

钢的过冷奥氏体 转变曲线图集

GANG DE GUOLENG
AOSHITI ZHUANBIAN
QUXIAN TUSHI

冶金工业出版社

钢的过冷奥氏体转变曲线图集

鞍钢钢铁研究所张世中 编著

冶金工业出版社

(京) 新登字 036 号

内 容 简 介

本书由两部分组成。第一部分简要介绍了测量钢的过冷奥氏体转变曲线所使用的方法和设备,以及 CCT 曲线测量中的几个问题及过冷奥氏体转变曲线的应用。第二部分收集了鞍钢研制和生产的约 90 个钢种的 CCT 曲线 82 条及其典型金相组织和 TTT 曲线 41 条。

本书可供从事金属材料特别是从事金相热处理工作的科技人员和工人阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

钢的过冷奥氏体转变曲线图集

鞍钢钢铁研究所 张世中 编著

责任编辑 张 卫

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

河北香河县第二印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 14.75 字数 354 千字

1993 年10月第一版 1993 年10月第一次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7-5024-1131-3

TG·154 定价24.00元

序

钢的过冷奥氏体转变曲线,不仅是制定钢材合理热处理工艺的理论依据,而且在新钢种的研制、特别是在新工艺的研究中发挥着重要作用。如在控制轧制和控制冷却工艺的研究中,钢的 CCT 曲线和 TTT 曲线能够指明方向,避免盲目性。因此,国内外对钢的过冷奥氏体转变曲线的测试都给予足够的重视。国外很多国家都有专集出版,国内本溪钢铁公司第一炼钢厂和清华大学机械系、冶金部钢铁研究总院等也都曾编辑过钢的过冷奥氏体转变曲线图册。

鞍山钢铁研究所金相室物理方法组的同志从 1975 年起自己动手研制膨胀仪,开始测量 CCT 曲线,1983 年引进了日本的 Formastor-D 全自动相变仪,使测量准确度有很大提高,测量周期也大大缩短。十几年来他们测量了近百个钢种的一百多条 CCT 和 TTT 曲线。这些钢种绝大部分是鞍钢研制和生产的钢种,这些曲线为我所新钢种的研制和新工艺的研究提供了大量信息,发挥了重要作用。

高级工程师张世中同志,近 20 年来一直从事钢的过冷奥氏体转变曲线的测试和研究工作,具有较丰富的经验。多年来他就有个愿望:把经本组研究测量的鞍钢生产的钢种的曲线汇集成册。现在这个愿望已经实现。尽管书中难免有不足之处,但我为这本书的出版感到高兴,希望它能对从事钢铁材料研究工作的人员有所帮助。

鞍山钢铁公司副总工程师

鞍山钢铁研究所所长 傅作宝

前 言

钢的过冷奥氏体转变曲线(即 CCT 和 TTT 曲线)对于了解钢的组织与性能、合理选用钢材、制定合理的热处理工艺等都是必不可少的技术资料。在新钢种研制,特别是在新工艺的研究中具有重要的指导意义,因而获得了广泛的应用。多年来我们研究积累了一定数量的 CCT 曲线和 TTT 曲线,现编撰成这本图集,以供从事金属材料尤其是金相热处理工作的人员参考。

钢的 CCT 和 TTT 曲线,不仅受其化学成分及奥氏体化温度、保温时间、冷却条件等诸多因素的影响,而且在实际测量中还受到测量方法和设备精度的制约。为此在该书前部介绍了我们曾使用过的几种测量方法和设备仪器的原理、结构及功能。对 CCT 曲线测量中几个问题的处理方法及过冷奥氏体转变曲线的应用也给予简要介绍,以使读者对测量过程有较全面的了解。

图集部分是本书的主要内容,共收集了我们测量的约 90 个钢种的 120 余条曲线。其中 CCT 曲线 82 条,除 3 条外其余均附有典型的金相组织图片。这些曲线大部分是在 Formastor-D 全自动相变仪上测量的,少数是用 70 年代后期自制的膨胀仪和热分析仪测量的。TTT 曲线 41 条,除少数用膨胀法测量外,其余用磁性法完成。所测钢种除个别为外

