

JIS 热处理技术

〔日〕大和久重雄 著

栾淑芳 译

陶岚琴 校

内 容 简 介

本书是日本热处理技术JIS委员会会长大和久重雄工学博士，对JIS热处理技术标准进行的理论与实践解说。主要内容包 括四部分：（一）JIS热处理技术的解说，（二）热处理基础理论与实践，（三）制定热处理技术要求人员需知及应注意的事项，（四）与JIS热处理技术有关的标准。

本书是理解和实现JIS热处理技术的唯一工具书，可供在现场工作的热处理技术人员和从事机械设计与制造的工程技术人员以及大专院校热处理专业和机械设计与制造专业师生的参考书。

JISによる熱処理加工

大和久重雄 著

日刊工業新聞社 1976年

*

JIS 熱 处 理 技 術

〔日〕大和久重雄 著

栾淑芳 译

陶岚琴 校

*

国防工业出版社出版、发行

（北京市车公庄西路老虎庙七号）

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张5⁵/₈ 119千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷 印数：0,001—3,060册

ISBN 7-118-00386-7/1G·34

定价：2.90元

目 录

第一部分 JIS 热处理技术

1. 钢铁的正火与退火	1
1.1 标准 (JIS B 6911)	1
1.1.1 标准名称	1
1.1.2 适用范围	1
1.1.3 加工材料	1
1.1.4 加工设备	1
1.1.5 加工件的质量	2
1.1.6 表示符号	2
1.2 正火技术	3
1.2.1 正火 (HNR) 概念	3
1.2.2 正火规则	3
1.2.3 正火方法	4
1.2.4 正火的应用	6
1.3 退火技术	7
1.3.1 退火 (HA) 概念	7
1.3.2 退火规则	7
1.3.3 退火的方法	8
2. 钢铁的高频淬火·回火	13
2.1 标准 (JIS B 6912)	13
2.1.1 标准名称	13
2.1.2 适用范围	13
2.1.3 加工材料	14
2.1.4 加热设备	14

2.1.5	加工件的质量	14
2.1.6	表示符号	14
2.2	高频淬火·回火技术	15
2.2.1	高频淬火(HQI)的目的	15 ^F
2.2.2	高频淬火方法	15
2.2.3	高频淬火特点	15
2.2.4	高频淬火技术	15
2.2.5	高频表面淬火后钢的性能	27
2.2.6	高频淬火零件产生的缺陷及其防止方法	32
2.2.7	适合高频淬火的材料	38
2.2.8	机械零件表面硬化法的选择标准	38
3.	钢的淬火·回火	39
3.1	标准(JIS B 6913)	39
3.1.1	标准名称	39
3.1.2	适用范围	39
3.1.3	加工材料	41
3.1.4	加工件的分类	41
3.1.5	加工设备	42
3.1.6	加工件的质量	42
3.1.7	表示符号	42
3.2	淬火技术	42
3.2.1	淬火(HQ)概念	42
3.2.2	淬火规则	43
3.2.3	淬火要领	43
3.2.4	淬火方法	45
3.2.5	淬火时的注意事项	50
3.2.6	淬火质量缺陷及其防止方法	55
3.3	回火技术	57
3.3.1	回火(HT)概念	57
3.3.2	回火规则	57
3.3.3	回火方法	58
3.3.4	回火时的注意事项	59
3.4	深冷处理	60
3.5	为使机械零件的热处理质优价廉在设计上的八点注意	61

4. 钢的渗碳淬火·回火	63
4.1 标准 (JIS B 6914)	63
4.1.1 标准名称	63
4.1.2 适用范围	63
4.1.3 加工材料	63
4.1.4 加工件的分类	63
4.1.5 加工设备	64
4.1.6 加工件的质量	64
4.1.7 表示符号	65
4.2 渗碳淬火·回火技术	65
4.2.1 渗碳淬火的目的	65
4.2.2 渗碳处理(HC)的种类	65
4.2.3 气体渗碳	66
4.2.4 液体渗碳	69
4.2.5 固体渗碳	70
4.2.6 各种渗碳方法的比较	71
4.2.7 渗碳用钢的选择	72
4.2.8 防止渗碳的方法	75
4.2.9 渗碳后的热处理	75
4.2.10 渗碳硬化层深度的测量方法	77
4.2.11 渗碳淬火·回火的质量缺陷及防止方法	77
4.2.12 渗碳的五点技术要点	78

