制作所的各方致以敬意，并在此作广泛推荐。

东京工业大学教授 工学博士

田中良平

1979年8月

序 言

随着科学技术的迅速发展，所有的工业都依靠新式设备和优秀的传统技术，在产品质量、产量和成本方面确立了良好的生产体制。另外，进入经济稳定增长时代，正在强力地推进省力化，机械设备本身明显地向自动化、高速化和大型化发展。因此，强烈要求机械要素的各个构件，能充分承受比以往更加苛刻的条件，又要具有高度的可靠性。

使钢强化，并且提高其各种性能可靠性的方法颇多。其中利用渗碳淬火使钢强化的方法，现在已广泛应用于各个工业领域，起着重要的作用。但是，当前的实际情况是各厂家都有独自の专有技术，就渗碳工艺来说，为了用适当的费用获得最稳定的质量，应怎样进行操作这一问题，就是例子。

可是，本书不是以向读者传授什么这一意图编写的，而是以和读者在同一行业进行工作时“自己想要了解这些情况”的心意，叙述了渗碳淬火的原理和实际作业的关系，并把重点放在从理论上保证实际操作方法方面。另外还涉及到了设计人员选择材料，以及根据热处理确定的材料性能要求进行所谓热处理工艺设计的论述和实例。

但是，在理论上没有解释清楚的问题和技术上没有确立的问题一定不少。因此，会有道理不充分的地方。今后，有待于从事研究的各位把存在的问题解释清楚。

本书如果能对活跃在本行业的技术人员和向这方面前进的各位学生多少有些帮助的话，则是作者的衷心喜悦。

向允许本书出版的小松制作所致以深厚的谢意。本书的许多资料是通过该制作所的多数有关人员的协助而得到的，在此向各位有关人员致以衷心感谢。

在撰写本书时从国内外许多文献中引用了图和表。在此，对这些作者表示深切的敬意和谢意。

向给本书写了过奖的推荐序言的东京工业大学教授田中良平先生致以谢意。

在本书出版之际对日刊工业新闻社各位的不辞辛苦，一并致以谢意。

作 者

1979年9月

目 录

1. 渗碳操作.....	1
1.1 渗碳表面硬化法	1
1.1.1 作为表面硬化法的渗碳处理	1
1.1.2 渗碳的历史	2
1.1.3 渗碳的种类和特点	2
1.2 气氛发生炉	6
1.2.1 气氛发生炉	6
1.2.2 原料气	6
1.2.3 气氛发生炉的结构	7
1.2.4 运载气体的制法	10
1.2.5 发生炉的气体反应	11
1.2.6 发生炉气体的性质	13
1.2.7 发生炉可控气氛的自动调节	23
1.3 周期作业气体渗碳	29
1.3.1 周期作业气体渗碳炉的种类	29
1.3.2 渗碳炉内的反应	30
1.3.3 碳的扩散	32
1.3.4 周期作业渗碳炉的操作方法	37
1.3.5 碳浓度分布和渗碳扩散时间	49
1.3.6 扩散气氛对碳浓度分布的影响	54
1.3.7 最佳渗碳时间和扩散时间	57
1.3.8 表面碳量的变动	62
1.3.9 其他主要原因	64
1.3.10 扩散处理后碳浓度的变化	68

1.3.11 防止变动的措施.....	70
1.3.12 周期作业炉的自动气氛控制.....	70
1.3.13 确定最佳渗碳条件的方法.....	74
1.4 连续作业气体渗碳炉.....	77
1.4.1 概要.....	77
1.4.2 连续作业气体渗碳炉的结构.....	77
1.4.3 连续作业气体渗碳炉的规格.....	80
1.4.4 操作实例.....	83
1.4.5 质量方面的注意事项.....	85
1.5 滴注式渗碳.....	91
1.5.1 背景.....	91
1.5.2 滴注式渗碳炉.....	91
1.5.3 滴注式炉的结构.....	92
1.5.4 使用的气体.....	93
1.5.5 渗碳反应和碳势.....	94
1.5.6 气氛控制.....	96
1.5.7 操作实例.....	98
1.5.8 操作上的注意事项.....	102
1.6 真空渗碳.....	103
1.6.1 真空渗碳的沿革.....	103
1.6.2 真空渗碳炉的结构.....	104
1.6.3 真空渗碳的原理.....	106
1.6.4 真空渗碳的特点.....	111
1.6.5 真空渗碳作业.....	116
1.6.6 真空渗碳处理件的机械性能.....	119
1.7 高碳渗碳.....	122
1.7.1 背景.....	122
1.7.2 高碳渗碳概述.....	124
1.7.3 碳化物的生成.....	125