单位委托外,绝大多数是鞍钢研制和生产的。

十几年来,先后有很多同志参加过设备的研制、改进以及曲线的测量工作,他们为此付出了大量心血,后来这些同志陆续离开了该岗位。他们是:余柏昂、黄德凯、王书惠、李光辉、栾国兴、张树春、赵敏茹、姜维常、张阿、张桂蓉、王宏、王平、马殿文。现在从事这项工作的同志还有张琳、付杰,最近薛可平同志也调入参加这项工作。她们参与绘制了大量曲线,制备金相试样。徐天娇同志也协助做了相应的工作,照相组的同志协助冲洗了大量金相组织照片。本书在编撰过程中,还得到了傅作宝所长的大力支持,在此谨致感谢。

由于作者水平有限,经验不足,书中不妥之处在所难免,希望读者批评指正。

鞍钢钢铁研究所 张世中

1992年2月

符 号 说 明

A_{c_1} 、 A_{c_3} 、 $A_{c_{cm}}$	加热时临界点, °C
$A_{c_{1b}}$ 、 $A_{c_{1e}}$	加热时 A_{c_1} 温度范围, °C
A_{r_1} 、 A_{r_3} 、 $A_{r_{cm}}$	冷却时临界点, °C
M_s	马氏体转变开始温度, °C; 图中实线为实测值, 虚线为计算值
M_f	马氏体转变结束温度, °C
A	奥氏体
F	铁素体
P	珠光体
B	贝氏体
B'	与通常贝氏体结构上有所不同的组织(如粒状贝氏体)
M	马氏体
C	碳化物或渗碳体
HV	维氏硬度, 负荷 49N

目 录

1. 测量方法及设备

1.1 膨胀法	1	1.2.2 改进后的热磁仪结构 及功能	6
1.1.1 原理	1	1.3 热分析法	9
1.1.2 Formastor-D 全自动相变仪 结构及功能	2	1.3.1 原理	9
1.1.3 18AVRFR-2 型电子膨胀仪 结构及功能	5	1.3.2 热分析仪结构及功能	10
1.2 磁性法	6	1.4 金相法	11
1.2.1 原理	6	1.4.1 金相法测定 TTT 曲线	11
		1.4.2 金相法测定 CCT 曲线	12

