



全国“星火计划”丛书

杨烈宇 编著

钢和铸铁的 等温淬火

大连海运学院出版社

钢和铸铁的等温淬火

杨烈宇 编著

大连海运学院出版社出版

(大连市凌水桥)

辽宁省新华书店发行

大连海运学院出版社激光照排中心排版

大连海运学院出版社印刷厂印刷

责任编辑:王铭霞 鲁振厚

开本:787×1092 1/32 印张:8.5 字数:181千

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数:1~1000

ISBN 7-5632-0007-X/TG·2 定价:3.00元

内 容 简 介

本书是大连海运学院杨烈宇教授早期的科研成果和生产经验的总结。它全面阐述了钢和铸铁等温淬火的特点、应用范围、优越性、操作实例、工艺要求等等。具体内容涉及到钢锯、风动工具、自行车链条、螺丝刀、弹簧、气缸套、活塞环等常用零部件的热处理。实用性强,内容丰富。

根据中央提出的“星火计划”的精神,作者重新整理加工了这些材料,正式出版。本书对乡镇企业和小型金属加工厂的热处理工作来说,是一本很有价值的参考资料,对提高产品质量,降低生产成本,会有显著的作用。

本书适用于:工厂的中、初级热处理技术人员和技术工人。

前 言

等温淬火与通常的单液淬火、双液淬火以及分级淬火比较,既可最有效地防止机械零件和工模具在淬火过程中的变形和开裂等缺陷,一般又可省去一道后续的回火工序,而且最终获得的工件强度与淬火加回火所得的强度相近,韧性则较高;对于某些工模具在满足取得高硬度(如 $\geq \text{HRC}60\sim 62$)和较高韧性的同时,可保持其所要求的尺寸精度。这些(和本书中还将提到的)突出优点,早年虽为学术科技界熟知,却很少被生产厂家(特别是中小企业)认识而采用。对于等温淬火是否能广泛应用于大批量的连续自动或半自动作业,自然更持怀疑态度。

六十年代初期,编著者应邀解决大连钢钹厂以道轨钢和渗碳钢为原料,生产钢钹中存在大量淬火变形和开裂报废,以及因质量低劣、产品滞销积压等严重问题时,经由本人主持研究成功《钢钹大批量连续等温淬火新工艺》投产后,使厚度为1.75mm的各式异形钢钹的质量,一跃而达到国际先进水平并向国外出口。接着轻工业部召开了现场经验交流会,使上述工艺在全国生产钢钹的行业中推广应用至今。中间又有国家援外部门以大连钢钹厂的生产新工艺为基础,给马耳他等国援建了钢钹生产线。这样便影响和推动了较多的中小企业对等温淬火技术的认识。但当时除生产钢钹以外的钢和铸铁件等温淬火的应用,只有零星资料见于刊物报导,缺乏系统指导性的实用资料,在多方面的咨询要求下,本人着手编著了《钢和铸铁的等温淬火》一书的初稿后,因“文革”影响,未能及时

出版。

现受大连海运学院出版社的委托和敦促,拟共同对推行国家提出的星火计划尽点微力,使县区乡镇及其他中小企业能掌握运用好等温淬火技术,以期充分挖掘钢和铸铁件的潜力,提高产品质量,或做到保证应用于生产的自制工模具的质量,并最大限度地减少生产中的淬火报废数量和降低成本,从而达到取得可靠经济效益的目的。为此,特重新修改编著成这本小册子。