1.7.4	高碳渗碳操作	128
1.7.5	碳势的控制	129
2.	渗碳钢的热处理	134
2.1	渗碳用钢	134
2.1.1	渗碳钢的标准	134
2.1.2	原钢材的基本性能	144
2.2	渗碳层的热处理特性	157
2.2.1	渗碳层的相变行为	158
2.2.2	渗碳层的硬度	163
2.2.3	渗碳层的组织	167
2.2.4	回火硬度	168
2.2.5	直接淬火和再加热淬火	171
2.2.6	一次淬火和二次淬火	173
2.3	渗碳钢的残余奥氏体	176
2.3.1	γ_R 有益说	177
2.3.2	γ_R 有害说	178
2.3.3	使用条件说	179
2.3.4	渗碳渗氮后 γ_R 的性质	180
2.3.5	关于 γ_R 小结	183
2.4	渗碳钢的快速热处理	184
2.4.1	快速热处理的概念	184
2.4.2	快速热处理的特点	188
2.4.3	快速热处理的方法	189
2.4.4	快速热处理件的机械性能	190
2.5	渗碳钢的晶界氧化	192
2.5.1	晶界氧化	192
2.5.2	表面附近的合金元素	193
2.5.3	晶界氧化层的硬度	194
2.5.4	晶界氧化的生成机理	195

2.5.5	冷却速度和硬度	196
2.5.6	机械性能	197
2.5.7	残余应力	199
2.5.8	防止晶界氧化缺点的措施及其检验	199
2.6	高浓度钢的热处理	202
2.6.1	热处理方法	202
2.6.2	热处理质量	203
2.6.3	机械性能	207
2.7	渗碳钢的回火	209
2.7.1	回火的机理	209
2.7.2	第一阶段的研究	210
2.7.3	回火在工业上的意义	211
2.7.4	低温回火的特性	213
2.7.5	结论	219
3.	渗碳钢的热处理设计	220
3.1	热处理设计	220
3.1.1	热处理设计的抉择	220
3.1.2	渗碳钢的选择	220
3.1.3	基体硬度	221
3.1.4	渗碳层的硬度	222
3.1.5	渗碳层硬度的推算	224
3.2	齿轮的热处理设计	227
3.2.1	齿轮热处理设计的抉择	227
3.2.2	齿轮损伤的分类	227
3.2.3	要求的特性	228
3.2.4	点蚀和剥落	229
3.2.5	齿面接触点上的应力分布	231
3.2.6	剥落的发生机理及其防止措施	233
3.2.7	点蚀的发生机理	238

3.2.8 点蚀的各种因素和防止措施	241
3.2.9 齿根的弯曲强度	246
3.2.10 小结	248
4. 渗碳钢的检查	250
4.1 检查的目的	250
4.2 影响渗碳钢强度的因素	251
4.2.1 含碳量	251
4.2.2 硬度	253
4.2.3 组织	253
4.3 残余奥氏体的测定方法	254
4.3.1 定量方法	254
4.3.2 X射线衍射定量法	254
4.4 由晶界氧化引起的不完全淬火层	257
4.5 渗碳材料的强度评价	257
4.5.1 硬度	257
4.5.2 残余奥氏体量	258
4.5.3 回火温度	258
4.5.4 X射线半高宽度	258
4.6 维修和安全	259
4.6.1 发生炉	259
4.6.2 渗碳炉	259
4.6.3 油槽	259
金相组织及照片	261