2. 膨胀法测量 CCT 曲线的几个问题

2.1 临界点的确定	13	2.3 CCT 曲线中各组织百分含量的 确定	15
2.2 膨胀曲线分析	13		

3. 过冷奥氏体转变曲线的应用

3.1 在制定热处理工艺中的应用	18	应用	19
3.2 在新钢种研制和新工艺研究中的		3.3 在焊接方面的应用	21

4. 不同钢种的过冷奥氏体转变曲线图

4.1 不同钢种的 CCT 图		4.1.2 06TiA	24
4.1.1 06MnVTi	22	4.1.3 06NbTi	26

4.1.4	08Ti	28	4.1.43	18MnMoNb	106
4.1.5	08CuPVRe	30	4.1.44	18CrNiMnMoV	108
4.1.6	08MnTiNb	32	4.1.45	20	110
4.1.7	08Si2	34	4.1.46	20	112
4.1.8	08Mn2Si	36	4.1.47	20Mn	114
4.1.9	09Mn2Si	38	4.1.48	20Mn	116
4.1.10	09Mn2Si	40	4.1.49	20Mn	118
4.1.11	09MnVTiN	42	4.1.50	20MnTi	120
4.1.12	09MnTiNb	44	4.1.51	20Mn2TiB	122
4.1.13	1.5Ni	46	4.1.52	20CrMnMoVB	124
4.1.14	1.5Ni	48	4.1.53	30MoVNB	126
4.1.15	10Ti	50	4.1.54	30CrMo	128
4.1.16	10Ti	52	4.1.55	30CrMnMoRe	130
4.1.17	10MnVTi	54	4.1.56	32MnSiB	132
4.1.18	10MnCuPTi	56	4.1.57	38MnB	134
4.1.19	10CrNiCuP	58	4.1.58	38MnVTi	136
4.1.20	10MnMoNbVCu	60	4.1.59	40SiMnTi	138
4.1.21	12MnVTiN	62	4.1.60	40Mn2Nb	140
4.1.22	12SiMoVNB	64	4.1.61	40Mn2Mo	142
4.1.23	12CrNiMnMoV	66	4.1.62	40Si2MnMoV	144
4.1.24	12CrNiMnMoVCu	68	4.1.63	40CrNiMoA	146
4.1.25	12CrNiMnMoVCu	70	4.1.64	43SiMnCrNiMoVRe	148
4.1.26	14MnMoV	72	4.1.65	45	150
4.1.27	14MnMoVN	74	4.1.66	45CrMoRe	152
4.1.28	15Mo	76	4.1.67	56Nb	154
4.1.29	15Ti	78	4.1.68	58SiMn	156
4.1.30	15MnMoVN	80	4.1.69	60	158
4.1.31	15MnNbVCu	82	4.1.70	70Ti	160
4.1.32	15MnCrVCu	84	4.1.71	75MnNb	162
4.1.33	15CrNiMnMoV	86	4.1.72	95MnNb	164
4.1.34	15CrNiMnMoVCuB	88	4.1.73	2Cr12NiMoV	166
4.1.35	15CrNiMnMoCuB	90	4.1.74	4SiMnMoV	168
4.1.36	15CrMnMoVB	92	4.1.75	4SiMnMoV	170
4.1.37	15CrMnMoVCuB	94	4.1.76	4Cr3Mo2V	172
4.1.38	15CrMnMoNbVB	96	4.1.77	9Cr3Mo	174
4.1.39	16Mn	98	4.1.78	12Cr1MoV	176
4.1.40	16Mn	100	4.1.79	白口合金铁	178
4.1.41	16MnRe	102	4.1.80	10MnVNBcrNiCu	180
4.1.42	18Ti	104	4.1.81	14MnMoNb	181

4.1.82	45CrNiMoVA	182	4.2.21	30MoVNb	203
4.2	不同钢种的 TTT 图		4.2.22	30CrNi2MoVA	204
4.2.1	06MnVTi	183	4.2.23	30CrMnMoRe	205
4.2.2	1.5Ni	184	4.2.24	30Si2MnMoV	206
4.2.3	10	185	4.2.25	31Si2CrMoB	207
4.2.4	12CrNiMnMoVCu	186	4.2.26	32SiMnMoV	208
4.2.5	12CrNiMnMoVCu	187	4.2.27	35SiMnMoV	209
4.2.6	13MoV	188	4.2.28	40SiMnTi	210
4.2.7	15Ti	189	4.2.29	40CrNiMoA	211
4.2.8	15MnMoVN	190	4.2.30	40Mn2A	212
4.2.9	15MnNiVNB	191	4.2.31	40MnMoVNb	213
4.2.10	15MnVAl	192	4.2.32	40SiMnWMoVRe	214
4.2.11	15MnVN	193	4.2.33	43SiMnCrNiMoVRe	215
4.2.12	15CrNiMnMoV	194	4.2.34	45CrNiMoVA	216
4.2.13	15CrNiMnMoVCu	195	4.2.35	45SiMnCrNiMo	217
4.2.14	15CrMnMoNbVB	196	4.2.36	50CrNiMnMoV	218
4.2.15	15CrNiMnMoVCuB	197	4.2.37	58SiMn	219
4.2.16	15CrNiMnMoVTiCuB	198	4.2.38	70SiMnV	220
4.2.17	16Mn	199	4.2.39	U70SiMn	221
4.2.18	18MnMoNb	200	4.2.40	95MnNb	222
4.2.19	20MnTiB	201	4.2.41	4Cr3Mo2V	223
4.2.20	20Mn	202	参考文献		224

1. 测量方法及设备

钢的组织变化往往引起其物理性能的变化,因此利用钢物理性能的变化来研究它的组织变化是经常采用的手段。这些方法很多,如膨胀法、磁性法和热分析法等,相应的设备有膨胀仪、热磁仪和热分析仪等。

1.1 膨胀法

1.1.1 原理

众所周知,物体热胀冷缩,钢也不例外。但当钢发生固态相变时,常伴随着体积的不连续变化,从而引起热膨胀的不连续变化。因此分析热膨胀现象在研究钢的相变特征方面占有很重要的地位。它可用来测定钢在不同温度下的线胀系数和不同钢种的各种相变温度。