本书共六章加四项附录。第一章为钢等温淬火操作总论,第二章为钢等温淬火的应用范围及操作实例,第三章为铸铁的等温淬火(含操作总论、灰铸铁及球墨铸铁零件等温淬火的操作实例等),第四章为等温淬火中可能出现的问题及其解决途径。第五章为等温淬火用的淬火冷却剂,第六章为等温淬火用的设备。全书力求简明易懂,并自始至终以大量实例作对比说明的依据,以操作实例(钢件如钢锻、风动工具、弹簧、链条、凹模、丝锥、方身模及压圈等 14 种,铸铁件如片墨铸铁的活塞环、气缸套、球墨铸铁凸轮轴、粉碎体等 6 种)来说明,可收举一反三之效,可以认为这是本书的特点。书末的四项附录,其一为常见 108 种钢和铸铁的 C 曲线,它们是等温淬火的根本依据;其二为针对附录的 108 种钢和铸铁牌号(含国外牌号对照)等有关数据及特点的列表说明;其三为计算 Ac_1 、 Ac_3 、贝氏体开始转变点 B_s 与马氏体开始转变点 M_s 的经验公式,便于读者应用等温淬火技术时,确定工艺温度参数的计算参考。总的来说,这三项附录乃是应用等温淬火技术时,不可缺少的实用备查资料。附录四为出现在本书中的符号含意、计量单位供读者查阅相关资料时参考释疑。

本书读者对象,为在中小工业(特别是县区乡镇企业)中的热处理和其他铸、锻、焊热加工技术人员以及有一定基础的熟练热处理工人,也可供在一切机械生产企业中从事机械零件和工模具设计制造,工艺编制,生产调度,质量检查,金相及机械性能测试的技术、技术管理人员和各种学校中的热处理,铸、锻、焊热加工以及类似专业的学生学习参考。

本书全部插图及部份资料由大连钢锻厂工程师孙明邦同志绘制和提供,他是本人主持研究《钢锻大批量连续等温淬火生产新工艺》时的主要参加人,并此说明和衷心致谢。

本书难免存在缺点和错误,诚恳欢迎读者批评指正!

杨烈宇

1989.1

目 录

第一章 钢等温淬火操作总论	(1)
一、钢等温淬火的特点及优越性	(1)
二、适于等温淬火的钢	(8)
三、工件断面尺寸的限制	(13)
四、对钢等温淬火操作的一般工艺要求	(18)
1、预先热处理	(20)
2、奥氏体化加热条件	(21)
3、奥氏体化加热温度和保温时间	(22)
4、等温冷却条件	(24)
5、等温温度	(25)
6、等温时间	(28)
7、等温保持后的冷却	(31)
五、等温淬火的操作类型	(31)
1、完全等温淬火	(31)
2、不完全等温淬火	(32)
3、分级等温淬火	(34)
4、等温淬火一回火	(37)
5、光亮等温淬火	(41)
6、防蚀等温淬火	(41)
六、变相等温淬火	(41)
第二章 钢的等温淬火应用范围及操作实例	(44)
一、钢的等温淬火应用范围	(44)
1、用于在一定硬度范围内获得优良的综合机械性能	(44)
2、用于最大限度地减少变形和开裂	(52)
3、用于避免第一类回火脆性	(56)
4、用于代替调质处理	(60)

5、其他	(63)
二、钢的等温淬火操作实例	(65)
1、钢铈的等温淬火	(65)
2、风动工具的分级等温淬火	(73)
3、自行车链条的等温淬火	(75)
4、螺丝起子的等温淬火	(76)
5、硅锰钢(55Si2Mn、60Si2Mn)弹簧的等温淬火	(78)
6、50CrVA 钢弹簧的光亮等温淬火	(82)
7、30CrMnSi 钢环状阀片的等温淬火	(84)
8、T10A 钢凹模的分级等温淬火	(86)
9、9SiCr 钢用手丝锥的等温淬火	(88)
10、高速钢(W18Cr4V)机用丝锥的等温淬火	(90)
11、高速钢(W18Cr4V)杆形工具的分级等温淬火	(93)
12、高速钢(W18Cr4V)方身模及压圈的等温淬火一回火	(94)
13、钢丝的变相等温淬火	(97)
14、泥瓦工具的等温淬火	(99)
第三章 铸铁的等温淬火	(102)
一、总论	(102)
1、铸铁等温淬火的操作特点及优越性	(102)
2、适于等温淬火的铸铁	(105)
3、铸铁件断面尺寸的限制	(105)
4、对铸铁件等温淬火的一般工艺要求	(106)
二、片墨(灰口)铸铁的等温淬火	(109)
1、片墨铸铁的等温淬火工艺	(109)
2、片墨铸铁等温淬火后的性能	(111)
3、片墨铸铁零件等温淬火操作实例	(114)
(1)柴油机活塞环的等温淬火	(114)
(2)汽油机气缸套的等温淬火	(118)