第二部分 热处理技术要点

1. 热处理基础	79
1.1 加热	79
1.2 冷却	80
1.3 冷却的三种类型	82
1.4 相变及组织	84
1.4.1 连续冷却时的组织转变	85
1.4.2 等温冷却时的组织转变	91
1.4.3 二段式冷却时的组织转变	92
1.4.4 回火时的组织转变	92
2. 普通热处理	94

2.1 退火	94
2.1.1 退火的关键	94
2.1.2 退火方法	95
2.2 正火	98
2.2.1 正火的关键	98
2.2.2 正火的方法	98
2.3 淬火	100
2.3.1 淬火的关键	100
2.3.2 淬火的要领	100
2.3.3 淬火的方法	102
2.3.4 淬火时的注意事项	105
2.4 回火	108
2.4.1 回火的关键	109
2.4.2 回火的方法	109
2.4.3 回火时的注意事项	109
2.5 深冷处理	110
3. 表面硬化热处理	111
3.1 化学表面硬化法	112
3.1.1 渗碳	112
3.1.2 氮化	116
3.2 物理表面硬化法	118
3.2.1 高频淬火	118
3.2.2 火焰淬火	121
3.3 各种表面硬化法的比较	122

第三部分 制定热处理技术人员需知 及其注意的事项

1. 热处理加工材料的鉴定	123
2. 质量效应与淬透性	124
3. 关于断面形状的考虑	126
3.1 关于断面的均匀性	126
3.2 关于拐角	128

4. 残余应力之功过	130
5. 与所要求性能相适应的热处理	130
5.1 要求抗拉强度时的热处理	130
5.2 要求疲劳强度时的热处理	135
5.3 要求冲击韧性时的热处理	137
5.4 要求耐磨性时的热处理	141
6. 可淬硬钢与淬透性带的应用	142
6.1 根据淬透性选择钢材	143
6.2 根据工件的淬火硬度确定热处理操作	145
6.3 淬透性曲线的应用	145
7. 热处理零件的硬度	149
7.1 残余奥氏体与硬度	149
7.2 基体的硬度与耐磨性	151
7.3 刀具的锋利度与硬度	153
7.4 硬度与脆性	154
7.5 硬度与残余应力	155
7.6 对硬度的认识	156
8. 其它	157
8.1 表面加工的程度	157
8.2 预先加工或预先热处理的影响	157

第四部分 与JIS有关的标准

1. JIS 钢铁热处理所引用的间接的及参考标准	158
2. JIS 产品的钢铁热处理	162
3. 钢铁热处理术语的说明 (JIS G 0201)	166

第一部分 JIS热处理技术

1. 钢铁的正火与退火

1.1 标准 (JIS B 6911)

1.1.1 标准名称

把处理得最多的正火与退火作为同一项目，列为一个标准。

1.1.2 适用范围

因为这个标准是以钢铁产品为对象的，所以其中当然包括铸铁产品。在 JIS 中称为铁的是指铸铁。但是，因为标准中不包括一次产品，所以没有扩散退火。而且不考虑产品的形状。

1.1.3 加工材料

加工材料原则上是以 JIS 标准材料为主要对象。用 SAE (美国汽车工程师协会标准)、BS (英国标准)、DIN (西德国家标准工业标准) 等外国规格时，化学成分符合 JIS 适用钢种标准的也可以。关于消除应力退火，不特别规定钢铁品种。

1.1.4 加工设备

在这一条款中分别使用了“保持或调整”和“控制”这样的名词，“保持或调整”是手动的意思，“控制”是自动操作的意思。

另外，关于加工设备的温度精度，以加工材料装入后的常用条件为原则。与温度精度相关连的有效加热带的规定，会给加热设备及加热方法很大的影响。所以这个试验方法采用了 JIS C-1-1969(日本金属热处理工业会标准)，作为有关方面的技术标准。

1.1.5 加工件的质量

作为评价质量的硬度单位，除了 HB、HV、HRB 之外，虽然也建议 HS 作为标准，但因为 HS 的测定值容易波动，所以作为质量检验标准是不合适的，而只能作为参考值。

另外，在质量中有 A 级和 B 级以及 1 类和 2 类的区别。级别是由钢材种类决定的，类别是由弯曲度大小决定的。钢材的种类分别用冷加工用钢材、碳化物系的钢材、普通钢材来加以区分，这些钢材的意义如下：