设某物体 0°C 时的长度为 L_0 , 则其在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的长度 L_t 为:

$$L_t = L_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \dots)$$

这是一个经验公式,其中 α 、 β 为物体的材料常数,一般 β 及其后面的项都很小,可忽略不计,上式可简化成:

$$L_t = L_0(1 + \alpha t)$$

求其微分,可得:

$$\frac{dL_t}{dt} = \alpha L_0 \quad \text{或} \quad \alpha = \frac{1}{L_0} \times \frac{dL_t}{dt}$$

α 为该材料在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的热线膨胀系数,简称线胀系数,当只需要某给定范围内的平均线胀系数时,则是:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{L_0} \times \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$$

其中 L_1 和 L_2 分别为试样在温度 t_1 和 t_2 时的长度。

上述情况只是在加热和冷却过程中材料不发生相变时才有效。若有相变发生,则由于新旧两相的结构不同、比容不同,材料的体积将发生不连续变化,因而热膨胀曲线在相变发生的温度处形成拐点。根据此拐点,就可以比较容易地确定各种相变点。

钢中各组织的比容关系是:奥氏体 < 铁素体 < 珠光体 < 贝氏体 < 马氏体。从图 1-1 亚共析钢加热和冷却时膨胀曲线示意图中可看出:加热中,当发生铁素体和珠光体向奥氏体转变时,由于奥氏体的比容比铁素体和珠光体都小,所以引起膨胀曲线在长度上的收缩,待全部转变为奥氏体后,膨胀曲线将继续膨胀。这样在膨胀曲线上就出现了两个拐点,从这两个拐点就可以确定出 A_{c1} 和 A_{c3} 。冷却中,当从奥氏体中析出铁素体和奥氏体转变为珠光体时,开始时收缩的曲线会发生膨胀,当奥氏体全部转变为铁素体和珠光体后,膨胀曲线又继续收缩,从而也出现两个拐点,并可根据拐点确定 A_{r3} 和 A_{r1} 。同理,当冷却速度足够大,发生奥氏体向马氏体转变

时,同样会引起膨胀曲线的变化而出现拐点,由此可确定 M_s 和 M_f 。如上所述,若测出不同等温温度下各拐点的的时间和不同冷却速度下各拐点的温度,就可测绘出钢的过冷奥氏体转变曲线,即等温转变曲线(TTT 曲线)和连续冷却转变曲线(CCT 曲线)。

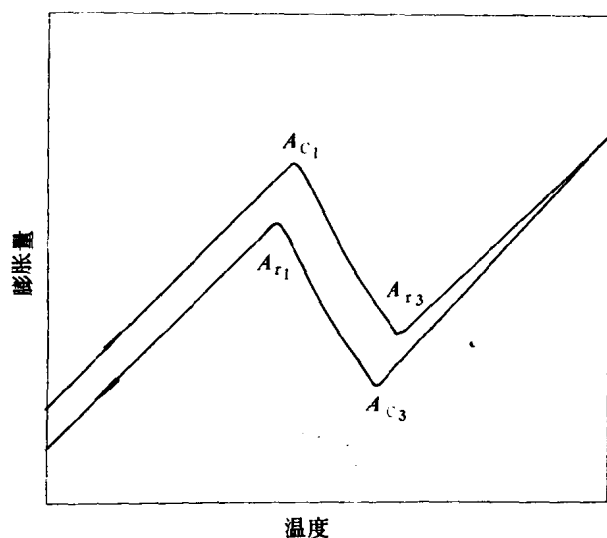


图 1-1 亚共析钢加热和冷却时膨胀曲线示意图

1.1.2 Formastor-D 全自动相变仪结构及功能

Formastor-D 全自动相变仪(图 1-2)是日本富士电波工机株式会社产品,1983 年引进。该仪器实际上是膨胀仪。它由电源、振荡器、加热/冷却系统、抽气系统、膨胀检测单元、温度调节器、控制机构和双笔记录仪组成。采用高频感应加热的方法,通过自动温度控制机构把要求的加热、冷却程序施加于试样,由差动变压器测量膨胀量的变化,热电偶测量温度,双笔记录仪记录检测出的数据,从时间、膨胀、温度三者之间的关系分析相变的特征。

高频感应加热时,高频磁通通过被加热的试样,试样被本身感应的涡流加热。由于被加热的试样本身是热源,所以加热速度快。试样处于高真空中可避免氧化和脱碳。同时能实现快速加热、冷却程序。用很细的($\Phi 0.2\text{mm}$)R 型铂铑热电偶测温,可消除时间延迟误差和对试样均匀加热的干扰。