(3)柴油机气缸套的等温淬火	(119)
三、球墨铸铁的等温淬火	(120)
1、球墨铸铁的等温淬火工艺	(120)
2、球墨铸铁等温淬火后的性能	(122)
3、球墨铸铁等温淬火后的显微组织	(126)
4、球墨铸铁零件等温淬火操作实例	(128)
(1)球墨铸铁柴油机凸轮轴的等温淬火	(128)
(2)球墨铸铁安全弹簧的等温淬火	(130)
(3)球墨铸铁粉碎体的等温淬火	(134)
第四章 钢和铸铁件在等温淬火中可能出现的问题和 解决途径	(136)
一、塑性及弹力弯度低(例 1、2)	(136)
二、硬度低(例 3、4、5、6、7)	(137)
三、硬度不均匀(例 8)	(141)
四、高脆性(例 9、10、11、12、13)	(141)
五、等温淬火开裂(例 14、15)	(145)
第五章 等温淬火用的淬火冷却剂	(147)
一、等温淬火淬火冷却剂选用概论	(147)
1、热油	(147)
2、熔融金属	(148)
3、熔盐和熔碱	(149)
二、等温淬火剂的种类、性能及其应用	(150)
1、熔铅和熔融合金	(150)
2、熔融硝酸盐	(151)
3、熔融苛性碱—光亮等温淬火冷却剂	(160)
4、熔融苛性碱加硝酸盐混合物—防蚀等温淬火冷却剂	(161)
第六章 等温淬火用的设备	(164)
一、奥氏体化加热设备	(164)

第一章 钢等温淬火操作总论

一、钢等温淬火的特点及优越性

对钢以主要获得下贝氏体为基本目的的热处理操作方法称为等温淬火。它的特点在于：

1. 是把钢的过冷奥氏体控制在介于珠光体转变(以下简称P转变,高温)与马氏体转变(以下简称M转变,低温)温度之间的一种等温转变。换言之,也就是在中温区域贝氏体转变(以下简称B转变)的上限温度 B_s 与下限温度 B_f 之间,完成获得下贝氏体(L—B)的转变。指导等温淬火的理论基础是贝氏体转变的机制,实际操作的根本依据为各钢种的C曲线。

2. B转变与P转变和M转变除形成温度不同外,最主要的区别为:①成核长大转变过程的领先相—P转变为渗碳体(Fe_3C),B转变为铁素体(α —相),M转变则只有成核、长大;②扩散性—P转变中铁、碳原子均可扩散,B转变中碳原子扩散而铁原子不扩散,M转变中碳与铁原子均无扩散;③共格性—P转变无,B和M转变均有切变共格性并产生表面浮凸;④合金元素的分布—P转变通过扩散重新分布,B与M转变均不扩散;⑤等温转变的完全性—P转变可以完全,B转变有的可以完全,有的不能完全,而M转变则不可能完全;⑥转变产物的组成相—P转变是 $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$,B转变的上贝氏体为 $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ (非层片状),下贝氏体为 $\gamma \rightarrow \alpha - Fe(C) +$

Fe_xC (非层片状),而 M 转变为 $\gamma(\text{C}) \rightarrow \alpha - \text{Fe}(\text{C}) + \gamma\text{R}$ (残余奥氏体)并呈两种板条状和片状。