(1) 冷加工用的钢材……适用于冷压、冷拔、冷锻等的冷塑性变形加工的钢材。

(2) 碳化物系的钢材……是有一次碳化物的钢材的总称，以 SKS、SKD、SKH、SUJ 等为主要代表都属于这类钢材。这些钢材的碳化物必须为细小球状且均匀分布。

另外，变形经过矫正之后不能影响使用，特别是关于弯曲度的意思，在长度不到 1m 的工件是指全长的弯曲值，长度大于 1m 的工件是指在任一部位截取 1m 长的弯曲值。

1.1.6 表示符号

例：HNR-B2

表示正火，B 级 2 类。

例：HNS-A1

表示球化退火，A 级 1 类。

1.2 正火技术

1.2.1 正火 (HNR) 概念

所谓正火就是把钢变成标准状态的热处理操作。也就是消除加工影响, 细化晶粒, 达到提高钢的机械性能的目的。得到的组织是薄片状珠光体, 称之为正火组织。由于是空冷操作, 所以这个组织与平衡组织略有不同。

(i) 目的 改善材料的性能 (提高机械性能)。

(ii) 关键 冷却方法 (放在空气中冷却)。

(iii) 加热温度 (A_3 或 A_{cm})+50°C。

(iv) 冷却 放在静止的空气中冷却。

1.2.2 正火规则

规则 1 通过正火改善材料的性质是随加热和冷却而不同的 (见表1.1)。

规则 2 正火虽是空冷, 但与空气淬火不同。正火是得到细珠光体组织的操作, 而空气淬火虽也是放在空气中冷却, 但得到的却是马氏体组织的操作。

表1.1 采用正火改善材料的性质

加 热	• 消除纤维状组织 • 改善过热组织及铸态组织
冷 却	• 细化晶粒 • 硬化、强化, 而伸长率、收缩率不下降

规则 3 正火虽然是在空气中冷却, 但由于处理工件的大小不同即使钢种相同在空气中冷却而得到的组织和性质也不同 (质量效应)。这是因为冷却速度不同, 若钢种不同也

会出现同样的结果。因此，正火不用「放在空气中冷却」来表示，而应该用冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) 或者是最后得到的组织（薄片状珠光体）来表示才合适。

规则 4 如果是粗大的工件用吹风冷却，细小的工件在炉中冷却都可以得到正火的组织。在向阳的地方与在背阴的地方冷却，虽然都是在空气中冷却，但所得到的组织与性能却不相同。

规则 5 退火的工件经过正火能变硬，而调质（淬火、回火）后的工件经过正火会变软。

规则 6 在正火中因为曾经加热到完全奥氏体区，能消除加工的影响，使粗晶粒细化，机械性能提高。而且不用缓冷用空冷，能提高硬度和抗拉强度，伸长率也比较高。因而根据所要求的性能，可代替普通淬火。对于大型和形状复杂的工件，用正火反而成为更合适的热处理（淬火容易产生淬裂，淬火变形，改变尺寸等）。

规则 7 正火后既可以直接使用，也可以因强度和硬度的关系，在正火后再进行回火（ $540\sim 700^{\circ}\text{C}$ ），这称为正火一回火处理。

1.2.8 正火方法

(1) 普通正火 (conventional normalizing, HNR)

是从规定的正火温度到常温，在空气中冷却的方法。必须注意如果用风吹或日晒等方法进行冷却就不是正火，而成为风吹淬火和日晒缓冷了。另外，在夏季和冬季同样是空冷，因为气温不同，冷却速度也不同，对正火结果影响很大，这也是要注意的。

图 1.1 是普通正火工艺图

(2) 二段正火 (stepped normalizing)

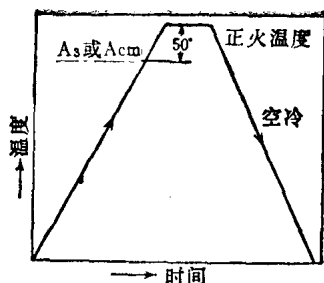


图1.1 普通正火

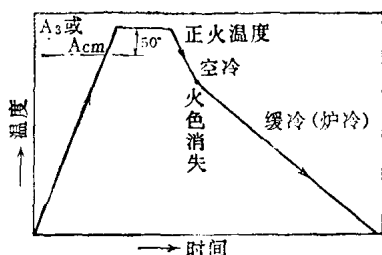


图1.2 二段正火

从正火温度到没有火色的温度（约 550°C ）进行空冷，其后放到坑内或箱内缓冷。采用这种正火与普通正火的效果相同，但是对大形零件和高碳钢（ $0.6\sim 0.9\%\text{C}$ ）等能防止白点和内部龟裂，所以是工业上有效的方法（这也称为CC处理）^①。