温度自动控制的过程是,将输入和存储在程序模拟发生器中的加热、冷却程序变成时间与电压的函数并由发生器输出,从中分出一个热电势的信号,这个信号作为给定值被输送给一个闭环自动温度控制机构。该给定信号和热电偶测得的热电势之间的电压差经毫伏转换器和运算放大器被放大,并输送给负载转换器。这里产生一个固定频率为 400Hz 的矩齿波,它接通和断开的持续时间比与运算放大器的输出成正比。然后再由振荡驱动器进行功率放大,并输送给振荡管的栅极,执行对振荡管的开关控制。

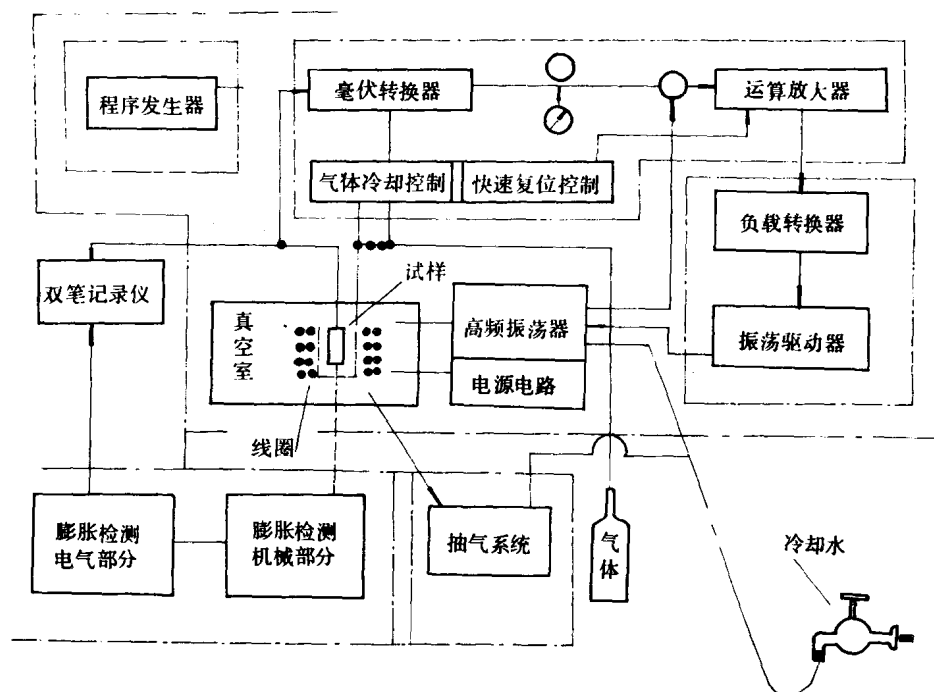


图 1-2 Formastor-D 全自动相变仪结构示意图

在正常情况下,高频振荡器按固定频率重复振荡和停止。但当运算放大器的输出较大时(给定值大于热电势)振荡持续时间就长,而停止时间则短。当输出进一步变大时,将引起连续振荡。相反,如果输出信号变成负值,则振荡就停止。因此上述的电压差大,则振荡器的平均输出将增大,这将导致试样迅速升温,使得升高了的热电势接近给定值。如果热电势接近给定值,使电压差减小,那末振荡器的输出电压将降低到一个极小值,从而出现平衡状态。

与普通的温度控制系统相比,该温度自动控制系统构成环路所需的时间很短。尽管信号电压随时间连续变化很快,该系统也能迅速地跟随。这样,该系统就具有高的加热速度。通过吹气体来提高冷却速度,当所需的冷却速度比散热速度还要快时,就要使用辅助机构来控制冷却。