3. 等温淬火之所以要求通过贝氏体转变而主要获得下贝氏体,是因为下贝氏体的形成温度较上贝氏体低得多,铁素体尺寸减小,位错密度增大,碳在铁素体中的过饱和度增加而随之固溶强化增加,同时碳原子在铁素体的某些一定晶面偏聚,进而沉淀出碳化物,这些碳化物一般只能析出在铁素体内部,排列成行并与铁素体片的长轴约成 $55 \sim 65^\circ$ 夹角,随温度的降低其分散度增大,数量增多,彼此间距离减小,因而下贝氏体的强度不仅远远超过上贝氏体而与回火马氏体基本相近,其它如冲击韧性、疲劳极限和耐磨性等性能均比相同硬度的回火马氏体为高。

4. 从热力学条件出发,当奥氏体向 B 转变时,可以找到一个极限温度 B_s ,它随钢的化学成分而改变,但对碳钢已难测出,因为在碳钢的 C 曲线上, P 转变与 B 转变已重叠了。在合金钢中则较明显,现在已建立有计算 B_s 点的经验式(例如 $B_s(^{\circ}\text{C}) = 630 - 45\text{Mn} - 40\text{V} - 35\text{Si} - 30\text{Cr} - 24\text{Mo} - 20\text{Ni} - 12\text{W}$)可供参考。在 B_s 点以下随着温度的降低, B 转变的数量不断增加,直至某一温度 B_f 则不再转变。但现代的研究和实验证明:第一,上贝氏体过渡到下贝氏体的温度,并无确切的分界,它直接与碳含量有关,只能说在某一含碳量的范围内,随着等温温度的降低,下贝氏体量急剧增加,上贝氏体相对减少,直到没有。有资料指出,当钢的碳含量约大于 0.6% 时,下贝氏体存在的最高温度约为 350°C ;此温度随碳含量的减少而上升,当碳含量约为 0.5% 时,达到最高值;当碳含量进一步减少时,则此温度又开始降低。这对选取获得下贝氏体的等

温转变温度,具有重要的指导意义。第二,贝氏体转变在 B_s 点以下,随等温温度的降低有两种情况,一种是降低到某一温度,奥氏体可以全部转变为贝氏体(含下贝氏体),如碳钢、中碳锰钢和中碳硅锰钢等即是。二是即使降到很低温度,过冷奥氏体也不可能全部转变为贝氏体(含下贝氏体),只是残余奥氏体的量随转变温度的降低逐渐减少,最终仍有部分奥氏体残留下来,其组织为下贝氏体(L-B)+残留奥氏体(A_R),称为“转变不完全”或“转变的自制”。很多合金钢属于此种情况,其原因虽尚不完全清楚,但这一规律很有实用意义。因为下贝氏体的比容和残余奥氏体的比容都比马氏体小,这就很接近于钢退火状态的比容,故等温淬火后,只有较小的淬火组织应力。加上过冷奥氏体的分解转变是在等温下进行,工件截面温度将基本上处于均匀一致的情况下,温差应力可能减至最小,故等温淬火后,钢的总的淬火应力很小。这就从本质上有效地防止了工件的变形和开裂。第三,由于贝氏体转变不完全性而存在的残留奥氏体(A_R),当继续保温到 B_f 时,可保持 L-B+ A_R 一直不变,但当等温保温时间不足,接着再降低温度(如从等温槽取出在空气中冷却至室温等),残留奥氏体可能转变为马氏体+残留奥氏体,这样等温淬火后钢的最后组织便是由 L-B+M+ A_R 混合组成。第四,钢中的 B_s 与 B_f 的温差,研究证明对大多数钢来说约相差 120°C ,而钢的 B_f 点可能位于马氏体开始转变点(M_s)以上,也可能位于 M_s 点以下,随钢的成分而变化。这种规律又给选定等温淬火的等温温度提供了重要依据。一般当选定保温温度保持在 M_s 点稍上而正好接近 B_f 点时,将获得全部 L-B 组织或 L-B+ A_R 混合组织;当保持等温温度在 M_s 点稍下而与 B_f 重叠或接近时,则将获得 M