1. 渗碳操作

在这一章里，对于表面硬化法之一的渗碳，从工业角度考虑在最短时间内获得规定的渗碳深度和表面硬度为目的，或者以使表面硬度及渗碳深度的波动最小为目的，应用化学平衡理论与扩散理论，进行各种实验，叙述其最佳操作方法。

1.1 渗碳表面硬化法

1.1.1 作为表面硬化法的渗碳处理

经调质处理的钢材，在强度和韧性的配合上有明显的优越性，但其耐磨性不如淬火状态。另外，对于由交变应力引起的疲劳破坏成为问题的零件来说，因为疲劳裂纹是从表面附近产生的，所以表面的强度是很重要的。从这一观点出发，通常对于要求耐磨性的零件，或者要求提高表面疲劳强度的零件，要进行表面硬化处理。

如所周知，各种表面硬化方法在各个方面已得到应用。主要的表面硬化方法可列举如下：

- (1) 高频淬火和火焰淬火等表面淬火法；
- (2) 喷丸等机械加工法；
- (3) 渗碳、渗氮、渗硫等非金属渗透法；
- (4) 用耐磨性好的金属喷镀在表面上和厚层电镀等。

然而，用这些方法进行表面硬化的零件，在各种特性上各有优缺点，要根据用途分别选用。

现在, 以汽车工业为首, 所有的产业机械的动力传递装置, 或者主要用于磨损部位的机械零件, 广泛采用气体渗碳表面硬化法。

1.1.2 渗碳的历史

在各种表面硬化法中, 渗碳的历史较久, 并且被广泛利用。

在渗碳法中, 固体渗碳历史最长, 自十八世纪中期就有应用¹⁾。气体渗碳的应用比固体渗碳晚。1910年美国的美国煤气炉公司(Am. Gas. Furnace Co.)在卧式回转炉中实现了渗碳²⁾, 但是由于在渗碳气氛、渗碳的机理、耐热钢和耐火材料等方面有许多未解决的问题, 所以正式制造工业规模的渗碳炉, 并投入使用是在1925年前后³⁾。其后, 做了许多改进, 取得顺利发展, 同时渗碳操作走上进一步普及和进步的道路。

在日本, 用木炭制备的城市煤气进行气体渗碳, 早已部分达到工业化的地步。战后引进了美国的技术, 用丙烷制备的吸热式气氛进行渗碳已成为主流⁴⁾。

1.1.3 渗碳的种类和特点

渗碳的基本原理是使奥氏体状态的钢的表面扩散进碳原子并使之固溶。根据钢表面的碳原子在何种状态下生成, 渗碳方法可分为以下几类。

(i) 固体渗碳

这种方法先于气体渗碳, 自古就被利用。现在, 由于固体渗碳具有设备费低这样一大优点, 所以还有相当多的应

1) 荒木ほか: 鋼の熱処理技術, 朝倉書店(昭44), p.139

2) 河上、小室: 「ガス浸炭概説」講述。

3) 錦織: 金属, 25 (1955) No.1, p.64

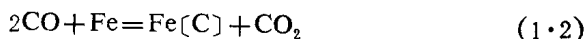
4) 河上益夫: 熱処理, 10 (1970) No.1, p.2

用。但是，这种方法也有渗碳材料的碳势(carbon potential)不能调节这样一个大缺点。

这种方法^{5)、6)}是把木炭用作渗碳剂。木炭本身吸附的空气及进入木炭和木炭间隙的空气中的氧，由于加热而引起反应，如式(1·1)所示，生成CO。



这种CO与附近的工件接触以后，形成如式(1·2)所示的渗碳现象。



式中，Fe[C]是固溶了碳的铁。这里生成的CO₂由于渗碳剂中的碳的作用而还原，再次变为CO，如式(1·3)所示。



即，由于CO和CO₂的循环，使渗碳作用反复进行。

(ii) 气体渗碳

气体渗碳的基本过程是使丙烷或丁烷等气体与空气按某一比例混合，然后使这种混合气通过保持1000~1100℃适当温度的Ni催化剂，制成运载气体(carrier gas)。其次，在运载气体中混合少量的丙烷或丁烷，而后通入渗碳炉，调节成具有适当碳势的渗碳气氛。将工件装入炉内，在所规定的温度保持适当的时间进行渗碳。气体渗碳同固体渗碳比较，有下列的优点。