如果给定值(温度)变化很快,控制系统必须随之进行全速加热或强制冷却时,就会出现过冲或负过冲现象。这对测量不利,可通过气动调节器和快速复位调节器进行调节。

程序模拟发生器用一个微型计算机将编制好的加热、冷却程序通过 10 个键输入,输入程序可在显示器上进行检查。

由膨胀检测机构(图 1-3)进行膨胀测量。试样因膨胀或收缩引起的长度变化通过石英杆传递到滑杆,使差动变压器的铁芯向上或向下移动。差动变压器线圈安装在恒温箱(50°C)中,所以稳定性高,消除了因环境温度变化引起的热漂移。由频率发生器产生的大约 4kHz/s 的正弦波供给差动变压器的一次线圈,差动变压器二次线圈的两部分通过一个调零电位器接成桥式电路。当铁芯位于差动变压器中心时,输出为零。当铁芯上下移动时,就产生一个与位移成正比的正的或负的输出,该输出经放大和整流,作为记录仪的输入信号被记录。

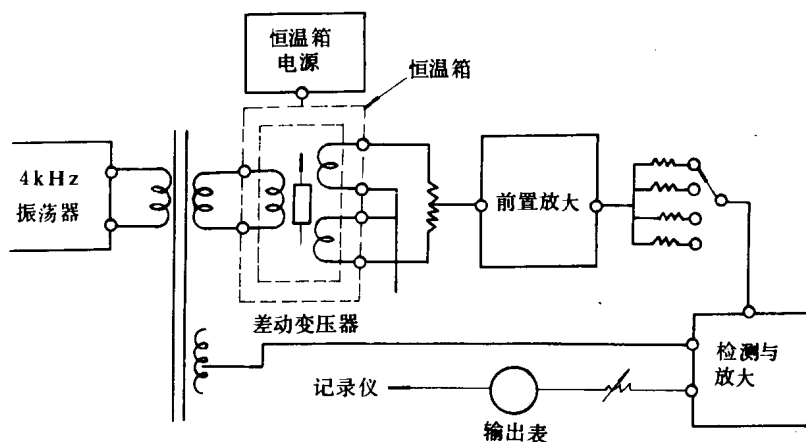


图 1-3 膨胀检测机构方框图

采用真空或者惰性气体作为试样气氛的目的是为了防止试样脱碳和氧化。短时间测量不需要高真空,长时间测量则需要高真空。如果在惰性气体中测量,则需要先达到足够高的真空,然后再充气体。

试样(图 1-4a)焊上热电偶后,放入石英管中,再将整个石英管置于双层线圈中央进行加热和冷却。加热线圈是一个六匝双层线圈(图 1-4b),外线圈为感应加热线圈并通冷却水。只有需要通气冷却时气体才通过内层线圈从喷嘴喷出冷却试样。由于热电偶焊在小孔内不与气体直接接触。热电偶测出的温度信号通过冷端补偿器和高频滤波器输送给记录仪记录。

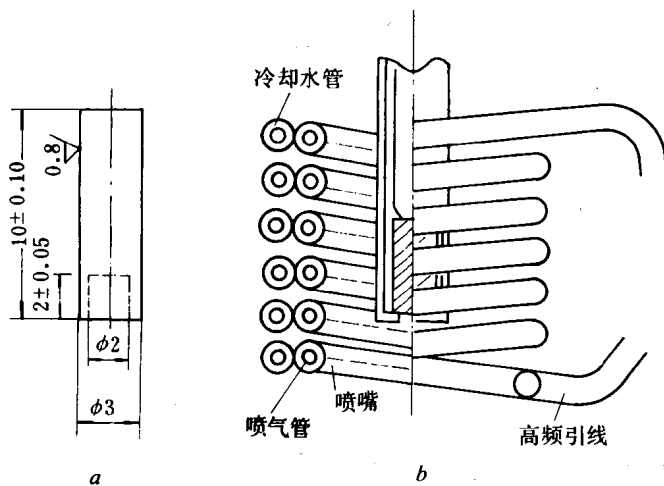


图 1-4 试样和加热线圈

a—试样; b—加热线圈

该仪器最高温度为 1400°C , 最大加热速度为 10s 之内可将温度从室温升到 1400°C 。吹氮气时最大冷却速度可达 100°C/s , 吹高纯氮气时可达 300°C/s ($900^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 间的平均冷却速度)。升温 and 冷却速度可在允许范围内随意给定。

该仪器可进行: (1) 钢的相变点测量 (A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{r1} 、 A_{r3} 、 M_s 、 M_f 等), (2) CCT 曲线测量; (3) TTT 曲线测量。