+L-B+A_R 混合组织,而且过冷奥氏体先有一部分转变为马氏体,以后其余部份发生下贝氏体转变时,一方面马氏体转变可以对下贝氏体转变产生促进作用,同时先转变的马氏体又在等温下成为回火马氏体(M'),这样最后的组织将成为 M'+L-B+A_R 混合组织,有时把这种处理,称为马氏体等温淬火。这对既要求具有高硬度而又要求保持住几何精度的合金工具钢制的工模具的处理是很实用的。

5. 与珠光体转变和马氏体转变有别,影响贝氏体转变的因素主要有:

(1) 化学成分的影响—首先是碳,贝氏体的长大速度是受碳的脱溶所控制的,故随着钢中碳含量的增加,形成贝氏体时所需扩散的碳原子量增加,因而贝氏体的转变速度会减慢。合金元素除钴、铝能加速 B 转变外,其他合金元素都会使 B 转变减慢。

(2) 奥氏体化温度和奥氏体晶粒大小的影响—近年有研究试验证明,随奥氏体晶粒增大,将使 B 转变的孕育期增长,转速减慢。在奥氏体成分比较均匀的情况下,提高奥氏体化温度,会使晶粒增大,从而也将使 B 转变速度减慢。

(3) 应力的影响—已有不少工作证实,拉伸应力可使 B 转变加速,有的钢种当拉伸应力超过该钢在同一温度下的屈服极限(σ_s)时,B 转变速度增加尤甚。

(4) 塑性形变的影响—中温下的形变,可以加快碳在奥氏体中的扩散,故促进 B 转变;同时形变又会产生高密度位错和大量滑移带,将阻碍 α 相的共格成长。这又会使 B 转变减慢,但中温形变以前者为主,故最终表现为加快 B 转变。高温形变虽是在奥氏体化温度下进行,但最终能使贝氏体结构

显著细化并具有一定取向,还使 α 针发生弯曲,故导致钢在等温淬火后的机械性能得到改善,即形变—等温淬火与普通等温淬火比较,塑性相同,而强度则要高出许多。据此特点,可利用热压力加工(如锻造)后,继之以等温淬火。

(5) 过冷奥氏体在不同温度下停留的影响——一些实验证明,在较高温度下实行部分B转变,会降低以后在较低温度进行的B转变速度。故在进行等温淬火时,必须严格控制等温槽的温度,不能因高热工件淬入使槽温过度升高,这将使残余奥氏体量增多。在较低温度下实行部分B转变或部分M转变,将会增加以后在较高温度的B转变速度,被认为可能是低温部份B转变时所产生的应力会促使随后较高温度下的B转变的晶核形成。另外在等温下实行部份M转变,也会增加随后进行的B转变速度,这些特殊现象,为分级等温淬火或双浴等温淬火提供了依据。

通常钢件按以下步骤进行等温淬火:

1. 加热至奥氏体化的温度范围(亚共析钢在 A_{c3} 以上、共析和过共析钢在 A_{c1} 以上)并保温使之均匀化;
2. 淬入于通常温度保持在下贝氏体转变区域并具有保证超过临界冷速(V_c)的恒温热浴内;
3. 在热浴内保持相当长的时间,使过冷奥氏体完全或基本上完全等温转变为下贝氏体(L—B)组织(本质上具有贝氏体“转变不完全性”的钢除外);
4. 出浴空冷、油冷或水冷至室温。