- (1) 渗碳能可调节；
- (2) 渗碳均匀；
- (3) 渗碳后可进行扩散处理；
- (4) 可从渗碳温度直接淬火；

5) 渡边：熱処理，6 (1966) No.1, p.13

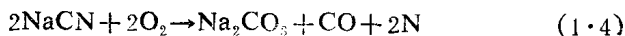
6) 佐藤：鋼の表面处理，日本金属学会，1948年

(5) 容易实现连续操作，适于大量生产。

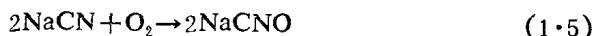
另一方面，气体渗碳也有设备费用和操作费用高的缺点。

(iii) 液体渗碳

这是一种把工件浸入含有氰酸钠或氰酸钾的熔盐内，使钢的表面形成0.2mm左右硬化层的方法^{7)·8)}。液体渗碳的渗碳机理如式(1·2)所示，在以熔盐中的CO为主体这一点上是完全相同的。如式(1·4)和(1·5)所示，NaCN的反应是：



或



式(1·5)可进一步分解为式(1·5-1)：



可以按式(1·4)和(1·5-1)生成的初生CO或N进行渗碳或渗氮。然而由于C和N对钢的溶解度因温度不同而异，所以在较高温度进行渗碳，在较低温度进行渗氮。如果在适当的温度进行处理，则可同时进行渗碳和渗氮，这也是液体渗碳法的一个优点。

另一方面，因NaCN对人体有毒，特别是最近从防止公害和保管的角度考虑，使用的渐少。

(IV) 滴注式渗碳

这是新近实现工业化的方法。这种方法用C-H-O系有机液体作为渗碳剂，将其直接滴入渗碳炉内，使之呈喷雾状，在

7) 岡本：鉄鋼材料，コロナ社（昭35），p.308

8) 門間、須藤：鉄鋼材料とその熱処理，日本金属学会（昭44），p.11

高温下发生热裂解，实现工件表面渗碳。这是一种气氛制备和渗碳同时在一个炉内进行的方式^{9)、10)}。渗碳的基本反应和式(1·2)的反应完全相同。

近来，从节省资源和省能的立场出发，滴注式渗碳有越来越普及的趋势。

(V) 真空渗碳

这是在大气压以下的容器中，利用被加热到900~1040℃的工件同甲烷的裂解接触作用而进行渗碳的方法。一般，使用甲烷作为原料气，但在原理上使用丙烷和丁烷也是可能的，实际上已有部分在使用。另外，在1040℃进行处理时，碳的扩散速度比普通的渗碳温度930℃高，所以能用较短的时间进行处理。

由于真空渗碳作业环境良好、无公害，并且节省资源，所以今后的应用可望扩大。

(VI) 其他方法

其他方法有放电渗碳¹¹⁾、火焰渗碳¹²⁾和高频渗碳等。这些方法都没有实现大规模的工业化。

放电渗碳使用电解液，使试件在液体中产生放电，通过提高试件表面碳浓度来实现渗碳，在几分钟之内即可完成渗碳作业。火焰渗碳是使丙烷和丁烷的混合气同氧在一起燃烧，使工件在火焰中加热10~15分钟来进行渗碳的方法。这些方法的基本反应与式(1·2)的反应完全相同。

9) 藤沢：熱処理，6(1966) NO.1, p.16

10) 浅井：不二越技報，21(1965)No.3, p.27

11) 金子ほか：日本金属学会誌，32(1968)No.10, p.982

12) 不二越技報：21(1965)NO.3, p.78

(Trans. of the Indian Inst. of Metals. (1964) June 文献紹介している)