1.1.3 18AVRFR-2 型电子膨胀仪结构及功能

从瑞士引进的电子膨胀仪, 其结构与普通膨胀仪基本相同, 只是温度程序器和加热方式有所不同。

它的温度程序器不是数控化的, 而是电动机械装置。把设计好的程序用笔尖刻画在专用的金属纸面上, 笔尖划去了一细条金属, 于是纸的金属表面被分割成彼此绝缘的两部分。当把此程序装在程序器的滚筒上时, 这两部分分别接上了相位相反的交流电压, 电压 U_1 和 U_2 在程序曲线绝缘部分的边缘产生一个静电梯度。灵敏的静电探头一旦偏离程序曲线就将移动, 直至探出零电势, 此时它正好位于程序曲线的中央。随着滚筒的转动, 静电探头将沿程序曲线移动。因为输出电位器的轴与探头机械地联接, 所以电位器轴的位置是程序曲线的单值函数。由此而控制加热炉按事先设计好的程序运行。此系统是静电的, 探头不与程序曲线直接接触, 这是一个优点。

加热炉为辐射炉。它由三个柱状椭圆扇面组成, 每一个椭圆扇面的焦点都有一个钨丝灯管, 由三个灯管发出的热量以红外辐射的形式通过椭圆扇面反射在中心聚焦。处于聚焦中心的试样被加热。为了提高反射率, 椭圆表面已经过处理。该炉可能达到的最高温度为 1600°C , 经常使用的温度在 1000°C 左右。

该仪器也可以使用普通的电阻丝炉。

电子膨胀仪使用的试样可做成两种形状, 如图 1-5 所示。第一种试样的优点是加工简单, 刚性较大, 可适用于软金属。第二种试样的优点是石英管和试样之间仅有两个接触点, 代替了第一种试样的一条线接触, 这样试样比较自由, 可进行较精确测量, 通常都采用第二种试样。

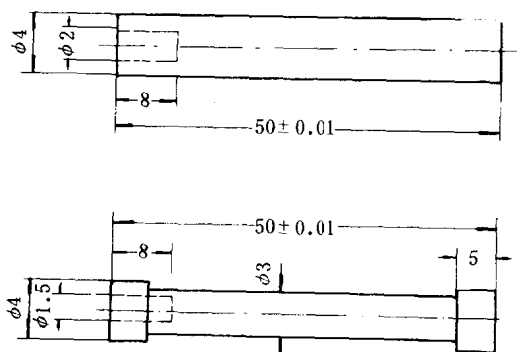


图 1-5 电子膨胀仪试样

该仪器由于试样尺寸较大, 冷却性能不如相变仪, 通常只进行相变点测量, 不进行 CCT

曲线和 TTT 曲线测量。

1.2 磁性法

1.2.1 原理

众所周知,奥氏体在任何温度下均为顺磁性的,而它的转变产物如铁素体(在居里点 A_2 以下)、珠光体、贝氏体、马氏体都是铁磁性的。因此过冷奥氏体在 A_2 温度以下等温或降温时,将发生由顺磁性向铁磁性的变化。基于这种原理来测量钢的过冷奥氏体等温转变曲线的方法,即为磁性法。利用磁性法来测量钢的等温转变曲线的仪器主要是热磁仪。

热磁仪具有强大的磁场。设其磁场强度为 H ,将小棒形试样顺置于磁场中,使试样与磁场成一夹角 ψ 。由于奥氏体是顺磁性的,所以不受磁场作用。当试样冷却到居里点 A_2 以下某个温度时,试样中的奥氏体开始转变而出现铁磁相。此时试样就受到一力矩 M 的作用而开始偏转。此力矩的大小与试样的磁化强度 J 成正比。随着奥氏体转变的进行,试样中的铁磁相逐渐增多,因而试样所受的力矩也愈来愈大。设试样的体积为 V ,则此力矩:

$$M = JVH \sin \psi$$

试样在力矩 M 的作用下发生偏转,从而使试样夹头的弹簧装置发生变形,使得弹簧片中产生一个反向力矩 M' 来平衡试样所受到的力矩 M 。 M' 与试样的偏转角度 $\Delta\psi$ 成正比,当 M' 与 M 相等时,试样不再继续偏转,由此可以得到:

$$M' = C\Delta\psi \quad M' = M$$

$$JVH \sin \psi = C\Delta\psi$$

$$J = \frac{C\Delta\psi}{VH \sin \psi}$$

式中 C 为弹簧的弹性系数。

公式中 ψ 、 V 、 H 均已知,弹簧确定则 C 就确定,所以只要测出试样的偏转角 $\Delta\psi$,便可求出磁化强度 J ,从而也就测出了力矩 M 。因此可归结为,只要测出试样的偏转角度 $\Delta\psi$,就可得知过冷奥氏体从转变开始到转变终止的全过程。