等温淬火与普通淬火+回火操作的本质区别如图1--1所示。

与上述操作步骤相似,但保持的等温转变区域在下贝氏

体以上,即最后获得的主要组织为上贝氏体、屈氏体、索氏体或它们的混合物,则称这种处理为变相等温淬火。

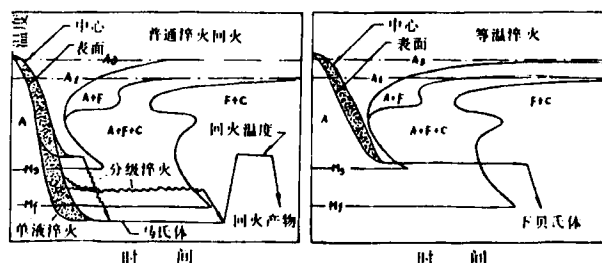


图 1—1 普通淬火+回火与等温淬火

时间—温度—转变程序的比较

等温淬火的优越性大致可以归结为以下几点:

1. 在一定条件下,钢经等温淬火所得到的机械性能,较先淬火成马氏体然后再在相应温度或较高温度回火所得到的性能为高,而以塑性、冲击韧性和耐磨性为最突出。

例如: T10 钢 (0.95% C) 经水淬+回火、分级淬火+回火和等温淬火后的硬度皆为 HRC52~53 时,等温淬火的冲击韧性值 (a_K) 则约为分级淬火+回火钢的 2 倍,约为水淬+回火钢的 3 倍;等温淬火的延伸率 (δ) 则约为前两种淬火+回火处理钢的 8~11 倍。

30CrMnSi 钢经普通淬火+(450~500℃)回火与经等温淬火后的机械性能(表 1—1)相比较,两者的抗拉强度 (σ_b) 均约为 1.36GPa,而等温淬火的断面收缩率 (ψ) 则可增高 10~15%,冲击韧性值 (a_K) 约高出 1.5~2 倍,对于冲击扭转屈服强度 (σ_s) 可增高 60% 左右。

T8、T10、T12 钢经 810℃ 加热,在 380℃ 热浴中等温淬火,

与同材料经 810℃ 水淬并经 400℃ 回火而有同样硬度的工件相比较, T8 钢等温淬火后耐磨性增大 15%, T12 钢增大 40%。

表 1—1 30CrMnSi 钢经等温淬火和普通淬火+回火后的机械性能

机械性能	等温淬火, 在 370℃ 保持 15min 后空冷	普通淬火 +回火, 淬油后在 450℃进 行 2h 回火	等温淬火 与普通淬 火+回火后 机械性能 的比较(%)	普通淬火 +回火, 淬油后在 500℃ 进行 2h 回火
抗拉强度 σ_b (MPa)	1 360	1 370	0	1 210
脆断强度 S_K (MPa)	2 430	2 110	+15.0	2 100
挠度 f (mm)	0.80	0.45	+83.0	0.44
断面收缩率 ψ (%)	57.0	51.0	+12.0	54.0
纵向冲击韧性 a_k (J/cm ²)	109.8	53.9	+104.0	71.6
冲击扭转屈服强度 σ_s^* (MPa)	1 100	690	+61.0	720
横向冲击韧性 a_k (J/cm ²)	66.69	—	—	32.36

* σ_s : 扭转 8° 时的冲击扭转屈服强度(试样缺口 $r=0.1mm$)

2. 等温淬火能最大限度地减少淬火变形和开裂, 并突出地表现在断面剧变及有尖锐切口和异形等工件中。这是由于等温淬火的转变温度比淬火成马氏体的温度要高, 并在热浴的等温停留过程中使工件表面与中心的温差消除, 因而可将热应力大大减小; 同时又使整个工件的断面几乎同时地进行逐渐扩散性下贝氏体的转变, 避免了非扩散性的马氏体的转变, 而组织应力减至最小的结果。

3. 等温淬火能有效地避免钢的第一类回火脆性。即许多钢种经淬火和在 250~400℃ 的回火后, 其冲击韧性值显著降低, 且这种回火脆性不能用回火后快速冷却的方法来消除。