此外，在中碳钢（ $0.3\sim 0.5\%\text{C}$ ）中为了析出共析铁素体而先进行空冷（正火），然后在珠光体区缓冷（退火），这称为正火—退火二段处理，使伸长率、缩小率都得到提高，具有强韧性。图1.2是二段正火工艺图。

（3）等温正火 (isothermal normalizing)

在相当于S曲线^②的鼻尖温度处用等温炉使之进行等温相变，然后进行空冷的方法，称为等温正火。从正火温度到S曲线的鼻尖温度的冷却时间最好是 $5\sim 7\text{min}$ ，采用热风冷却。这种方法被推荐作为改善S-C材料和低碳合金钢切削加工性的处理方法。图1.3是等温正火的工艺图。

（4）二次正火(double normalizing)(multiple nor-

① CC处理是正火在 500°C 以下缓冷的处理，为了除氧。——译者

② S曲线，即C-曲线，过冷奥氏体等温分解曲线。——译者

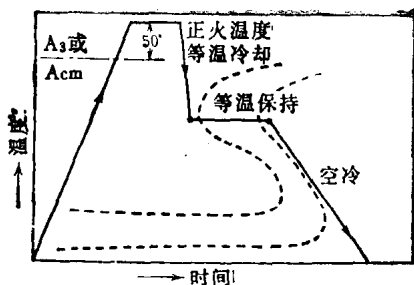


图1.3 等温正火

malizing)

第一次……高温正火 (930°C) 使低温成分固溶。

第二次……低温正火 (820°C 接近 Ac_3 的温度) 使珠光体细化。

1.2.4 正火的应用

正火应用的例子如下：

(1) 铸钢件……均匀化。

(2) 锻压件……均匀化、正火、回火 (钢轧、车轮……CC处理)。

(3) 碳钢……改善切削加工性，中碳钢、高碳钢正火后要回火。

(4) 合金钢……作为淬火前的预先热处理。需要控制空冷。

(5) 渗碳钢……为了防止渗碳变形和改善切削加工性，正火温度要高于渗碳温度。

(6) 过共析钢 (SUI2)……消除网状碳化物，便于球化。

(7) 一般正火温度……大件要稍高于小件。

1.3 退火技术

1.3.1 退火 (HA) 概念

退火就是为均匀组织、降低硬度 (软化) 而进行的热处理操作。与正火不同之处是过共析钢的加热温度不同, 冷却方法是采用炉冷 (见图1.4)。

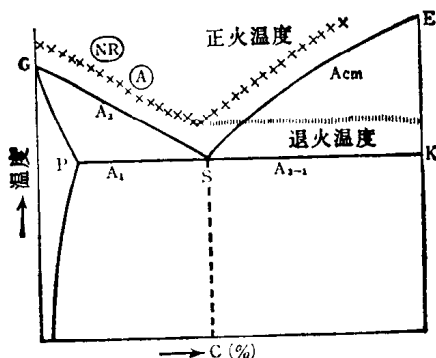


图1.4 正火与退火温度

- (i) 目的 软化。
- (ii) 关键 冷却方法 (在炉中冷却)。
- (iii) 加热温度 $(A_3 \text{ 或 } A_{3-1}) + 50^\circ\text{C}$ 。
- (iv) 冷却 炉中缓冷, 二段式冷却。

1.3.2 退火规则

作为退火的条件, 有两个要点:

- 1) 获得奥氏体组织 (奥氏体化)。
- 2) 在略低于 A_{r1} 点的温度 (临界点温度, 700°C) 使奥氏体发生相变。

规则 1 如果奥氏体化时形成均一的奥氏体, 退火就得到全部片层状珠光体组织。奥氏体化时奥氏体越不均匀则球

化越完全（奥氏体温度越高越容易形成片层状珠光体，反之温度越低越容易球化）。

规则 2 降低硬度最好加热到 A_3 或 $A_{3-1}+50^{\circ}\text{C}$ ，使其冷却到 $A_1-50^{\circ}\text{C}$ 进行相变。

规则 3 因为在 $A_1-50^{\circ}\text{C}$ 温度下冷却转变完了用的时间太长，如果使其冷却转变大部分在高温进行，而在低温下转变完了，则可缩短转变时间。