1.2.2 改进后的热磁仪结构及功能

改进前的热磁仪结构见图 1-6。

这种带光源、标尺和反光镜的测量办法,通常称为光点法。它是靠人工用秒表记录等温转变过程的。这种方法有两个缺点,一是在“孕育期”很短和“转变结束”很缓慢时,难以测出准确结果;二是无法实现自动记录。为此对光点装置进行了改进,即把试样的偏转角 $\Delta\psi$ 这一角位移转换成电量,实现自动记录。

要把非电量(机械位移、温度……)转换成电量进行自动记录或自动控制,就需要传感器来实现。根据现有设备的状况,可选用差动式电容做传感器。差动电容的优点是受环境温度和湿度以及磁场的影响较小,有较高的灵敏度,无接触点,转动力矩小,结构较简单。缺点是受外界寄生电容影响较大,所以需要高频电源。

所谓差动电容是由两个半圆形的定片 P_1 和 P_2 及一个半圆形的动片 M 组成的两个串联电容器(图 1-7)。当其中一个增大时,另一个则减小。将这两串联的电容器接在桥路内(图 1-

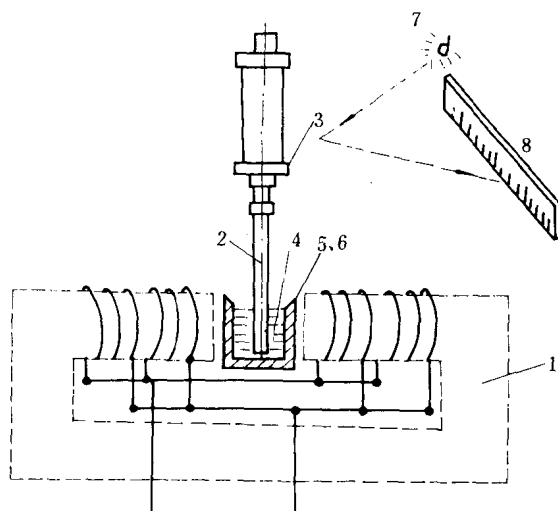


图 1-6 改进前热磁仪结构示意图

1—电磁铁；2—试样夹头；3—反光镜；4—试样；
5、6—两个小型盐浴炉(或用锡、铅浴炉)；7—光源；8—标尺

8)从电桥对角线上取出电压 ΔU 作为差动电容器转动角度 $\Delta\phi$ 变量的输出讯号。

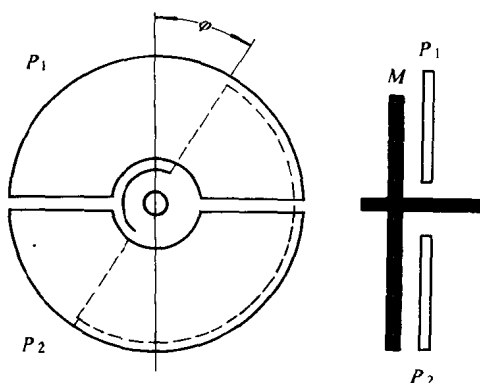


图 1-7 差动电容示意图

采用铝片单联电容器改装并加进一定零件做成差动电容器,可代替原来的光点装置。在电容器上装置两个方向相反的游丝。游丝是由 $0.5 \times 5\text{mm}$ 和 $0.5 \times 11\text{mm}$ 的磷青铜片绕成,代替原来的三片磷铜片弹簧装置。

供给桥式电路电源的振荡器采用文氏桥式电压型电路,频率为 4800Hz ,输出电压峰值为 $2.6 \sim 5\text{V}$ 。从桥式电路对角线取出的电压信号经放大器放大,再经整流输入给记录仪。放大倍数在 $4 \sim 50$ 倍之间连续可变。