规则 4 从奥氏体化到珠光体开始转变的温度可以进行快速冷却（为了缩短退火时间）。

规则 5 钢从珠光体转变完了到室温可以快速冷却（为了缩短退火时间）。

规则 6 要使含碳 0.7~0.9% 的碳钢及中碳低合金钢的退火组织中，片状珠光体最少，最好在奥氏体化之前，在 $A_1-25^{\circ}\text{C}$ 预热几个小时（预热），然后再进行奥氏体化。

规则 7 为了使过共析钢和合金工具钢退火充分软化，可以使其在奥氏体化温度长时间（约 10~15h）进行加热相变。

1.3.3 退火的方法

(1) 完全退火 (full annealing, HAF)

从退火温度在炉中缓慢冷却到室温的操作就是完全退火。但是，不需要在炉中缓冷到室温，缓冷到大约 550°C （消色温度）之后，可从炉中取出进行空冷或水冷。这种开始缓冷后

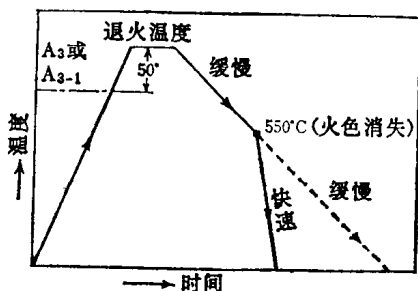


图1.5 完全退火（二段退火）

再快冷的缓急二段式冷却的退火称为二段式退火。采用二段式退火后的硬度和组织与完全退火的结果相同。因此，用二段式退火不仅缩短了从 550°C 以下的冷却时间，而且便于炉子循环使用。图1.5是完全退火的工艺图。

(2) 球化退火 (spheroidizing, HAS)

珠光体中若存在片状渗碳体或者先共析网状渗碳体，其机械性能很差，变得脆弱，淬火时容易发生变形与开裂。但若使渗碳体球化则韧性就会明显提高，加工性能得到改善，淬火组织均匀，淬火后的工具锋利并且寿命长。因此，工具钢在淬火之前都需要进行退火，这种退火操作称为球化退火，俗称颗粒化退火。

球化处理有下列各种方法：

(i) 在稍高于 A_{e1} 点长时间加热然后缓冷的方法（冷加工材料，淬火材料）。

(ii) 在稍高于 A_{e1} 点加热（为了溶断网状渗碳体），然后冷却到稍低于 A_{e1} 点为了使之球化反复加热冷却的方法。

(iii) 加热到 A_{e1} 或 A_{e3} 以上的温度，然后以最缓慢的冷却速度（炉冷）冷至室温，或在稍低于 A_{e1} 的温度等温的方法。

(iv) 加热到碳化物全部固溶的最低温度，冷却时不使网状渗碳体析出，然后再采用 (i) 或 (ii) 的方法（适用于过共析钢）。

(3) 消除应力退火 (stress relieving, HAR)

消除由于在常温下加工产生的内应力并使其软化，或者为了减少淬火变形作为预先热处理的软化退火，称为消除应力退化。加热温度最好在 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，温度越高软化程度越大，通常加热到再结晶温度，内应力就消除了。再结晶温

度与熔化温度有密切关系。

再结晶温度 (K)
 $= 0.4 \times \text{熔化温度 (K)}$

$^{\circ}\text{C} + 273 = \text{K}$

图 1.6 是消除应力退火的工艺图。

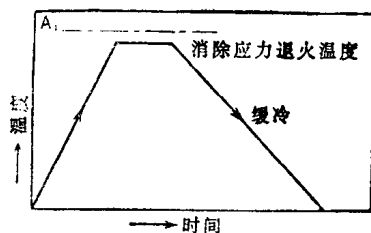


图 1.6 消除应力退火

另外，对焊接件消除应力退火的加热温度与保持时间见表 1.2。

表 1.2 焊接部分在炉内局部消除应力退火之
 加热温度与保持时间 (JIS Z 3701, 3702)

钢 材 牌 号	加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	保持时间 (h) (厚度为 25 mm)
SB, SM, SS, S-C, SF	625 ± 25	1
SC, SCMn, SCSiMn	625 ± 25	1
SCCrM	700 ± 25	2
STK, STKM	625 ± 25	1
STKS 1 ~ 4	700 ± 25	2
SGP, STPG, STS, STPT, STRY	625 ± 25	1
STPA12	625 ± 25	1
STPA22 ~ 26	700 ± 25	2
STB	625 ± 25	1
STBA	700 ± 25	2
STH	625 ± 25	1

冷却速度 $R (^{\circ}\text{C}/\text{h}) \leq 200 \times \frac{25}{T}$

式中 T —— 最大厚度 (mm)。